

Jarkko Järvenpää

AURINKOLÄMMÖN
HYÖDYNTÄMINEN
KERROSTALOJEN KÄYTTÖVEDEN
LÄMMITYKSESSÄ

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 28.4.2014
Tekijä(t) Jarkko Järvenpää	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Aurinkolämmön hyödyntäminen kerrostalojen käyttöveden lämmityksessä		
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä tutkittiin aurinkolämmön kannattavuutta kerrostalojen käyttöveden lämmityksessä sekä perehdyttiin suuren keräinpinta-alan omaaviin aurinkolämpöjärjestelmiin. Työn tavoitteena oli mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä useampaan erikokoiseen sekä -ikäiseen kerrostaloon. Mitoitusohjeena käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 aurinko-opasta. Mitoitus toteutettiin kerrostalojen toteutuneen kaukolämmön kulutuksen mukaan. Toteutuneesta kaukolämmön kulutuksesta laskettiin kesäajan kulutus eli arvio lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluneesta energian määrästä, josta pyrittiin korvaamaan kesäaikana aurinkoenergialla mahdollisimman suuri osuus kustannustehokkuus huomioiden. Tässä työssä selvitettiin aurinkolämpöjärjestelmän investointi- ja käyttökustannuksia sekä kannattavuutta. Tarkasteltavat kerrostalokohteet sijaitsevat Jyväskylässä, ja ne on liitetty Jyväskylän Energian kaukolämpöverkkoon. Aurinkolämmön investoinnin kustannustehokkuutta ja investointikustannuksien määrittämisen helpottamiseksi on työssä laadittu aurinkolämpöjärjestelmän ominaiskustannuskäyrä, joka huomioi keräinjärjestelmän hinnan, tuotetun energiamäärän sekä keräin pinta-alan. Tuotetun aurinkoenergian määrään vaikuttavat suoraan aurinkokeräinjärjestelmän ominaisuudet, hyötysuhde sekä varastointikyky. Aurinkolämmön tuotannon ennustettavuus on hankalaa, johtuen vuodenaikojen erilaisuudesta, vaihtelevista sääoloista ja säteilyn jaksottaisuudesta. Edellä mainitut syyt korostavat lämpöenergian varastoinnin tärkeyttä aurinkoenergian hyödyntämisessä. Toisaalta tuotetun lämpöenergian määrä on suoraan verrannollinen auringon säteilyn määrään. Suomen kesän pitkät ja aurinkoiset päivät antavat erinomaiset mahdollisuudet aurinkolämmön hyödyntämiseen. Vuoden kokonaissäteilyn määrä onkin Suomessa lähes samaa tasoa Keski-Euroopan kanssa.		
Asiasanat (avainsanat) Aurinkoenergia, aurinkokeräin, aurinkolämpö, käyttöveden lämmitys		
Sivumäärä 50+5	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Jyväskylän Energia Oy	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 28.4.2014
Author(s) Jarkko Järvenpää	Degree programme and option HVAC-engineer	
Name of the bachelor's thesis Using solar energy for warming the service water in a block of flats		
Abstract This Bachelor's thesis studied the cost-effectiveness of solar heat in the use of warming of the service water in a block of flats. Also the solar systems with large collector surface area were investigated. The goal of this Bachelor's thesis was to size solar heat systems to different blocks of flats of different sizes and ages. The National Building Code of Finland D5 by the Ministry of the Environment was used as a sizing guideline. The sizing was calculated with data from district heating system. The summer consumption average aka the estimate of the energy needed to warm up the service water, was calculated from the district heating system. The object was to be able to substitute as large amount as possible of the district heating with the solar heat, cost-effectiveness taken into account. This thesis also studied the investment and operating costs and the cost-effectiveness of solar heat systems. The blocks of flats observed in this thesis are situated in Jyväskylä and are connected to the district heating system of Jyväskylän Energia Oy. A characteristic curve of costs was created to ease the evaluation of cost-effectiveness and quantifying of investment costs. The price of the solar collector system, the amount of energy produced and the surface area of the collector are taken into account in the curve. The features of the solar collector system, the efficiency and the storing capacity affect directly to the amount of solar energy produced. The solar radiation is a major factor in the solar heat production, on which the season has a significant impact on. The production of solar heat utilizes the solar radiation via solar collectors. The amount of solar radiation correlates with the amount of energy produced. The predictability of solar heat production is difficult because the amount of solar radiation greatly depends on the weather, so the importance of energy storing has to be emphasized. The Northern climate and the shortage of solar radiation during winter time make the all year round utilization of solar energy challenging. On the other hand the long and sunny summer days give a marvelous opportunity to the utilization of solar energy. The total amount of solar radiation is nearly on the same level in Finland than in the central Europe.		
Subject headings, (keywords) Solar energy, solar collector, solar heating		
Pages 50+5	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Jarmo Tuunanen	Bachelor's thesis assigned by Jyväskylän Energia Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	AURINKO	2
2.1	Auringon säteily.....	2
2.2	Auringon säteily määrä Suomeen	4
2.3	Aurinkoekologia	6
3	AURINKOENERGIA.....	7
3.1	Aurinkolämpö	7
3.2	Aurinkosähkö.....	7
3.3	Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen ja ilmastotietoinen kaavoitus .	7
3.4	Aurinkolämmön aktiivinen hyödyntäminen	9
4	AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄT.....	10
4.1	Tyhjiökeräimet.....	11
4.1.1	Tyhjiöputkikeräin.....	11
4.1.2	U-tyhjiöputkikeräin.....	12
4.1.3	Heat pipe eli lämpöputkikeräin.....	13
4.1.4	KytKentä.....	14
4.1.5	Keskittävät tyhjiöputkikeräimet.....	15
4.2	Tasokeräimet.....	15
4.3	Keräinten ominaisuuksien vertailu	17
4.4	KytKentätavat	18
4.4.1	Sarjaan kytKentä.....	18
4.4.2	Rinnan kytKentä	19
4.5	Aurinkokeräinten sijainti ja suuntaaminen	20
4.5.1	Auringon säteily määrän voimakkuuden laskeminen	21
4.6	Lämmönkeräinjärjestelmän osat.....	23
4.6.1	Varaaja	23
4.6.2	Lämmönsiirrin.....	24
4.6.3	Lämmönsiirtoputkisto	25
4.6.4	Automaatiojärjestelmä	25
4.7	Aurinkolämmön yhteistuotanto kaukolämmön kanssa.....	26
5	CASE.....	27
5.1	Aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus	27

5.1.1	Aurinkolämmön tuoton laskeminen.....	28
5.1.2	Aurinkolämpöjärjestelmän apulaitteiden energiankulutus	31
5.1.3	Aurinkokeräimelle tulevan auringonsäteilyn laskeminen.....	32
5.2	Aurinkolämmön tarve	34
5.3	Aurinkokeräinjärjestelmän kannattavuus	35
5.4	Talo A	37
5.5	Talo B	39
5.6	Talo C	41
5.7	Talo D	43
5.8	Investointiavustukset	45
5.9	Ominaiskustannuskäyrä.....	46
6	POHDINTA	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	
	1 Auringon säteilyn voimakkuuden esimerkkilaskelma	
	2 Investoinnin kannattavuuden nettonykyarvolaskelmat	

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos, uusiutumattoman energian rajallinen saatavuus ja lämmityspolttoaineiden kallistuneet hinnat sekä kiristyneet vaatimukset rakennusten energiatehokkuudesta ovat lisänneet ihmisten mielenkiintoa aurinkoenergiaa kohtaan. Aurinkoenergian hyödyntäminen suurten asuinrakennusten lämmityksessä on Suomessa varsin vähäistä. Kallistuneet polttoaineiden hinnat ja kiristynyt polttoaineiden verotus on lisännyt myös energiayhtiöiden kiinnostusta tutkimukseen aurinkolämmön tuottamisen mahdollisuuksista ja kannattavuudesta sekä mahdollisista vaikutuksista kaukolämmön tuotantoon.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan aurinkolämmön kannattavuutta kerrostalojen käyttöveden lämmityksessä sekä perehdytään suuren keräinpinta-alan omaaviin aurinkolämpöjärjestelmiin. Työn tavoitteena on myös mitoitaa aurinkolämpöjärjestelmä useampaan erikokoiseen sekä -ikäiseen kerrostaloon. Mitoitusohjeena käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 aurinko-opasta. Mitoitus toteutetaan kerrostalojen henkilömäärän sekä toteutuneen kaukolämmön kulutuksen mukaan. Toteutuneesta kaukolämmön kulutuksesta on laskettu kesäajan kulutus eli arvio lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluneesta energian määrästä, josta pyritään korvaamaan kesäaikana aurinkoenergialla mahdollisimman suuri osuus kustannustehokkuus huomioiden.

Tässä työssä selvitetään aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannuksia ja käyttökustannuksia sekä kannattavuutta. Tarkasteltavat kerrostalokohteet sijaitsevat Jyväskylässä, ja ne on liitetty Jyväskylän Energian kaukolämpöverkkoon. Aurinkolämmön investoinnin kustannustehokkuutta ja investointikustannuksien määrittämisen helpottamiseksi on työssä laadittu aurinkolämpöjärjestelmän ominaiskustannuskäyrä, joka huomioi keräinjärjestelmän hinnan, tuotetun energianmäärän sekä keräin pinta-alan.

Aurinkolämmön tuotantoon vaikuttavia tekijöitä on useita. Tuotetun energian määrään vaikuttavat suoraan aurinkokeräinjärjestelmän ominaisuudet, hyötysuhde sekä varastointikyky. Lisäksi merkittävä tekijä aurinkolämmön tuotannon kannalta on tietenkin auringon säteily, johon oleellisesti vaikuttaa vuodenaika. Aurinkolämmön tuotanto perustuu auringon säteilyn hyödyntämiseen aurinkokeräinten avulla, koska tuotetun energian määrä on suoraan verrannollinen auringon säteilyn määrään. Tuotannon ennustettavuus on edellä mainituista syistä hankalaa, koska maan pinnalle tuleva säteily

on riippuvainen kulloinkin vallitsevasta säätilasta, joka tekee energian keräämisestä jaksottaista ja korostaa energian varastoinnin tärkeyttä. Lisäksi pohjoinen ilmasto ja talvella pieni säteilyn määrä vaikeuttavat entisestään aurinkoenergian ympärivuotista hyödyntämistä. Toisaalta kesän pitkät ja aurinkoiset päivät antavat erinomaiset mahdollisuudet aurinkolämmön hyödyntämiseen. Vuoden kokonaissäteilyn määrä onkin Suomessa lähes samaa tasoa Keski-Euroopan kanssa.

2 AURINKO

Aurinko on noin 4,6 miljardia vuotta sitten syntynyt valtava kaasupallo, ja se on halkaisijaltaan noin 1 392 000 kilometriä, jonka ulkokuoresta on 75 prosenttia vetyä ja 23 prosenttia heliumia. Loppuosa auringon kuoresta muodostuu natriumista, raudasta, kalsiumista, magnesiumista, nikkelistä, bariumista, kuparista, typestä ja hiilestä. Tutkimusten mukaan auringossa on myös maapallolla tuntemattomia kemiallisia yhdisteitä. /1./

Auringossa tapahtuvaa reaktiota kutsutaan lämpöydinreaktioksi eli fuusioksi. Fuusiossa kaksi vetyatomia yhdistyy kahdeksi protoniksi ja kahdeksi neutroniksi muodostaen heliumin ytimen, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Fuusiossa syntynyt energia siirtyy säteilemällä auringosta ympäröivään avaruuteen. /2;3./

Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä vapauttaa yhtä paljon energiaa kuin 27 000 tonnia kivihiihtä eli 180 miljoonaa kilowattituntia. Kyseinen reaktio vaatii onnistuakseen erittäin korkean lämpötilan, jopa noin kymmenen miljoonaa celsiusastetta. Samanlaisen reaktion ihminen on pystynyt tuottamaan vetypommissa. /1./

2.1 Auringon säteily

Auringon lämpöydinreaktiossa vapautuva energia antaa auringolle $3,8 \cdot 10^{23}$ kilowatin kokonaistehon, josta maapallolle tulee $1,7 \cdot 10^{14}$ kilowattia, mikä on arviolta 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen nykyään käyttämä teho. Yhdessä minuutissa auringosta maahan saapuva energia vastaa koko vuoden ihmisten käyttämää energiamäärää. Auringosta maahan saapuvasta energiasta on siis valtavan paljon potentiaalia, jota täytyy osata hyödyntää maapallolla eri käyttötarkoituksiin. /2./

Maapallon ilmakehän ulkopuolella neliömetrin kokoiselle alalle kohtisuoraan lankeavan auringonsäteilyn teho on 1,35 - 1,39 kilowattia ja sitä kutsutaan aurinkovakioksi. Maapallon radan soikeudesta johtuen säteilyn määrä vaihtelee jonkin verran eri vuodenaikoina. Suurimmillaan säteily on tammikuussa ja pienimmillään kesäkuussa. Aurinkovakio tarkoittaa sitä energiamäärää, joka tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän yläpinnalle olevalle yhden neliömetrin kokoiselle alalle. Maapallon pinnalle tuleva säteily alenee tuosta 1,35 – 1,39 kilowattista noin 60 prosenttia. Maanpinnalle osuessaan säteily on noin 0,8 – 1,0 kilowattia yhdessä sekunnissa keskellä kirkasta päivää, ja sitä kutsutaan välittömäksi aurinkovakioksi. Tunnin aikana maahan osuneesta 0,8 kilowatin säteilytehosta saatava energiamäärä on 0,8 kilowattituntia. /2;5./

Maapallolle tuleva auringon säteily voidaan luokitella kolmeen eri ryhmään, suoraan auringonsäteilyyn, haja-auringsäteilyyn ja ilmakehän vastasäteilyyn. Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehän molekyylien, pilvien sekä takaisin maasta heijastunutta säteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä kutsutaan myös kasvihuonevaikutukseksi, siinä ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni heijastavat lämpöä takaisin maanpinnalle. Haja-auringsäteilyn määrä vaihtelee ollen pilvisenä päivänä jopa 80 prosenttia ja kirkkaana päivänä vain 20 prosenttia kokonaissäteilystä. Pilvisenä päivänä auringon säteily hajoaa ja hajasäteilyn määrä kasvaa, jolloin aurinkoenergia hyödyntäminen vaikeutuu. /1./

Auringon säteilyn voimakkuuden ja valon voimakkuuden välillä on vahva korrelaatio eli ne ovat toisistaan riippuvaisia. Tosin sään vaihtelut ja auringon korkeuskulma voivat vaikuttaa negatiivisesti korrelaatioon. Selkeän sään vallitessa säteilyn perusteella voidaan ilmaista valaistuksen voimakkuus säteilyhavaintojen avulla. Auringon paistaessa ja säteilyn määrän ollessa suuri myös valoa ja kerättävää energiaa on runsaasti tarjolla. /2./

Valaistusvoimakkuus riippuu leveysasteesta, vuodenajasta, säätilasta ja kellonajasta. Pilvipeite vaikuttaa auringon säteilyyn ja valaistukseen haittaavasti. Ilmakehän ylimmät pilvet haittaavat valon läpipääsemistä verraten vähän, toisin kuin keskipilvet ja alimmat pilvikerrokset estävät tehokkaasti auringon säteilyä sekä valon pääsyä maan pinnalle. /2./

2.2 Auringon säteily määrä Suomeen

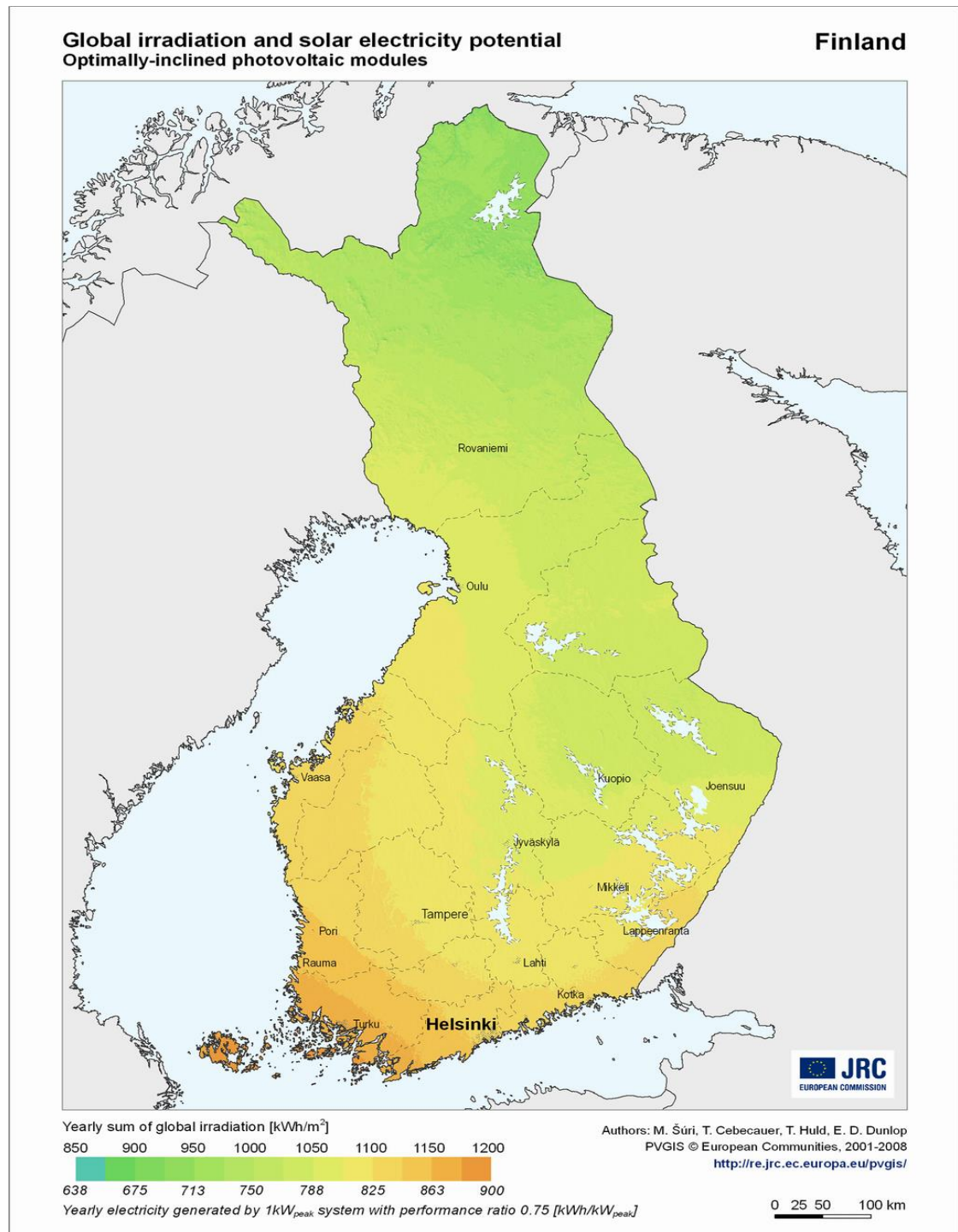
Auringon säteilyn teho ja auringonpaistetuntien määrä vaihtelevat maapallon liikkeen johdosta vuodenaikojen mukaan sekä sään vaihtelujen mukaan. Maan kierto auringon ympäri ja maan vino pyörimisakseli muuttavat jatkuvasti auringonpaisteen ja auringonsäteilyn saantia koko maapallolla. Tästä johtuen muodostuvat vuodenaikat koetaan erityisen voimakkaasti Suomessa johtuen kaukaisesta sijainnista päiväntasaajalta. Suomi on pitkä maa, joka ulottuu etelä-pohjoissuunnassa maapallon leveysasteelta 60 lähes leveysasteelle 70 astetta pohjoista leveyttä. Tämän takia päivän pituus on Helsingissä talvipäivän seisauksen (22.12.) aikana vain vajaat kuusi tuntia ja auringon korkeuskulma keskellä päivää vain noin 7 astetta. Rovaniemen pohjoispuolella aurinko on horisontissa eikä nouse koko päivänä ollenkaan, kun taas Utsjoella aurinko on laskenut jo 26.11. ja nousee seuraavan kerran horisontin yläpuolelle vasta 17.1. Vuoden pimeimpään aikaan (20.11.-6.1.) Suomessa auringonpaistetta on erittäin vähän saatavissa Helsingissäkin keskimäärin alle yksi tunti päivässä. /1./

