

Mikko Nieminen

AURINKOLÄMMITYSKONSEPTI
KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYKSEN SUUNNITTELUUN
60-70-LUKUJEN ASUINKERROSTALOIHIN

Opinnäytetyö
Mikko Nieminen


Marraskuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 27.11.2013	
Tekijä Mikko Nieminen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka, LVI-insinööri	
Nimeke Aurinkolämmityskonsepti käyttöveden lämmityksen suunnitteluun 60–70-lukujen asuinkerrostaloihin		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu aurinkoenergian käyttöä sen yleisimmässä käyttötarkoituksessa, käyttöveden lämmityksessä. Kohteeksi valikoitui 60-luvulla rakennettu kerrostalokiinteistö, joka koostuu kahdesta kerrostalosta. Tämän ikäisistä kiinteistöistä koostuu suuri osa tämän hetken rakennuskannasta, ja iältään ne ovat sellaisia, että niiden saneeraus on ajankohtaista.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda konsepti, ohjenuora, LVI-suunnittelijalle aurinkolämmitysjärjestelmän suunnitteluun mainitun ikäisissä kiinteistöissä. Konsepti ohjaa suunnittelijaa tekemään tarvittavia laskelmia niin hanke- kuin toteutussuunnitteluvaiheessa sekä ohjaa toimintaa urakan aikana sekä sen jälkeen.</p> <p>Esimerkkikohteena käytetyn kiinteistön aurinkolämmitysjärjestelmä mitoitettiin hankesuunnitteluvaiheessa kirjallisuudessa annettujen nyrkkisääntöjen pohjalta. Tällöin investoinniksi saatiin noin 85 000 € ja sen nettonykyarvoksi noin 23 000 €.</p> <p>Toteutussuunnitteluvaiheessa kohteen järjestelmän mitoituksessa käytettiin apuna Valentine softwarin T*SOL Pro-ohjelmaa, jolla laskettiin aurinkoenergialla tuotetun käyttöveden osuus lämpimän käyttöveden kokonaiskulutuksesta. Tarkemman simuloinnin pohjalta saatiin nettonykyarvoksi noin 21 000 €. Laskelmien perusteella investointi todettiin kannattavaksi kyseisen kohteen osalta, jos päälämmönlähteenä käytetään muuta kuin kaukolämpöä.</p> <p>Lopputuloksena luotua konseptia voidaan sellaisenaan käyttää apuna lähdettyessä suunnittelemaan aurinkolämmitysjärjestelmää käyttövedenlämmitykseen mainittuun kohderyhmään kuuluvissa rakennuksissa. Taloudellisista laskelmista saadut nettonykyarvot ovat rohkaisevia aurinkolämmön hyödyntämisen kannalta, mutta kohdekohtaisesti esimerkiksi rakennustekniset lisätyöt voivat heikentää investoinnin kannattavuutta.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Aurinkolämmitys, aurinkolämpöjärjestelmät, suunnittelukonsepti		
Sivumäärä 68+13	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Heikki Salomaa	Opinnäytetyön toimeksiantaja Karves Suunnittelu Oy, Markus Hyttinen	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 27.11.2013
Author Mikko Nieminen	Degree programme and option Building services, HVAC	
Name of the bachelor's thesis Concept for designing of solar thermal system for domestic hot water heating in the 60's - 70's apartment buildings		
Abstract <p>This bachelor's thesis studies solar heating from its most common mode of operation: heating domestic hot water. An apartment building built in 1960's was chosen as an example as a major part of Finnish buildings are this old and in a need of renovation now or in the near future.</p> <p>The aim of this thesis was to develop a concept for designing a solar heating system for buildings of this age for the needs of HVAC-designers. This concept helps designer to carry out plans and calculations needed as well in preliminary as in detailed designing. The concept also guides designers during the construction project and after it. In the preliminary design the building was dimensioned using the rules of thumb given in literature. These calculations led to an investment of 85 000 € with a net present value of 23 000 €.</p> <p>Valentine software's simulation program T*SOL Pro was used in the detailed designing to determine the fraction of energy delivered by the solar thermal system. A more detailed simulation yielded a net present value of 21 000 €. Based on these calculations the investment case was profitable if the source of primary heating is anything else apart from district heating.</p> <p>The output of this bachelor's thesis, the concept of designing of solar thermal systems may be used to design systems for heating domestic hot water in buildings built in the 1960's and 1970's. The results of financial calculations are encouraging for the use of solar thermal systems but in reality for example extra construction work can lower the profitability of the investment.</p>		
Subject headings, (keywords) Solar heating, Solar thermal systems, Designing concept		
Pages 68+13	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Heikki Salomaa	Bachelor's thesis assigned by Karves Suunnittelu Oy, Markus Hyttinen	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	60–70-LUKUJEN ASUINKERROSTALOT	2
3	AURINKO	4
3.1	Aurinkovakio ja säteilyteho maanpinnalla	4
3.2	Säteilyn sisältämä energia.....	5
3.3	Absorptio ja emissio	6
3.4	Säteilytavat	6
3.5	Auringon säteily.....	6
3.6	Käytettävissä oleva säteilyenergian määrä Suomessa	7
4	AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ	7
4.1	Aurinkokeräimet	8
4.1.1	Tasokeräimet.....	8
4.1.2	Tyhjiökeräimet.....	10
4.1.3	Tyhjiöputkikeräin.....	11
4.1.4	U-putkikeräin	12
4.1.5	Lämpöputkikeräin	13
4.1.6	Keräintyyppien vertailu	13
4.1.7	Selektiiviset pinnoitteet.....	16
4.1.8	Selektiiviset lasit	17
4.1.9	KytKentätävät	17
4.1.10	Sijainnin vaikutus.....	19
4.1.11	Keräimen kallistuskulma	19
4.1.12	Keräimen toimintaa heikentävät ympäristövaikutukset.....	21
4.2	Järjestelmän muut komponentit	23
4.2.1	Putkisto	23
4.2.2	Käytettävä lämmönsiirtoneste.....	23
4.2.3	Varaaja	24
4.2.4	Lämmönsiirrin.....	26
4.2.5	Pumppu	27
4.2.6	Paisunta- ja varolaitteet sekä muut komponentit	27
4.2.7	Esimerkkikytkentä	28
4.3	Aurinkolämmitysjärjestelmien mitoituksen lähtökohtia.....	30

