

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Aurinkolämmitys

Solarheating

Työn tarkastaja: Tero Tynjälä

Työn ohjaaja: Tero Tynjälä

Lappeenranta 15.12.2011

Antti Takala

TIIVISTELMÄ

Antti Takala

Aurinkolämmitys

Solarheating

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2011

41 sivua, 14 kuvaa, 3 taulukkoa, 1 liite

Hakusanat: aurinkolämmitys, aurinkokeräin

Tässä kandidaatintyössä käsitellään aurinkolämmitystä, sen hyödyntämiseen käytettävää tekniikkaa ja käytön laajuutta maailmanlaajuisesti. Työn tavoitteena on esitellä yleisimmät aurinkokeräintyyppit ja niiden toimintaperiaatteet. Työssä selvitetään eri aurinkokeräinten asennettu kapasiteetti Suomessa ja muualla maailmalla. Lisäksi työssä on esitetty yleisimmät aurinkolämmön varastointitavat sekä kytkentäratkaisut Suomen oloissa.

Työssä keskitytään käsittelemään ensisijaisesti nestekiertoisia aurinkokeräimiä niiden yleisyyden vuoksi, mutta myös ilmakiertoiset ja kattamattomat keräimet esitellään lyhyesti. Lisäksi pohditaan aurinkolämmityksen potentiaalia Suomessa ja maailmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	3
1 JOHDANTO	5
2 AURINKOKERÄINTYYPI	6
2.1 Tasokeräin	6
2.2 Tyhjiöputkikeräin	11
2.2.1 Lämpöputki	11
2.2.2 U-putki	13
2.3 Keskitävä keräin	15
2.4 Yhteenvedo keräämistä	16
3 LÄMPÖENERGIAN VARASTOIMINEN	20
3.1 Tuntuvan sisäenergian varastointi	20
3.2 Latenttilämmön varastointi	22
3.3 Termokemiallinen lämmön varastointi	24
4 KYTKENTÄRATKAISUT SUOMEN OLOISSA	26
4.1 Käyttöveden lämmitys	26
4.2 Lattialämmitys	27
4.3 Hybridi(Aurinkokeräin-öljykattila)	28
5 ASENNETTU AURINKOLÄMPÖKAPASITEETTI SUOMESSA JA MAAILMALLA	31
6 AURINKOLÄMMITYKSEN POTENTIAALI SUOMESSA JA MAAILMALLA	33
7 YHTEENVETO	37
LÄHDELUETTELO	38
Liite 1. VUODEN 2008 LOPPUUN MENNESSÄ ASENNETTU AURINKOLÄMMITYSKAPASITEETTI MAAILMASSA	

SYMBOLILUETTELO

Symbolit

A	Keräimen pinta-ala[m ²]
c_p	veden keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti[kJ/kgK]
E	varastoitu lämpöenergia varaajassa[kJ]
F_r	Keräimen lämmöntuotto, (todellisen suhde suurimpaan mahdolliseen)[-]
I	Keräimeen tulevan säteilyn intensiteetti[W/m ²]
k_1	Katteen lämmönläpäisykerroin[-]
l	Latenttilämpö[kJ/kg]
m	massa[kg]
P	Keräimen tuottama hetkellinen teho[W]
Q	Latenttilämpöenergia[kJ]
T	Lämpötila[K]
α	Keräyspinnan absorptiosuhde[-]
η	hyötysuhde[-]
τ	Katteen läpäisevyys[-]

Alaindeksit

0	ennen lämmitystä
1	jälkeen lämmityksen
f1	faasi ennen muutosta
f2	faasi muutoksen jälkeen
k	kerääjä
ymp	ympäristö

1 JOHDANTO

Aurinkolämmitys on auringonsäteilyä suoraan lämpönä hyödynnettävää energiaa, jota käytetään pääasiassa lämpimän käyttöveden, huoneilojen ja ulkouima-aldaiden lämmitykseen. Joillain sovelluksilla aurinkolämmöllä tuotetaan sähköä kuumentamalla vesi höyryksi ja johtamalla höyry turbiinille. Aurinkolämmitys on suhteellisen vanha keksintö, mutta vasta nykypäivänä tekniikan kehittyessä ja hintojen laskiessa sen tehokas hyödyntäminen on aikaansaanut suurempien markkinoiden syntymisen.

Fossiilisten polttoainevarojen huetessa ovat niiden hinnat samalla kohonneet yhä korkeammiksi ja niinpä on alettu miettiä niiden korvaamista uusiutuvalla energialla. Aurinkoenergia on saasteetonta, pois lukien keräimien valmistuksesta syntyvät jätteet. Siksi se onkin omiaan kasvihuoneilmiön hillitsemisessä ja fossiilisten polttoaineiden riippumattomuuden edistämisessä. Aurinkolämpö on käytännössä ehtymätön energianlähde. Sen käyttökustannukset ovat alhaiset ja järjestelmien vaatima huolto vähäistä. Suomen oloissa aurinkolämmityksellä pystytään korvaamaan n. 50 % pientalon käyttöveden lämmitykseen kuluva energia tai 15 - 20 % koko rakennuksen vaatimasta lämmitysenergiasta.

Tämä työ on tehty Lappeenrannan teknilliselle yliopistolle osana kurssia BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari. Työssä käsitellään aurinkolämmityksen potentiaalia ja asennettua kapasiteettia Suomessa ja maailmalla. Työssä esitellään yleisimmät nykyään käytössä olevat aurinkokeräintyyppit, painottuen nestekiertoisiin keräimiin. Lisäksi on tehty katsaus aurinkolämmön varastointimahdollisuuksiin ja –ratkaisuihin sekä kytkentäratkaisuihin Suomen oloissa.

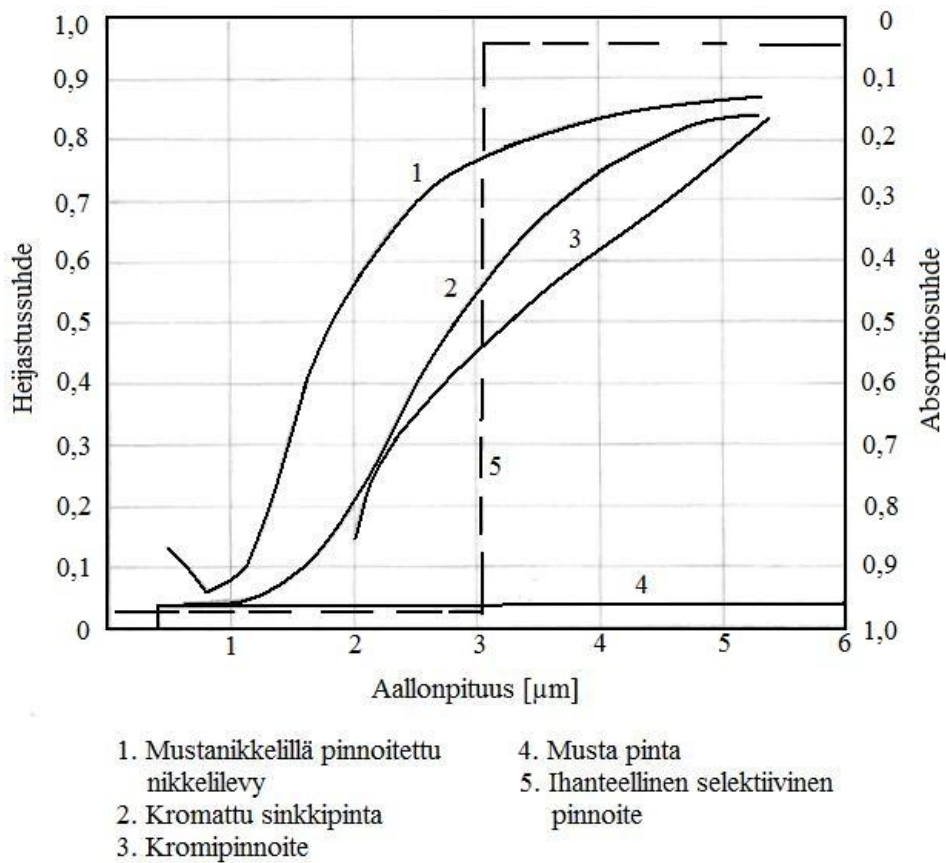
2 AURINKOKERÄINTYYYPIT

Aurinkokeräimeksi kutsutaan laitetta, joka muuttaa auringonsäteilyn lämmöksi. Aurinkokeräinten tehtävänä on kerätä auringonsäteet ja muuttaa ne lämmöksi keräimen absorptiopinnan avulla, josta lämpö voidaan johtaa absorptioputkistossa virtaavaan väliaineeseen ja edelleen joko välivarastoon tai suoraan käyttöön. Aurinkokeräimet voidaan jakaa keskittäviin-, tyhjiöputki- ja tasokeräimiin. Seuraavaksi ovat esitelty erilaiset keräintyyppit ja niiden toimintaperiaatteet.

2.1 Tasokeräin

Suomessa yleisimmin käytössä oleva keräintyyppi on nestekiertoinen tasokeräin. Tasokeräimen tärkeimmät osat ovat absorptiolevy, sen alla kulkeva absorptioputkisto ja lämpöeristetty kotelo katelaseineen. Auringon säteily kerätään mustan absorptiolevyn avulla. Yleensä absorptiolevy on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella, jolla parannetaan sen absorptio-ominaisuuksia. Selektiivinen pinnoite päästää tehokkaasti lyhytaaltoista auringonsäteilyä lävitseen, joka lämmittää absorptiopintaa. Pinnan lämmitessä se alkaa emittoida pitkäaaltoista lämpösäteilyä, jonka selektiivinen pinnoite heijastaa takaisin absorptiopinnalle. Tyypillisiä selektiivisiä pinnoitemateriaaleja ovat elektrolyttisesti valmistetut mustakromi- ja mustanikkelipinnat. Lisäksi koko keräin voidaan kattaa selektiivisellä lasilla, jolla vähennetään konvektiivisen lämmönsiirron häviöitä ja näin parannetaan hyötysuhdetta. (Erat et al. 2001, 73.)

Kuvassa 2.1 on esitetty eräiden selektiivisten pinnoitteiden heijastus- ja absorptiosuhteita. Heijastusuhde ilmaisee, kuinka suuri osa säteilystä heijastuu pinnalta. Heijastussuhteen vastakohtana on absorptiosuhde, joka ilmaisee sen kuinka suuri osa säteilystä absorboituu pintaan. Kuvasta nähdään, kuinka musta pinta (4) absorboi lähes ihanteellisesti lyhytaaltoista auringon säteilyä, mutta ei heijasta juurikaan emittoituvaa lämpösäteilyä takaisin pinnalle, kun aallonpituus on suurempi kuin $3\ \mu\text{m}$. Tämän takia tarvitaan selektiivinen pinnoite (1,2,3).

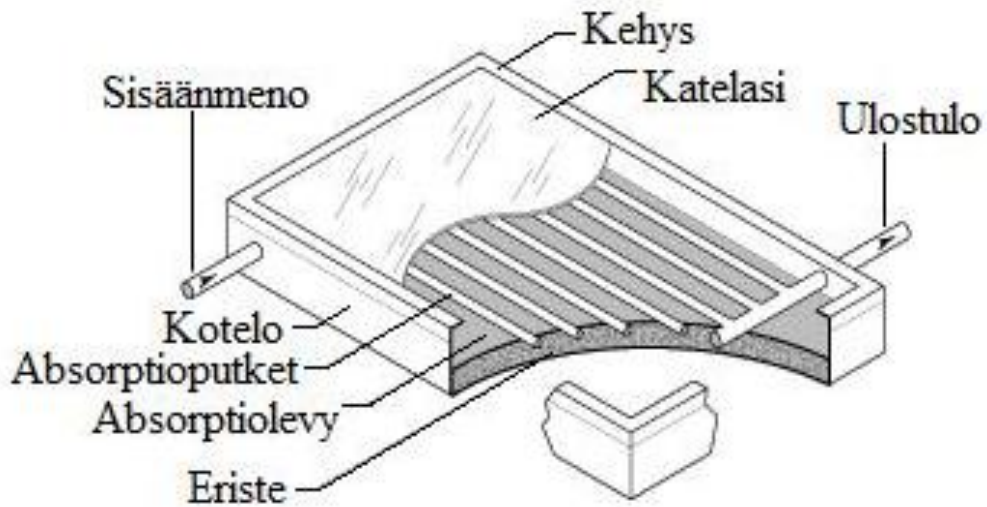


Kuva 2.1 Eräiden selektiivisten pinnoitteiden heijastussuhteita aallonpituuden funktiona (Wahlroos 1981, 37, muokattu).