Keväällä kevätpäiväntasauksen ja syksyllä syyspäiväntasauksen välisenä aikana maapallo on suhteessa aurinkoon asennossa, jolloin päivä on koko Suomessa pitempi kuin yö. Tällä aikavälillä saadaan myös valtaosa Suomeen kohdistuvasta auringon säteilystä ja auringon paistetunneista. Kesällä päivän pituus on Helsingissä maksimissaan vähän yli 18 tuntia, kun taas Sodankylässä aurinko nousee 29.5. ja laskee vasta 14.7. Utsjoella kesäaurinko paistaa yhtäjaksoisesti peräti 66 päivää. /1./

Suomessa auringon säteily määrä on suurimmillaan Etelä-Suomessa ja pienimmillään Pohjois-Suomessa Lapissa. Lapissa aurinkoenergian hyödyntäminen on talvella lähes mahdotonta pitkästä kaamos-ajasta johtuen. Kesällä Lapissa on erinomaiset edellytykset aurinkoenergian hyödyntämiseen, koska keski-kesällä aurinko ei laske horisontin alapuolelle ollenkaan ja aurinkoenergiaa on saatavilla koko päivän. Myös sijainnilla Itämeren rannikolla on omat etunsa, sillä auringon säteily on voimakkaampaa rannikolla kuin sisämaassa, vaikka sijainti olisikin pohjoisempi, esimerkiksi vuotuinen säteilyn määrä on suurempi Oulussa kuin Jyväskylässä. /6./

Suomessa saadaankin auringon säteilyä luultua enemmän, ja syytä onkin erottaa ilman lämpötila ja auringon säteilyn intensiteetti toisistaan. Synkimpänä vuodenaikana eli marraskuusta tammikuuhun, jolloin Lapissa vallitsee kaamos jää auringon säteily

myös Etelä-Suomessa vähäiseksi. Valoisan kesän ansiosta vuotuinen säteily määrä kuitenkin nousee keskieurooppalaiselle tasolle. Koko vuoden auringon säteilyä tarkasteltaessa Etelä-Suomeen saapuvan säteilyn määrä on keskimäärin 1000 kilowattituntia neliometrille vaakatasolta mitattuna ja Keski-Suomessa noin 900 kilowattituntia neliometrille. Auringon säteilymääriä Suomeen on esitetty kuvassa 1. Auringosta maahan säteilevän hyödynnettävän energian määrää voidaan ennestään kasvattaa aurinkoenergialaitteen suuntauksella. /1;3./



KUVA 1. Auringon säteilymäärät Suomeen /19/

2.3 Aurinkoekologia

Kaikki elämä maapallolla perustuu uusiutuvaan aurinkoenergiaan. Lähes kaikki ihmisten käyttämät energiamuodot ovat lähtökohtaisesti peräisin auringosta. Perinteisetkin lämmitysjärjestelmien polttoaineet ovat aurinkoenergiaa, jotka ovat miljoonien vuosien aikana tiivistyneet öljyksi, hiileksi ja maakaasuksi tai fotosynteesin avulla orgaaniseksi polttoaineeksi, kuten puuksi tai oljeksi. /3;4./

Rakennukset ja lämpölaitokset, jotka käyttävät lämmitysjärjestelmissään perinteisiä lämmitysmuotoja, ottavat polttoaineensa varastosta, jonka aurinko on ladannut pitkässä biologisessa prosessissa. Aurinkolämmitysjärjestelmät hyödyntävät sitä vastoin auringosta saapuvan energian suoraan talteen ja siirtävät tämän energian lämpövarastoon, josta se tarvittaessa siirretään käyttökohteisiin. /3./

Rakennukset voivat hyödyntää aurinkoenergiaa joko aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisessa hyödyntämisessä rakennus kerää ja varastoi auringosta saapuvaa lämpösäteilyä rakenteisiinsa sekä sisäilmaan. Lämpö varastoituu parhaiten raskaisiin rakenteisiin, kuten betoniin ja kiveen. Aurinkoenergian aktiivisessa hyödyntämisessä auringon säteilyn lämpö kerätään tähän tarkoitukseen suunnitelluilla ja valmistetuilla laitteilla. Kerättävä auringonsäteily muunnetaan edelleen joko aurinkolämmöksi tai aurinkosähköksi. Auringon säteilyenergiaa hyödyntävässä järjestelmässä, aurinkokeräimellä kerätään ja muunnetaan auringonsäteily lämpöenergiaksi, kun taas aurinkopaneelilla auringon säteily kerätään ja muunnetaan sähköenergiaksi.

Aurinkoenergian aktiivinen ja passiivinen hyödyntäminen rakennusten lämmityksessä vähentää muuta lämmitysenergian tarvetta ja säästää uusiutumattomia luonnonvaroja. Aurinkoenergian hyödyntäminen on käytännössä päästötöntä, mutta aurinkokeräinten ja järjestelmien valmistuksesta sekä järjestelmän pienestä käytösähkön tarpeesta aiheutuu välillisiä päästöjä. Aurinkoenergia onkin lähes päästötön energian tuotantomuoto ja siksi ekologinen lämmitysmuoto rakennusten lämmitykseen. Aurinkoenergian hyödyntäminen on vahvasti kasvamassa nykyajan globaalissa ja ekotietoisessa yhteiskunnassa, tähän on vaikuttanut muun muassa rakennusten energiatehokkuuden kiristyneet määräykset. /3./

3 AURINKOENERGIA

Auringon lähettämää säteilyä eli aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko aurinkosähköksi tai aurinkolämmöksi. Aurinkoenergian hyödyntäminen on ollut viime vuosina kovassa kasvussa ja monet valmistajat ovat esitelleet erilaisia sovelluksia, jotka mahdollistavat aurinkolämmön ja aurinkosähkön hyödyntämisen.

3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämpöä kerätään auringon säteilystä aurinkokeräimillä, joilla tuotettu lämpöenergia on mahdollista käyttää hyväksi rakennusten lämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Pääasiassa tuotettu lämpö varastoidaan ensin lämminvesivaraajaan, josta se on mahdollista hyödyntää lämmitystarpeisiin. Aurinkolämmön tuotantoa on käsitelty tarkemmin luvusta 3.4 eteenpäin.

3.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä kerätään ja tuotetaan aurinkopaneeleilla, tuotettu energia voidaan siirtää suoraan sähköverkkoon eli kulutukseen tai se voidaan varastoida akkuihin myöhemmää käyttöä varten. Aurinkopaneeleilla tuotettava sähkö on tasavirtaa, joka soveltuu käytettäväksi kesämökeillä, veneilyssä tai asuntovaunuissa, joissa ei ole käytettävissä verkkosähköä. Tasavirtaa tuottaessa sähkö varastoidaan akkuihin, mistä se on helppo ottaa käyttöön sitä tarvittaessa. Tasavirtaa ei voida myöskään syöttää sähköverkkoon. Aurinkosähköä tuottaessa rakennuksiin, jotka on liitetty sähköverkkoon, täytyy aurinkopaneelijärjestelmän yhteydessä käyttää vaihtosuuntaajaa, joka muuntaa tuotettavan tasavirran vaihtovirraksi. Aurinkosähköä tuottaessa oman kulutuksen ja tuotannon erotus eli niin sanottu ylijäämä sähkö, on mahdollista varastoida akkuihin tai myydä edelleen sähköverkkoon verkkoyhtiölle. Tässä työssä käsitellään vain aurinkolämmön hyödyntämistä rakennusten käyttöveden lämmitykseen.

3.3 Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen ja ilmastotietoinen kaavoitus

Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen on erittäin ekologinen ja energiatehokas keino vähentää rakennusten energian kulutusta sekä lämmitystehon tarvetta. Aurinkolämmön passiivisen hyödyntämiseen voidaan vaikuttaa rakennuksen sijoittamisella,

suuntaamisella sekä ilmastotietoisien kaavoittamisen avulla. Aktiivisesti aurinkolämpöä voidaan hyödyntää aurinkokeräinten avulla. Lähtökohtaisesti kaikki rakennukset hyödyntävät passiivisesti aurinkoenergiaa ja varastoivat sitä rakenteisiinsa, tehokkaalla ja ilmastotietoisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa kerättävän aurinkoenergian määrään.

Suomessa osattu hyödyntää aurinkoa rakennusten lämmityksessä vaikuttamalla rakennuksen sijaintiin, suuntaukseen sekä sitä ympäröivään kasvillisuuden määrään ja laatuun. Välttämällä tuulisia paikkoja ja sijoittamalla rakennus etelärinteeseen auttaa se tehokkaasti suojautumaan kylmältä pohjois-tuulelta, joka vähentää lämmitystehon tarvetta huomattavasti. Myös havupuusto toimii osaltaan tehokkaana tuulen suojana ympärivuoden, kun taas lehtipuita voidaan sijoittaa rakennuksen eteläpuolelle varjostimeksi estämään kesäaikaista rakennuksen sisätilojen ylikuumenemistä. Lämpöhäviöitä voidaan korvata todella energiatehokkaasti sijoittamalla ja suuntaamalla rakennus aurinkoa kohti, eli suuntaamalla isot ikkunat kohti etelää. Näin auringon lämpö pääsee lämmittämään suoraan sisäilmaa sekä rakennuksen rakenteita. Rakenteet varaavat lämpöä sitä paremmin, mitä raskaampi rakenne on kyseessä, esimerkiksi betoni ja kivi omaavat hyvän lämmönvarauskyvyn. Tummat pinnat taas keräävät tehokkaasti auringon säteilyä puoleensa ja lisäävät näin aurinkolämmön saantia. Passiivisessa aurinkoenergian keräinjärjestelmässä sekä lämmönsiirto, lämmönluovutus että varastointi tapahtuu täysin luonnollisesti. Lämpöä vapautuu rakenteista huoneilmaan automaattisesti, mikäli rakenne on lämpimämpi kuin huoneilma.

Ilmastotietoisien kaavoituksen avulla pyritään vähentämään rakennusten lämmitysenergian tarvetta, ja sitä kautta vähentämään rakennusten ilmakehälle haitallisia hiilidioksidipäästöjä. Kaavoituksella halutaan varmistamaan rakennusten aurinkoenergian saanti silloin, kun lämpöä tarvitaan, hyödynnettiinpä aurinkoenergiaa sitten aktiivisesti tai passiivisesti. Kaavoituksella pyritään sijoittamaan ja suuntaamaan useita rakennuksia ja kortteleita mahdollisimman energiatehokkaasti kohti aurinkoa. Kaupunkien tiiviissä kaavarakentamisessa tämä on erittäin haastavaa eikä ylimääräistä tilaa juuri ole käytettävissä, myös rakennusten eri korkeusasemat ja korkeudet antavat lisähaastetta kaavoittamiselle. Näin ollen rakennusten auringon säteilyn saanti jää vähäiseksi, eikä sitä voida hyödyntää tehokkaasti ympäri vuoden. Ihanteellista olisikin jos matalimmat rakennukset pystyttäisiin sijoittamaan ”etelämmäksi” ja korkeammat raken-

nukset niiden taakse auringon suunnasta katsottuna, jotta korkeiden rakennusten varjostus jäisi mahdollisimman vähän haitalliseksi. /1./

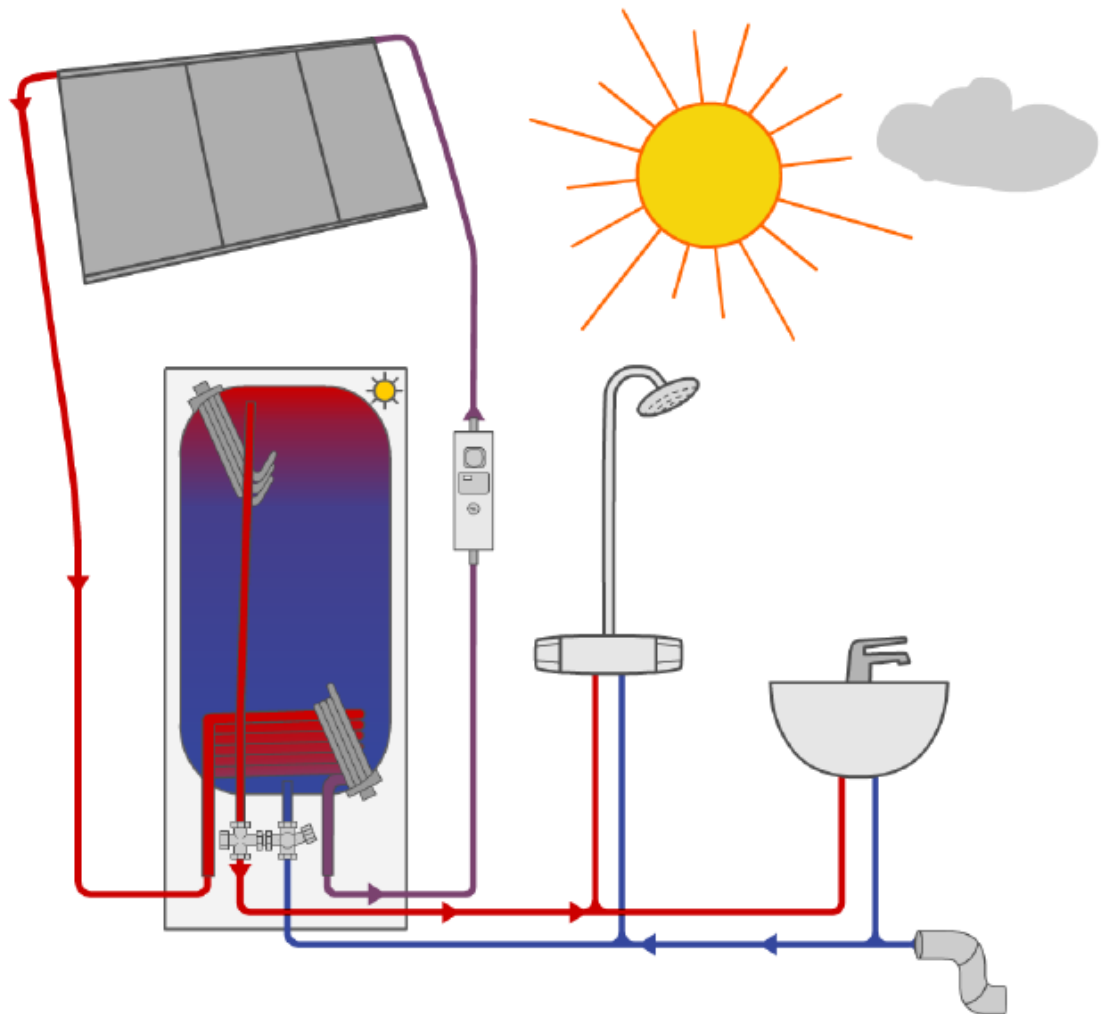
Aurinkolämmön maksimaalisessa passiivisessa hyödyntämisessä mahdolliseksi ongelmaksi nousee rakennusten sisäilman kesäajan yllälämpeneminen ja sen hallitseminen. Rakennusten sisäilman jäähdytystarpeen ilmetessä perinteisten rakennusten jäähdytysjärjestelmä on ekologisesti ylimääräinen kuluerä ja huonontaa rakennuksen energiatehokkuutta mutta parantaa huomattavasti asuinmukavuutta. Nykyään myös rakennusten jäähdytys voidaan toteuttaa aurinkoenergiaa hyväksikäyttäen, mutta sitä ei käsitellä tässä työssä.

3.4 Aurinkolämmön aktiivinen hyödyntäminen

Auringon lähettämää lämpösäteilyä voidaan hyödyntää aktiivisesti käyttämällä siihen suunniteltuja ja valmistettuja laitteita, aurinkokeräimiä. Aurinkokeräin on laite, joka hyödyntää auringon säteilyä ja muuntaa sen lämmöksi. Aurinkokeräinjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, varaajasta, lämmönsiirtimestä, putkistosta, pumppuyksiköstä sekä automaatiojärjestelmästä. Kaikkea aurinkolämpökeräimeen lankeavaa auringonsäteilyä ei voida hyödyntää. Vaan hyödynnettävän energian määrään vaikuttaa muun muassa aurinkokeräimen suuntaus ja kaltevuus, keräimen ominaisuudet, kuten lämmöneristys ja tiiveys, absorptio ja lämmönsiirtokyky, sekä järjestelmän ominaisuudet kuten lämmönkeruunesteen ominaisuudet, keräimen etäisyys varaajasta, ja lämmönsiirtoputkien sekä varaajan lämmöneristystaso. Lisäksi kerättävän energian määrään vaikuttaa ulkoiset tekijät, kuten keräinten fyysinen paikka, ulkolämpötila sekä tuulisuus ja auringon tulokulma sekä varjot. /1;3;7./

Aurinkolämpökeräimen toiminta perustuu siihen, että keräimen tumma pinta lämmitteää auringon paistaessa keräimessä kiertävää lämmönkeruunestettä. Keräimen säteilyä keräävää pintaa kutsutaan absorbaattoriksi, joka imee puoleensa auringon säteilyä ja siirtää sen väliaineeseen eli lämmönkeruunesteeseen, joka tavallisesti on joko vettä tai vesi-glykoliseosta. Absorptiolevy eli absorbaattori on yleensä alumiinia tai terästä, ja sen tärkein tehtävä on johtaa auringon säteilystä tullut lämpö lämmönkeruunesteeseen. Lämmönkeruunesteen, pumppuyksikön sekä lämmönsiirtimen avulla lämpö edelleen siirretään joko suoraan käyttöön tai välivarastoon varaajaan. Automaatiojärjestelmä ohjaa aurinkokeräinjärjestelmän pumppuyksikköä lämpötila-anturien lämpötilatietojen

mukaan. Automaatiojärjestelmä pitää pumppuyksikön käynnissä aina, kun keräimen ja varaajan lämpötilaero ylittää asetetun arvon, esimerkiksi 5°C. Tällä ehkäistään, niin pumpun turhaa käyntiä kuin varaajan tahallista jäähtymistä. Oleellista aurinkolämpökeräinjärjestelmässä on se, että mahdollisimman suuri osa keräimestä ulospäin suuntautuneesta energiasta saadaan talteen ja voidaan ohjata pitkin haluttua reittiä. Kuvassa 2 on esitetty tavallisen aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate. /3;7./



KUVA 2. Aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate /21/

4 AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄT

Auringon säteilyä keräävät keräimet voidaan jaotella kahteen pääryhmään lämmönkeruutavan perusteella nestekiertoisiin- sekä ilmakiertoisiin keräimiin. Tässä työssä ilmakiertoiset aurinkokeräimet jätetään ainoastaan mainitsemisen asteelle. Nestekiertoiset aurinkolämpökeräimet voidaan jakaa tyhjiöputkikeräimiin, tasokeräimiin sekä kes-

kittäviin keräimiin. Seuraavaksi esitellään erilaiset aurinkokeräintyyppit sekä niiden toimintaperiaatteet.