5	AURINKOLÄMMITYKSEN KANNATTAVUUS JA VAIKUTUKSET	35
5.1	Nettonykyarvomenetelmä	35
5.1.1	Järjestelmän käyttöikä	36
5.1.2	Inflaatio ja nimelliskorko	36
5.1.3	Käytettävä korkokanta	36
5.1.4	Järjestelmän tuotto	37
5.1.5	Aurinkolämpöjärjestelmän investoinnin kulujen muodostuminen ..	39
5.1.6	Investoinnin kannattavuus taloudellisesta näkökulmasta	40
5.2	E-luku	40
5.2.1	Käyttöveden lämmityksessä käytetyn aurinkoenergian vaikutus E-lukuun 41	
5.3	Ympäristövaikutukset	43
6	KONSEPTI	44
6.1	Suunnitteluprosessin kulku	44
6.2	Lähtötiedot	45
6.2.1	Perustiedot	46
6.2.2	Rakennus	46
6.2.3	Käyttövesi	47
6.2.4	Nykyinen lämmitysjärjestelmä	47
6.2.5	Varaaja	48
6.2.6	Ilmanvaihto ja tavallisuudesta poikkeava energiankulutus	49
6.2.7	Aurinkokeräimet	49
6.3	Hankesuunnitteluvaihe	50
6.4	Toteutussuunnitteluvaihe	51
6.5	Urakka	51
6.6	Ylläpito ja jälkiseuranta	52
6.7	Vaadittava aika ja resurssit	53
7	CASE	53
7.1	Lähtötiedot	54
7.2	Hankesuunnitteluvaihe	55
7.2.1	Kustannusarvio ja investoinnin nettonykyarvo	57
7.2.2	Vaikutus E-lukuun	59
7.3	Toteutussuunnitteluvaihe	61

7.3.1	Järjestelmän pääkomponenttien mitoitus.....	61
7.4	Suunnitteluun käytetty aika	63
8	POHDINTA	64
	LÄHTEET.....	66
	1. Taloyhtiön energiakirja – sähköinen versio. Internet-sivu. http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/ . Päivitetty 16.10.2013. Luettu 16.10.2013	66
	LIITTEET	
	1. Vuotuinen säteily määrä Suomessa	
	2. Lähtötietolomake	
	3. Konsepti	
	4. Hankesuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma	
	5. Kohteen esimerkki simulointi T*SOL Pro - ohjelmalla	
	6. Toteutussuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma	