Absorptiolevy on alapuolelta lämpöeristetty esim. vuorivillalla johtumisesta aiheutuvien lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Lämpöhäviöitä voidaan pienentää myös katteen ja absorptiolevyn väliin asennettavalla teflonkalvolla. Mitä matalampi keräimen käyttölämpötila on, sitä parempi on sen hyötysuhde. Levyn sisällä tai sen alla kulkee absorptioputkisto, jossa virtaa lämpöä siirtävä aine, yleensä vesi-glykoli seos, joissain tapauksissa myös ilma, riippuen keräimen mallista ja tarkoituksesta. Absorptioputkisto on useimmiten kytketty rinnan jolloin lämmönsiirtoaine jakautuu tasan keräimen alareunasta yläreunaan. Keräimen ylä- ja alareunoissa putkistot yhtyvät kokoojaputkiin, joista lämmennyt neste pumpataan varaajaan tai säiliöön. Lämmönsiirtonesteestä lämpö siirretään lämmönsiirtimeen kautta varaajan veteen. Jäähdytynyt lämmönsiirtoneste palautuu kiertoon uudelleen lämmitettäväksi. Keräimen putkitus voidaan toteuttaa myös sarjaan kytkentänä, jolloin vain yksi pitkä putki kiertää absorptioelementtiä, näin saadaan tuotettua kuumempaa vettä. Sarjaan kytkennällä saadaan kuitenkin huonompi hyötysuhde, koska lämmönsiirtonesteen lämmitessä matkalla putkistossa, lämpötilaero nesteen ja absorptiopinnan välillä pienenee. Samalla lämmönsiirto heikkenee ja häviöt kasvavat. (Larjola et al. 2010, 152.)

Aurinkokeräinten putkistot ovat useimmiten kupariputkia, mutta absorptiolevy itsessään voi olla myös alumiinia tai terästä. Pääasia on, että levy johtaa lämmön tehokkaasti nesteeseen. (Wahlroos 1981, 37.)

Kuvassa 2.2 on esitetty tasokeräimen tyypillinen rakenne.



Kuva 2.2 Tasokeräimen tyypillinen rakenne (Darling 2011).

Tasokeräimillä tyypillinen toimintalämpötila on 40 - 70 °C, aurinkoisena päivänä jopa 100 °C, jos lämpöä ei oteta talteen. Mitä alhaisemmassa lämpötilassa kerääjää käytetään, sitä paremmalla hyötysuhteella se saadaan toimimaan (Wahlroos. 1981. 49). Tasokeräimien hyötysuhteet ovat luokkaa 20 - 50 % (Aurinkokauppa 2011). Yhtälöllä (2.1) voidaan laskea keräimellä saatava hetkellinen teho.

$$P = AF_r[\tau\alpha I - k_l(T_k - T_{ymp})] \quad (2.1)$$

missä

P	Keräimen tuottama hetkellinen teho[W]
A	Keräimen pinta-ala[m ²]
F_r	Keräimen lämmöntuotto, (todellisen suhde suurimpaan mahdolliseen)[-]
τ	Katteen läpäisevyys[-]

α	Keräyspinnan absorptiosuhde[-]
I	Keräimeen tulevan säteilyn intensiteetti[W/m ²]
k_1	Katteen lämmönläpäisykerroin[-]
T_k	Keräimen keskimääräinen lämpötila[K]
T_{ymp}	Ympäristön lämpötila[K]

Käytännössä keräimen tuottoa pystytään seuraamaan, kun tiedetään keräimeen menevän ja sieltä ulos tulevan lämmönsiirtonesteen lämpötilat, ominaislämpökapasiteetti sekä nesteen massavirta.

Yhtälöllä (2.2) voidaan laskea keräimen hyötysuhde η , joka on keräimestä saatu teho P jaettuna suurimmalla mahdollisella teholla vastaavalle pinta-alalle.

$$\eta = \frac{P}{AI} = \frac{F_r[\tau\alpha I - k_1(T_k - T_{ymp})]}{I} \quad (2.2)$$

missä

η hyötysuhde[-]

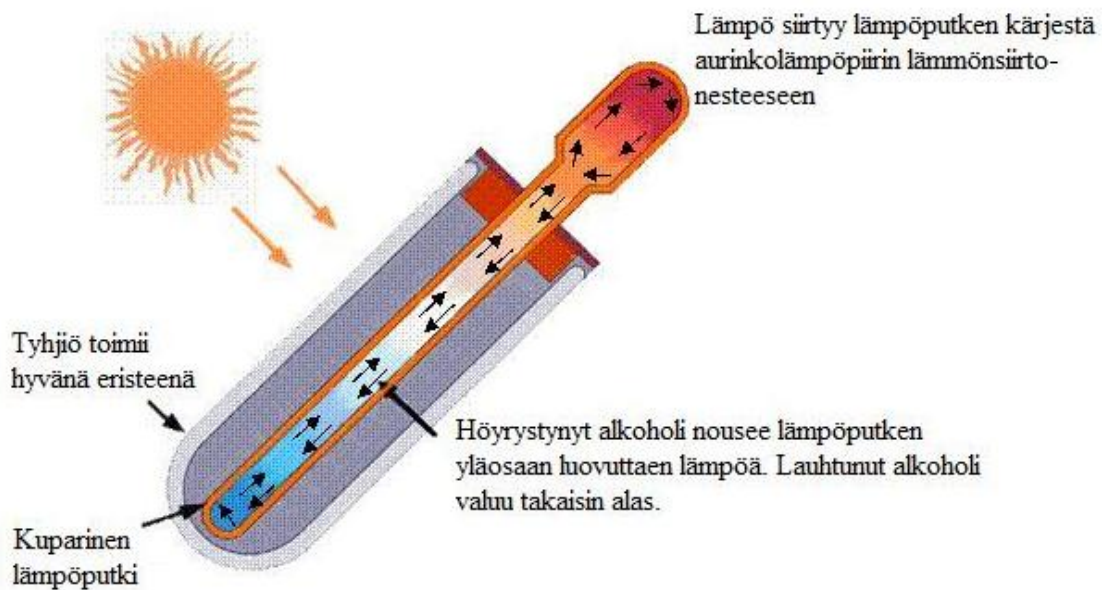
Tasokeräimet voidaan jaotella kahteen ryhmään lämmönsiirtoaineen perusteella. Suurin osa nykyisin asennetuista tasokeräimistä on nestekiertoisia, joissa absorbaattorilevyllä kerätty lämpö siirretään nesteeseen, yleensä vesi-glykoli seokseen, jolla on hyvä pakkasen kestävyys. Myös pelkkää vettä voidaan käyttää lämmönsiirtoaineena, jos keräin on vain kesäkäytössä. Suomen oloissa keräin on kuitenkin tyhjennettävä talvisin vedestä, jottei se rikkoontuisi veden jäätyessä ja laajetessa putkistossa. Vedellä on hieman parempi lämmönsiirtokyky kuin glykoliseoksella johtuen sen paremmasta ominaislämpökapasiteetista. Toinen lämmönsiirron väliaine on ilma, jolloin keräimessä lämmitetään nesteen sijasta ilmaa. Ilmakeräimiä käytetään yleensä suoraan huoneilman lämmittämiseen.

2.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimessä lämmönkeruuputkisto on sijoitettu kahden lasin ja tyhjiön sisälle, joka toimii erinomaisen hyvänä lämmöneristeenä. Lämpöä ei johdu eikä konvektiivista lämmönsiirtoa tapahdu. Säteilylämmönsiirto on ainut tapa, jolla keräimestä poistuu lämpöä ja tämäkin tulee merkittäväksi vasta, kun keräimen absorptiopinnan lämpötila nousee yli 300 celsiusasteen. Tyypillisesti tyhjiöputkikeräinten lämpötilat ovat kuitenkin n. 150 - 250 °C, joten keräimestä säteilemällä poistuva lämpöenergia on erittäin vähäistä. Hyvän lämpöeristyksensä takia ulkolämpötilalla ei ole suurta merkitystä keräimen toiminnan kannalta, ja se toimiikin yhtä hyvin niin pakkaskelillä kuin kesähelteellä. Tyhjiöputkikeräimillä pystytään saamaan lämpöä helmikuusta marraskuuhun. Lisäksi tyhjiöputkikeräimillä pystytään hyödyntämään ns. hajasäteilyä, joka on ilmakehän molekyyleistä heijastunutta auringonsäteilyä. Tyhjiöputkikeräimillä saavutetaan n. 60 % hyötysuhde, joka on 20 – 30 % parempi kuin tasokeräimillä. Tyhjiöputkikeräimet voidaan jaotella kahteen luokkaan sen mukaan miten ne on kytketty; Toinen käyttää ns. ”kuiva kytkentää” ja toinen ”märkä kytkentää”. (Aurinkokauppa 2011.)

2.2.1 Lämpöputki

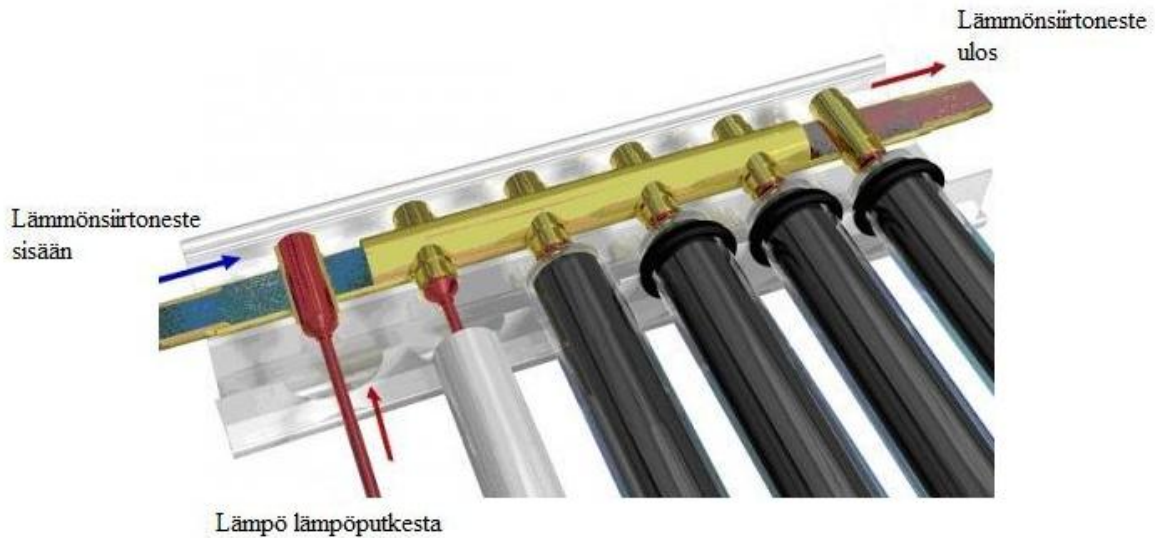
Sisempi lasiputki on päällystetty absorptiomateriaalilla, jonka absorptiokyky on n. 96 %. Sisemmän lasiputken sisällä on ns. lämpöputki eli Heat-pipe, kuparinen umpiputki, johon lämpöenergia johtuu absorptiopinnasta höyrystäen lämpöputken sisältämän alkoholin. Höyrystynyt alkoholi nousee lämpöputken yläosaan, jossa se lauhtuu ja luovuttaa lämpöenergiansa ulkoisessa kupariputkessa virtaavaan lämmönsiirtonesteeseen. Lauhtunut alkoholi valuu takaisin lämpöputken alaosaan ja lämpenee uudelleen. Lämpöputki-tyhjiöputkien liitäntä jakoyhteeseen tapahtuu ns. kuivakytkentänä eli lämpöputkien sisällä oleva alkoholi ei ole suorassa kosketuksessa aurinkolämpöpiirin vesi-glykoliseoksen kanssa. Niinpä putken rikkoutuessa yksi putki voidaan vaihtaa helposti tarvitsematta tyhjentää koko keräintä. (Aurinkokauppa 2011.) Kuvassa 2.3 on esitetty lämpöputken toimintaperiaate.