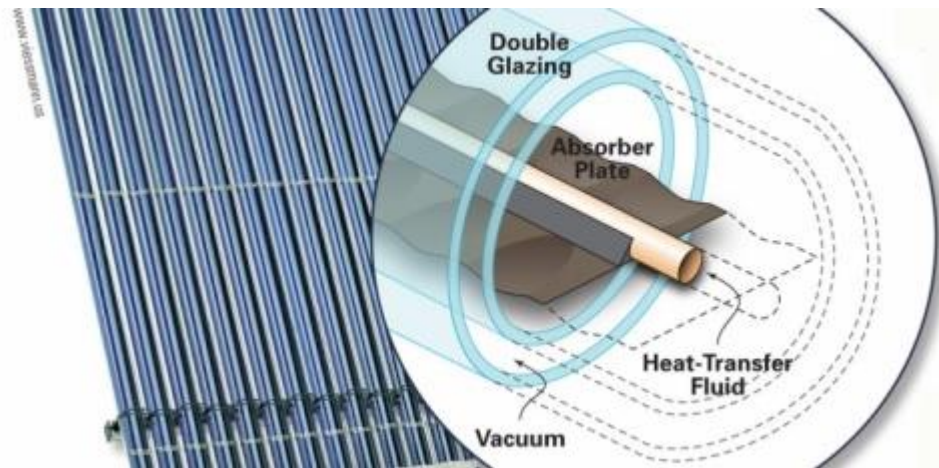
4.1 Tyhjiökeräimet

Tyhjiökeräimissä on muodostettu tyhjiö lasiputkien väliin poistamalla ilma katteen ja absorptiopinnan välistä, näin voidaan vähentää aurinkokeräinten konvektiosta johtuvaa lämpöhäviötä. Tyhjiöputkikeräimessä on useita lasisia keräinputkia, laitevalmistajasta riippuen 6-30 kappaletta yhtä keräintä kohden. Tyhjiökeräimiä on kolmen tyyppisiä, jotka ovat ulkoisesti samannäköisiä mutta eroavat fyysiseltä toiminnaltaan hieman toisistaan. Yleisimmät tyhjiökeräintyyppit ovat jaoteltu lämmönsiirtomenetelmän mukaan kolmeen eriluokkaan tyhjiöputkikeräimiin, U-putkikeräimiin, sekä lämpöputki eli heat pipe –keräimiin. Tyhjiöputkessa lämpöä siirretään absorptiolevyyn kiinnityksessä suorassa tai U-muotoisessa lämmönsiirtoputkessa virtaavalla väliaineella eli lämmönsiirtonesteellä läpivirtausperiaatteella. Kolmannessa vaihtoehdossa eli heat pipe-keräimessä lämmönsiirto tapahtuu lämpöputken avulla, ja se perustuu nesteen höyrystymiseen ja tiivistymiseen kuparisessa lämpöputkessa. /7;8;9./

Tyhjiökeräimen hyvän lämmöneristyskyvyn ansiosta lasiputken lämpötila pysyy lähellä ulkoilman lämpötilaa, joten ulkolämpötilan muutoksilla ei ole suurta merkitystä keräimen toiminnan kannalta, ja se saavuttaa yhtäläiset toimintaedellytykset niin kesähelteellä kuin talvipakkasellakin. Tyhjiökeräimen edut verrattuna tasokeräimeen ovat pienet lämpöhäviöt, erityisesti korkeilla lämpötiloilla toimittaessa, sekä hajasäteilyn hyödyntäminen, joka kasvattaa tyhjiöputkikeräimen hyötysuhdetta jopa 20 - 30 prosenttia paremmaksi tasokeräimeen nähden.

4.1.1 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiökeräimet voivat olla joko yksinkertaisia tai kaksinkertaisia lasisia tyhjiöputkia, jolloin tyhjiö on muodostettu joko lasiputken sisään tai kahden sisäkkäisen lasiputken väliin. Kuvassa 2 on esitetty kaksilasisen tyhjiöputkikeräimen rakenne. Yksinkertaisessa tyhjiöputkiratkaisussa tyhjiö on muodostettu katteen eli lasiputken sisään, jossa lämpöä keräävä absorptiolevy sijaitsee. Kaksinkertaisten tyhjiökeräinten tyhjiö on muodostettu kahden lasiputken välille, jolloin kaksi lasiputkea on sisäkkäin ja absorptiopinta on sisemmän lasiputken ulkopinnalla. /8;11./



KUVA 2. Tyhjiöputkikeräimen rakenne /20/

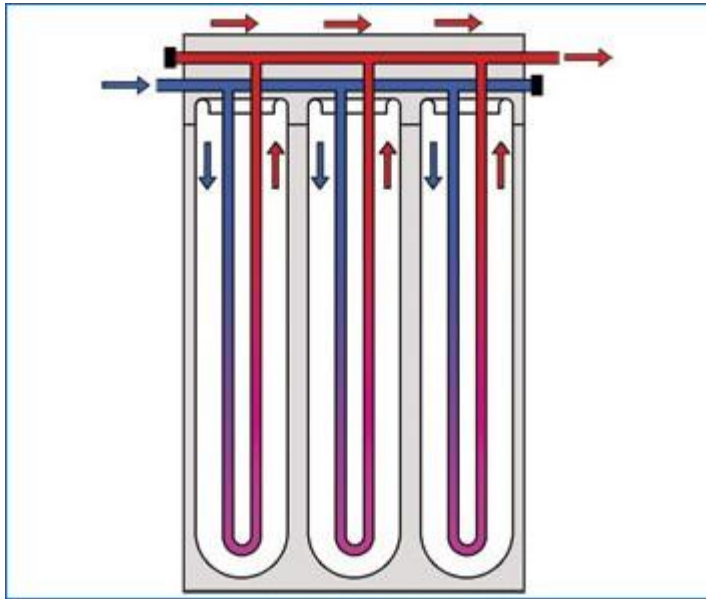
Tyhjiöputkikeräimissä lämmönkeruuputkisto on sijoitettu eristeenä toimivan tyhjiöksi imetyn lasiputkilon sisään. Tällöin tyhjiö toimii myös erittäin tehokkaana eristeenä, jolloin keräimen lämpöhäviöt jäävät erittäin vähäisiksi ja keräimen tehoa pienentävät ainoastaan optiset häviöt sekä johtumisesta ja säteilystä aiheutuvat vähäiset lämpöhäviöt. Tyhjiöputki on pinnoitettu sisäpinnaltaan selektiivisellä pinnoitteella, joka estää yhdessä tyhjiön kanssa absorvoituneen aurinkolämmön karkaamista ja edistää lämmön siirtymistä väliaineen avulla lämmönkeruuputkiston keräin nesteeseen. /7;8;9./

Lämpö siirtyy absorptiopinnan avulla auringon säteilystä lämmönkeruunesteeseen. Yksittäisten putkien keskellä on pienempi putki, jonka sisällä lämmönkeruuneste virtaa. Päistään putket kiinnittyvät runkoputkeen ja sen kautta muuhun aurinkolämpöjärjestelmään. Lämmönkeruuneste virtaa keräinputken yläpäästä sisään ja kulkee pinnoitetun putken sisällä olevassa putkessa keräinputken alapäähän. Alapäästä jo lämmentynyt neste palaa ylöspäin sisimmän putken ja pinnoitetun putken välissä, jossa lämpötila on korkeimmillaan. /9;10./

4.1.2 U-tyhjiöputkikeräin

U-putkikeräin on toiminnaltaan tyhjiöputkikeräimen kaltainen, mutta tyhjiön sisällä oleva lämmönkeruuputki on rakenteeltaan U- mallinen. Lämmitessään lämmönkeruuneste virtaa ensin keräinputken päähän ja tämän jälkeen takaisin. U-putken menoja paluuyhteet ovat siis keräinputken samassa päädyssä. Lämmönkeruuneste syötetään U-putkiin ylhäältä yhdestä yhteisestä jakoputkesta, jolloin lämmentynyt neste virtaa U-

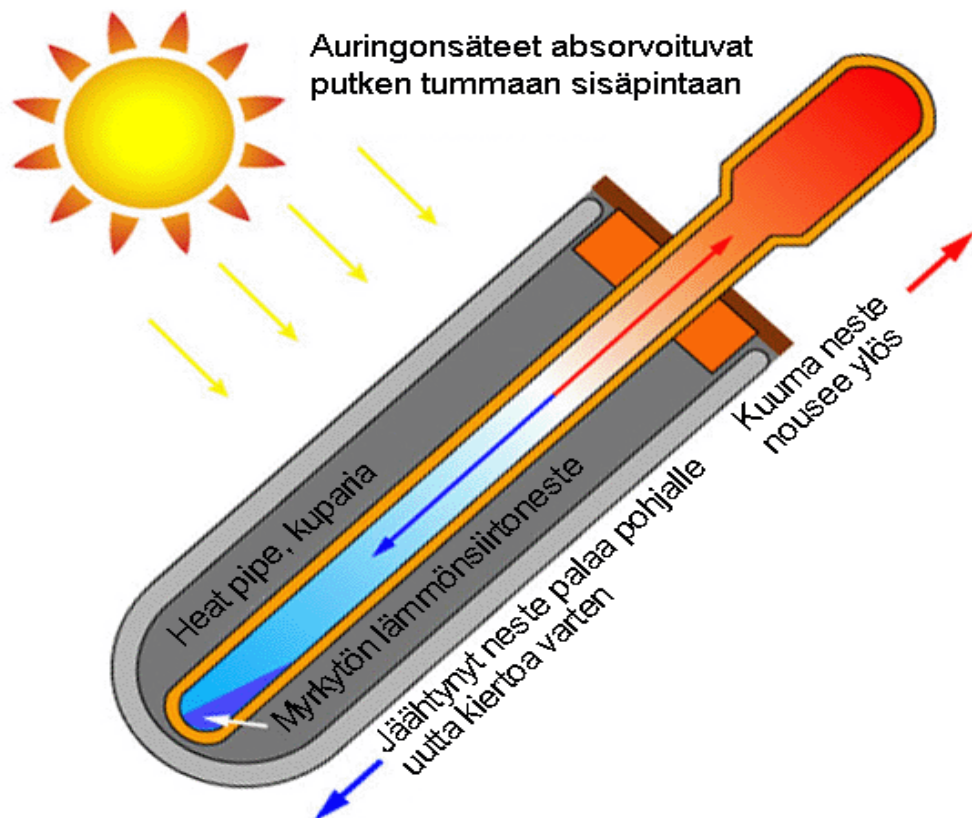
putkista kokoojaputkeen, joka johtaa takaisin varaajalle. Kuvassa 3 on esitetty U-putkikeräimen toimintaperiaate. /7;10./



KUVA 3. U-putkikeräimen toimintaperiaate /22/

4.1.3 Heat pipe eli lämpöputkikeräin

Lämpöputkikeräin poikkeaa muista keräintyypeistä huomattavasti, koska varsinaisissa keräinputkissa ei kierrä lainkaan aurinkolämpöjärjestelmän nestettä. Lämpöputkikeräimen sisempi lasiputki on päällystetty absorptiomateriaalilla, jonka sisällä on varsinainen lämpöputki eli heat pipe. Lämpöputki on kuparinen putki, johon lämpöenergia johtuu absorptiopinnasta. Absorptiopintaan kiinnitetyssä kuparisessa lämpöputkessa on vain hieman joko vettä tai alkoholia. Lämpöputkikeräimen toimintaperiaate on kuvattu kuvassa 4. Absorbaattorin lämmittäessä lämpöputkea sen sisältämä neste höyryytyy ja nousee putken yläpäähän kondensaattoriin, jossa höyry lauhtuu jolloin se luovuttaa lämpönsä lämmönsiirtonesteeseen ja tiivistyy takaisin nesteeksi. Luovutettuaan lämmön kondensaattorissa höyry tiivistyy nesteeksi ja valuu takaisin absorptiopinnan lämpöputkeen lämmitäkseen uudelleen. /7;10./



KUVA 4. Lämpöputkikeräimen toimintaperiaate /9/

4.1.4 KytKentä

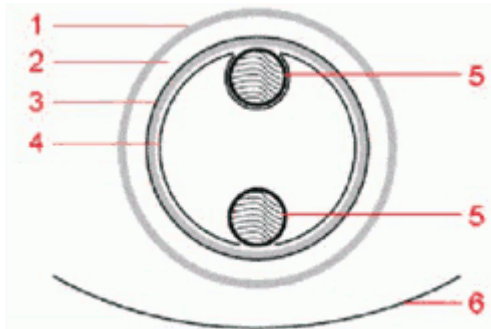
Tyhjiöputkikeräimet voidaan lisäksi jaotella kahteen eri luokkaan sen mukaan, miten ne on kytketty aurinkokeräinjärjestelmän lämmönsiirtojärjestelmään. KytKentä voi olla joko niin sanottu kuiva- tai märkäkytKentä. MärkäkytKennässä tyhjiöputkikeräimen lämmönsiirtoneste on yhteydessä koko keräinjärjestelmän lämmönsiirtonesteen kanssa, kun kuivakytKennässä taas tyhjiölämpöputkikeräimessä oleva lämmönsiirtoneste muodostaa oman erillisen lämmönsiirtopiirin. /7;8;9./

Lämpöputken ja tyhjiöputken liitÄntÄÄ kutsutaan jakoyhteeksi, missÄ lämmennyt kerÄinpiirin neste yhdistyy lämmönsiirtoputkiston kanssa. Jakoyhteen kuivakytKennässä lämpöputken sisällä oleva neste ei ole suorassa kosketuksessa aurinkolämpöpiirin lämmönsiirtonesteen kanssa, joten kerÄinputken rikkoutuessa ei koko kerÄintÄ tarvitse tyhjentÄÄ, vaan yhden putken vaihtaminen käy helposti. LämpöputkikerÄimessä käy-

tettävä höyrystyvä lämmönsiirtoneste on mahdollista valita keräinsovelluksen käytön mukaan, jolloin voidaan valita alhaisissa lämpötiloissa höyrystyvä neste. /7;10./

4.1.5 Keskittävät tyhjiöputkikeräimet

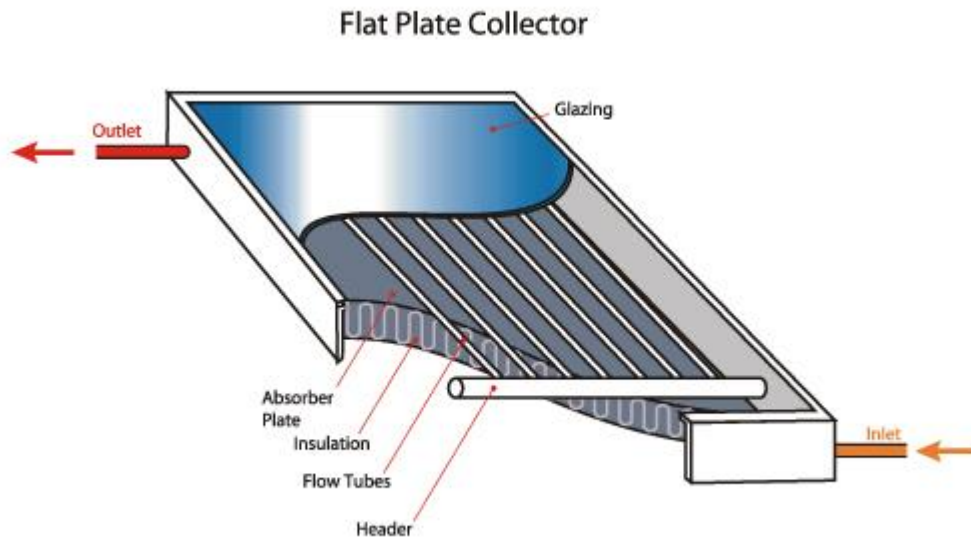
Tyhjiöputkikeräinten tehokkuutta ja hyötysuhdetta voidaan kasvattaa keskittämällä auringon säteilyä tyhjiöputkiin heijastavien pintojen kuten peilien avulla. Kuvassa 5 on esitetty U-putkikeräin, jonka keräintehoa on kasvatettu parabolisen peilin avulla. Parabolinen peili on kuvassa 5 osoitettu numerolla 6. Peilien avulla tyhjiöputkiin voidaan keskittää jopa 25 prosenttia enemmän absorboituvaa auringon säteilyä, kun keräimen ohi mennyt säteily sekä hajasäteily saadaan keskitettyä keräimen absorptiopinnalle. Peilit voivat olla joko kiinteästi tyhjiöputkien alle tai sisään asennettuja parabolisia heijastuspintoja tai isoja moottoritoimisia automaattisesti auringon paistekulman mukaan ohjattuja peilikokonaisuuksia. /8./



KUVA 5. Keskittävän U-putkikeräimen poikkileikkaus /1/

4.2 Tasokeräimet

Aurinkolämpökeräimistä yleisin ja Suomessa eniten käytössä oleva keräintyyppi on nestekiertoinen tasokeräin. Keräimen tärkeimmät osat ovat absorptiolevy, absorptioputkisto, jossa kiertää lämmönkeruuneste sekä lämpöeristetty kotelo katelaseineen. Tasokeräimissä auringon säteilyä kerätään tumman keräinelementin absorbaattorin avulla. Elementin tumma pinta absorboi siihen tulevasta säteilystä suurimman osan ja kuumenee, jolloin valosäteily muuttuu lämpösäteilyksi. Elementti on yleensä metallirakenteinen, kuten alumiinia tai kuparia. Kuvassa 6 on esitetty tasokeräimen halkileikkaus ja toimintaperiaate. /1;7./



KUVA 6. Tasokeräimen poikkileikkaus /23/

Keräimen ominaisuuksia voidaan parantaa varustamalla keräin selektiivisellä pinnoitteella. Selektiivinen pinnoite päästää tehokkaasti auringon säteilyä lävitseen keräimen absorptiopinnalle, mutta samalla estää lämpösäteilyä karkaamasta pois keräimestä. Pinnan lämmitessä se alkaa emittoida lämpösäteilyä, jonka selektiivinen pinnoite heijastaa takaisin absorptiopinnalle. Näin tasokeräimestä tulee lämpöloukku ja keräimen hyötysuhde kasvaa. Tyypillisiä selektiivisiä pinnoitemateriaaleja ovat elektrolyyttisesti valmistetut mustakromi- ja mustanikkelipinnoitteet. /1;7/

Toisin kuin tyhjiökeräimissä tasokeräimessä käytetään eristeenä johtumislämpöhäviöiden ehkäisemiseksi fyysisiä eristeitä kuten vuorivillaa tyhjiön sijaan. Myös tyhjiötasokeräimiä on olemassa, mutta niistä ei ole juurikaan tietoa saatavilla ja keräin onkin vasta kehitysasteella. Tasokeräimen lämpöhäviöiden pienentämiseksi keräimeen voidaan asentaa myös alumiinifolio lämmöneristeen ja absorptiolevyn väliin tai teflonkalvo katteen ja absorptiolevyn väliin sekä varustaa keräin monella katekerroksella, mutta se heikentää absorptiopinnalle tulevaa säteilyenergiaa ja nostaa keräimen hintaa. /1./

Nykyisin aurinkokeräimiä erityisesti tasokeräimiä on saatavana myös rakennusten rakenteisiin kuten kattoon tai ulkoseinään integroituna ratkaisuna. Tällöin keräimistä aiheutuvat arkkitehtoniset haitat jäävät olemattomiksi ja ovat näin hyvä ratkaisu taajama sekä kaupunkirakentamiseen. Talon rakenteisiin integroituna aurinkokeräimen

lämpöhäviöt pienentyvät entisestään kun rakennusosan lämmöneriste toimii myös keräimen lämmöneristeenä. Lisäksi integroitu aurinkokeräin on vähemmän alttiimpi haitallisille sääolosuhteiden vaikutuksille, kuten tuulelle ja sateelle.

4.3 Keräinten ominaisuuksien vertailu

Keräintyyppien vertailu on haastavaa, koska toinen keräin soveltuu paremmin käytettäväksi toisessa sovelluksessa kuin toinen. Tasokeräin on yleisempi keräintyyppi edullisemman hinnan ja mahdollisten tee se itse -rakennelmien ansiosta. Aurinkokeräimillä saadaan Suomessa tuotettua tavallisesti noin 400-650 kilowattituntia energiaa neliömetriltä vuodessa. Tyhjiökeräin mahdollistaa hieman suuremman energiantuoton korkeamman lämpötilatason ja paremman hyötysuhteen ansiosta. /9./

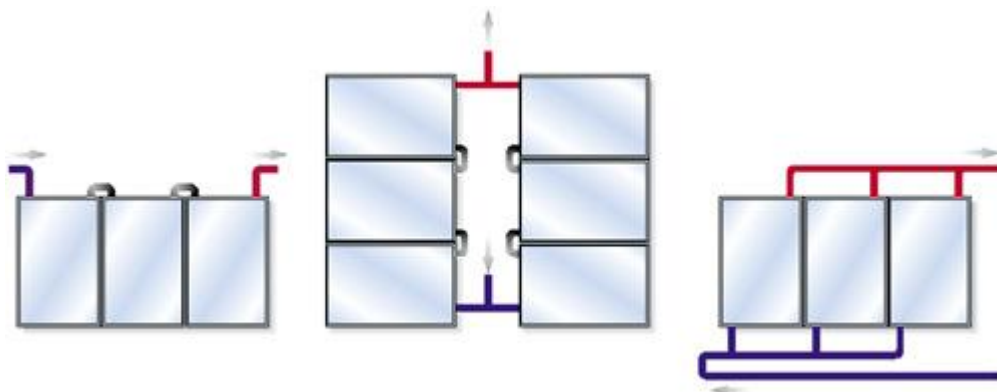
Tyhjiökeräimen hyvät lämmöneristävyysominaisuudet mahdollistavat keräimen toiminnan korkeilla lämpötiloilla, kun keräimen keräämä lämpö pysyy keräimessä eikä pääse vapautumaan takaisin ulkoilmaan, kuten tasokeräimellä. Tyhjiökeräimellä voidaan tuottaa varaajaan kuumempaa vettä kuin tavallisella tasokeräimellä, mutta mahdollisuus järjestelmän ylikuumentumiseen ja kiehumiseen on myös suurempi. Tyhjiökeräimellä voidaan tuottaa jopa yli 100-asteista lämmönsiirtonestettä, jolloin lämmintä käyttövettä saadaan tuotettua nopeasti, mutta se mahdollistaa myös varaajan kiehumisen jos järjestelmä on ylimitoitettu tai jos lämmöntarve on vähäistä. Tasokeräimen maksimaalinen lämmöntuotto on alle 100-astetta tyhjiökeräintä huonomman lämmöneristävyuden takia, lämpöhäviöiden kasvaessa myös hyötysuhde laskee lämpötilaeron kasvaessa, jolloin ylikuumeneminen pääsee vapautumaan takaisin ulkoilmaan.