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuisesti kasvava energian kysyntä ja fossiilisten polttoaineiden rajallinen saatavuus, puhumattakaan niiden käytön vaikutuksista ilmastonmuutokseen, tulevat vaikuttamaan tulevaisuudessa energian hintaan ja sitä kautta jokaisen kulutustottumuksiin. Energian hinnannousu luo jatkuvasti mahdollisuuksia uusille energiamuodoille ja tekee niistä yhä kannattavampia.

Aurinko energialähteenä on käytännössä loputon, sillä esimerkiksi vuoden 2011 maapallon energiatarpeen kattamiseen olisi riittänyt alle kahden tunnin aikana maapalloon osunut auringonsäteily. Ongelmallista sen hyödyntämisessä on kuitenkin säteilyn jaksoittaisuus, jonka vuoksi energiaa on varastoitava, sekä tämänhetkisten järjestelmien hyötysuhteet.

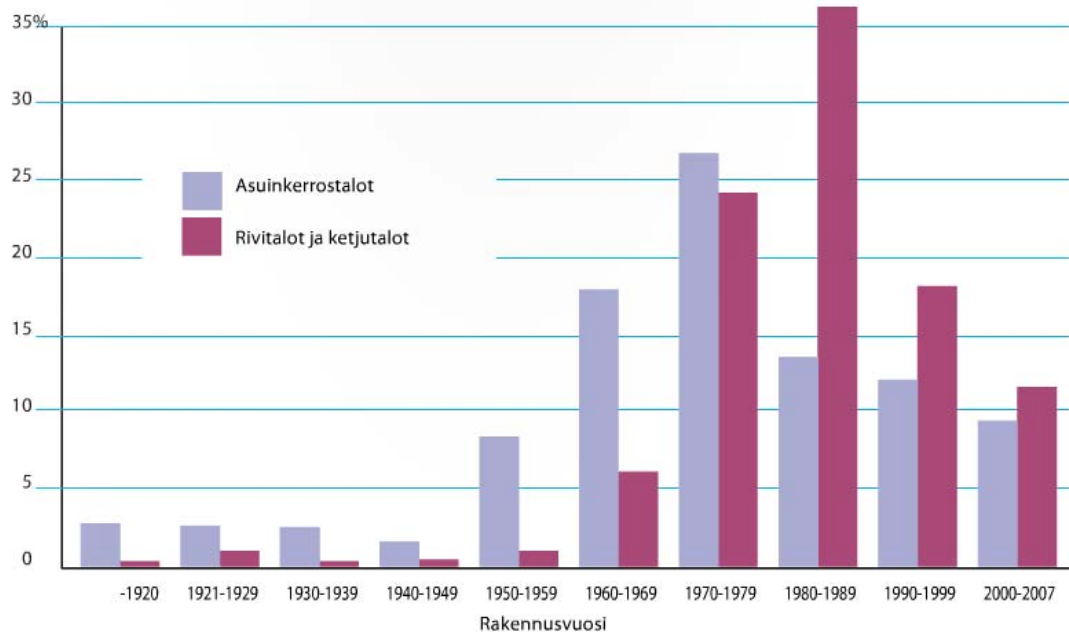
Vaikka Suomi sijaitsee pohjoisessa ja etenkin talvisaikaan auringon säteily määrä on pieni, on tilanne päinvastainen kesäkuukausien aikana. Toukokuusta elo-syyskuulle on säteilyn määrä huomioituna pitkä päivän pituus kutakuinkin sama kuin Keski-Euroopassa, jossa aurinkolämpö on erittäin suosittu lisälämmönlähde kiinteistöissä. Järjestelmien niitä myös kehitetään jatkuvasti, jolloin järjestelmillä kerätyn energian määrä kasvaa ja taloudellinen kannattavuus paranee.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkolämmitystä sen yleisimmän käyttökohteen, käyttöveden lämmityksen suhteen. Tarkemmin paneudutaan 60–70-luvuilla valmistuneisiin kerrostaloihin, koska niiden energiankulutus verrattuna pientaloihin valtakunnan tasolla on suurempi. Usein suurissa kohteissa päästään myös edullisempaan investoinnista laskettuun energian hintaan ja näin ollen suurempaan investoinnin nettonykyarvoon johtuen pienemmästä asennushinnasta keräineliötä (keräineliöllä tarkoitetaan 1m² kokoista aluetta aurinkokeräimessä) kohden. Tulevaisuudessa saneerattavien asuinkerrostalojen määrä on edelleen kasvussa ja näin ollen kannattaville aurinkolämmitysjärjestelmille on varmasti kysyntää.