Kuva 2.3 Lämpöputken toimintaperiaate (KSM 2011, muokattu).

Tyhjiöputkirakenteella voidaan tehostaa aurinkoenergian hyväksikäyttöä, sillä se ei ole riippuvainen säteilyn tulosuunnasta. Hajasäteilyä voidaan hyödyntää, koska putkimainen geometria mahdollistaa sen, että keräinputket ovat lähes aina kohtisuoraan säteilyn tulosuuntaan. Tietenkin keräimen kallistuskulman tulee olla oikea, jolloin auringonsäteilyn heijastuminen absorptiopinnasta vähenee. Tyhjiöputkikeräimissä voidaan käyttää lisäksi putkien taakse asennettuja paraboloidisia peilejä, joiden avulla voidaan hyödyntää putkien ohitse mennyttä säteilyä (Aurinkokauppa 2011). Lämpöputkikeräin tulee asentaa 30 - 70 asteen kulmaan, jotta lämpöputki toimisi optimaalisesti. (Alternative 2011.)

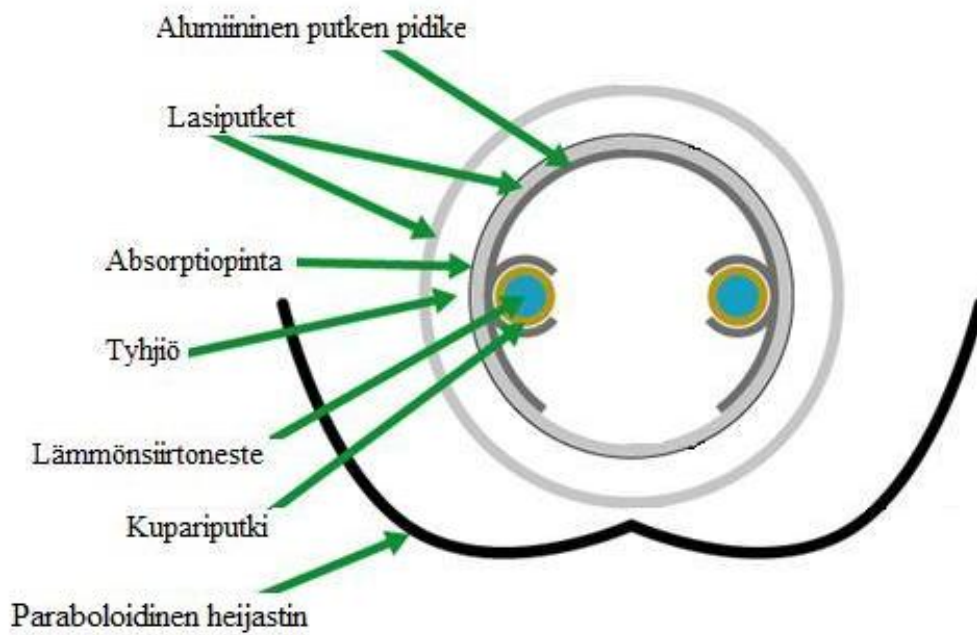
Kuvassa 2.4 on esitetty lämpöputkien kytkentä lämmityspiiriin. KytKentä tapahtuu ns. kuivakytKentänä, jossa lämmönsiirtoneste ja lämpöputkissa kiertävä neste eivät sekoitu keskenään. Lämmönsiirto tapahtuu lämpöputken yläosan ja lämmönsiirtonesteen putken välillä.



Kuva 2.4 Lämpöputkien kuivakytkentä, jossa lämpöputkien päässä lauhtuva höyry luovuttaa lämpöä lämmönsiirtonesteeseen (Rvr.ie 2011).

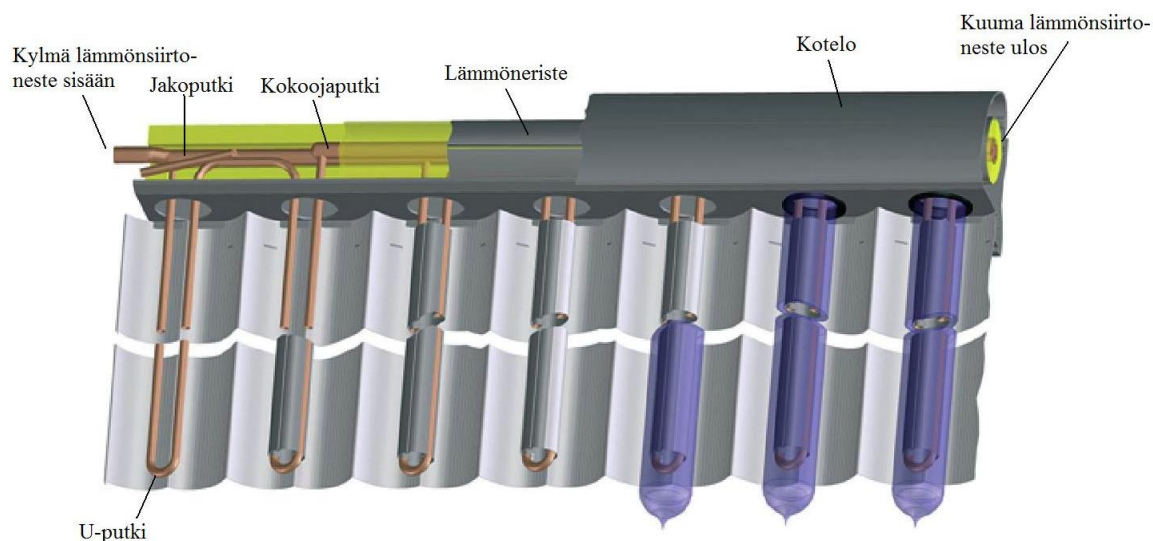
2.2.2 U-putki

U-putki tekniikkaan perustuvassa tyhjiöputkikeräimessä tyhjiön sisällä on kuparinen U-putki, jossa lämmönsiirtoneste kiertää. Auringon säteily lämmittää absorptiopintaa, josta lämpö johtuu kupariputken ympärillä olevaan alumiini sylinteriin, joka siirtää absorboituneen lämmön kupariputken nesteeseen ja samalla pitää putket paikoillaan. U-putki keräimessä käytetään ns. märkäkytkentää, eli lämmönsiirtoneste kiertää koko järjestelmän, eikä yhtä putkea voida vaihtaa tyhjentämättä koko järjestelmää. Lämmönsiirtoneste syötetään U-putkiin ylhäältä yhdestä yhteisestä jakoputkesta ja lämmennyt neste virtaa U-putkista kokoojaputkeen, joka johtaa varaajalle. U-putki keräimissäkin voidaan käyttää keräimien takana paraboloidisia heijastimia parantamaan hyötysuhdetta. Kuvassa 2.5 on esitetty U-putken rakenne.



Kuva 2.5 U-putken rakenne (AndySchroder 2011).

Kuvassa 2.6 on esitetty yksi tapa, miten U-putkien kytkentä kiertopiiriin voidaan toteuttaa. Kuvasta nähdään, että lämmönsiirtoneste tulee kylmänä sisään ja kiertää kahden tyhjiöputken kautta ja sitten virtaa kokoojaputkeen ja edelleen kuumana ulos keräimestä aina varaajaan saakka. Näin aina kaksi putkea on kytketty peräkkäin sarjaan ja lopuksi kaikki on kytketty rinnan. Toinen tapa on kytkeä tyhjiöputket niin, että lämmönsiirtoneste kiertää vain yhden tyhjiöputken kautta suoraan kokoojaputkeen.



Kuva 2.6 U-putkien märkäkytkentä, jossa lämmönsiirtoneste kiertää jokaisessa putkessa (Rittersolar 2007).

2.3 Keskittävä keräin

Keskittävissä keräimissä käytetään paraboloidisia peilejä tai heijastimia suuntaamaan auringonsäteily yhteen fokusointipisteeseen tai -suoraan. Fokusointisuora on viivamainen absorptiopinta, jonka sisällä kulkee lämmönsiirtoneste. Lämpösäteily kohdistetaan absorbaattoriputkeen, jonka sisällä virtaavana lämmönsiirtonesteinä käytetään suuremmissa keräimissä yleensä öljyä ja pienemmissä vesi-glykoli seosta. Keskittävillä keräimillä saavutetaan paljon suurempi lämpötila kuin tasokeräimillä, jopa 1000 °C (Wahlroos 1981. 49). Näin suurella lämpötilalla saadaan vesi höyrystymään ja höyry voidaan johtaa turbiiniin, joka pyörittää generaattoria ja tuottaa sähköä. Pientaloihin tarkoitetuissa keskittävissä keräimissä lämpötila on n. 200 - 300 °C eli huomattavasti alhaisempi, koska vettä ei tarvitse höyrystää, vaan tuotetaan lämpöä käyttöveden lämmitykseen. (Ibid.) Kun keskittävien peilien kanssa käytetään tyhjiöputkitekniikkaa, jäävät lämpöhäviöt absorbaattorista ympäristöön pieniksi. Keskittävät keräimet on suunnattava tarkasti aurinkoon päin, jotta heijastuneet säteet kohdistuvat fokusointilinjalle mahdollisimman tehokkaasti. Keräimien kohdistus toteutetaan yleensä automatisoidulla kääntömoottorilla, joka pitää huolen siitä, että peili

seuraa aurinkoa. Keskittävän keräimen heikkous on, että se tarvitsee suoraa auringonsäteilyä pystyäkseen tuottamaan lämpöä. Pilvisellä säällä, säteilyn ollessa hajasäteilyä, sitä on vaikea kohdistaa absorbaattorille ja lämmönsaanti jää huonoksi. (Hartikka 2001, 59.)

Kuvassa 2.7 on yhden akselin säädöllä varustettu keskittävä keräin.

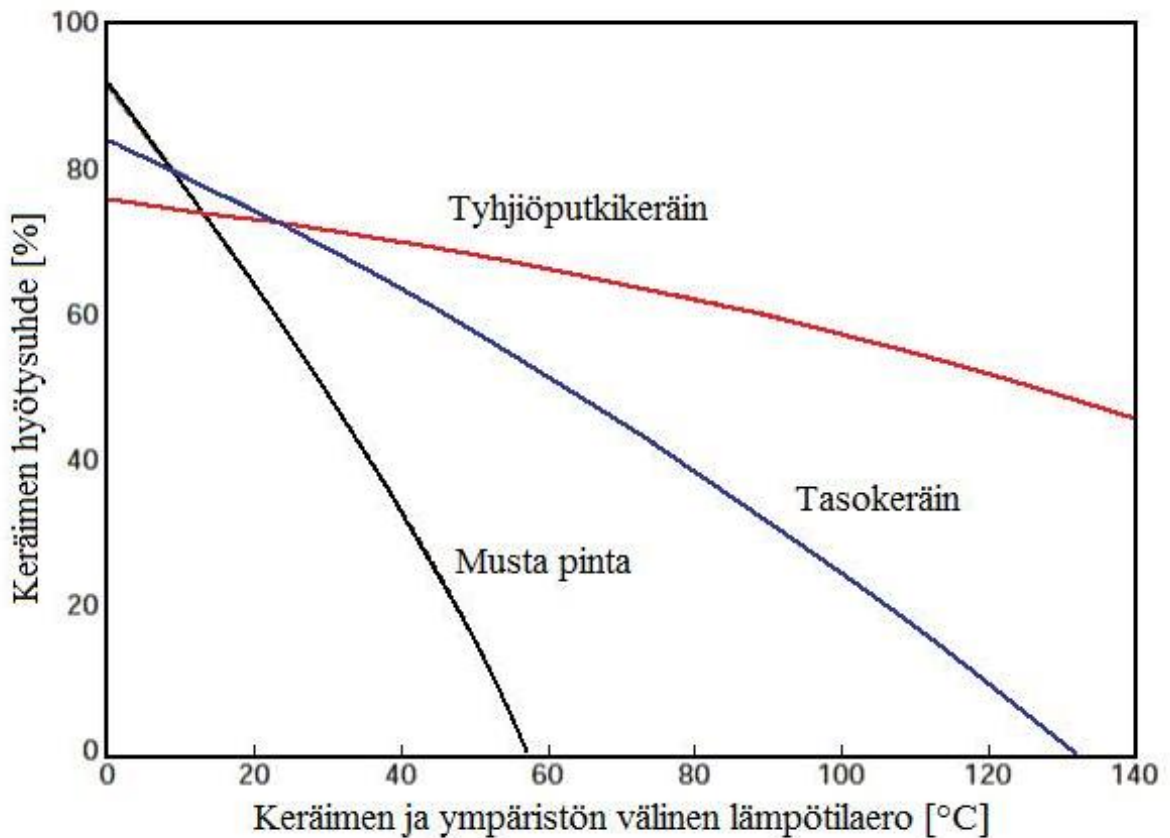


Kuva 2.7 Keskittävä keräin yhden akselin kääntömoottorilla varustettuna. Auringonsäteet kohdistetaan fokusointisuoralle, jossa on tyhjiöputkessa virtaavaa lämmönsiirtonestettä (Solar Thermal Magazine 2011).