Tyhjiökeräimen parempi eristystaso mahdollistaa myös korkeamman hyötysuhteen joka tyhjiökeräimellä on välillä 35-85 prosenttia. Tasokeräimen hyötysuhteen jäädessä 35-75 prosenttiin, mutta nykyaikaisilla kehittyneimmillä tasokeräimillä päästään jopa yli 90 prosentin hyötysuhteisiin. Lämpötilaeron kasvaessa keräimen ja ulkoilmanlämpötilan välillä putoaa myös keräinten hyötysuhde. Tasokeräimellä on tavallisesti tyhjiökeräintä parempi hyötysuhde lämpötilaeron ollessa alle 20 °C, mutta lämpötilaeron kasvaessa tätä suuremmaksi tulevat tyhjiökeräimen hyvät lämmöneristävyysominaisuudet esille, jolloin hyötysuhdekin on parempi. /9./

Keräinten ominaisuuksia voidaan verrata myös stagnaatiolämpötilan avulla, joka tarkoittaa keräimen virtauksetonta ja häviötöntä lämpötilaa. Stagnaatiolämpötila on keräimen lämpötila silloin, kun keräimessä ei kierrä lämmönsiirtonestettä ja lämpöhäviöitä ei synny. Tyhjiökeräinten stagnaatiolämpötilat ovat tavallisesti noin 230-250 °C ja tasokeräimen stagnaatiolämpötilat luokkaa 170-180 °C. /9./

4.4 Kyt Kentätavat

Aurinkokeräimet voidaan asentaa aurinkolämpöjärjestelmän lämmönsiirtoputkistoon, joko sarjaan- tai rinnankytkentänä tai niiden yhdistelmänä. Parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi kaikkien järjestelmään kytkettyjen keräimien virtaaman pitäisi olla sama. Mikäli järjestelmän keräimet eivät ole painehäviöiden osalta tasapainossa keskenään, tällöin myös virtaamat vaihtelevat keräimien välillä ja lämpötilatasot muuttuvat, ja näin huonontavat järjestelmän hyötysuhdetta. Kuvassa 7 on esitetty aurinkokeräinten kytkentämallit, kuvassa vasemmalla aurinkokeräinten sarjaan kytkentä, oikealla rinnan kytkentä ja keskellä sarja- ja rinnan kytkennän yhdistelmäkytkentä. /11;24./



KUVA 7. Aurinkokeräinten kytkentä esimerkki /24/

4.4.1 Sarjaan kytkentä

Sarjaan kytkennässä kaikki keräimet ovat kytketty toisiinsa samalla lämmönsiirtoputkistolla jolloin keräimet ja lämmönsiirtoputkisto ovat yhtä putkea. Silloin sama lämmönkeruuneste kiertää jokaisen järjestelmään kytketyn keräimen läpi ja virtaama voidaan pitää vakiona. Tämä mahdollistaa korkeamman käyttölämpötilan tuoton ja paremman lämpötilasuhteen, kun lämmönkeruuneste kuumenee entisestään kiertäessään jokaisen asennetun keräimen läpi.

Sarjaan kytkettäessä myös järjestelmän keräimet ovat painehäviöiden osalta tasapainossa, mutta suurissa järjestelmissä keräinten määrän kasvaessa myös painehäviöt ja järjestelmän pumppauskustannukset kasvavat. Tämä antaa rajoituksen järjestelmän kytkettyjen keräimien määrälle. Sarjaan kytkentä heikentää myös keräinjärjestelmän hyötysuhdetta ja lisää keräinten lämpöhäviöitä, etenkin sarjaan kytkennän viimeisessä keräimessä, missä lämpötilaero absorbaattorin ja keräinnesteen välillä on suhteellisen pieni. Sarjaan kytkentää ei suositella käytettäväksi aurinkolämpöjärjestelmien kytkennöissä, ellei sitä ole erikseen suositeltu aurinkokeräinvalmistajan toimesta. /11./

Sarjaan kytkentä on hyvä vaihtoehto suhteellisen pienissä järjestelmissä ja rakennuksissa, kuten omakotitaloissa, kun aurinkokeräimillä tuotetaan lämmintä käyttövettä ja tavoitellaan korkeita käyttölämpötiloja. Sarjaan kytkennän etuja ovat myös pienemmät kustannukset lämmönsiirtoputkiston asennuksessa ja investoinnissa, kun putkimäärät ovat vähäisemmät eikä ylimääräisiä venttiileitä tarvita virtaamien hallitsemiseen.

4.4.2 Rinnan kytkentä

Kytettäessä aurinkokeräimet rinnan aurinkolämpöjärjestelmään on huomattava, että kaikkien keräimien läpi tulee johtaa sama virtaama, jotta järjestelmä pysyy painehäviöiden osalta tasapainossa. Näin ei järjestelmään pääse syntymään lämmönkeruunesteen kannalta helpointa reittiä, joka laskee järjestelmän hyötysuhdetta sekä samalla tehoa. Rinnan kytkennässä on kiinnitettävä huomiota jo suunnittelussa ja varsinkin asennusvaiheessa, että jokaiselle aurinkokeräimelle tulee lämmönsiirtoputkiston osalta sama painehäviö.

Isommissa aurinkokeräinjärjestelmissä kytkettäessä useita aurinkokeräimiä samaan järjestelmään tulee keräimet asentaa rinnan kytkentänä. Tässä tapauksessa järjestelmän kokonaisvirtaama pysyy vakiona, mutta virtaama keräinten välillä voi helposti vaihdella, jolloin aurinkokeräinjärjestelmän tasapainotus korostuu entisestään. Rinnan kytkennässä lämpötilatasot ja -olosuhteet ovat lähes samat keräinten välillä, jolloin jokainen keräin tuottaa lämpöä eikä esilämmitä seuraavaa keräintä kuten sarjaan kytkennässä. Tämä taas parantaa järjestelmän hyötysuhdetta sekä vähentää keräinten lämpöhäviöitä.

4.5 Aurinkokeräinten sijainti ja suuntaaminen

Aurinkokeräinten suuntaaminen on keräinjärjestelmän tuoton kannalta yksi tärkeimmistä tekijöistä, sillä auringon säteilyn tulokulma ja korkeuskulma vaihtelee vuodenajan ja kellonajan mukaan maapallon pyörimisestä johtuen. Keräimen suuntaamisessa onkin tärkeätä, että auringon säteily pääsee mahdollisimman esteettömästi keräimeen. Paras tuotto keräimellä saadaan kun aurinko paistaa keräimeen kohtisuoraan. Keräinten asennuksessa tulee välttää varjoisia paikkoja. Yleensä aurinkokeräimen sijoittamisen kannalta paras paikka löytyy rakennuksen katolta. Rakennuksen tontista riippuen keräimet voidaan sijoittaa myös maahan tai rakennuksen seinustalle, mutta tässä tapauksessa tulee välttää keräimelle aiheutuvia ylimääräisiä varjostuksia, sekä keräinten etäisyys varaajasta on pidettävä pitää mahdollisimman lyhyenä.

Aurinkokeräimen suuntaamisen kannalta on kaksi tärkeätä kulmaa, jotka ovat kallistuskulma ja atsimuuttikulma eli suuntakulma. Kallistuskulmalla tarkoitetaan vaakatason ja keräimen välistä kulmaa, kun atsimuuttikulmalla taas ilmoitetaan keräimen suuntauksen poikkeama etelästä. Atsimuuttikulma määritellään siten, että suuntaus suoraan etelään on nolla-astetta, kun länteen päin käännettäessä kulma on plus (+) asteita ja itään päin käännettäessä kulma on miinus (-) asteita. Tulokulma määritellään laitteen absorptiopinnan ja tulevan säteilyn välisenä kulmana, keräimen absorptiopintaa kohtisuoraa tulevan säteilyn tulokulma on nolla-astetta.

Aurinkokeräimellä parasta tuottoa haettaessa pitää suuntaus olla kohti etelää välillä koillisesta lounaaseen, jos keräinten tuottoa halutaan painottaa aamulle esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuottoa, on keräimet suunnattava kohti koillista. Painotettaessa mahdollisimman suurta tuottoa illalla on keräimet syytä suunnata kohti lounasta. Paras ympärivuotuisen tuotto keräimillä saadaan kun atsimuuttikulma on nolla-astetta eli keräinten suuntaus on kohti etelää.

Kallistuskulman valintaan vaikuttaa myös lämmitysjärjestelmä johon keräimet on suunniteltu. Painotettaessa kesäajalta aurinkokeräinsovelluksen maksimaalista tuottoa paras kallistuskulma keräimelle on auringon korkeasta paistekulmasta johtuen 0-30 astetta. Talvikäyttöä painotettaessa ja parasta mahdollista tuottoa taas haettaessa tulee keräimen kallistuskulman olla rakennuksen sijainnin leveyspiirin leveysaste plus 15-20 astetta, eli käytännössä keräimet tulee asentaa lähes pystysuoraan. Aurinkokeräin-

ten koko vuoden käyttö huomioiden ja aurinkokeräinjärjestelmän suurinta mahdollista vuosituottoa haettaessa keräinten kallistuskulma tulee olla noin 45 astetta.

4.5.1 Auringon säteily määrän voimakkuuden laskeminen

Auringon säteilyn voimakkuus S halutulla paikkakunnalla voidaan määrittää laske-
malla yhtälön 1 avulla. Laskennassa tarvittavia suureita ovat paikkakunnan leveyspii-
rin asteluku, auringon deklinaatio on kuvattu kuvassa 8 suurella δ sekä kellonajasta
riippuva tuntikulma ja korkeuskulma α . Auringon korkeuskulmaa päiväntasaajalta
katsottuna kutsutaan deklinaatioksi. /5;18./

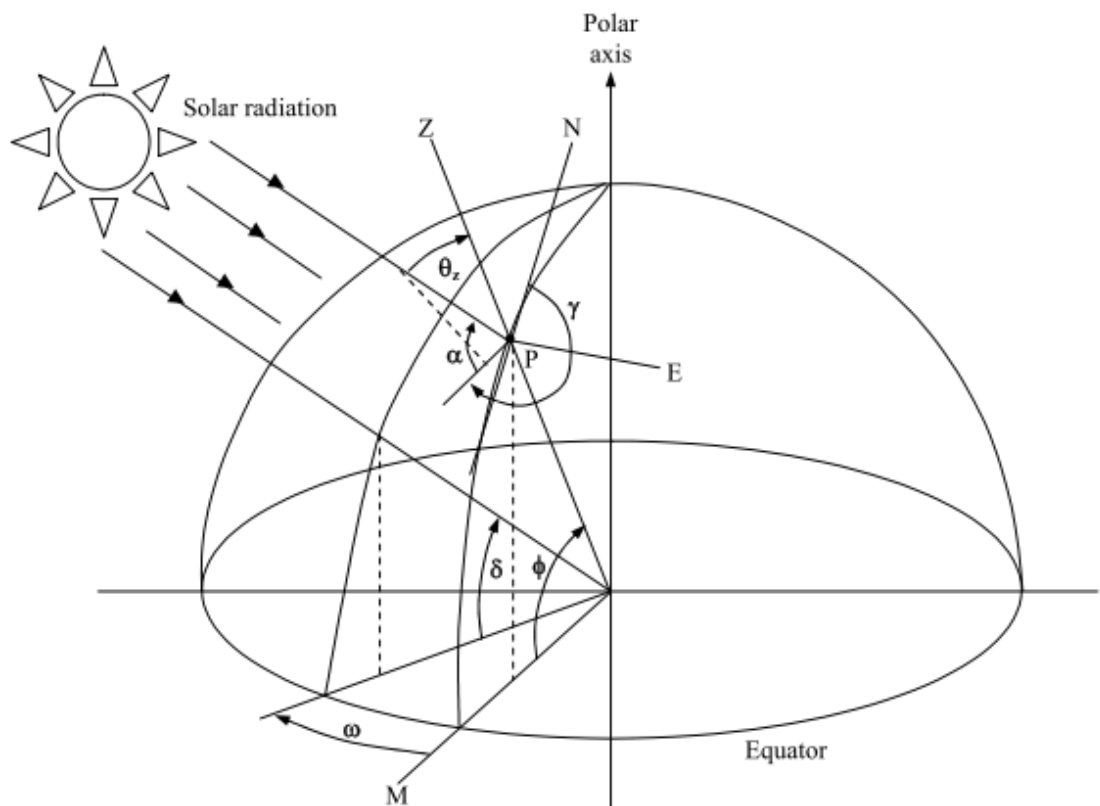


Figure 2. Earth's angles – Sun and Observer (P) - Sun

**KUVA 8. Pallokoordinaatisto, jossa kuvattu auringon säteilyn voimakkuutta las-
kettaessa tarvittavia suureita /18/**

$$S = S_0 * \sin \alpha \quad (1)$$

missä

S = auringon säteilyn voimakkuus

S_0 = auringon säteilyn voimakkuus maan pinnalla silloin, kun aurinko on suoraan yläpuolella, käytetään $S_0=1000 \text{ W/m}^2$

α = auringon korkeuskulma

Auringon korkeuskulma α voidaan laskea yhtälön 2 avulla. Auringon korkeuskulma on riippuvainen paikkakunnan leveyspiiristä, auringon deklinaatiosta ja kellonajasta. /5;18./

$$\sin \alpha = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos h \quad (2)$$

missä

α = auringon korkeuskulma halutulla paikkakunnalla

ϕ = paikkakunnan leveyspiiri

δ = auringon deklinaatio

h = kellonajasta riippuvainen tuntikulma

Auringon tuntikulma saadaan laskettua yhtälöstä 3, koska maapallo pyörii kerran vuorokaudessa akselinsa ympäri. /5;18./

$$h = \frac{360}{24} = 15 * (\text{aurinkoaika} - 12) \quad (3)$$

missä

h = tuntikulma, kesäajan vuoksi aurinko on etelässä noin kello 13, jonka vuoksi aurinkoaika on tuntia vähemmän kuin kellonaika

Auringon korkeuskulmaa laskettaessa tarvittava auringon deklinaatio δ voidaan laskea yhtälön 4 mukaan. /5;18./

$$\delta = \sin \omega t \quad (4)$$

missä

δ = auringon deklinaatio

ω = auringon kulmanopeus radalla

t = aika laskettuna kevätpäivän tasauksesta 21.3

Auringon kulmanopeus ω voidaan ilmoittaa yhtälön 5 avulla, koska maapallo kiertää auringon ympäri 360° vuodessa eli yhdessä päivässä kiertymä on 360° jaettuna vuoden päivien lukumäärällä 365 eli noin yksi astetta päivässä. /5;18./

$$\omega = \frac{360}{365} = 0,986/pv \quad (5)$$

Auringon säteilyn voimakkuuden esimerkkilaskelma Jyväskylään on laskettu liitteessä 1. Esimerkkilaskelmassa on esitetty säteilymäärät vuoden aurinkoisimpana päivänä kesäpäivänseisauksena 21. kesäkuuta sekä pimeimpänä päivänä talvipäivänseisauksena 21. joulukuuta.

4.6 Lämmönkeräinjärjestelmän osat

Aurinkolämpökeräinjärjestelmä pääkomponentit on esitelty jo aiemmin luvussa 3.4. Seuraavaksi esitellään järjestelmän pääkomponentit tarkemmin.

4.6.1 Varaaja

Varaajan tehtävä aurinkokeräinjärjestelmässä on ottaa vastaan ja varastoida aurinkokeräinten tuottama lämpöenergia ja jakaa se sieltä käyttöön, kun tarvetta ilmenee. Yleisin käytetty varaaja on säiliö, joka on täytetty vedellä ja eristetty hyvin. Yleensä varaajan mitoituksessa on huomioitu, että varaajan tulisi varata riittävästi lämpöenergiaa muutaman vuorokauden tarpeisiin. Myös suuria kausivarastoja on olemassa, joissa aurinkoenergian lämpöenergiaa varastoidaan tavallisesti maaperään veden avulla, tällaisten kausivarastojen koko on useita kymmeniä tuhansia kuutioita. /1./

Aurinkoenergian saatavuuden jaksottaisuudesta johtuen aurinkokeräinjärjestelmässä varaajan tärkeys korostuu entisestään ja se on järjestelmän käytettävyyden kannalta tärkeimpiä pääkomponentteja yhdessä aurinkokeräinten kanssa. Varaajaa lämmitetään suljettuna kiertona aurinkokeräinten, lämmönkeruunesteen ja lämmönsiirtimen avulla, kun aurinkokeräimiltä tuleva lämmennyt lämmönsiirtoneste luovuttaa lämmönsiirtimessä lämpönsä varaajan viileämpään veteen. Yleisimmin aurinkokeräinten yhteydessä käytetään niin sanottuja energiavaraajia, missä varaajan vettä lämmitetään aurinkokeräinjärjestelmästä lämmityskierukan avulla ja varaajassa kiertävä vesi kiertää myös päälämmönlähteessä. Lämminkäyttövesi lämmitetään varaajassa käyttövesikierukan

avulla. Varaajan eristystaso pitää olla myös riittävän hyvä, että lämpöhäviöt pysyvät mahdollisimman pieninä. Oleellista on, että varastoitu lämpö saadaan purettua käyttökohteisiinsa. /12./

Varaajatilavuuden mitoitusperusteena yleisesti ottaen on 50-100 litraa aurinkokeräin neliötä kohden. Kerrostaloon mitoitettut aurinkokeräinjärjestelmät, joiden keräinalat ovat jopa useita satoja neliömetrejä. Tarkoittaa se sitä, että varaajan tulee olla kooltaan jopa kymmeniä kuutiometrejä. Tällaisissa tapauksissa käytetään yhden varaajan sijasta useampaa varaajaa, jotta saadaan riittävä varaajakapasiteetti. Tämä helpottaa muun muassa varaajien asentamista, koska saneerauskohteissa varaajille varatut tilat ovat yleensä rajoitetut. /1;10./

Varaajan toiminnan ja hyötysuhteen kannalta on tärkeitä veden lämpötilan kerrostuminen varaajassa, tällöin varaajan kuumin vesi nousee varaajan yläosaan ja viileämpi vesi painuu varaajan pohjalle. Lämmintä käyttövettä tuottaessa pitää varaajassa olla riittävän kuumaa vettä vähintään 55-celsiusasteista. Käyttövesikierukan sijaitessa varaajan yläosassa koko varaajaa vesitilavuutta ei tarvitse lämmittää yhtä kuumaksi, vaan riittävää on, että lämminvesi kerrostuu varaajan yläosaan. Lämpötilan kerrostumista varaajassa voidaan ohjata virtausohjaimien sekä putkitusten eli aurinkolämpökierukoiden ja käyttövesikierukoiden sijoittamisen avulla. /12./

4.6.2 Lämmönsiirrin

Yleensä lämmönsiirtimenä aurinkolämpöjärjestelmässä käytetään joko kuparista varaajan sisälle asennettua kierukkaa tai erillistä varaajan ulkopuolista levylämmönsiirrintä. Kierukkalämmönsiirrin on aurinkolämpöjärjestelmässä hyötysuhteen kannalta parempi vaihtoehto, koska varaajassa voidaan paremmin hyödyntää veden lämpötilakerrostumista. Varaajassa voidaan käyttää myös kahta kierukkalämmönsiirrin aurinkolämmön tuotannossa, jossa toinen kierukka luovuttaa lämmön varaajan yläosaan ja toisella kierukalla esilämmitetään varaajan alaosaa. Lämpimän käyttöveden tuotannossa on myös mahdollista käyttää kahta käyttövesikierukkaa, silloin järjestelmä on päinvastainen kuin aurinkolämpöjärjestelmässä, alemmalla kierukalla esilämmitetään ja ylemmällä viimeistellään lämpimän käyttöveden riittävän korkea lämpötila. /12./