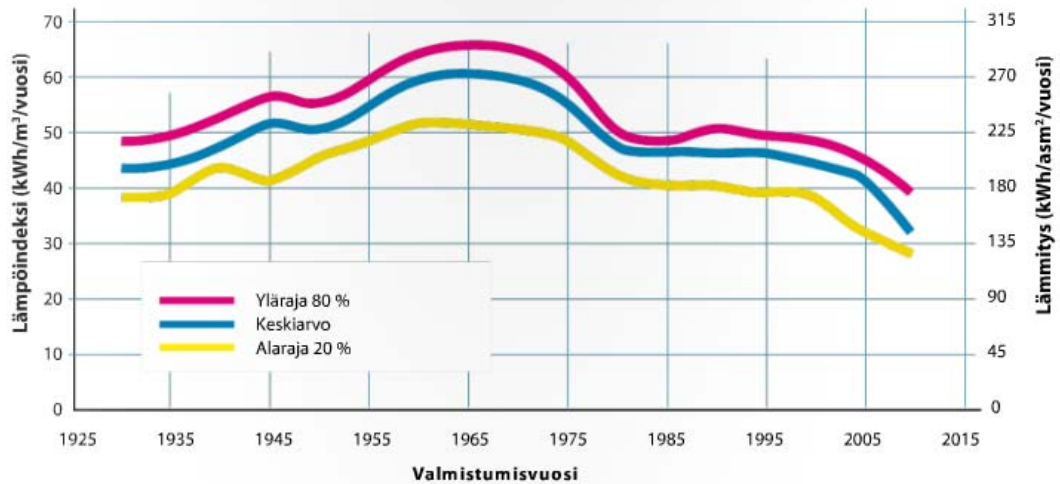
Opinnäytetyön tuloksena kehitetty konsepti ohjaa LVI-suunnittelijaa suunnitteluprosessin eri vaiheissa aina hankesuunnitteluvaiheesta takuuajan seurantaan. Konseptia seurattaessa suunnittelija osaa tehdä oikeat laskelmat oikeaan aikaan ja tietää millaista järjestelmää kannattaa asiakkaan tarpeisiin tarjota. Kokonaisuutena asiakkaalle muodostuu ammattimainen kuva suunnittelijan toiminnasta ja tämä edesauttaa asiakkuuden jatkumista ja uusien asiakkaiden hankkimista tulevaisuudessa.

2 60–70-LUKUJEN ASUINKERROSTALOT

Suomen asuinkerrostaloista iso osa, noin 45 %, on 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuja, kuten kuvasta 1 käy ilmi. Tämän lisäksi kyseiseen ikäryhmään kuuluvien rakennusten energiankulutus on korkea (kuva 2), joten näihin tehtävien energiaparannusten vaikutus on valtakunnallisestikin merkittävä.

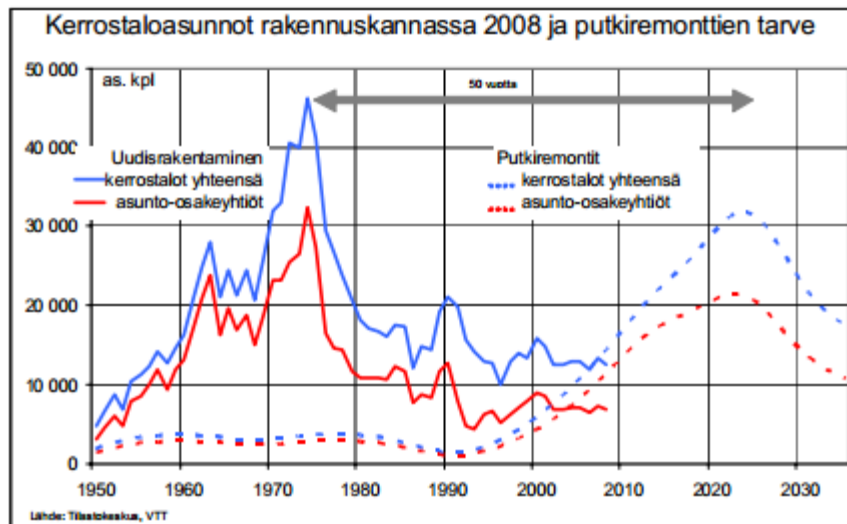


KUVA 1. Asuinkerros- sekä rivi- ja ketjutilojen ikäjakauma [1]