2.4 Yhteenveto keräimistä

Tässä luvussa on esitetty keräimien hyötysuhdekuvaajan avulla niiden hyviä ja huonoja puolia sekä mihin käyttötarkoituksiin ne soveltuvat parhaiten.

Kuvassa 2.8 on esitetty erityyppisten keräimien hyötysuhteet keräimen ja ympäristön lämpötilaeron funktiona.



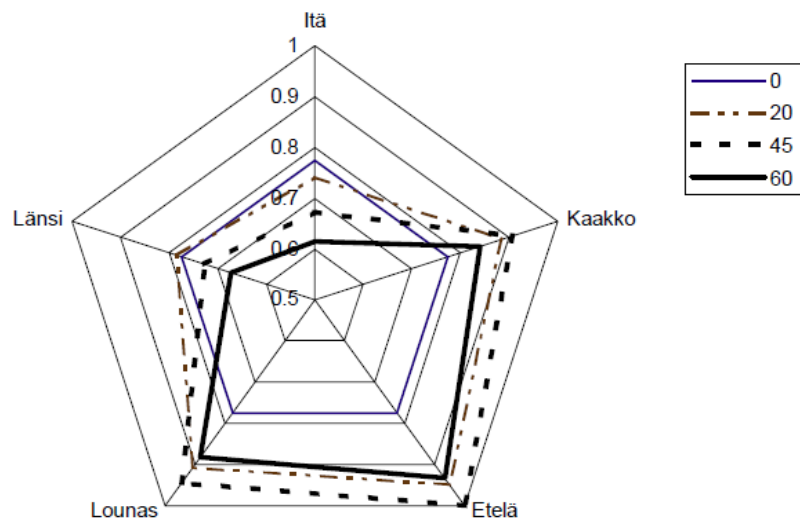
Kuva 2.8 Eri keräin tyyppien hyötysuhdekäyrät lämpötilaeron funktiona (HVCA 2011, muokattu).

Kuvasta 2.8 nähdään, että tyhjiöputkikeräin on hyötysuhteen kannalta kaikista riippumattomin keräimen ja ympäristön välisestä lämpötilaerosta. Sen hyötysuhdetta alentaa vain se että, keräimestä hyödyksi saatava lämpö pienenee, kun keräimen lämpötilaa nostetaan. Kun lämpötilaero suurenee, niin hukkalämmönsiirto tasokeräimestä ja mustalta pinnalta ympäristöön kasvaa nopeasti. Musta pinta absorboi pienellä lämpötilaerolla parhaiten auringonsäteilyä, mutta suuremmilla lämpötiloilla ilman selektiivistä lasia tai katetta lämpösäteily pääsee karkaamaan levyn pinnalta ja

huonontaa keräimen hyötysuhdetta. Musta pinta soveltuukin hyvin matalalämpöiseen lämmitykseen esim. uima-altaiden lämmitykseen, koska siinä sen hyötysuhde on parhaimmillaan. Tasokeräimellä paras tuotto saadaan yleisimmin, kun sitä käytetään käyttöveden lämmittämiseen. Tyhjiöputkikeräimellä hyötysuhde pysyy suhteellisen korkealla, vaikka lämpötilaero kasvaisikin. Näin ollen tyhjiöputket soveltuvat hyvin lämpimän käyttöveden lämmittämiseen sekä huonetilojen lämmittämiseen syksyisin ja keväisin.

Aurinkokeräinten vuosituottoon vaikuttaa suuresti keräinten sijoitus ja suuntaus. Paras saanto saadaan, kun keräimet suunnataan etelään ja kallistetaan 30 - 60 asteen kulmaan. Näistä arvoista poikkeaminen vähentää saantoa. Talvisin, kun aurinko paistaa matalammalta, saadaan jyrkemmällä kallistuksella parempi saanto. Vastaavasti kesäisin auringon paistaessa korkeammalta, tulisi keräimen kallistuksen olla pienempi. Lisäksi Suomen oloissa keräimet on hyvä kallistaa vähintään 22 - 25 asteen kulmaan, jotta lumi ei kertyisi niiden päälle. (Solpros 2006b.)

Kuvasta 2.9 nähdään, miten kallistus- ja suuntauskulmat vaikuttavat vuosittaiseen lämmön saantoon Suomen oloissa. Paras saanto on saatu 45 asteen kulmaan kallistetulla etelään suunnatulla keräimellä. Muutenkin 45 asteen kulmaan kallistaminen näyttäisi tuottavan parhaan saannon, kunhan keräin on suunnattu lounaan ja kaakon välille.



Kuva 2.9 Keräimen kallistuksen ja suuntauksen vaikutus vuosittaiseen lämmön saantoon Suomen oloissa. 1=paras tuotto(300-400kWh/m² vuodessa). (Solpros 2006b).

3 LÄMPÖENERGIAN VARASTOIMINEN

Lämpöenergian varastointi on tärkeä osa aurinkolämmitysjärjestelmää, koska auringon energiaa ei ole aina saatavilla silloin, kun sitä tarvittaisiin. Tyypillisen suomalaisen pientalon vuotuinen lämmitystarve on n. 20 000 kWh. Aurinkokeräämistä saadaan lämpöä keskimäärin 340 kWh/m²a. Eli koko lämmitystarpeen kattamiseksi tarvittaisiin n. 60 m² kokoinen kerääjä, joka pystytään helposti asentamaan talon katolle. Ongelmaksi tulee se, miten varastoida auringonenergia tehokkaasti ja edullisesti niin, että se riittää silloin, kun sitä ei pystytä tuottamaan keräimillä. Seuraavaksi on esitetty erilaisia ratkaisuja aurinkoenergian lyhyt- ja pitkäaikaiseen varastointiin. (Erat et al. 2001, 121. 122.)

3.1 Tuntuvan sisäenergian varastointi

Yleisimmin käytetty lämpöenergian varastointitapa on siirtää lämpö suoraan keräimestä lämminvesivaraajan veteen suljettuna kiertona eli lämmönsiirtimen kautta. Tuntuvan sisäenergian varastointi tapahtuu nostamalla varastoivan aineen lämpötilaa vakioaineessa, muuttamatta sen olomuotoa tai kemiallista koostumusta. Tuntuvana sisäenergiana varastoitu lämpöenergiämäärä voidaan laskea yhtälöllä (3.1).

$$E = m \int_{T_0}^{T_1} c_p dT \quad (3.1)$$

josta edelleen
$$E = mc_{p,av}(T_1 - T_0) \quad (3.2)$$

missä

E varastoitu lämpöenergia varaajassa[kJ]

m veden massa[kg]

$c_{p,av}$ veden keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti lämpötilassa $((T_1+T_0)/2)$ [kJ/kgK]

T_0 veden lämpötila ennen lämmitystä[K]

T_1 veden lämpötila lämmityksen jälkeen[K]

Varaajan koko riippuu, siitä kuinka kauan halutaan pystyä toimimaan ilman, että varaajaa saadaan ladattua aurinkolämmöllä. Esimerkiksi neljän hengen omakotitalossa varaajan koon tulisi vastata n. 2 - 3 päivän lämpimänkäyttöveden kulutusta. nelihenkinen perhe kuluttaa päivässä n. 120 - 200 litraa lämmintä vettä, joten varaajan tulisi olla n. 250 - 600 litraa. Suurempi keräinpinta-ala tarvitsee luonnollisesti suuremman varaajan. Tulee kuitenkin muistaa että, varaajan lämpöhäviö on suoraan verrannollinen varaajan pinta-alaan. Turhan suuria varaajia tulee välttää. Lämpöhäviöitä pienennetään eristämällä varaaja. Useimmiten varaajan eristeenä käytetäänkin n. 25 cm paksua mineraalivillakerrosta, joka on lisäksi pinnoitettu ohuella alumiinipellillä. Suhteellinen lämpöhäviö eli häviöteho per tilavuus on pienempi isoilla varaajilla. (Wahlroos 1981, 80.)

Lämpöhäviöt varaajasta ympäristöön ovat verrannollisia eristyksen paksuuteen, varaajan pinta-alaan, materiaalien lämmönjohtavuuteen ja varaajan lämpötilaan. Niinpä turhan suurella varaajan lämpötilalla hukataan energiaa. Lisäksi veden lämmönjohtavuus kasvaa, kun sen lämpötila nousee. Tämä nostaa myös osaltaan lämpöhäviöiden määrää.

Lämminvesivaraaja on tarkoitettu vain lyhytaikaiseen lämmön varastointiin. Lämminvesivaraajan hyviä puolia ovat varastointiaineen eli veden edullisuus, sen hyvä lämmönvarastointikyky, sillä veden ominaislämpö on 1,16Wh/kgK tai 4,18kJ/kgK (Hälvä 1996) sekä vesi ei myöskään aiheuta korroosiota suljetussa säiliössä. Vettä on helposti saatavilla, eikä se ole myrkyllistä.

Lämminvesivaraajasta puhutaan, kun sitä käytetään vain lämpimänkäyttöveden varastointiin. Varaajasta taas puhutaan, kun siihen on liitetty lämpimänkäyttöveden lisäksi myös esim. patteriverkosto tai lattialämmitys. Aurinkovaraajasta voidaan puhua, kun varaajan vesi on lämmitetty ainoastaan aurinkolämmöllä.

Tuntuva sisäenergiaa voidaan veden lisäksi varastoida muihin materiaaleihin kuten kiveen. Kivivaraaja voi olla esim. talon alla. Kivivaraajan kanssa käytetään ilmakeräimiä. Lämmitetty ilma puhalletaan varaajan sisälle, jossa lämpö siirtyy kiveen. Saman lämpöenergian varastoimiseksi tarvitaan n. kolme kertaa suurempi tilavuus kiveä kuin vettä. (Wahlroos 1981, 77.)

3.2 Latenttilämmön varastointi

Latenttilämpöä voidaan varastoida ns. PCM eli (Phase change materials) faasimuutosmateriaalien avulla. PCM-varaajat hyödyntävät materiaalissa tapahtuvaa faasin muutosta, jonka yhteydessä vapautuu tai sitoutuu energiaa. Faasin muutos tapahtuu yleensä välillä kiinteä-neste. On olemassa myös PCM-materiaaleja joissa tapahtuu kiinteän aineen muuttumista kaasuksi ja takaisin. (Talvenmaa 2007, 5.)

PCM-materiaaleina käytetään epäorgaanisia ja orgaanisia suoloja, parafiineja ja rasvahappoja. Suolat aiheuttavat korroosioita metalleissa. Lisäksi suolat voivat menettää varauskyykyään useiden lataus-purku kertojen jälkeen kun liuos vanhenee eli kiteet eivät enää liukene liuokseen. Tässä suhteessa rasvahapot ovat parempia, mutta niillä on huonompi lämmön varauskyyky. (Ibid.)

Faasin- eli aineen olomuodon muutos tapahtuu vakiolämpötilassa, täten PCM:n avulla voidaan varastoida suuri määrä lämpöä pienellä lämpötilaerolla. PCM-varastojen ongelmana on kuitenkin niiden huono lämmönjohtavuus, joka johtaa hitaisiin lataus- ja purkunopeuksiin. Tähän ongelmaan voidaan vaikuttaa materiaalivalinnoilla, esim. grafiittikomposiittimateriaalin käyttö nostaa lämmönjohtavuutta huomattavasti. Ideaalinen PCM-materiaali on sellainen, jolla on suuri latenttilämpö, joka johtaa hyvin lämpöä, jonka sulamislämpö on oikealla lämpötila-alueella ja joka on edullinen. (Alanen et al. 2003, 14.)