4.6.3 Lämmönsiirtoputkisto

Aurinkolämpöä tuottaessa keräinjärjestelmän lämpötilat voivat kohota useisiin satoihin asteisiin etenkin kesäaikana, jolloin edellytykset aurinkolämmöntuotannolle ovat erinomaiset. Tällöin lämmönsiirtonesteen lämpötila asettaa omat rajoituksensa käytettävälle lämmönsiirtoputkiston materiaalille, koska korkeat lämpötilat keräinpiirissä poissulkevat muoviputkien käytön lämmönsiirtoputkistona. Toinen rajoittava tekijä putkimateriaali valintoja tehdessä on käytettävä lämmönsiirtoneste, joka Suomen on olosuhteissa tavallisesti vesi-glykoliseosta. Vesi-glykoliseoksella estetään lämmönsiirtopiirin ja nesteen jäätyminen talvella. Vesi-glykoliseos voi mahdollisesti aiheuttaa korroosio-ongelmia, jos sitä käytetään sinkittyjen putkien kanssa, joten putkistomateriaaliksi suositellaan käytettäväksi terästä, ruostumatonta terästä taikka kuparia. /11./

Aurinkolämpöjärjestelmän tuottavuuden kannalta on erittäin tärkeätä eristää lämmönsiirtoputkisto hyvin, koska näin vältetään ylimääräisiltä lämpöhäviöiltä ja saadaan parannettua järjestelmän hyötysuhdetta. EN-standardin 12979 mukaan aurinkolämpöjärjestelmän lämmönsiirtoputkiston eristepaksuuden tulisi olla alle 22 millimetriä ulkohalkaisijaltaan olevilla putkilla 20 millimetriä (± 2 mm) ja 28-42 millimetrin putkien 30 millimetriä (± 2 mm). /1;10;11./

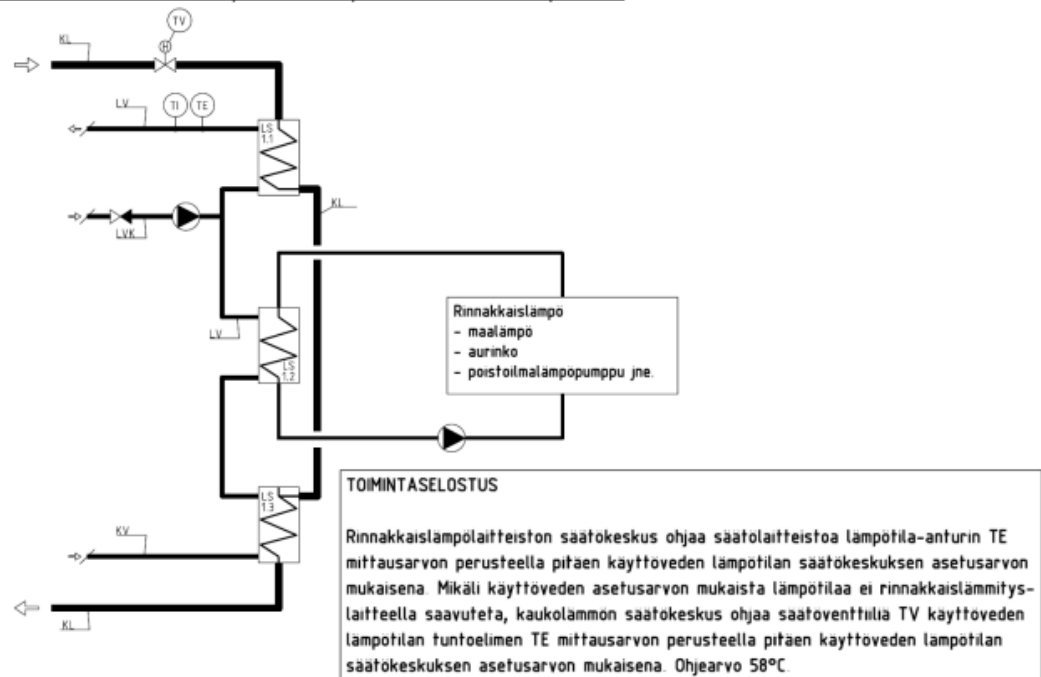
4.6.4 Automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmän tehtävänä aurinkolämpöjärjestelmässä on ohjata kiertovesipumppuyksikön käyntiä. Pumppuyksikön käyntiä ohjataan lämpötilatietojen mukaan. Automaatiojärjestelmä tarvitsee vähintään kaksi lämpötilatietoa, toisen aurinkokeräimiltä ja toisen varaajasta. Kun lämmönsiirtonesteen lämpötila aurinkokeräimillä ylittää varaajan lämpötilan asetetulla lämpötila-arvolla esimerkiksi 5-celsiusasteella käynnistää automaatiojärjestelmä pumpun, joka kierrättää järjestelmässä lämmönsiirtonestettä ja järjestelmä alkaa varaamaan aurinkokeräimillä tuotettua lämpöä varaajaan. Lämpötilaeron kavennuttua varaajan ja keräinten välillä alle asetetun arvon katkaisee automaatiojärjestelmä pumpun käynnin, näin varaajan vettä ei turhaan jäähdytetä.

4.7 Aurinkolämmön yhteistuotanto kaukolämmön kanssa

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavat rakennukset ovat kaikki liitetty kaukolämpöverkoon ja kaukolämpö toimii rakennusten päälämmönlähteenä. Aurinkolämpö on suunniteltu kattamaan erityisesti kesäajan lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava energiamäärä. Oheisessa kuvassa 9 on esitetty kaukolämmön hybridijärjestelmän esimerkkikytkentä, missä päälämmönlähteenä on kaukolämpö ja rinnakkaisjärjestelmänä aurinkokeräinjärjestelmä tuottamassa lämmintä käyttövettä. Mikäli aurinkolämmöllä ei kyetä saavuttamaan lämpimän käyttöveden asetusarvoa eli riittävää käyttöveden lämpötilaa, lämmitetään tarvittavat kulutushuiput kaukolämmön avulla. Lämpimän käyttöveden lämpötilan vähimmäisvaatimus on 55-58 °C. /17./

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



KUVA 9. Esimerkkikytkentä aurinkolämmön ja kaukolämmön rinnakkaiskytkennästä /17/

5 CASE

Tässä työssä on tarkoitus mitoitaa aurinkokeräinjärjestelmä neljään eri asuinkerrosta-
loon. Valitut rakennukset poikkeavat toisistaan niin rakennusvuoden, pinta-alan kuin
asukasluvunkin osalta. Näin voidaan vertailla aurinkokeräinjärjestelmän toimivuutta
erilaisissa rakennuksissa toisiinsa.

Mitoitusohjeena käytetään rakentamismääräyskokoelman osaa D5 ja sen aurinkoläm-
mönmitoitusopasta. Kerrostalot sijaitsevat Jyväskylässä ja ovat liitetty Jyväskylän
Energian kaukolämpöverkkoon. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksen lähtökohtana
on ollut kattaa aurinkoenergialla lähes kokonaan rakennusten kesäajan lämpimän
käyttöveden kulutusta vastaava energiamäärä. Rakennuskohtaiset energiamäärät on
saatu Jyväskylän Energian tietokannasta, joka kerää kaukolämmön kulutustietoja. Au-
rinkokeräinjärjestelmien mitoitus on toteutettu toteutuneen kesäaikaisen kaukoläm-
mön kulutuksen mukaan, jonka on arvioitu olevan lämpimän käyttöveden kulutukseen
mennyt energiamäärä.

Esimerkkitaloille mitoitetuille aurinkokeräinjärjestelmille on kysytty tarjouskilpailulla
hinnat muutamalta keräintoimittajalta. Hintojen vaikeasta saatavuudesta johtuen au-
rinkokeräinten ja keräinjärjestelmien toimittajien vertailu jäi näin ollen erittäin vä-
häiseksi. Hinnat ovat suuntaa-antavia ”avaimet käteen” hintoja sisältäen koko aurin-
kokeräinjärjestelmän asennuksineen kohteena oleviin rakennuksiin, joiden mitoitettut
keräin pinta-alat olivat 70 neliömetristä 250 neliömetriin.

5.1 Aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus

Mitoitus on toteutettu vuonna 2012 uusiutuneen Suomen rakentamismääräyskokoel-
man osan D5 aurinko-oppaan mukaan, jossa aurinkolämmön osalta on esitetty lasken-
tatapa, jolla osoitetaan aurinkolämpökeräimien avulla saatava käyttöveden lämmityk-
sessä hyödynnettävä energiamäärä. Menetelmä pohjautuu standardiin SFS-EN 15361-
4-3, mihin aurinko-opas esittää suomalaiset säätiedot ja taulukkoarvot. /13./

Aurinko-oppaan laskentayhtälöiden mukaan yhtälöistä on tehty excel-
taulukkolaskentaohjelmaan kokonaisuus, jolla voidaan mitoitaa aurinkokeräinjärjes-
telmä mihin tahansa rakennukseen. Mitoitus voidaan tehdä sijoittamalla taulukkoon

rakennuksen asukasluku ja keskimääräinen lämpimän käyttöveden määrä. Tai kuten tässä työssä tuottotarpeeksi Q_{tarve} on asetettu rakennuksen arvioitu käyttöveden lämmittämiseen kulunut energiankulutus. Keräinpinta-alan mitoitukseen on tehty yhtälö, joka antaa laskennallisesti suurimman keräinpinta-alan ilman, että aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa ylitämpöä lämpimän käyttöveden kulutukseen nähden.

Kaikissa rakennuksiin mitoitetuissa aurinkokeräinjärjestelmissä keräinten suuntaus on kohti etelää ja kallistuskulmaksi asetettu 45 astetta, koska 45 asteen kallistuskulmalla saatiin suurin vuotuinen laskennallinen tuotto. Seuraavaksi esitellään aurinkolämmönmitoitukseen käytetty laskentaohje.

5.1.1 Aurinkolämmön tuoton laskeminen

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava paikkakuntaakohtainen tuotto kuukausitasolla lasketaan yhtälön 6 mukaisesti. /13./

$$\frac{Q_{tuotto,A}}{Q_{tarve,A}} = c_{tyyppi}(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * \quad (6)$$

missä

$Q_{tuotto, A}$ = aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)

$Q_{tarve, A}$ = lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (kWh)

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin, jona tässä laskentamenetelmässä käytetään aina $c_{tyyppi} = 1$

a, b, c, d, e, f = myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia, jotka tässä laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille ovat

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

X, Y = X on häviöt/tarve –suhde ja Y on tuotto/tarve –suhde.

Aurinkolämmön tuoton laskemisessa ensimmäiseksi tarvittavat dimensiottomat suu-reet X ja Y lasketaan yhtälöiden 7 ja 8 avulla. Aurinkokeräinten tuottoa vertailtaessa huomionarvoista on että yhtälössä 8 arvo η_0 keräinpinta-alaa vastaava optinen hyötysuhde, sekä yhtälössä 9 olevat arvot a_1 keräinpinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin ja a_2 keräinpinta-alaa vastaava häviökerroin ovat keräinikohtaisia, jotka huomioivat keräinten ominaisuudet aurinkolämmön tuottoa laskettaessa. /13./

$$X = \frac{A \cdot U_C \cdot \eta_{kierto} \cdot \Delta T \cdot t_h \cdot c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (7)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (8)$$

missä

A = aurinkokeräinten pinta-ala (m²)

IAM = keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, jolle oletusarvoina käytetään

IAM = 1,0 kattamattomalle lasittomalle keräimelle,

IAM = 0,94 lasikatteisille tasokeräimille,

IAM = 0,97 tyhjiöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta ja

IAM = 1,0 tyhjiöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta.

$Q_{keräin}$ = auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, (Wh/m²,kk)

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvoina käytetään $\eta_{kierto} = 0,8$.

η_0 = käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN 12975-2 mukainen optinen hyötysuhde.

t_h = tarkastelujakson pituus, kuukausi (h)

Laskennassa tarvittava keräinpiirin lämpöhäviökerroin lasketaan yhtälön 9 avulla, lisäksi kaavassa tarvittava keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin lasketaan yhtälön 10 avulla. /13./

$$U_C = a_1 + 40 \cdot a_2 + U_L/A \quad (9)$$

missä

U_c = keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m^2K)

a_1 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan.

a_2 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan.

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (W/K)

A = aurinkokeräinten pinta-ala (m^2)

Mikäli keräinpiirin putkiston tarkkaa lämpöhäviökerrointa ei ole tiedossa lasketaan se yhtälön 10 avulla. /13./

$$U_L = 5 + 0,5 * A \quad (10)$$

missä

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (W/K)

A = aurinkokeräinten pinta-ala (m^2)

Keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero lasketaan yhtälöstä 11. Yhtälössä tarvittava sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila lasketaan yhtälön 12 avulla. /13./

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (11)$$

missä

ΔT = referenssilämpötilaero (K)

θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila ($^{\circ}C$)

θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, ($^{\circ}C$)

Sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila laskettaessa pelkästään käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta käytetään yhtälöä 12. /13./

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{nw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad (12)$$

missä

θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila ($^{\circ}C$)

θ_{hw} = lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään $\theta_{hw} = 40^\circ\text{C}$.

θ_{cw} = kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa $\theta_{cw} = 5^\circ\text{C}$.

θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, taulukkoarvo rakentamismääräyskokoelma D3.

Varaajan varastokapasiteetin korjauskerroin lasketaan yhtälöstä 13, kun varaajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta $75 \text{ dm}^3/\text{keräin-neliometriä}$ kohden. Määrittäessä aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa on dimensiotonta muuttujaa X korjattava varastokapasiteetin korjauskertoimella, joka ottaa huomioon poikkeavan varaajakapasiteetin. /13./

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}}\right)^{-0,25} \quad (13)$$

missä

c_{cap} = varastokapasiteetin korjauskerroin

V_{tod} = varaajan suunniteltu ominaistilavuus ($\text{dm}^3/\text{keräin-m}^2$)

V_{ref} = varaajan referenssitilavuus $75 \text{ dm}^3/\text{keräin-m}^2$

5.1.2 Aurinkolämpöjärjestelmän apulaitteiden energiankulutus

Aurinkolämpöjärjestelmän apulaitteiden kuten kiertovesipumppujen tarvitsema os-toenergiankulutus lasketaan yhtälön 14 mukaisesti. /13./

$$W_{aurinko,pumput} = \sum(P_{pumppu,i} * t_{pumppu,i})/1000 \quad (14)$$

missä

$W_{aurinko,pumput}$ = aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus (kWh)

$P_{pumppu,i}$ = yksittäisen pumpun i teho (kW)

$t_{pumppu,i}$ = pumpun i käyttöaika (h)

Mikäli pumpuista ei yksityiskohtaisia suunnittelutietoja ole olemassa, voidaan pumpun tai pumppujen oletusarvoisena käyntiaikana käyttää arvoa 2000 tuntia vuodessa ja pumpun teho voidaan laskea yhtälön 15 avulla. /13./

$$P = (50 + 5 * A_{aurinkokeräin})/1000 \quad (15)$$

missä

P = Pumpun teho (kW)

$A_{aurinkokeräin}$ = kiertoosiiriin kytkettyjen aurinkokeräimien pinta-ala (m²)

5.1.3 Aurinkokeräimelle tulevan auringonsäteilyn laskeminen

Maan pinnalle tulevan auringonsäteilyn määrää voidaan laskea eri paikkakunnille monella tavalla. Esimerkiksi, kun tiedetään paikkakunnan suora- ja hajasäteily vaakatasolle sekä ympäristön heijastus- ja varjostusominaisuudet. Auringonsäteilyn muunnos kallistetulle pinnalle tapahtuu geometrisin perustein. Kuukausittaiset säteilyenergiat Jyväskylään on esitetty taulukossa 1. Taulukossa 2 on esitetty esilasketut säteilyenergian korjauskertoimet. Arvot ovat peräisin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 aurinko-oppaassa.

TAULUKKO 1. Kuukausittaiset säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle Jyväskylässä /13/

Kuukausi	Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle Jyväskylässä (kWh/m ² ,kk)
Tammikuu	5
Helmikuu	20
Maaliskuu	52
Huhtikuu	103
Toukokuu	171
Kesäkuu	159
Heinäkuu	158
Elokuu	114
Syyskuu	71
Lokakuu	25
Marraskuu	7
Joulukuu	3
Koko vuosi	890

TAULUKKO 2. Kuukausittaiset kallistetun keräimen säteilytehon korjauskertoimet Jyväskylän olosuhteissa /13/

Kuukausi	Korjauskertoimet on annettu etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla Jyväskylässä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Koko vuosi	1,00	1,21	1,26	1,27	1,13

Aurinkokeräimelle tuleva auringonsäteily saadaan laskettua yhtälön 16 avulla, kaavassa on otettu huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen kuukausittainen säteily määrä Jyväskylään, sekä korjauskertoimen kallistetulle pinnalle.

$$Q_{\text{keräin}} = k * Q_{\text{säteily}} \quad (16)$$

missä

$Q_{\text{keräin}}$ = keräimelle osuvan auringonsäteilyn energia tarkastelujaksolla (kWh/m²,kk)

$Q_{\text{säteily}}$ = vaakatasolle tulevan auringon säteilyenergia, joka on paikkakunta-kohtainen, arvot on esitetty taulukossa 1 (kWh/m²,kk)

k = korjauskertoimen etelään suunnatulle keräimelle, joka riippuu keräimen kallistuskulmasta ja ajankohdasta, löytyvät taulukosta 2

Aurinkolämmön tuotto												
Asukkaita talossa						100	henk					
Keräimien pinta-ala						120	m ²					
Varaajan koko						9	m ³					
Keräinten kallistuskuuma vaakatasoon nähden						45	°					
Keskimääräinen lämpimän käyttöveden kulutus						50	dm ³ /hlö/vrk					
Verkoston kylmän veden keskimääräinen lämpötila						8	°C					
Lämpimän käyttöveden lämpötila						58	°C					
Varaajan ominaistilavuus						75,0	dm ³ /m ²					
Keräinpiirin lämpöhäviökerroin (U _c)						3,781667	W/m ² /K					
Keräimen lämpöhäviökerroin (a ₁) spesifikaatio						1,8	W/m ² /K					
Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (U _f)						65	W/K					
Keräimen optinen hyötysuhde (η ₀) spesifikaatio						0,92	-0,83					
Keräinpiirin hyötysuhde (η _{keräin})						0,8						
IAM						0,94						
Keräin pinta-ala vastaava keräimen häviökerroin (a ₂) spesifikaatio						0,036	W/m ² /K ²					
Järjestelmän apulaitteiden energiankulutus						1,3	kW					

Aurinkolämmön tuotto (Jyväskylä)	Säteily vaakapinnalle (kWh/m ²)	Ulkoilman keskilämpötila (°C)	Päivien lkm	Dimensiottomat muuttujat		Lämmitysenergian tarve (kWh)	Korjauskertoimet kallistuskulmille					Säteily kallistettupinnalla (kWh/m ²)	Aurinkokeräinten tuotto (kWh)	Aurinkokeräinten tuotto (MWh)	
				X	Y		0	30	45	60	90				
Tammikuu	5,4	-8,00	31	1,786	0,077	10135	1	1,5	1,75	1,75	1,75	9,45	0,0	0,00	
Helmikuu	20,1	-7,10	28	1,752	0,414	9154	1	1,95	2,27	2,5	2,55	45,63	2536,0	2,54	
Maaliskuu	51,9	-3,53	31	1,615	0,744	10135	1	1,57	1,75	1,85	1,75	90,83	5457,9	5,46	
Huhtikuu	102,9	2,42	30	1,387	1,132	9808	1	1,25	1,3	1,29	1,13	133,77	7802,6	7,80	
Toukokuu	171,4	8,84	31	1,141	1,502	10135	1	1,09	1,07	1,01	0,78	183,40	10073,9	10,07	
Kesäkuu	159,1	13,39	30	0,967	1,333	9808	1	1,03	0,99	0,9	0,63	157,51	9084,0	9,08	
Heinäkuu	158,2	15,76	31	0,877	1,309	10135	1	1,05	1,01	0,93	0,66	159,78	9321,3	9,32	
Elokuu	113,9	13,76	31	0,953	1,036	10135	1	1,12	1,11	1,05	0,8	126,43	7768,1	7,77	
Syyskuu	71,1	9,18	30	1,128	0,800	9808	1	1,28	1,33	1,33	1,11	94,56	5950,0	5,95	
Lokakuu	25,3	4,07	31	1,324	0,336	10135	1	1,46	1,62	1,65	1,54	40,99	2389,4	2,39	
Marraskuu	7,3	-1,76	30	1,547	0,082	9808	1	1,33	1,33	1,5	1,33	9,71	0,0	0,00	
Joulukuu	3,2	-5,92	31	1,707	0,026	10135	1	1	1	0,5	0,5	3,20	0,0	0,00	
koko vuosi	889,8	3,4	365			119331	119,33	MWh				1055,25	60383,2	60,383	
					ka=	9944	9,94	MWh					tuotettu:	51 %, lkv:stä	
															503 kWh/m ² ,a

KUVA 10. Aurinkolämmön mitoitusohjelma

5.2 Aurinkolämmön tarve

Aurinkolämmön tuoton laskentakaavassa aurinkolämmön tuoton tarve Q_{tarve} saadaan mitoittavien rakennusten kaukolämmönkulutuksesta. Rakennuskohtaisesta kulutuksesta on edelleen arvioitu lämpimän käyttöveden tuotantoon mennyt energiamäärä, kun koko vuoden kulutuksesta on eritelty kesäajan kulutus kesäkuun alusta elokuun loppuun viimeisen kolmen vuoden ajalta, josta on otettu keskiarvo, jotta otoksesta tulisi mahdollisimman realistinen lämpimän käyttöveden kulutuksen kannalta. Käyttöveden energiamäärä on sijoitettu yhtälöön 6, joka on aurinkolämpöjärjestelmään kohdistuva lämmön tuotto tarve. Rakennuskohtaiset aurinkokeräinjärjestelmien keräinpinta-alat on mitoitettu siten, että kesäkuukausina saadaan käyttöveden tuotannosta katettua aurinkoenergialla mahdollisimman suuri osa ilman että mahdollista yllilämpöä syntyy. Näin saadaan vuotuisesta lämpimän käyttöveden tarpeesta tuotettua aurinkolämmöllä noin 50 prosenttia, joka on mitoituksen vuotuinen kokonaistuottotavoite.