KUVA 2. Asuinkerrostalojen lämmitysenergian kulutus [1]

Suuren määrän ja korkean energiankulutuksen ansiosta 60- ja 70-lukujen asuinkerrostalot ovat mielenkiintoisia kohteita energiaparannuksia suunniteltaessa. Vielä mielenkiintoisempia ne ovat, kun pohditaan laitteistojen käyttöikä. Esimerkiksi putkistojen ja viemäreiden tekniset käyttöiät ovat noin 30–50 vuotta, joten mainittuun ikäryhmään kuuluvat kiinteistöt saneerataan näiltä osin joka tapauksessa lähivuosina (kuva 3). [2.]



KUVA 3. Vuonna 2008 rakennuskannassa olleiden asuntojen vuosittainen jakautuminen ja arvio niiden putkiremonttitarpeen kehityksestä [3]

Käytännössä tämän ikäluokan asuinkerrostalot poikkeavat vain vähän 1980-luvulla rakennetuista. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä luotua konseptia käyttöveden lämmittämiseen aurinkolämmöllä voidaan pienin muutoksin soveltaa myös uudemmissa saneerauskohteissa.

3 AURINKO

Aurinko, kaikelle elämälle edellytyksen maapallolla luova tähti, on tähdistä lähimpänä maata. Etäisyys maapallon ja auringon välillä on elämisen kannalta juuri sopiva, keskimäärin noin $1,5 \times 10^8$ km. Auringon ja maapallon välinen etäisyys vaihtelee vuodenajan mukaan ollen joulukuun 21. $1,47 \times 10^8$ km ja kesäkuun 21. $1,52 \times 10^8$ km.[4.]

Suomen näkökulmasta asiaa pohdittaessa ehkä hieman yllättäen aurinko on siis lähimmillään maata meidän talven aikaan ja päinvastoin kauimpana kesällä. Tähän syyinä mainittakoon maan kallistuskulma $23,45^\circ$ maan kiertorataan nähden. Näin ollen auringon ollessa lähimmillään päivä on pohjoisella pallonpuoliskolla lyhimmillään ja auringonsäteet vaikuttavat maahan vain lyhyen aikaa. Toinen säteilyn voimakkuuteen vaikuttava seikka on säteilyn heikkeneminen sen edetessä maapallon ilmakehässä. Johtuen maapallon asennosta etäisyys, jonka auringonsäteet matkaavat ilmakehässä, on pohjoisen talvemme aikaan pisin. Näiden kahden seikan summana talvella on kylmä ja kesällä lämmin.

Aurinko säteilee jatkuvasti $3,8 \times 10^{26}$ W:n teholla, mutta maapallon pinnalle tästä ulottuu keskimäärin $1,7 \times 10^{17}$ W, joka on vain murto-osa auringon kokonaistehosta. Tehonsa aurinko saa jatkuvasta reaktiosta, jossa vety-atomit fuusioituvat helium-atomeiksi. Auringon säteilyn voimakkuudesta maapallolle kertoo se, että koko maapallon energiankulutus vuonna 2012 vastasi auringon kokonaissäteilyä ilmakehään 84 minuutin ajan. [4.]