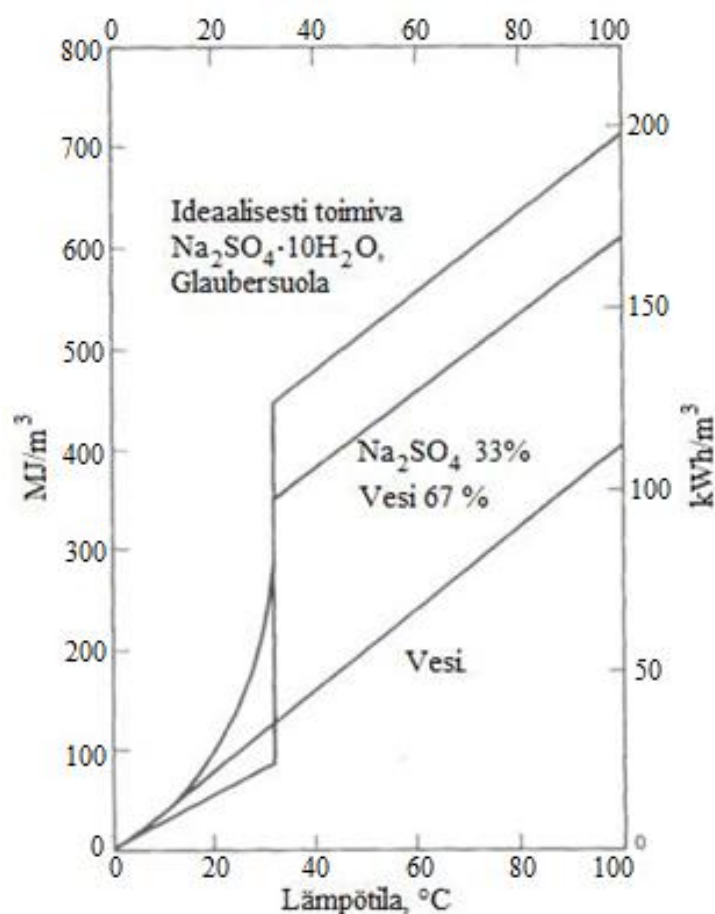
Faasimuutosmateriaaliin sitoutuva latenttilämpöenergia voidaan laskea yhtälöllä (3.3), kun tiedetään aineen latenttilämpö l ja faasia muuttavan aineen $\Delta m = m_{f1} - m_{f2}$, missä m_{f1} on faasissa f olevan aineen massa alussa ja m_{f2} faasissa f olevan aineen massa lopussa.

$$Q = \Delta m \quad (3.3)$$

josta saadaan edelleen
$$Q = l(m_{f2} - m_{f1}) \quad (3.4)$$

PCM-materiaaleilla pystytään varastoimaan n. 5-14 kertaa enemmän lämpöenergiaa kuin suoraan tuntuva sisäenergia varastoivilla materiaaleilla, koska aineen latenttilämpö on huomattavasti suurempi kuin tuntevan sisäenergian muutos tyypillisellä lämpötilaerolla. (Talvenmaa 2007, 5.)

Kuvassa 3.1 on esitetty yhden yleisimmän PCM-materiaalin, Glaubersuolan, sen vesiseoksen ja puhtaan veden lämmönvarastointikyky lämpötilan funktiona.



Kuva 3.1 Glaubersuolan lämmönvarastointikyky lämpötilan funktiona (Sorensen 2004, 547, muokattu).

Kuvasta 3.1 nähdään, että veden lämmönvarastointikyky on lineaarista välillä 0-100°C, jonka jälkeen alkaa veden faasinmuutos. Ideaalisesti toimivalla glaubersuolalla faasinmuutos tapahtuu kuitenkin jo alle 40 °C ja se pystyy varastoimaan enemmän lämpöenergiaa itseensä kuin vesi, vaikka molempien loppulämpötila on sama 100 °C. Käytännössä glaubersuola tarvitsee kuitenkin vettä toimiakseen, eikä sillä näin ollen päästä aivan sen ideaaliseen lämmönvarastointikykyyn.

Taulukossa 3.1 on esitetty käytössä olevien suolahydraattien sulamispisteet ja niitä vastaavat sulamislämmöt tilavuutta kohti.

Taulukko 3.1. Suolahydraattien sulamispisteet ja niitä vastaavat sulamislämmöt tilavuutta kohti (Sorensen 2004, 548, muokattu).

Suolahydraatti	Sulamispiste (°C)	Sulamislämpö tilavuutta kohti (MJ/m ³)
CaCl ₂ · 6H ₂ O	29	281
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	32	342
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	33	360
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	35	205
Na ₂ HPO ₄ · 7H ₂ O	48	302
Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	48	346
Ba(OH) ₂ · 8H ₂ O	78	655

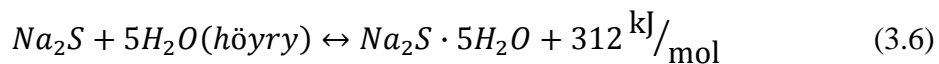
3.3 Termokemiallinen lämmön varastointi

Termokemialliset lämpövarastot perustuvat kemiallisissa reaktioissa vapautuvaan tai sitoutuvaan reaktiolämpöön. Termokemiallisia varastoja ladataan, syöttämällä niihin aurinkokeräimistä saatavaa lämpöenergiaa. Yleisimmin käytettyjä lämmönvarastointiaineita ovat suolaliuokset, joissa suolahydraatti esim. Na₂*5H₂O vapauttaa vettä, kun liuosta lämmitetään ja vapauttaa lämpöä, kun yhdiste muodostuu uudestaan. (Ibid.)

Alla esitetystä yhtälöstä (3.5) nähdään termokemiallisen varastoinnin peruseriaate.



Seuraavaksi on esitetty esimerkkinä Natriumsulfidin reaktioyhtälö (3.6).



Suolojen hyviä puolia ovat: Liukenemis- ja kiteytymislämpötilat ovat (30 - 80 °C) sopivalla alueella aurinkolämmityksen kannalta. Suolojen liukenemislämmöt ovat kohtalaisen suuria, noin 40 - 70 Wh/kg (144 - 252 kJ/kg). Termokemiallisen varastoinnin ongelmana on reaktioiden toistettavuus, sekä suolaliuoksilla erityisesti sen aiheuttama korroosio varastoissa ja suolan sakkautuminen varaajan pohjalle. (Wahlroos 1981, 82.)

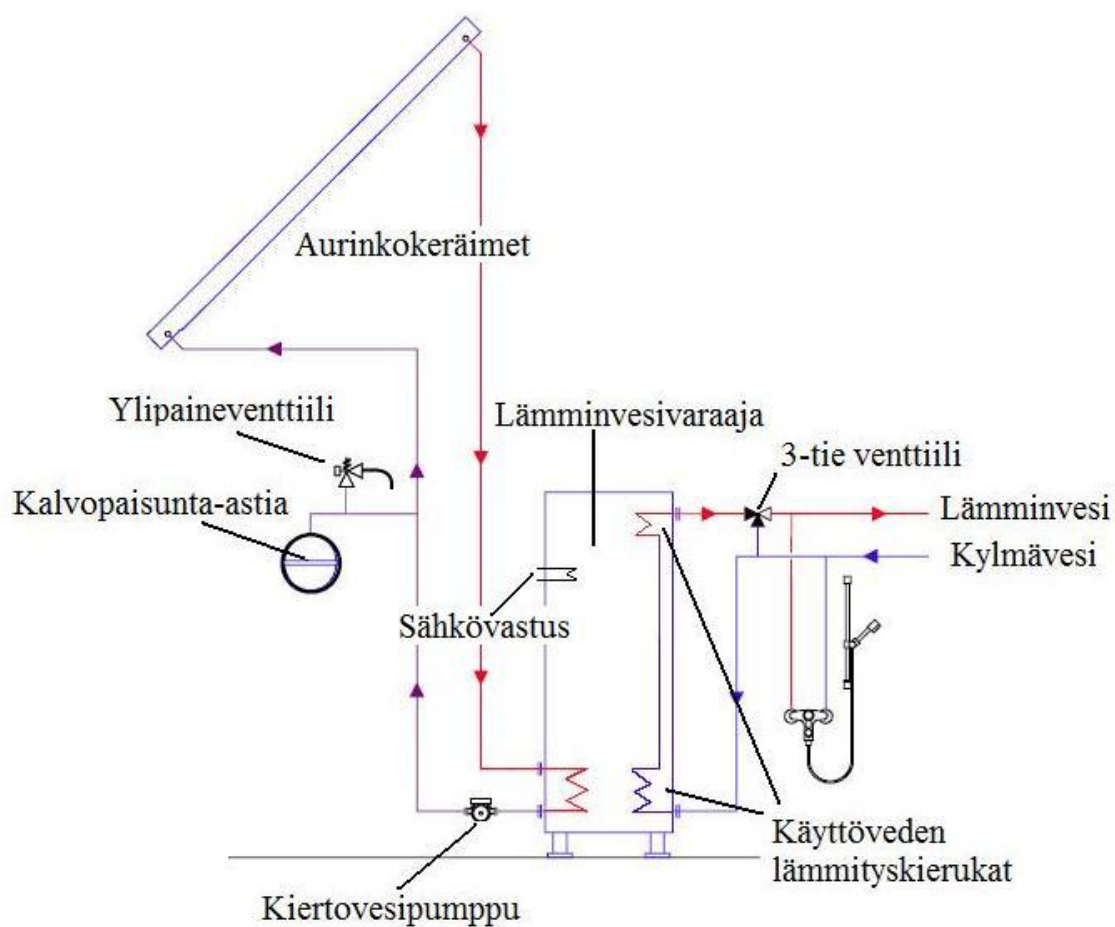
4 KYTKENTÄRATKAISUT SUOMEN OLOISSA

Kuten aikaisemmin todettiin, Suomen olot eivät ole ihanteelliset aurinkolämmön käytölle. Talvisin, kun lämmityksen tarve on suurin, energiaa ei ole saatavilla tarpeeksi auringosta. Kesäisin, kun talojen lämmitykseen ei tarvita energiaa, sitä on saatavilla auringosta. Se tarkoittaakin sitä, että aurinkolämmön käyttökohteet Suomen oloissa ovat lähinnä käyttöveden lämmitys ja syys-kevät aikaan osittain huonetilojen lämmitys sekä märkätilojen lämmitys. Seuraavaksi on esitetty kytkentäratkaisuja käyttäen lämmön varastointiin vesivaraajaa.

4.1 Käyttöveden lämmitys

Käyttöveden lämmitys tapahtuu lämminvesivaraajassa. Aurinkokeräinjärjestelmän lämminvesivaraaja sijoitetaan aina pystyasentoon, jotta kuuma vesi saadaan pidettyä varaajan yläosassa ja kylmä vesi sen alaosassa. Lämpötilakerrostuneisuus on tärkeä asia, jotta kerääjän hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana. Varaajan alaosasta syötetään keräimille kylmää vettä lämmitettäväksi ja lämmennyt vesi tuodaan takaisin kerääjän alaosaan. Aurinkokeräimien ja varaajan välinen lämmönsiirto toteutetaan yleensä kampakupariputkikierukkaa tai ulkoista lämmönsiirrintä käyttäen. Lämminkäyttövesi lämmitetään varaajassa joko yhdessä tai kahdessa paikassa. Yhdellä käyttöveden lämmityskierukalla toteutetussa lämpimänkäyttöveden otossa vesi otetaan suoraan varaajan yläosasta. Kahden kierukan tapauksessa vesi esilämmitetään varaajan alaosassa, jolloin varaajan alaosan vesi pysyy kylmänä ja lopullinen lämmitys tapahtuu varaajan yläosassa, jossa on kuumempaa vettä. (Motiva 2009, 6.) Lämpötilakerrostuneisuuden toinen tärkeä tehtävä on energian säästäminen. Kun varaajan yläosasta saadaan otettua kuumaa vettä, ei koko varaajaa tarvitse lämmittää kuumaksi (Lindström 2008, 19). Lämminvesivaraajan lämpötila ei saa alittaa 55 °C, koska silloin varaajaan saattaa syntyä bakteereja. Yleisarvona onkin pitää varaajassa yli 65 °C lämpötila, jolloin bakteereja ei pääse syntymään. Kun auringosta ei saada riittävästi lämpöä, kytkeytyy sähkövastus päälle ja lämmittää varaajan halutulle lämpötilatasolle. (Lindström 2008, 18.)