Aurinkolämmön tuotot ja keräinpinta-alat on laskettu ja mitoitettu kappaleissa 5.1.1 ja 5.1.3 olevien yhtälöiden avulla, joista on tehty excel -taulukkolaskentaohjelmaan kuvan 10 mukainen mitoitusohjelma. Mitoituksessa aurinkokeräimenä on käytetty kotimaisen aurinkokeräinvalmistajan keräintä, jonka ominaisuudet on laskennassa otettu

huomioon. Samaa aurinkokeräintä on myös käytetty investointikustannuksia arvioitaessa ja tarjouspyyntöjä pyydettyä jätteenmyyjältä.

5.3 Aurinkokeräinjärjestelmän kannattavuus

Aurinkokeräinjärjestelmän investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida monella mittarilla. Tässä työssä kannattavuuden arvioinnissa on käytetty nettonykyarvomenetelmää, jolla on laskettu investoinnin kannattavuus tietyllä ajanjaksolla. Nettonykyarvomenetelmä ottaa huomioon investoinnin suuruuden, mahdolliset kulut ja tuotot sekä lainojen korkokannan ja inflaation koron. Menetelmässä jokaisen vuoden tuotot eli kassavirta diskontataan kyseisen vuoden diskonttaustekijällä, joka lasketaan yhtälön 17 avulla. Diskonttaustekijä ottaa huomioon lainojen nimelliskoron sekä inflaationkoron reaalikorkona yhtälön 18 mukaan. Mikäli investoinnin arvo tietyllä aikavälillä on positiivinen tai yhtäsuuri kuin nolla, niin investointi on kannattava, jos nettonykyarvo jää negatiiviseksi on investointi kannattamaton. /14./

$$d_k = 1/(1 + r)^k \quad (17)$$

missä

d_k = kunkin vuoden diskonttaustekijä

r = reaalikorko, joka ottaa huomioon myös inflaation, lasketaan kaavan 13 mukaan

k = sen vuoden järjestysnumero, jonka diskonttaustekijää lasketaan

$$r = \frac{(i-f)}{(1+f)} \quad (18)$$

missä

r = reaalikorko, joka ottaa huomioon korkokannan ja inflaation

i = nimelliskorkokanta

f = inflaatio

Tarkasteltavaksi aikaväliksi valitaan yleensä järjestelmän haluttu tai laskennallinen käyttöikä. Aurinkokeräimien takuuajaksi on monesti ilmoitettu kymmenen vuotta tai enemmän, joten investoinnin kannattavuuden tarkasteluun käyttöikäksi on valittu 20 vuotta, joka on vähimmäisvaatimus keräinjärjestelmän kestävyydelle. Aurinkokeräin-

järjestelmän rakentamis- ja tuotantokustannukset ovat investointi painotteiset, koska järjestelmä ei vaadi polttoainetta tuottaakseen energiaa ja järjestelmän kuluttama sähköenergian tarvekin on huomioitu laskennassa. Tässä työssä on kumminkin nettonykyarvoa laskettaessa järjestelmän huoltoon varattu 1000 euroa kymmenen vuoden välein. Lisäksi investointien kannattavuuden tarkasteluun on laskettu investointien takaisinmaksuaikoja mikä tarkoittaa aikaa, jolloin investointi on maksanut itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika lasketaan yhtälön 19 mukaan.

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\ln\left[\frac{cs*if}{fl*cf}+1\right]}{\ln(1+if)} \quad (19)$$

missä

cs = investoinnin kokonaiskustannus

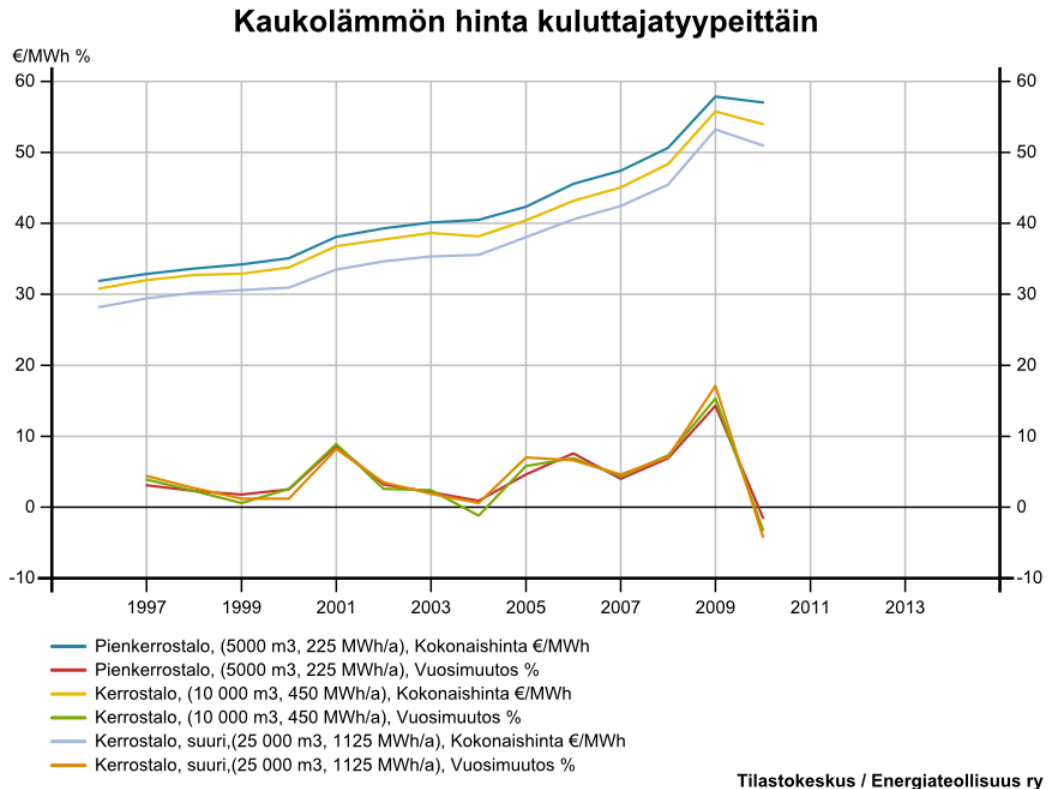
if = arvioitu energian hinnan kehitysprosentti

fl = investoinnilla tuotettu energiamäärä

cf = energian nykyinen hinta

Investointien kannattavuuden arvioinnissa ja laskennassa korkotason muutoksina on käytetty energian vuotuisena hinnan nousuna 5 prosenttia, lainan nimelliskorkona niin ikään 5 prosenttia ja inflaation ollessa 2 prosenttia. Kaukolämmön energiahinnan kehitys on esitetty kuvassa 11, josta on arvioitu vuotuiseksi energianhinnan nousuksi pitkällä aikavälillä 5 prosenttia. Lämpöenergian hintana kannattavuuden laskennassa on käytetty Jyväskylän Energian kaukolämmön hintaa. /15./

Lainojen korkotasona käytetty viisi prosenttia on korkeampi kuin yleinen korkotaso tällä hetkellä. Vaikeasta pitkäaikavälin korkojen ennustettavuudesta ja korkeista investointikustannuksista johtuen investoinnin kannattavuutta laskiessa on syytä käyttää korkeampaa korkotasoa, jotta varaudutaan korkojen nousuun.



KUVA 11. Kaukolämmön hinnankehitys vuosina 1996-2010 rakennustyypeittäin /15/

5.4 Talo A

Kohde on Jyväskylässä sijaitseva 2010 valmistunut kerrostalo, joka on kytketty Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkkoon ja päälämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö. Rakennuksen viimeisen kolmen vuoden kaukolämmön keskiarvokulutus on ollut noin 620 megawattituntia vuodessa, josta arvioitu lämpimän käyttöveden kulutukseen mennyt energiamäärä on noin 255 megawattituntia, joka on 41 prosenttia kokonaisenergian kulutuksesta. Rakennuksen lämmitetty kokonaistilavuus on yli 28000 kuutiometriä, joten kyseessä on varsin suuri rakennus ja asukkaitakin rakennuksessa on arviolta yli 200.

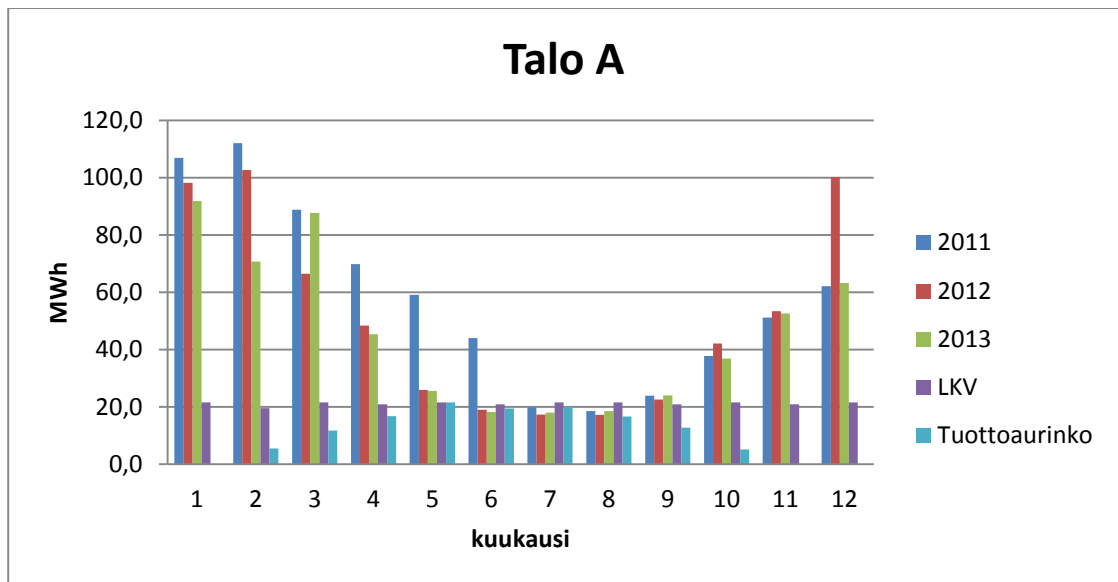
Kuvassa 12 on esitetty kohteeseen suoritettu aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus. Keräinkentän pinta-alaksi on mitoitettu 256 neliometriä, joka antaa noin 130 megawattitunnin vuotuisen lämpöenergian tuoton. Vuotuisesta käyttöveden lämmitysenergian tarpeesta järjestelmä kattaa hieman yli puolet eli 51 prosenttia. Varaajakooksi järjestelmässä tuli yhteensä 18 000 litraa ja se on toteutettu yhteensä kuudella 3000 litran varaajalla. Varaajan ominaistilavuudeksi tuli 70 litraa yhtä keräin-neliometriä kohden,

joka on hieman pienempi kuin referenssitilavuus 75 litraa, mutta samalla se mahdollistaa hieman nopeamman käyttöveden tuoton, kun lämmitettävää varaajakapasiteettia on suhteessa vähemmän.

Lähtötiedot:				
Talo A				
Säätiedot:		Jyväskylä		
Keräimen koko	A	256	m2	
Keräimen hyötysuhde	η_0	0,92		
Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskertoin	IAM	0,94		
Keräinpiirin eristys/häviötekijät	Uloop	3,76	W/m2K	
Varaajan koko	V	18	m3	
Varaajan ominaistilavuus		70	litraa/m2	
Keräinten suuntaus		etelä		
Keräinten kallistus		45°		
Tulokset:				
kuukausi	LKV:n tarve (kWh)	Keräinten tuotto (kWh)	LKV tuotto %	Ostoenergia (kWh)
tammi	21637	0	0	21637
helmi	19543	5568	28	13975
maalis	21637	11808	55	9830
huhti	20939	16786	80	4153
touko	21637	21615	100	22
kesä	20939	19482	93	1457
heinä	21637	19982	92	1655
elo	21637	16675	77	4962
syys	20939	12808	61	8131
loka	21637	5233	24	16404
marras	20939	0	0	20939
joulu	21637	0	0	21637
koko vuosi	254760	129957	51,0	124803

KUVA 12. Aurinkolämmön mitoitus kohteeseen A

Kuviossa 1 on esitetty kolmen viimeisen vuoden kaukolämmön kulutuskäyrä, josta on arvioitu lämpimän käyttöveden kulutus sekä mitoitettun aurinkokeräinjärjestelmän tuotto.



KUVIO 1. Kohteen A kuukausittaiset kaukolämmönkulutukset ja arvioitu lämpimän käyttövedenosuus sekä arvioitu aurinkolämmön tuotto

Järjestelmän arvioiduksi verottomaksi kokonaisinvestointikustannukseksi muodostui noin 145 000 euroa ja ominaiskustannukseksi 566 euroa keräin-neliometriä kohden. Järjestelmän laskennallinen takaisinmaksuaika on noin 16 vuotta. Investoinnin nettonykyarvoa tarkasteltaessa investointi osoittautui kannattavaksi 20 vuoden tarkastelussa.

5.5 Talo B

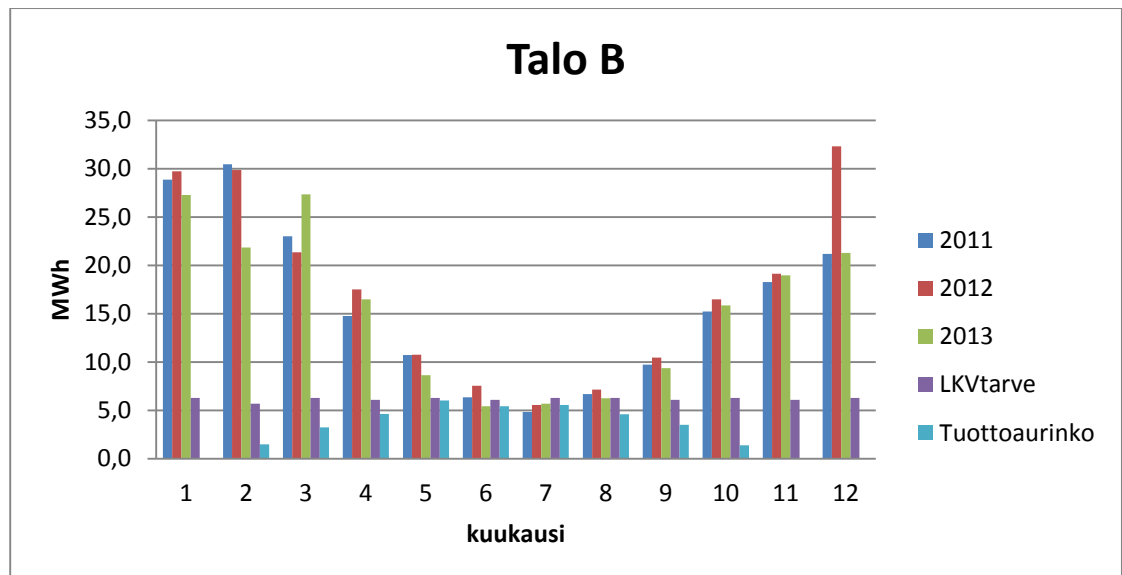
Kohde on 2010 valmistunut kerrostalo Jyväskylässä. Rakennus on tilavuudeltaan vajaa 5000 kuutiometriä ja asukasluvultaan arviolta noin 30 hengen kerrostalo. Kyseessä on huomattavasti pienempi rakennus kuin kappaleessa 5.4, mutta rakennuksen suhteellinen energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin edellisessä ja vuotuinen energiankulutus on yhteensä 194 megawattituntia, josta arvioitu lämpimän käyttöveden osuus on 38 prosenttia eli 74 megawattituntia.

Keräinjärjestelmän mitoitetuksi keräinpinta-alaksi tuli 70 neliometriä, jolla saadaan 37,5 megawattituntin vuotuinen energiantuotto, joka kattaa noin 51 prosenttia lämpimän käyttöveden tuotantoon tarvittavasta energiamäärästä. Kuvassa 13 on esitetty kohteeseen suoritettu aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus.

Lähtötiedot:				
Talo B				
Säätiiedot:	Jyväskylä			
Keräimen koko	A	70	m ²	
Keräimen hyötysuhde	η_0	0,92		
Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskerroin	IAM	0,94		
Keräinpiirin eristys/häviötekijät	Uloop	3,8	W/m ² K	
Varaajan koko	V	6	m ³	
Varaajan ominaistilavuus		86	litraa/m ²	
Keräinten suuntaus		etelä		
Keräinten kallistus		45°		
Tulokset:				
kuukausi	LKV:n tarve (kWh)	Keräinten tuotto (kWh)	LKV tuotto %	Ostoenergia (kWh)
tammi	6288	0	0	6288
helmi	5680	1494	28	4080
maalis	6288	3228	54	2883
huhti	6085	4640	80	1235
touko	6288	6024	99	35
kesä	6085	5416	93	450
heinä	6288	5554	92	508
elo	6288	4610	77	1468
syys	6085	3519	61	2387
loka	6288	1405	24	4784
marras	6085	0	0	6085
joulu	6288	0	0	6288
koko vuosi	74040	37548	50,7	36492

KUVA 13. Aurinkolämmön mitoitus kohteeseen B

Keräinjärjestelmään on mitoitettu kaksi 3000 litran varaajaa, jolloin varaajan ominaistilavuudeksi tulee 86 litraa yhtä keräin-neliometriä kohden. Referenssitilavuutta suurempi ominaistilavuus mahdollistaa hieman suuremman vuotuisen keräinjärjestelmän energiantuoton. Kuviossa 2 on esitetty rakennuksen kaukolämmön kulutuskäyrät viimeiseltä kolmelta vuodelta, sekä arvioitu lämpimän käyttöveden energiankulutus ja aurinkokeräinjärjestelmän tuotto.