3.1 Aurinkovakio ja säteilyteho maanpinnalla

Aurinkovakio on auringon säteily neliometriä kohden ilmakehämme ulkopinnassa noin 100 km etäisyydellä maasta. Aurinkovakio on 1366 W/m^2 ja vaihtelee auringon

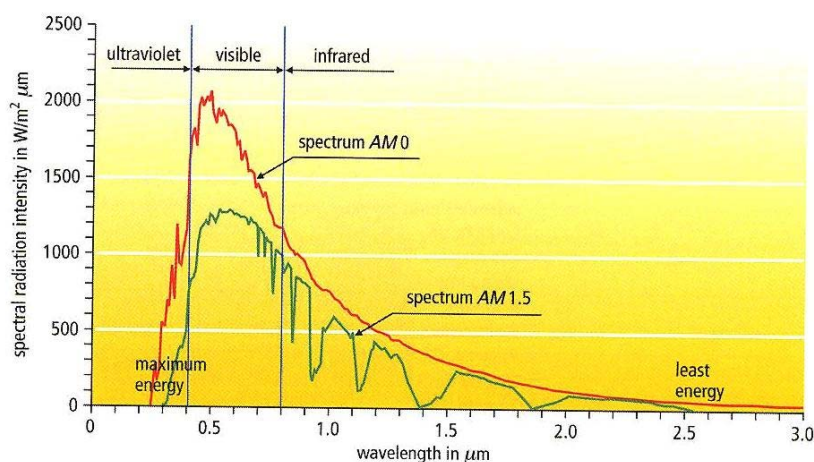
etäisyydestä ja aktiivisuudesta riippuen noin ± 1 %. Johtuen ilmakehässämme olevista kaasusta ja muista säteilyä heijastavista hiukkasista säteilyn voimakkuus maan pinnalla vaihtelee ollessaan enimmillään päiväntasaajalla noin 1000 W/m^2 . [4;5.]

Suomessa auringon säteilyteho on enimmillään 800 W/m^2 etelässä ja pohjoisessa 700 W/m^2 . Säteilyn määrää suurilla leveysasteilla, kuten Suomessa, verrattuna pienempiin ja täten lähempänä päiväntasaajaa sijaitseviin leveysasteisiin, vähentää säteiden pidempi kulkemismatka ilmakehässä. Etenkin talvikuukausina, lokakuusta helmikuuhun, auringonsäteily on heikkoa ja sääolosuhteet huomioiden käytännössä liian vähäistä käytettäväksi esimerkiksi kiinteistöjen lämmittämiseen. Päinvastoin kesällä auringonsäteilyn määrää Suomessa lisää päivän pituus ja näin ollen esimerkiksi käyttövedenlämmityksessä kesäaikana se on vartenotettava lämmönlähde.

3.2 Säteilyn sisältämä energia

Auringosta tulevasta säteilystä 98 % esiintyy aallonpituuksilla $0,3\text{--}3$ mikrometriä, josta näkyvää valoa esiintyy $0,4\text{--}0,8 \mu\text{m}$ aallonpituuksilla. Alle $0,4 \mu\text{m}$ aallonpituuksilla säteily on ultraviolettisäteilyä ja yli $0,7 \mu\text{m}$ infrapunasäteilyä. [4.]

Aurinkolämmityksen kannalta on olennaista, että eri aallonpituuksilla auringonsäteily sisältää eri määrän energiaa. Energian määrä on jakautunut kuvan 4 mukaisesti niin, että korkeimmillaan energia on näkyvän valon aallonpituuksilla $0,5 \mu\text{m}$ molemmin puolin.



KUVA 4. Auringon säteily jakautuminen eri aallonpituuksilla [6]

3.3 Absorptio ja emissio

Auringon säteilyn osuessa kiinteään kohteeseen sen energia muuttuu osittain tai kokonaan lämmöksi. Tätä prosessia kutsutaan absorptioksi. Absorboituneen energian määrään vaikuttaa oleellisesti säteilyn aallonpituus ja absorboivan pinnan kyky sitoa säteilyä itseensä. Kiinteään kohteeseen absorboituneen säteilyn energian muuttuessa lämmöksi kohteen lämpötila nousee. Lämpötilan noustessa korkeammaksi kuin ympäristön lämpötila syntyy kohteesta ympäristöön lämpöenergiavirta, jota kutsutaan emissioksi. [4.]