Aurinkokeräimistä lämminvesivaraajaan syötettävän lämmönsiirtoaineen lämpötila voidaan säätää halutuksi, esim. 80 °C. Ohjausjärjestelmä säädetään siten, että pumppu käynnistyy ja alkaa kierrättää lämmönsiirtonestettä keräimestä varaajaan, kun keräimen lämpötila on 5 - 10 °C korkeampi kuin varaajan. Näin estetään lämmön karkaaminen varaajasta pois, kun aurinko ei paista. Kuvassa 4.1 on esitetty lämpimän käyttöveden kytkentä aurinkolämmitysjärjestelmään.



Kuva 4.1 Lämpimän käyttöveden kytkentä aurinkolämmitysjärjestelmään (Motiva 2009, 9, muokattu).

4.2 Lattialämmitys

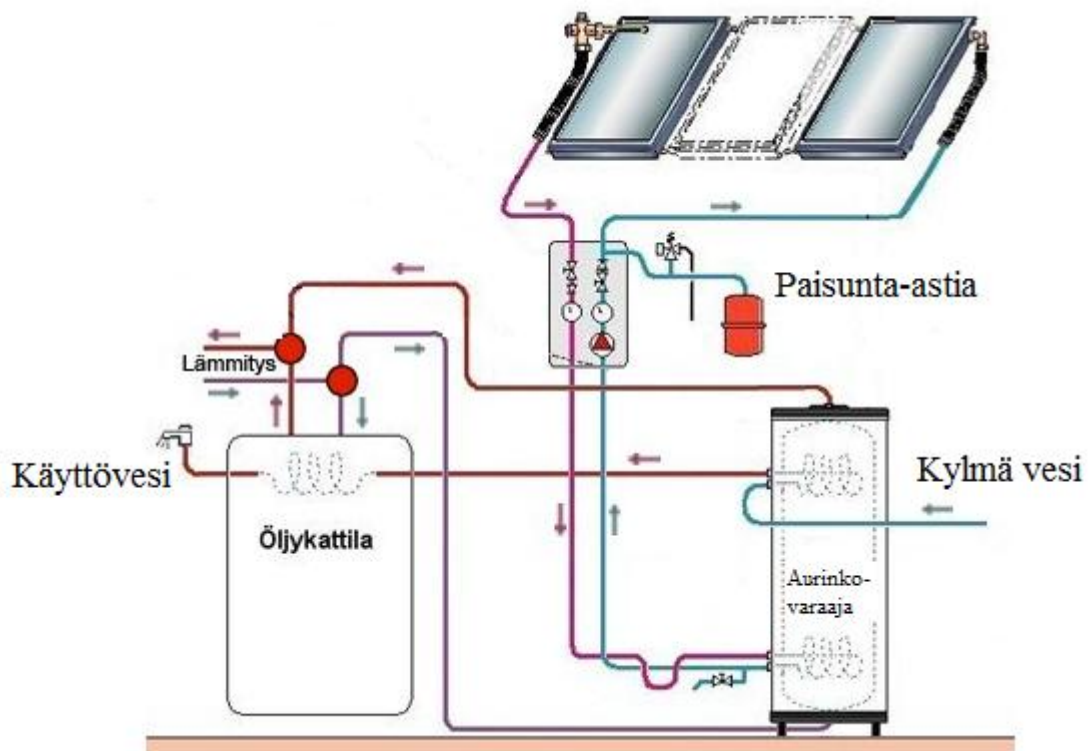
Käyttöveden ja huonetilojen lämmityksen ohella lattialämmitys on oiva tapa hyödyntää aurinkolämpöä. Märkätilat, kuten kylpy- ja pesuhuoneet tarvitsevat kuivuakseen

ympärivuotista lämpöä. Märkätiloissa käytetäänkin yleensä vesikiertoista lattialämmitystä. Myös vesikiertoista ”rättipatteria” voidaan käyttää märkätilojen kuivatukseen. Lattialämmityksen lämpötila on usein n. 30 - 35 °C, eli juuri sillä alueella, jolla aurinkolämmitysjärjestelmällä saadaan tuotettua tehokkaasti lämpöä (Hartikka 2001). Lattialämmitystä tarvitaan myös talvisin eli pelkällä aurinkolämmöllä ei pystytä kattamaan koko vuoden lämmitystarvetta. Tämän takia lattialämmitys on usein kytketty aurinkolämmitysjärjestelmän lisäksi esimerkiksi öljykattilaan. Lattialämmityksen kytkentä on esitetty kuvassa 4.2.

4.3 Hybridi(Aurinkokeräin-öljykattila)

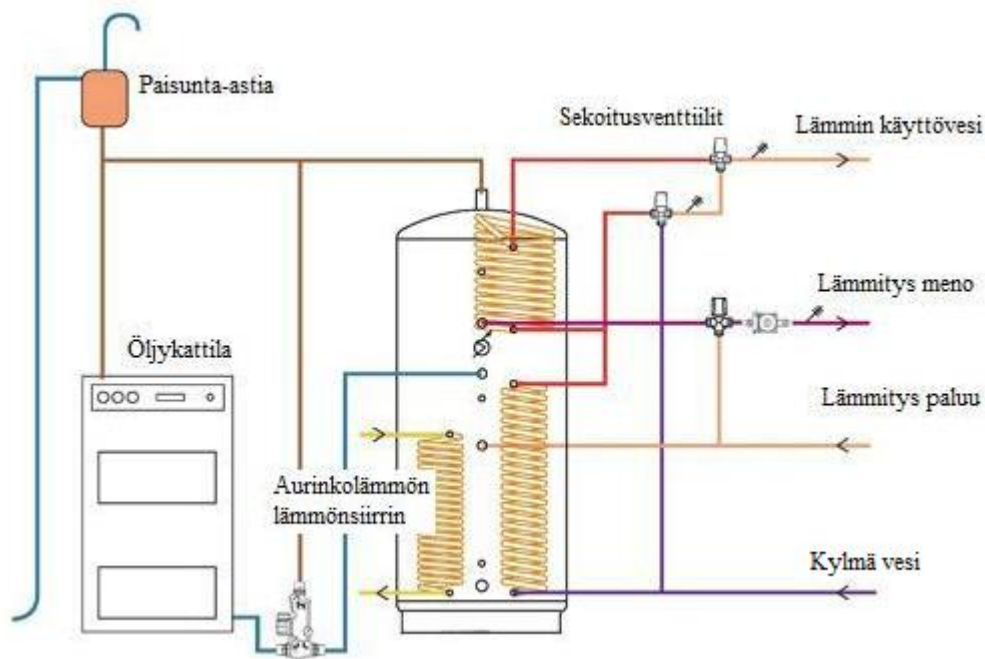
Aurinkolämmityksellä pystytään Suomen oloissa 5 - 10m² keräimellä kattamaan n. 40 - 60 % pientalon käyttövedenlämmityksestä ja n. 15 - 20 % koko talon lämmitystarpeesta, joten on helppo huomata, että sen rinnalle tarvitaan toinen lämmitysmuoto kattamaan loput lämmitystarpeesta. Etenkin talvisin, kun aurinkolämmön saanto on huono ja lämmitystarve suuri, voidaan kytkeä päälle öljykattila joka tuottaa loput tarvittavasta lämmöstä. (Solpros 2001.)

Öljykattila voidaan kytkeä usealla tavalla rinnan aurinkolämmitysjärjestelmän kanssa. Seuraavaksi esitetään kaksi kytkentätapaa. Aurinkokeräimistä saatava lämpö johdetaan aurinkovaraajaan, jossa se lämmittää varaajan veden tietyn lämpöiseksi, ei kuitenkaan riittävän kuumaksi. Tässä puhutaan aurinkovaraajasta, koska siinä oleva vesi on lämmitetty vain käyttäen aurinkoenergiaa. Lämmintä käyttövetä saadaan, kun varaajan läpi johdetaan kuparikampakierukasta kylmää vesijohtovettä, joka esilämpenee kulkiessaan varaajan läpi. Esilämmitetty vesi johdetaan öljykattilaan, jossa vesi lämmitetään käyttölämpötilaan. Huonetilojen lämmitysvesi, esim. lattialämmitykseen tai patteriverkoston, kierrätetään myös ensin aurinkovaraajan yläosan kautta ja syötetään pattereille. Lisäksi öljykattilasta voidaan ottaa lisälämpöä pattereille. Lämpöenergiansa luovuttanut neste palautuu kattilaan ja varaajaan. Kuvassa 4.2 on esitetty aurinkokeräimen ja öljykattilan hybridi-kytkentä.



Kuva 4.2 Aurinkokeräimen ja öljykattilan yhteiskytkentä (Rica 2011, muokattu).

Myös toisessa kytkentäratkaisussa aurinkokeräinten lämpö johdetaan varaajaan. Lämmöntarpeen ylittäessä aurinkokeräinten kapasiteetin, kytkeytyy kattila päälle ja se lämmittää suoraan varaajan veden loppulämpötilaansa. Kuvassa 4.3 on esitetty aurinkokeräimen ja öljykattilan kytkentä, jolla lämmitetään varaajan vettä.



Kuva 4.3 Hybridikytkentä, jossa aurinkokeräimillä ja öljykattilalla lämmitetään varaajan vettä (Solgruppen 2011, muokattu).

Muutama asia, jotka on hyvä huomioida aurinkolämmitysjärjestelmän kytkennöissä. Lämmönsiirtonesteen siirtomatka keräimestä varaajaan tulisi olla mahdollisimman lyhyt ja järjestelmä hyvin eristetty lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Kalvopaisunta-astian tulisi olla riittävän suuri, jotta lämmönsiirtoneste mahtuu höyrystyessään paisumaan, jos esim. kiertovesipumppu hajoaa aurinkoisena päivänä. Paisunta-astia tasaa järjestelmän paineenmuutoksia myös silloin, kun järjestelmä lämpenee auringon säteilytehon kasvaessa ja kylmenee auringon säteilytehon laskiessa. Paineen noustessa liian suureksi aukeaa varoventtiili ja päästää liian paineen pois putkistosta. (Solpros 2006b.)

5 ASENNETTU AURINKOLÄMPÖKAPASITEETTI SUOMESSA JA MAAILMALLA

Vuonna 2008, 53:ssa maailman eniten aurinkolämpöä tuottavassa maassa asennettu aurinkokeräinkapasiteetti oli 151,7 GW_{th}, joka arvion mukaan vastaa n. 85 - 90 % koko maailmassa asennetusta kapasiteetista. Kapasiteetin ja pinta-alan vertailuarvona käytettiin 0,7 kW_{th}/m², josta saadaan asennetuksi kokonaiskeräinpinta-alaksi 217 miljoonaa m². Maailmassa vuonna 2008 tuotettu aurinkolämmitysenergia oli 110 TWh, tämä vastaa 12,4 miljoonaa öljy ekvivalentti tonnia. (IEA 2010, 5.)