KUVIO 2. Kohteen B kuukausittaiset kaukolämmönkulutukset ja arvioitu lämpimän käyttövedenosuus sekä arvioitu aurinkolämmön tuotto

Kohteen aurinkokeräinjärjestelmän arvioiduksi kokonaisinvestointikustannukseksi muodostui 46 000 euroa ja ominaiskustannukseksi 657 euroa keräin-neliometriä kohden. Järjestelmän laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi tuli 18 vuotta. Investoinnin kannattavuutta ja nettonykyarvoa laskettaessa nykyisellä kaukolämmön energianhinnalla ja aiemmin kappaleessa 5.3 mainitulla korkotasolla 20 vuoden tarkastelujaksolla investointi ei osoittautunut kannattavaksi. Tarkastelujaksoa pidentämällä 25 vuoteen myös kyseisen kohteen keräinjärjestelmäninvestointi osoittautui kannattavaksi.

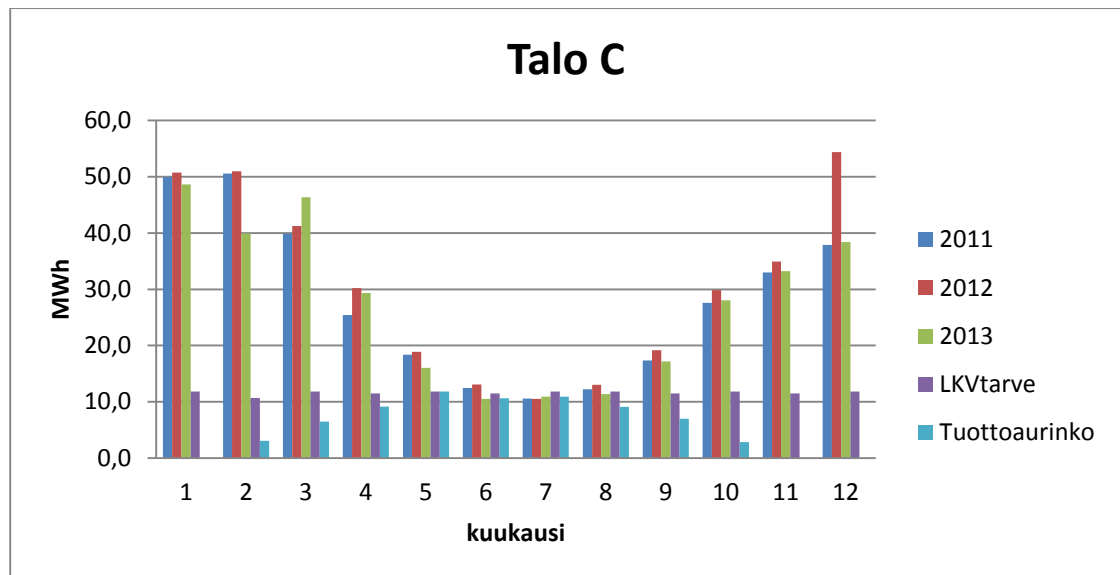
5.6 Talo C

Kohde edustaa Jyväskylän hieman vanhempaa rakennuskantaa, sillä rakennus on valmistunut vuonna 1973. Asukkaita rakennuksessa on arviolta 50 ja rakennuksen lämmitettävä tilavuus on 8400 kuutiometriä. Eli kyseessä on rakennus joka osuu rakennustilavuudeltaan kappaleissa 5.4 ja 5.5 mainittujen rakennusten väliin, lisäksi rakennus on rakennettu huomattavasti aiemmin kuin edelliset tarkastelun kohteena olleet rakennukset. Rakennuksen kolmen viimeisen vuoden keskiarvoinen kaukolämmön energiankulutus on 344 megawattituntia, josta arvioitu käyttöveden energiankulutuksen osuus on noin 41 prosenttia eli 140 megawattituntia. Kuvassa 14 on esitetty kohteeseen suoritettu aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus.

Lähtötiedot:				
Talo C				
Säätiedot:	Jyväskylä			
Keräimen koko	A	140	m ²	
Keräimen hyötysuhde	η_0	0,92		
Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskerroin	IAM	0,94		
Keräinpiirin eristys/häviötekijät	Uloop	3,77	W/m ² K	
Varaajan koko	V	12	m ³	
Varaajan ominaistilavuus		86	litraa/m ²	
Keräinten suuntaus		etelä		
Keräinten kallistus		45°		
Tulokset:				
kuukausi	LKV:n tarve (kWh)	Keräinten tuotto (kWh)	LKV tuotto %	Ostoenergia (kWh)
tammi	11853	0	0	11853
helmi	10706	3039	28	7667
maalis	11853	6452	54	5401
huhti	11471	9178	80	2292
touko	11853	11824	100	29
kesä	11471	10656	93	815
heinä	11853	10930	92	923
elo	11853	9119	77	2734
syys	11471	7002	61	4469
loka	11853	2856	24	8997
marras	11471	0	0	11471
joulu	11853	0	0	11853
koko vuosi	139560	71057	50,9	68503

KUVA 14. Aurinkolämmön mitoitus kohteeseen C

Kohteen mitoitetuksi aurinkokeräinjärjestelmän pinta-alaksi tuli 140 neliometriä, jolla saadaan vuotuisesti tuotettua energiaa noin 71 megawattituntia. Keräinjärjestelmään on mitoitettu neljä 3000 litran varaajaa, jolloin varaajan ominaistilavuudeksi tulee 86 litraa keräin-neliometriä kohden.



KUVIO 3. Kohteen B kuukausittaiset kaukolämmönkulutukset ja arvioitu lämpimän käyttöveden osuus sekä arvioitu aurinkolämmön tuotto

Mitoitetun 140 neliömetrin aurinkokeräinjärjestelmän arvioiduksi kokonaisinvestointikustannukseksi muodostui noin 86 000 euroa ja järjestelmän ominaiskustannukseksi 615 euroa keräin-neliometriä kohden. Keräinjärjestelmän laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi tuli noin 17 vuotta ja investoinnin nettonykyarvoa tarkasteltaessa 20 vuoden tarkastelussa investointi ei näyttänyt kannattavalta. Tarkempi tarkastelu kuitenkin paljastaa että järjestelmän diskontattu kassavirta on 20 vuoden kohdalla miinuksella vain 48 euroa, joten investoinnin suuruus ja vuotuiset tuotot huomioon ottaen diskontattu kassavirta voidaan pyöristää nolnaan ja investointia pitää kannattavana.

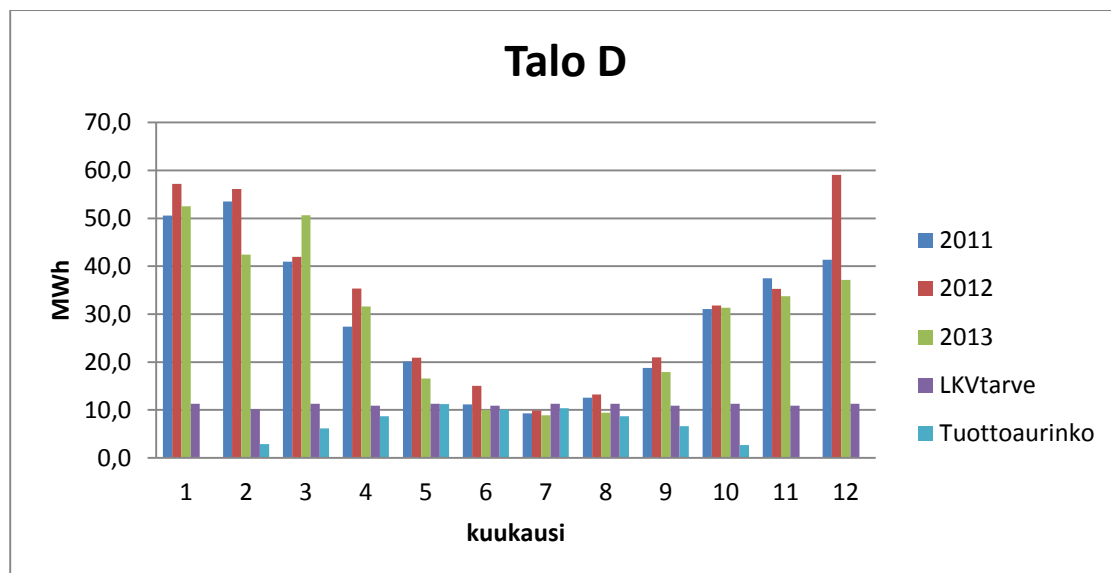
5.7 Talo D

Viimeinen tarkasteltava kohde on 1995 valmistunut noin 90 asukkaan kerrostalo Jyväskylässä. Rakennuksen lämmitettävä nettotilavuus on reilut 8600 kuutiometriä ja kolmen viimeisen vuoden kaukolämmön energiankulutus on ollut keskimäärin 364 megawattituntia. Lämpimän käyttöveden vuotuinen energiantarve on arviolta noin 133 megawattituntia, joka on 36 prosenttia kokonaisenergiantarpeesta. Kuvassa 15 on esitetty kohteeseen suoritettu aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus. Aurinkokeräinten tuotto on järjestelmässä yhteensä 67,5 megawattituntia, joka noin 51 prosenttia vuotuisesta lämpimän käyttöveden energiantarpeesta.

Lähtötiedot:				
Talo D				
Säätiiedot:	Jyväskylä			
Keräimen koko	A	134	m ²	
Keräimen hyötysuhde	η_0	0,92		
Keräimen suuntaus/kallistus, korjauskerroin	IAM	0,94		
Keräinpiirin eristys/häviötekijät	Uloop	3,77	W/m ² K	
Varaajan koko	V	9	m ³	
Varaajan ominaistilavuus		67	litraa/m ²	
Keräinten suuntaus		etelä		
Keräinten kallistus		45°		
Tulokset:				
kuukausi	LKV:n tarve (kWh)	Keräinten tuotto (kWh)	LKV tuotto %	Ostoenergia (kWh)
tammi	11272	0	0	11272
helmi	10181	2886	28	7295
maalis	11272	6130	54	5142
huhti	10908	8722	80	2187
touko	11272	11237	100	35
kesä	10908	10127	93	782
heinä	11272	10387	92	885
elo	11272	8665	77	2607
syys	10908	6653	61	4256
loka	11272	2713	24	8559
marras	10908	0	0	10908
joulu	11272	0	0	11272
koko vuosi	132720	67519	50,9	65201

KUVA 15. Aurinkolämmön mitoitus kohteeseen D

Mitoitetuksi keräinjärjestelmän pinta-alaksi tuli 134 neliometriä ja varaajakooksi yhteensä 9000 litraa, joka on toteutettu kolmella 3000 litran varaajalla. Varaajan ominaistilavuudeksi muodostui 67 litraa keräin-neliometriä kohden. Kuviossa 4 on esitetty kaukolämmön kulutuskäyrät sekä arvioitu lämpimän käyttöveden energiantarve ja aurinkolämpöjärjestelmällä tuotettu energiamäärä.



KUVIO 4. Kohteen B kuukausittaiset kaukolämmönkulutukset ja arvioitu lämpimän käyttövedenosuus sekä arvioitu aurinkolämmön tuotto

Järjestelmän kokonaisinvestointikustannukseksi muodostui noin 79 000 euroa ja järjestelmän ominaiskustannukseksi 586 euroa keräin-neliometriä kohden. Takaisinmaksuajaksi investoinnille saatiin noin 16 vuotta ja nettonykyarvolla tarkasteltaessa investointi muodostui 20 vuoden tarkastelujaksolla kannattavaksi.

5.8 Investointiavustukset

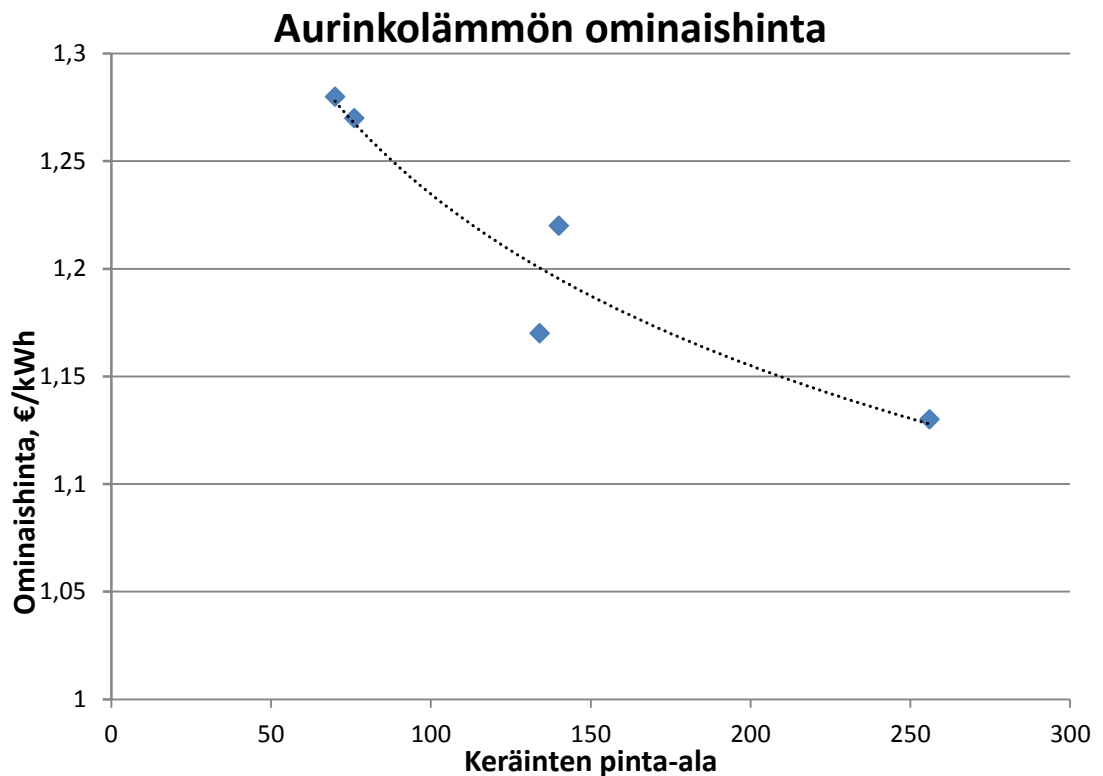
Rakennuksiin tehtäviin perusparannuksiin ja energiainvestointeihin on mahdollista saada avustusta sekä erilaisia korkotukilainoja kunnilta sekä valtiolta. Tässä tapauksessa valtiota edustaa asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus eli ARA. Tutkimuksen ajankohtana vuonna 2014 Jyväskylän kaupunki eikä ara myönnä energia-avustusta taloyhtiöille aurinkolämpö investointeihin. Ainoa taloyhtiöitä koskeva mahdollinen avustus tässä tapauksessa on rakennuksen perusparantamisen tarkoitettu käynnistysavustus. /16./

ARA myöntää korkeintaan 10 % käynnistämisyavustuksen rakennuksen perusparantamiseen, johon luetaan mukaan muun muassa rakennusten lämmitysjärjestelmän uusimisen. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi kohteen A kohdalla sitä, että avustusta myönnettäisiin investoinnin verollisesta arvosta eli noin 180 000 eurosta 10 prosenttia eli maksimissaan 18 000 euroa. Avustuksen johdosta investoinnin kannattavuus paranee huomattavasti ja takaisinmaksuaika lyhenee alle 15 vuoteen. Mahdollisilla avustuksil-

la alennetaan investointikynnystä ja kannustetaan energiatehokkaampaan asumiseen.
/16./

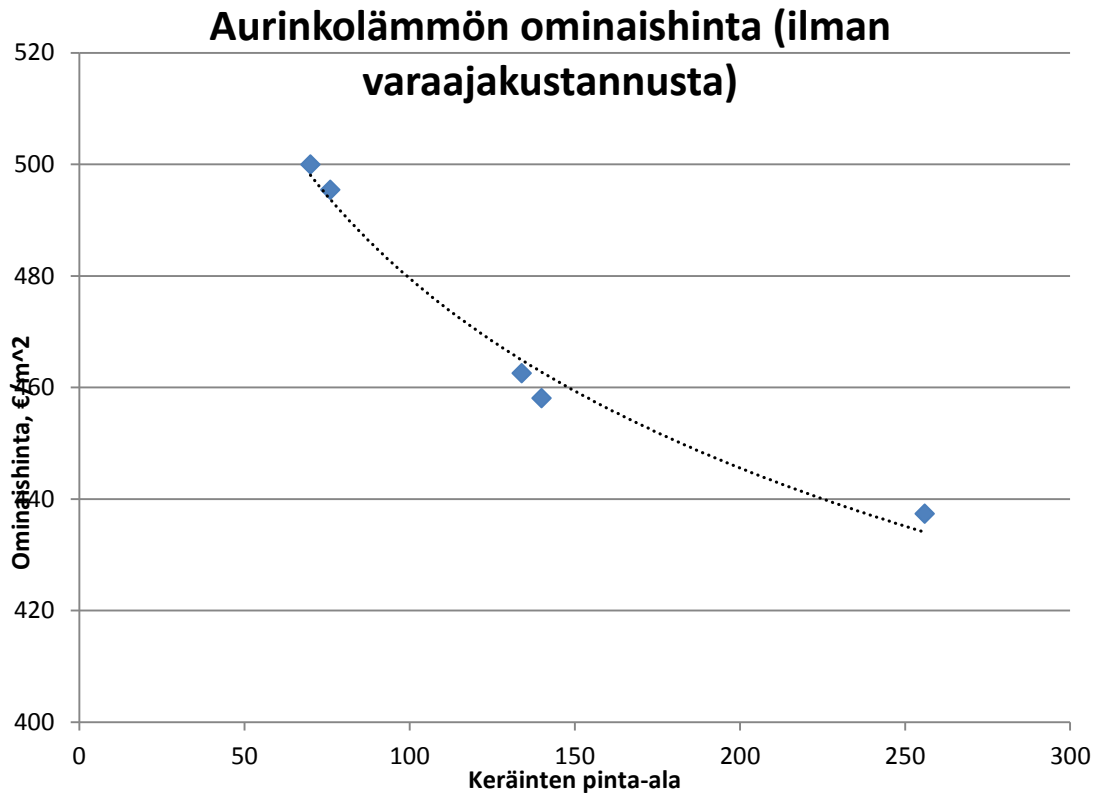
5.9 Ominaiskustannuskäyrä

Mitoitetuista aurinkokeräinjärjestelmistä ja niiden tarjouspyyntöjen perusteella saatujen investointihintojen avulla muodostettiin aurinkokeräinjärjestelmälle ominaiskustannuskäyrä, joka kuvastaa aurinkokeräinjärjestelmän investointikustannusta pinta-alan funktiona. Ominaiskustannuskäyrät on esitetty kuviossa 5, ominaishintana kuvaajassa on euroa tuotettua vuotuista kilowattituntia kohden.



KUVIO 5. Aurinkolämmön ominaishinta keräin pinta-alan funktiona

Kuviossa 6 ominaiskäyrä on esitetty euroa per asennettua keräin pinta-alaneliötä kohden ilman varaajakustannusta, koska kaikissa mitoitetuissa järjestelmissä on käytetty 3000 litran varaajia. Vääristää varaajien lukumäärän mukainen kustannus todellista ominaiskustannusta, koska varaajatilavuuden mukainen keräinpinta-alaan suhteutettu ominaistilavuus vaihtelee varaajien määrän mukaan.



KUVIO 6. Aurinkolämmön ominaishinta ilman varaajakustannusta

Mitoitettujen keräinjärjestelmien ominaiskustannukset vaihtelivat 437 eurosta 500 euroon asennettua keräin-neliömetriä kohden ilman varaajakustannusta, suurimman ja pienimmän aurinkokeräinjärjestelmän osalta.

6 POHDINTA

Tässä työssä saadut tulokset aurinkolämmön kannattavuudesta ovat rohkaisevia ja varsin realistisia ja tutkimuksen pääpaino on ollut kannattavuuden ja ominaiskustannusten selvittämisessä. Aurinkolämmön kannattavuus oli kaukolämmitetyissä rakennuksissa hyvä ja kannattavuus paranee entisestään jos päälämmitysmuotona rakennuksessa on joku muu kuin kaukolämpö.

Suurin haaste aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa on arvioida aurinkokeräinten energiantuotto. Mitoitusohjeena käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 aurinko-opas käyttääkin toteutuneita auringon säteilymääriä, jotka on laskettu edellisten vuosien keskiarvojen mukaan. Vaihtelua säteilymäärissä voi esiintyä paljonkin vaihtelevien sääolojen ja ilmastonmuutoksen johdosta.