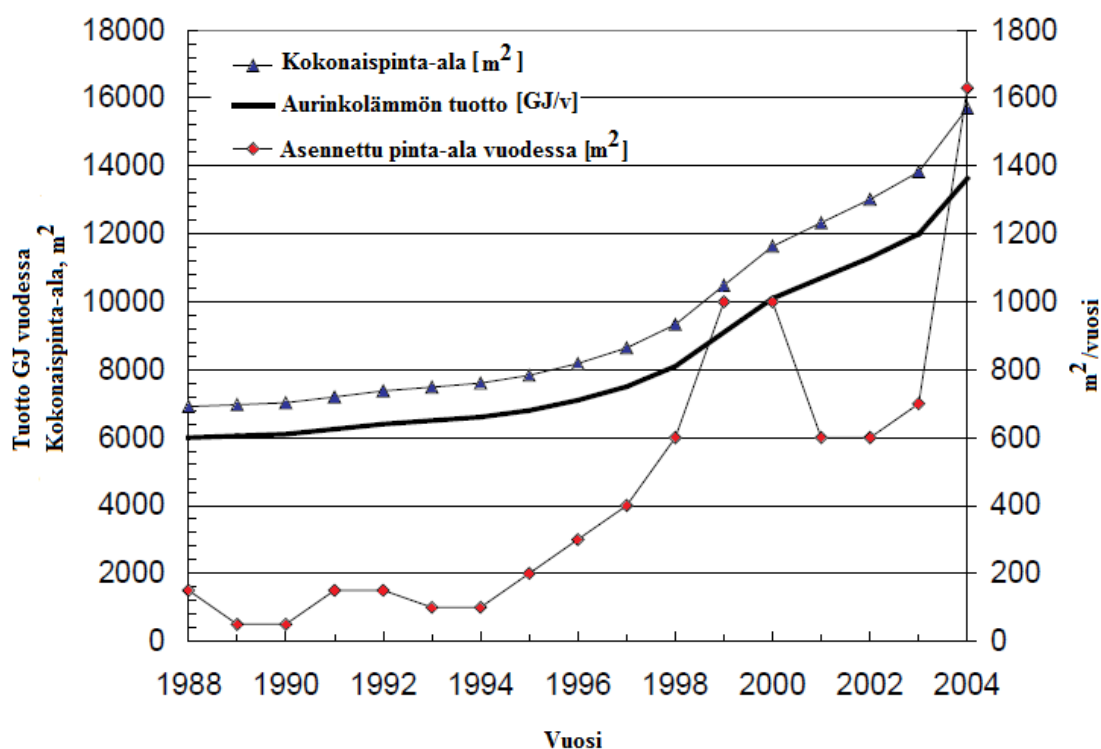
Hallitsevana keräintyyppinä maailmalla on tyhjiöputkikeräin n. 54 % osuudella asennetusta kokonaiskeräinkapasiteetista. Kiina on tyhjiöputkikeräinten edelläkävijämaa. Suurin osa Kiinan keräimistä on painovoimakiertoisia ns. termosifoni tyhjiöputkikeräimiä. Tasokeräimet taas ovat yleisimpiä aurinkokeräimiä muualla maailmassa. Niiden osuus kokonaiskapasiteetista on 32,6 %. Markkinoiden kolmanneksi suurin keräinryhmä ovat kattamattomat muovikeräimet, joiden osuus on 12,4 %. Viimeisenä ovat ilmakeräimet, 0,8 % osuudella. (Ibid.)

Kiina on tällä hetkellä maailman johtava aurinkokeräinmaa 87,5 GWh_{th} asennetulla kapasiteetilla, joka vastaa noin puolta koko maailman asennetusta aurinkokeräinkapasiteetista. Seuraavana tulevat Eurooppa 28,5 GW_{th} ja USA & Kanada 15,1 GW_{th}. Kiinaan asennetaan vuosittain enemmän uutta aurinkolämmityskapasiteettia kuin minnekään muualle. Markkinoiden suhteellinen kasvu on kuitenkin nopeinta Euroopassa, jossa vuodesta 2007 vuoteen 2008 kasvua tapahtui 62,5 %. Israel ja Kypros ovat asukasluokan suhteutettuna suurimpia aurinkolämmön tuottajia taso- ja tyhjiöputkikeräimillä. (IEA 2010, 12.)

Suomessa asennettu keräinkapasiteetti oli vuoden 2008 lopulla 25,4 MW_{th}, josta tasokeräimien osuus 96 % ja loput 4 % tyhjiöputkikeräimiä. Suomessa kasvua vuodesta 2007 vuoteen 2008 tapahtui 3,4 MW_{th}, joka on n. 15 %. Suomen osuus maailman aurinkokeräinmarkkinoista oli vuoden 2008 lopussa n. 0,02 %. (IEA 2010, 9.) Suomessa tuotettiin aurinkolämpöä 12,9 GWh vuonna 2008 (IEA 2010, 24). Se vastaa

n. 0,0033 % vuoden 2008 Suomen kokonaisenergian kulutuksesta, joka oli 389,9 TWh (Tilastokeskus 2010).

Kuvassa 5.1 on esitetty aurinkolämmön kehitystä Suomessa vuosina 1988–2004. Kuvasta nähdään, että vuosien 1988 ja 1994 välisen ajan vuosittain asennettu kapasiteetti pysyi melko tasaisena, jonka jälkeen kasvuvauhti kiihtyi $1000 \text{ m}^2/\text{vuosi}$ aina 2000 vuoteen saakka. Kuvan notkahduksen vuosien 2000 - 2003 välillä aiheutti maailmanmarkkinoiden epävarmuus, joka aiheutui osaltaan USA:n terrori-iskuista. Markkinat alkoivat tasapainottua taas vuoden 2004 paikkeilla.



Kuva 5.1 Aurinkolämmön kehitys Suomessa vuosina 1988–2004 (Solpros 2006a).

Liitteessä I on esitetty 53:n tutkimuksessa mukana olleen maan asennettu aurinkokeräin kapasiteetti vuoden 2008 lopussa.

6 AURINKOLÄMMITYKSEN POTENTIAALI SUOMESSA JA MAAILMALLA

Auringon säteilyn teho vaihtelee huomattavasti maapallon eri alueilla. Tulevan säteilyn tehoon vaikuttavat erityisesti maantieteellinen sijainti, ilmasto ja vuodenaajat. Auringossa tapahtuvissa vedyn fuusioreaktioissa vapautuvaa energiaa saapuu säteilynä maapallolle noin $1,7 \times 10^{14}$ kW teholla. Tämä teho vastaa lähes 20 000 kertaisesti maapallolla nykyään käytettävää tehoa (Wahlroos 1981, 10). Tästä voidaan päätellä, että aurinkolämmityksen potentiaali on valtava.

Maapallon ilmakehä vähentää maahan tulevan auringonsäteilyn tehoa n. 40 %:a siitä, mitä se on ilmakehän ulkopuolella. Maahan saapuvan säteilyn teho aurinkoisena päivänä on keskimäärin 800 - 1000 W/m². Tätä tehoa ei kuitenkaan saada jatkuvasti, vaan Suomen oloissa vain n. 1200 - 1700 tuntia vuodessa. Vuosittainen auringonsäteilyenergian saanti on luokkaa 950 kWh/m²a vaakatasoon sijoitetulle keräimelle Etelä-Suomessa. Päiväntasaajan tienoilla Etelä-Afrikassa samalle pinta-alalle taas kohdistuu energiaa yli kaksinkertainen määrä eli n. 2000 kWh/m²a (IEA 2010, 45). Suurimmat vuosisäteilyt saadaankin juuri päiväntasaajan seudulla, koska siellä on keskimääräistä enemmän aurinkoisia päiviä ja säteily tulee lähes kohtisuoraan vaakatasolle. Hyödyksi näistä aurinkoenergian säteilymääristä saadaan Suomen oloissa kuitenkin vain n. 150 - 600 kWh/m²a riippuen keräimen hyötysuhteesta, kallistus- ja suuntauskulmasta sekä siitä, kuinka lämpimänä vesi halutaan ottaa ulos keräimestä. (Kara et al. 1999, 240.)

Taulukossa 6.1 on esitetty keskimääräiset auringonpaistetunnit Helsingissä ja Utsjoella. Taulukosta nähdään, että paistetunnit vähenevät, kun mennään pohjoisemmaksi. Helsingissä auringonpaistetta saadaan marraskuusta helmikuuhun vielä jonkin verran, mutta Utsjoella vastaavina aikoina paistetunnit ovat lähes nollassa Auringon alhaisen paistekulman takia.

Taulukko 6.1 Keskimääräiset auringonpaistetunnit, Helsinki ja Utsjoki (Erat et al. 2001, 25).

Kuukausi	Helsinki	Utsjoki
Tammikuu	39	1
Helmikuu	72	36
Maaliskuu	130	116
Huhtikuu	183	168
Toukokuu	275	203
Kesäkuu	298	232
Heinäkuu	275	239
Elokuu	222	142
Syyskuu	135	84
Lokakuu	90	48
Marraskuu	37	7
Joulukuu	28	0
Yhteensä	1784	1276

Suomen oloissa lämmitystarve ja aurinkokeräimistä saatava lämpö eivät kohta samoina ajankohtina. Kaikkein kylmimpinä kuukausina, jolloin lämmitystä tarvitaan eniten, on myös pimeintä ja aurinkoenergian saanti on lähes nollassa. Suomessa aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan lämpöä helmikuusta lokakuuhun. Vuotuisesta säteilyenergiasta saadaan maaliskuu-syyskuussa 90 %. Lämmityskauden ollessa syyskuusta toukokuuhun, voidaan havaita, että kesä-, heinä- ja elokuu, jotka ovat parhaat kuukaudet aurinkolämmön saannin kannalta, eivät ole lämmityskuukausia. Kun mennään päiväntasaajalle, tilanne on toinen. Aurinkoenergiaa on saatavilla lähes vuodenajasta riippumatta. Asuinrakennuksia ei tarvitse lämmittää lämpimämmästä ilmastosta johtuen, joten lämpöä voidaan käyttää ympärivuotisesti esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Kiinassa 95 % aurinkolämmöstä käytetäänkin käyttöveden lämmittämiseen. (Solpros 2001.)

Aurinkolämmön kokonaispotentiaali Suomen oloissa ilman suuria kausivarastoja on arviolta n. 3 - 4 TWh vuodessa. Isoihin kausivarastoihin varastoidulla aurinkolämmöllä pystyttäisiin selviämään talven ylitse. Vielä ei kuitenkaan ole kehitetty taloudellisesti kannattavaa ratkaisua suuren aurinkolämpömäärän varastoimiseksi pitkäksi aikaa.

Kausivarastoilla aurinkolämmön potentiaali saataisiin nostettua arviolta n. 7 - 9 TWh vuodessa (Kara et al. 1999, 123). Tämä ei ole paljoa, kun verrataan Suomessa vuodessa käytettävään kokonaisenergiaan, joka oli 369 TWh vuonna 2009 (Motiva 2011).

Suomessa on suhteellisen vähän aurinkovoimaa verrattuna muihin Pohjoismaihin ja Eurooppaan, koska Suomi on ollut edullisen energian maa eikä energianhinta näin ollen ole luonut paineita vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen käyttöönotolle (Nauska 2010, 3). Aurinkoenergian hyödyntämistä hidastavat korkeat investointikustannukset. Esimerkiksi Euroopassa keräimet maksavat noin neljä kertaa enemmän kuin Kiinassa. Nykyään fossiilisilla polttoaineilla tuotettu lämpö voidaan tulevaisuudessa tuottaa aurinkolämmöllä, koska fossiiliset polttoaineet kallistuvat jatkuvasti. Mitä enemmän aurinkokeräimiä asennetaan, sitä halvemmaksi niiden hinnat painuvat. Aurinkolämmöllä tuotettu energia on saasteetonta ja näin ollen auttaa hillitsemään ilmastonmuutosta.

Taulukossa 6.2 on esitetty aurinkoenergian vuosittainen saantimahdollisuus eri puolilla maailmaa. Taulukosta nähdään, kuinka paljon yhdelle neliömetrille lankeava auringon säteilyteho vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan.

Taulukko 6.2 Aurinkoenergian vuosittainen saantimahdollisuus vaakatasoon asennetulla keräimelle eri puolella maailmaa (Erat et al. 2001, 13, muokattu).

Sijainti	Leveyspiiri	kWh/m2a
Helsinki	60° 12' N	938
Jokioinen	60° 49' N	887
Sodankylä	67° 22' N	807
Aden	12° 24' N	2708
El Paso	31° 48' N	2309
Dakar	14° 44' N	2152
New Delhi	28° 35' N	1987
Nairobi	1° 18' S	1855
Lissabon	38° 43' N	1689
Buenos Aires	34° 35' S	1622
Melbourne	37° 49' S	1588
Rooma	41° 48' N	1435
New York	40° 47' N	1405
Montreal	45° 30' N	1240
Wien	48° 15' N	1070
Pariisi	48° 49' N	1032
Lontoo	51° 31' N	1023
Tukholma	59° 21' N	993
Kööpenhamina	55° 40' N	976
Hampur	53° 38' N	938
Bergen	60° 24' N	908
Pietari	59° 58' N	908
Reykjavik	64° 08' N	798

7 YHTEENVETO

Työssä tarkasteltiin aurinkolämmön hyödyntämistä nykypäivänä. Esiteltiin yleisimmät aurinkokeräintyyppit, niiden toimintaperiaatteet ja niillä tuotetun lämpöenergian varastointimenetelmät ja käyttökohteet. Lisäksi selvitettiin aurinkolämmityksen nykyinen kapasiteetti maailmalla ja Suomessa, sekä pohdittiin aurinkolämmityksen potentiaalia tulevaisuudessa fossiilisten polttoaineiden korvaajana lämmöntuotannossa ja ilmastonmuutoksen hillitsemisessä.

Vaikka Suomi sijaitseekin kylmässä pohjolassa, pystytään täällä, yleisistä epäluuloista huolimatta, tuottamaan kohtalaisen hyvin auringosta lämpöä. Kesäisin saanto on jopa parempi, kuin Keski-Euroopassa. Noin puolet vuosittain lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvasta energiasta pystytään tuottamaan aurinkokeräinten lämmöllä. Jotta yksin aurinkolämmöllä pystyttäisiin selviämään talven ylitse, tarvitaan suuria kausivarastoja, suolavaraajia tai faasinmuutosmateriaaleihin perustuvia varaajia, jotka ovat vielä nykyään kehitysasteella tai taloudellisesti kannattamattomia.

Yleisin aurinkokeräintyyppi Suomessa ja useammassa muussakin maassa, Kiinaa lukuunottamatta, on tasokeräin. Sen suosio perustuu sen yksinkertaiseen tekniikkaan ja edullisuuteen tyhjiöputkikeräimiin verrattuna. Suomeen asennettu aurinkolämpökapasiteetti vuoden 2008 lopussa oli $25,4 \text{ MW}_{\text{th}}^*$, joka vastasi 0,02 % koko maailman asennetusta kapasiteetista. Kun verrataan vuotta 2004, jolloin asennettu kokonaispinta-ala oli 16000 m^2 ja vuotta 2008, jolloin kokonaispinta-ala oli 36240 m^2 , nähdään, että on kasvua tapahtunut neljässä vuodessa lähes 130 %. Suomen aurinkolämmön kehitystä ovat hidastaneet keräinten korkeat hinnat ja maan pohjoisen sijainnin mukanaan tuomat suuret auringosta saatavan lämmön vaihtelut vuodenaikojen mukaan. Tekniikan kehittyessä ja hintojen laskiessa aurinkolämmitys on varteenotettava vaihtoehto tulevaisuuden lämpöenergiatuotannossa.

* $0,7 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{m}^2$

LÄHDELUETTELO

Alanen Raili, Koljonen Tiina, Hukari Sirpa, Saari Pekka, 2003. Energian varastoinnin nykytila. [pdf-dokumentti]. Espoo. VTT. 237 s. VTT Tiedotteita 2199. ISBN 951-38-6160-0. [viitattu 20.11.2011]. saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>

Alternative Solutions. 2011. [Alternative www-sivuilta]. päivitetty 24.11.2011. [viitattu 24.11.2011] saatavissa: <http://www.alternative.fi/fi/tuotteet/aurinkolampo/keraimet.xhtml>

Andy Schroder. 2011. [Andy Schroder www-sivuilta]. päivitetty 11.3.2011. [viitattu 23.11.2011]. saatavissa: http://www.andyschroder.com/CPC_additionalimages.html

Aurinkokauppa, 2011. [Aurinkokauppa www-sivuilta]. päivitetty 27.11.2011. [viitattu 27.11.2011] saatavissa: http://www.aurinkokauppa.fi/epages/Kaupat.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Megantti/Categories/Aurinkoker%C3%A4in

Darling David, 2011. The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. [David Darling www-sivu]. päivitetty 18.6.2011. [viitattu 24.11.2011] saatavissa: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/AE_flat_plate_solar_thermal_collector.html

Erat Bruno et. al, 2001. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Nurmijärvi: Kirjakas Ky. 219 s. ISBN 951-664-072-9 [viitattu 22.11.2011]

Hartikka Pertti, 2001. Uusien energianormien vaikutus pientalojen rakenteisiin ympäristön kannalta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta. 96 s. [viitattu 24.11.2011] saatavilla: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/34353/nbnfi-fe20011231.pdf?sequence=1>

HVCA, 2011. [HVCA www-sivuilta]. päivitetty 24.11.2011. [verkkajulkaisu]. [viitattu 24.11.2011] saatavissa: <http://www.hvca.org.uk/sustainability/solar-thermal-guidance/>

Hälvä Henna, 1996. Termodynamiikan taulukot. LTKK. Energiatekniikanosasto. 46 s. Lappeenranta. [viitattu 24.11.2011]

IEA 2010. SolarHeatWorldwide 2008. [pdf-dokumentti]. [viitattu 22.11.2011] saatavissa: http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Solar_Heat_Worldwide-2010.pdf

Kara Mikko et al, 1999. Energia Suomessa. Helsinki: Oy Edita Ab. 368 s. ISBN 951-37-2745-9 [viitattu 21.11.2011]

KSM, 2011. KSM-lämpötekniikka Oy. [ksm www-sivuilta]. päivitetty 23.11.2011 [viitattu 23.11.2011] saatavissa: <http://www.ksm.fi/tuotteet/st1solaraurinkokeraimet>

Larjola Jaakko, Punnonen Pekka, Röyttä Pekka, 2010. Uusiutuva energia luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Lappeenranta. 171 s. [viitattu 19.11.2011]

Lindström Daniel, 2008. Aurinkolämmön rakentamisen opas. 2. Painos. Vaasa. Svenska Yrkes högskolan. 66 s. ISBN 978-952-92-1659-8 [viitattu 23.11.2011]

Motiva 2009. Auringosta lämpöä ja sähköä. [Motiva www-sivuilta]. [viitattu 23.11.2011] saatavissa: http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.1027.shtml

Motiva. 2011. Uusiutuvan energian käyttö Suomessa 2009. [Motiva www-sivuilta]. päivitetty 29.11.2011. [viitattu 29.11.2011] saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa

Nauska Reijo, 2010. Aurinko- ja tuulienergian sekä hulevesien käyttömahdollisuuksia logistiikka-alueen energiantuotannossa. [pdf-dokumentti]. [viitattu 25.11.2011] saatavissa: [www.ellohanke.fi/folders/Files/.../AurinkoTuuliHulevesi.pdf]

Rica, 2011. [Rica www-sivuilta]. päivitetty 22.11.2011. [viitattu 22.11.2011] saatavissa: http://www.rica.fi/index.php?article_id=731

Ritter Solar, 2007. [verkko-dokumentti]. [viitattu 23.11.2011]. saatavissa: <http://www.heating-solutions.biz/interface/pdfs/ritter-planning-guide.pdf>

RVR.ie, 2011. [rvr.ie www-sivuilta]. päivitetty 23.11.2011. [viitattu 23.11.2011]. saatavissa: http://www.rvr.ie/Advice/Specifiers/Solar_Thermal_Collector_Types/

Solar Thermal Magazine, 2011. [Solarthermalmagazine www-sivuilta]. päivitetty 24.11.2011. [verkkolehti]. [viitattu 24.11.2011]. saatavissa: <http://www.solarthermalmagazine.com/2010/11/28/innovative-approach-to-concentrating-and-collecting-solar-energy-wins-industry-award/>

Solgruppen, 2011. [Solgruppen www-sivuilta]. päivitetty 8.3.2011. [viitattu 22.11.2011]. saatavissa: http://www.solgruppen.se/bilder/oljapellet_stor.jpg

Solpros, 2001. Aurinkoenergia suomen olosuhteisissa ja sen potentiaali ilmastomuutoksen torjunnassa. [verkko-dokumentti]. [viitattu 21.11.2011] saatavissa: http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF

Solpros, 2006a. Johdatus aurinkolämpöön. [verkko-dokumentti]. [viitattu 22.11.2011] saatavilla: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/YLEISESITYYS.pdf>

Solpros, 2006b. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. [verkko-dokumentti]. [viitattu 20.11.2011]. saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>

Sorensen Bent, 2004. Renewable Energy. 3. Painos. Lontoo. Elsevier Inc. 928 s. ISBN 0-12-656153-2 [viitattu 20.11.2011]

Talvenmaa Päivi, Meinander Harriet, 2007. Esiselvitys faasinmuutosmateriaalien mahdollisuuksista työntekijöiden kylmä- ja lämpöhaittojen vähentämiseksi. [pdf-dokumentti]. Tampereen teknillinen yliopisto. Kuitumateriaalitekniikka. Tampere. 23 s. [viitattu 20.11.2011]. saatavissa: <http://www.tsr.fi/tsarchive/files/TietokantaTutkittu/2006/106139Loppuraportti.pdf>

Tilastokeskus, 2010. Energian kokonaiskulutus laski lähes 6 prosenttia vuonna 2009. [tilastokeskus www-sivuilta]. päivitetty 29.11.2011. [viitattu 29.11.2011]. saatavissa: http://www.stat.fi/til/ekul/2009/ekul_2009_2010-12-10_tie_001_fi.html

Tilastokeskus, 2011. Suomen teollisuustuotannon kasvun vuodet [tilastokeskus www-sivuilta]. päivitetty 29.11.2011. [viitattu 29.11.2011]. saatavissa: <http://www.stat.fi/tup/suomi90/toukokuu.html>

Wahlroos Lasse, 1981. Aurinkoenergia. 1. Painos. Pori. Energiakirjat Ky. 296 s. ISBN 951-99299-4-0 [viitattu 23.11.2011]

LIITE 1. VUODEN 2008 LOPPUUN MENNESSÄ ASENNETTU AURINKOLÄMMITYSKAPASITEETTI MAAILMASSA

Maa	Vesikiertoiset keräimet			Ilmaceräimet		Yhteensä[MWth]
	Kattamattomat	Katetut	Tyhjiöputki	Kattamattomat	Katetut	
Alankomaat	252,6	240				492,6
Albania		40,1	0,2			40,3
Australia	2870	1372,4	26,2			4268,6
Barbados		57,5				57,5
Belgia	32,8	145	14,4			192,2
Brasilia	562	2443,3				3005,2
Britannia		218,5	40,8			259,3
Bulgaria		21,2				21,2
Chile	1	12,4				13,4
Espanja	60,5	1021,4	67,2			1149,1
Etelä-Afrikka	489,8	180,8	12,2			682,8
Intia		1756,3	15,6		11,4	1783,3
Irlanti	39,9	13,3				53,2
Israel	18,7	2641		0,3		2660
Italia	17,7	840	174,7			1032,4
Itävalta	436,9	2305,2	32,9			2775
Japani		4040,4	71,1		309,3	4420,8
Jordania	449,7	175,4				625,1
Kanada	507,7	63,8	3,9	110,3	0,9	686,6
Kiina		7170,3	80329,7			87500
Korea		999,5				999,5
Kreikka		2709				2709
Kypros		561,1	1,3			562,5
Latvia		4,8				4,8
Liettua		2,9				2,9
Luxemburg		14,6	0,5			15,1
Makedonia		15,4	0,5			15,9
Malta		23,8				23,8
Meksiko	347,6	376,2				723,8
Namibia		4,5	0,3			4,7
Norja	1,2	8,2	0,2		0,8	10,5
Portugali	0,9	238,5	8,5			247,9
Puola	0,9	193,3	51,4	2	1,7	249,3
Ranska	70,2	1214	22,2			1306,4
Romania		52,1				52,1
Ruotsi	73,5	164,5	28,7			266,7
Saksa	504	6507,7	715		23,5	7750,2
Slovakia		67,4	7,7			75,1
Slovenia		83,1	2,8			85,9
Suomi	8,2	16,3	0,8			25,4
Sveitsi	148,3	357	21	591,5		1117,7
Taiwan	1,3	1154,2	32,9			1188,4
Tanska	14,4	285,5	3,6	2,3	12,6	318,4
Thaimaa		53,7				53,7
Tsekki	10,2	83,1	16,1			109,4
Tunisia		195,9	4,4			200,3
Turkki	7445,8					7445,8
Unkari	1,9	33,5	3,4			38,8
Uruguay		3,4				3,4
USA	12409	1477,3	430,2	0,1	113,5	14430
Uusiseelanti	4,6	82,9	6,8			94,2
Viro		1,3				1,3
Zimbabwe		12,1	0,2			12,1
Yhteensä	18845,8	49501,8	82335,9	706,4	473,8	151863,7

Lähde:(IEA 2010, 9)