Aurinkokeräinten energiantuottoa arvioitaessa aurinkokeräimenä on käytetty kotimaisen valmistajan keräintä, jonka ominaisuudet on otettu huomioon ja keräimen arvioitu vuosituotto mitoituksessa on noin 500 kilowattituntia keräin-neliömetriltä. EN 12925-standardin mukaisesti testatun keräimen vuosituotoksi on saatu jopa 750 kilowattituntia neliömetriltä, joten potentiaalia keräimestä löytyy enemmän kuin mitoituksessa käytetty. Jyväskylän olosuhteissa mitoitettu 500 kilowattituntia neliömetriltä on varsin realistinen määrä, joka varmasti tämänkaltaisella järjestelmällä tullaan saavuttamaan. Tässä työssä käsiteltyjen yli 70 neliömetrin keräinjärjestelmien aurinkolämmön energiantuoton kannalta ratkaisevassa asemassa on myös järjestelmän varastointikyky ja lämmönsiirtoputkiston lämpöhäviöt, eikä ainoastaan keräimen mahdollinen tuotto.

Tässä opinnäytetyössä esitellyt investointikustannukset ovat verottomia ja suuntaantavia, tarjouspyyntöjen perusteella saatuja arvioita mahdollisista aurinkokeräinjärjestelmän kokonaisinvestointikustannuksista. Investointikustannusten vertailu jäi vähäiselle hintojen vaikeasta saatavuudesta johtuen.

Suomessa aurinkolämpö tulee tulevaisuudessa yleistymään ja kasvattamaan osuuttaan myös kerrostalojen lämmitysmuotona energiatietoisuuden kasvaessa ja panostettaessa uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Rakennusten kiristyvät energiavaatimukset ja energiayhtiöiden kiristyvät päästövaatimukset ajavat väistämättä panostamaan päästöttömiin ja uusiutuviin lämmöntuotantomuotoihin, kuten aurinkolämpöön.

Tämän opinnäytetyön laskelmien mukaan aurinkolämpö on kumminkin vielä kallis energiantuotantomuoto ja takaisinmaksuajat ovat pitkiä, jos vertailukohtana käytetään kaukolämpöä. Lisäksi tuotettaessa kaukolämpöä uusiutuvilla energianlähteillä voidaan kaukolämpöä pitää lähes yhtä ympäristöystävällisenä vaihtoehtona. Kannattavinta aurinkolämmöllä olisi korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä rakennusten lämmityksessä, kaukolämpöä kalliimpi energianhinta ja ympäristövaikutukset huomioiden.

Mielenkiintoista olisi kumminkin päästä seuraamaan tässä työssä esitellyn järjestelmän kaltaista aurinkolämpöhanketta, erityisesti keräinjärjestelmän tuoton, mutta myös kustannusten osalta.

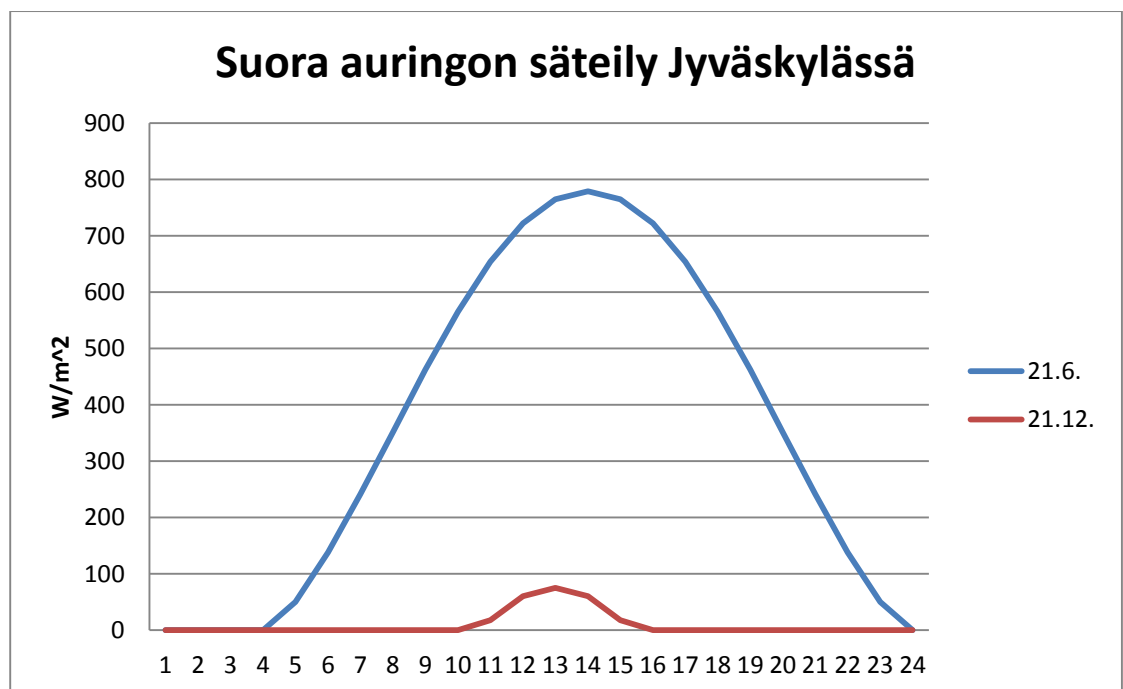
LÄHTEET

1. Erat Bruno, Vesa Erkkilä, Christer Nyman, Kimmo Peippo, Seppo Peltola, Hannu Suokivi. Aurinko-opas - aurinkoenergiaa rakennuksiin. 2008.
2. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Aurinko-opas rakennusalan suunnittelijoille. 1982.
3. Erkkilä Vesa. Aurinko lämpöopas – itserakentajille. 2003.
4. Williams J. Richard. Solar energy Technology and Applications. 1974.
5. Suntekno oy. Aurinkoenergia. PDF-julkaisu. Ei päivitystietoa. Luettu 14.3.2014.
6. Pöyry oy. Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet Suomessa. PDF-julkaisu. Päivitetty 16.5.2013. Luettu 20.3.2014.
7. Takala Antti. Kandidaatintyö. Aurinkolämmitys. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2011.
8. Komulainen Katri. Pro gradu-tutkielma. Aurinkolämpö – teknologia ja mahdollisuudet. Jyväskylän yliopisto. 2006.
9. Aurinkopuisto. Tietoa aurinkokeräimistä. Internet-sivu. Päivitetty 15.3.2014. Luettu 21.3.2014.
10. Nieminen Mikko. Insinöörityö. Aurinkolämmityskonsepti: käyttöveden lämmityksen suunnitteluun 60-70-lukujen asuinkerrostaloihin. Mikkelin ammattikorkeakoulu. 2013.
11. Marken Chuck, Woodruff Vaughan. Solar heating installer resource guide. PDF-julkaisu. North American Board of Certified Energy Practitioners. 2012.
12. Akvaterm oy. Akva Solar – lämpöä auringosta. Internet-sivu. Päivitetty 14.1.2014. Luettu 18.3.2014.
13. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D5 Aurinko-opas 2012, Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas. Ympäristöministeriö. 2012.
14. Siren Kai. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. PDF-julkaisu. Aalto yliopisto. 2010.
15. Tilastokeskus, Energiateollisuus ry. Energian hinnat. Internet-sivu. Päivitetty 20.3.2014. Luettu 10.4.2014.
16. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Avustukset. Internet-sivu. Päivitetty 14.11.2013. Luettu 15.4.2014.
17. Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys K1 2013. PDF-julkaisu. Päivitetty 31.3.2014. Luettu 16.4.2014.

18. Bratu Christian. Evaluation of solar irradiance to a flat surface arbitrary oriented. University of Craiova. 2008.
19. European Commission, Institute of Energy and Transport. Global irradiation and solar electricity potential. Internet-sivu. Päivitetty 10.2.2012. Luettu 17.4.2014.
20. Viessmann. Energy from the sun. PDF-julkaisu. Päivitetty 1.8.2013. Luettu 17.4.2014.
21. Kaukora Oy. Aurinkolämmitys. Internet-sivu. Ei päivitystietoa. Luettu 28.4.2014.
22. Energia auringosta. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Internet-sivu. Ei päivitystietoa. Luettu 28.4.2014.
23. Adam Solar Resources. Solar Thermal. Internet-sivu. Ei päivitystietoa. Luettu 28.4.2014.
24. Ympäristöenergia. Keräinten kytkentä. Internet-sivu. Ei päivitystietoa. Luettu 28.4.2014.

Auringon säteilyn voimakkuuden esimerkkilaskelma

Auringon säteily tunneittain			klo	ω	$\sin \alpha$	W/m^2	
Jyväskylä	62,240278		0	-195	-0,0606	0	
Päivä	21.6.2014		1	-180	-0,0752	0	
Päivän nro	172		2	-165	-0,0606	0	
Deklinaatio	23,44978	°	3	-150	-0,0179	0	
Auringon korkeus	51,2095	°	4	-135	0,0500	50,00063	
Korkeuskulma	38,7905	°	5	-120	0,1385	138,4967	
Säteily _{Max}	1000	W/m^2	6	-105	0,2416	241,5525	
			7	-90	0,3521	352,1451	
			8	-75	0,4627	462,7376	
			9	-60	0,5658	565,7935	
			10	-45	0,6543	654,2896	
			11	-30	0,7222	722,195	
			12	-15	0,7649	764,8821	
			13	0	0,7794	779,4419	
			14	15	0,7649	764,8821	
			15	30	0,7222	722,195	
			16	45	0,6543	654,2896	
			17	60	0,5658	565,7935	
			18	75	0,4627	462,7376	
			19	90	0,3521	352,1451	
			20	105	0,2416	241,5525	
			21	120	0,1385	138,4967	
			22	135	0,0500	50,00063	
			23	150	-0,0179	0	
						8684	$W/m^2/vrk$



Investoinnin kannattavuuden nettonykyarvolaskelmat

Investoinnin nettonykyarvo:		Talo A					
korko		5 %		energianhinta		0,048274194 €/kWh (alv0%)	
energian hinnannousu		5 %					
inflaatio		2 %				diskonttaus-	
vuosi	tuotot (€/a)	kulut (€)	investointi	kassavirta	reaalikorko	tekijä	diskontattu kassavirta
0	6214,6	0	144972	-138757,7	0,0294118	1	-138757,7
1	6525,3	0	0	6525,3	0,0294118	0,971428571	6338,9
2	6851,6	0	0	6851,6	0,0294118	0,943673469	6465,7
3	7194,2	0	0	7194,2	0,0294118	0,916711137	6595,0
4	7553,9	0	0	7553,9	0,0294118	0,890519617	6726,9
5	7931,6	0	0	7931,6	0,0294118	0,865076199	6861,4
6	8328,2	0	0	8328,2	0,0294118	0,840359736	6998,7
7	8744,6	0	0	8744,6	0,0294118	0,816349458	7138,6
8	9181,8	0	0	9181,8	0,0294118	0,793025188	7281,4
9	9640,9	0	0	9640,9	0,0294118	0,770367325	7427,0
10	10122,9	1000	0	9122,9	0,0294118	0,74835683	6827,2
11	10629,1	0	0	10629,1	0,0294118	0,726975207	7727,1
12	11160,6	0	0	11160,6	0,0294118	0,706204487	7881,6
13	11718,6	0	0	11718,6	0,0294118	0,686027215	8039,3
14	12304,5	0	0	12304,5	0,0294118	0,666426438	8200,0
15	12919,7	0	0	12919,7	0,0294118	0,647385683	8364,0
16	13565,7	0	0	13565,7	0,0294118	0,628888949	8531,3
17	14244,0	0	0	14244,0	0,0294118	0,610920693	8702,0
18	14956,2	0	0	14956,2	0,0294118	0,593465816	8876,0
19	15704,0	0	0	15704,0	0,0294118	0,57650965	9053,5
20	16489,2	1000	0	15489,2	0,0294118	0,560037946	8674,5
21	17313,7	0	0	17313,7	0,0294118	0,544036861	9419,3
22	18179,4	0	0	18179,4	0,0294118	0,528492951	9607,7
23	19088,3	0	0	19088,3	0,0294118	0,513393153	9799,8
24	20042,7	0	0	20042,7	0,0294118	0,498724777	9995,8
25	21044,9	0	0	21044,9	0,0294118	0,484475497	10195,7
						P=	62970,9
						Investointi=	KANNATTAVA

Investoinnin kannattavuuden nettonykyarvolaskelmat

Investoinnin nettonykyarvo:		Talo B					
korko		5 %		energiahinta	0,048274194	€/kWh (alv0%)	
energian hinnannousu		5 %					
inflaatio		2 %				diskonttaus-	diskontattu
vuosi	tuotot	kulut	investointi	kassavirta	reaalikorko	tekijä	kassavirta
0	1735,3	0	46000	-44264,7	0,0294118	1	-44264,7
1	1822,1	0	0	1822,1	0,0294118	0,971428571	1770,0
2	1913,2	0	0	1913,2	0,0294118	0,943673469	1805,4
3	2008,9	0	0	2008,9	0,0294118	0,91671137	1841,5
4	2109,3	0	0	2109,3	0,0294118	0,890519617	1878,4
5	2214,8	0	0	2214,8	0,0294118	0,865076199	1915,9
6	2325,5	0	0	2325,5	0,0294118	0,840359736	1954,3
7	2441,8	0	0	2441,8	0,0294118	0,816349458	1993,3
8	2563,9	0	0	2563,9	0,0294118	0,793025188	2033,2
9	2692,1	0	0	2692,1	0,0294118	0,770367325	2073,9
10	2826,7	1000	0	1826,7	0,0294118	0,74835683	1367,0
11	2968,0	0	0	2968,0	0,0294118	0,726975207	2157,7
12	3116,4	0	0	3116,4	0,0294118	0,706204487	2200,8
13	3272,2	0	0	3272,2	0,0294118	0,686027215	2244,8
14	3435,8	0	0	3435,8	0,0294118	0,666426438	2289,7
15	3607,6	0	0	3607,6	0,0294118	0,647385683	2335,5
16	3788,0	0	0	3788,0	0,0294118	0,628888949	2382,2
17	3977,4	0	0	3977,4	0,0294118	0,610920693	2429,9
18	4176,3	0	0	4176,3	0,0294118	0,593465816	2478,5
19	4385,1	0	0	4385,1	0,0294118	0,57650965	2528,0
20	4604,3	1000	0	3604,3	0,0294118	0,560037946	2018,6
21	4834,6	0	0	4834,6	0,0294118	0,544036861	2630,2
22	5076,3	0	0	5076,3	0,0294118	0,528492951	2682,8
23	5330,1	0	0	5330,1	0,0294118	0,513393153	2736,4
24	5596,6	0	0	5596,6	0,0294118	0,498724777	2791,2
25	5876,4	0	0	5876,4	0,0294118	0,484475497	2847,0
						P=	11121,6
						Investointi=	KANNATTAVA

Investoinnin kannattavuuden nettonykyarvolaskelmat

Investoinnin nettonykyarvo:		Talo C							
korko		5 %		energianhinta		0,048274194		€/kWh (alv0%)	
energian hinnannousu		5 %							
inflaatio		2 %				diskonttaus-		diskontattu	
vuosi	tuotot	kulut	investointi	kassavirta	reaalikorko	tekijä	kassavirta		
0	3389,6	0	86135	-82745,4	0,0294118	1	-82745,4		
1	3559,1	0	0	3559,1	0,0294118	0,971428571	3457,4		
2	3737,0	0	0	3737,0	0,0294118	0,943673469	3526,5		
3	3923,9	0	0	3923,9	0,0294118	0,916711137	3597,1		
4	4120,1	0	0	4120,1	0,0294118	0,890519617	3669,0		
5	4326,1	0	0	4326,1	0,0294118	0,865076199	3742,4		
6	4542,4	0	0	4542,4	0,0294118	0,840359736	3817,2		
7	4769,5	0	0	4769,5	0,0294118	0,816349458	3893,6		
8	5008,0	0	0	5008,0	0,0294118	0,793025188	3971,5		
9	5258,4	0	0	5258,4	0,0294118	0,770367325	4050,9		
10	5521,3	1000	0	4521,3	0,0294118	0,74835683	3383,6		
11	5797,4	0	0	5797,4	0,0294118	0,726975207	4214,5		
12	6087,2	0	0	6087,2	0,0294118	0,706204487	4298,8		
13	6391,6	0	0	6391,6	0,0294118	0,686027215	4384,8		
14	6711,2	0	0	6711,2	0,0294118	0,666426438	4472,5		
15	7046,7	0	0	7046,7	0,0294118	0,647385683	4562,0	EI KANNATTAVA	
16	7399,1	0	0	7399,1	0,0294118	0,628888949	4653,2		
17	7769,0	0	0	7769,0	0,0294118	0,610920693	4746,3		
18	8157,5	0	0	8157,5	0,0294118	0,593465816	4841,2		
19	8565,4	0	0	8565,4	0,0294118	0,57650965	4938,0		
20	8993,6	1000	0	7993,6	0,0294118	0,560037946	4476,7	EI KANNATTAVA	
21	9443,3	0	0	9443,3	0,0294118	0,544036861	5137,5		
22	9915,5	0	0	9915,5	0,0294118	0,528492951	5240,3		
23	10411,3	0	0	10411,3	0,0294118	0,513393153	5345,1		
24	10931,8	0	0	10931,8	0,0294118	0,498724777	5452,0		
25	11478,4	0	0	11478,4	0,0294118	0,484475497	5561,0		
						P=	26687,7		
						Investointi=	KANNATTAVA		

Investoinnin kannattavuuden nettonykyarvolaskelmat

Investoinnin nettonykyarvo:		Talo D							
	korko		5 %		energianhinta	0,048274194	€/kWh (alv0%)		
	energian hinnannousu		5 %						
	inflaatio		2 %						
vuosi	tuotot	kulut	investointi	kassavirta	reaalikorko	diskonttaus- tekijä	diskontattu kassavirta		
0	3241,5	0	78633	-75391,7	0,0294118	1	-75391,7		
1	3403,6	0	0	3403,6	0,0294118	0,971428571	3306,4		
2	3573,8	0	0	3573,8	0,0294118	0,943673469	3372,5		
3	3752,5	0	0	3752,5	0,0294118	0,91671137	3440,0		
4	3940,1	0	0	3940,1	0,0294118	0,890519617	3508,8		
5	4137,1	0	0	4137,1	0,0294118	0,865076199	3578,9		
6	4344,0	0	0	4344,0	0,0294118	0,840359736	3650,5		
7	4561,2	0	0	4561,2	0,0294118	0,816349458	3723,5		
8	4789,2	0	0	4789,2	0,0294118	0,793025188	3798,0		
9	5028,7	0	0	5028,7	0,0294118	0,770367325	3873,9		
10	5280,1	1000	0	4280,1	0,0294118	0,74835683	3203,1		
11	5544,1	0	0	5544,1	0,0294118	0,726975207	4030,5		
12	5821,3	0	0	5821,3	0,0294118	0,706204487	4111,1		
13	6112,4	0	0	6112,4	0,0294118	0,686027215	4193,3		
14	6418,0	0	0	6418,0	0,0294118	0,666426438	4277,1		
15	6738,9	0	0	6738,9	0,0294118	0,647385683	4362,7	EI KANNATTAVA	
16	7075,9	0	0	7075,9	0,0294118	0,628888949	4449,9		
17	7429,7	0	0	7429,7	0,0294118	0,610920693	4538,9		
18	7801,2	0	0	7801,2	0,0294118	0,593465816	4629,7		
19	8191,2	0	0	8191,2	0,0294118	0,57650965	4722,3		
20	8600,8	1000	0	7600,8	0,0294118	0,560037946	4256,7	KANNATTAVA	
21	9030,8	0	0	9030,8	0,0294118	0,544036861	4913,1		
22	9482,4	0	0	9482,4	0,0294118	0,528492951	5011,4		
23	9956,5	0	0	9956,5	0,0294118	0,513393153	5111,6		
24	10454,3	0	0	10454,3	0,0294118	0,498724777	5213,8		
25	10977,0	0	0	10977,0	0,0294118	0,484475497	5318,1		
						P=	29204,1		
						Investointi=	KANNATTAVA		