3.4 Säteilytavat

Maan kokonaissäteily koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä sekä heijastuneesta säteilystä. Pilvistä suuntaa muuttavia säteitä kutsutaan siroaviksi säteiksi. Sironneista säteistä koostuvaa maahan saapuvaa säteilyä kutsutaan hajasäteilyksi, kun taas suoraan auringosta tulevaa suoraksi säteilyksi. Näiden lisäksi osa säteilystä heijastuu maasta ja tätä kutsutaan heijastuneeksi säteilyksi. Aurinkolämmityksen kannalta suora ja hajasäteily ovat oleellisimmat, mutta esimerkiksi vesistöjen läheisyydessä heijastuneen säteilyn määrä vaikuttaa huomattavasti kokonaissäteilyn määrään. Suoran säteilyn määrä kokonaissäteilystä on noin puolet, kuten hajasäteilynkin. Heijastuneen säteilyn määrä on sijainnista riippuen muutamia prosentteja. [4; 6.]

3.5 Auringon säteily

Auringon säteily itsessään koostuu pienistä hiukkasista, joita kutsutaan fotoneiksi. Energiaa vapautuu, kun fotonit osuvat pintaan ja absorboituvat siihen. Riippuen pinnan kyvystä absorboida säteilyä eri pinnat näkyvät eri väreinä. Esimerkiksi musta sitoo hyvin säteilyä ja absorboi suuren osan fotoneista itseensä, jolloin takaisin heijastuu vain vähän valoa ja pinta nähdään mustana. Vastaavasti valkoinen pinta heijastaa suuren osan säteilystä takaisin ja on siksi valkoinen. Mitä enemmän pinta absorboi itseensä fotoneja, sitä enemmän fotonien sisältämästä energiasta muuttuu lämmöksi.

3.6 Käytettävissä oleva säteilyenergian määrä Suomessa

Suomessa auringonsäteilyn vuotuinen määrä vaihtelee vaakatasossa olevalle pinnalle 700 - 950 kWh neliometriä kohden. Tämä tarkoittaa optimaalisesti kallistetulle pinnalle etelän 1100 kWh:sta pohjoisen noin 900 kWh:iin vuodessa yhtä neliometriä kohden.

Suomessa ajanjakso, jolloin aurinko paistaa riittävästi ja kiinteistöjen lämmitykseen tarvitaan edelleen energiaa, on verrattain lyhyt. Iso osa auringon säteilystä tulee kesällä, jolloin tavanomaisten kiinteistöjen lämmitystarve keskittyy käyttöveden lämmittämiseen ja näin ollen tulee pohtia, rakennetaanko aurinkolämmitysjärjestelmä vain käyttöveden lämmittämiseen vai sekä käyttöveden että tilojen lämmittämiseen.

Käytettävissä olevan energian määrään vaikuttaa myös vaadittava lämpötilataso. Esimerkiksi lämmitysjärjestelmä varustettuna perinteisillä lämmityspattereilla vaatii korkeita lämpötiloja toimiakseen. Jos verrataan tällaista järjestelmää matalilla lämpötiloilla toimivaan lattialämmityskohteeseen, on auringon säteilystä hyödynnettävissä olevan energian määrä huomattavasti suurempi matalan lämpötilatason kohteissa.[5].

60- ja 70-lukujen kerrostaloissa lämmönjakojärjestelmä on pääosin perinteinen patterilämmitys ja mitoitettu korkeille lämpötiloille. Kyseisissä kohteissa ajanjakso, jolloin aurinkolämmitysjärjestelmän käyttö huoneistojen lämmittämiseen on järkevää, on erittäin lyhyt. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä ei paneuduta tarkemmin huoneistojen, vaan nimenomaan käyttöveden lämmittämiseen.

4 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkolämpöjärjestelmän tärkein osa on luonnollisesti aurinkokeräin, jolla pyritään muuttamaan mahdollisimman suuri osa auringon säteilystä lämpöenergiaksi. Keräimen lisäksi järjestelmä tarvitsee putkiston, jonka avulla lämpöenergia kierrätetään pumpun avulla useimmiten varaajaan. Koska keräinpiiri on suojattava jäätymiseltä jäätyttömällä nesteellä, tarvitaan lämmönsiirrin varaajan ja keräinpiirin väliin. Usein ei ole tarkoituksenmukaista säilöä jopa tuhansia litroja käyttövettä, vaan varaa-

jassa oleva vesi on pelkästään energian varaamiseen. Tällöin tarvitaan lisäksi käyttövedelle oma lämmönsiirrin, jolla käyttövesi lämmitetään varaajassa olevalla lämmöllä. Tässä luvussa käsitellään aurinkolämpöjärjestelmän komponentteja ja niiden vaatimuksia.

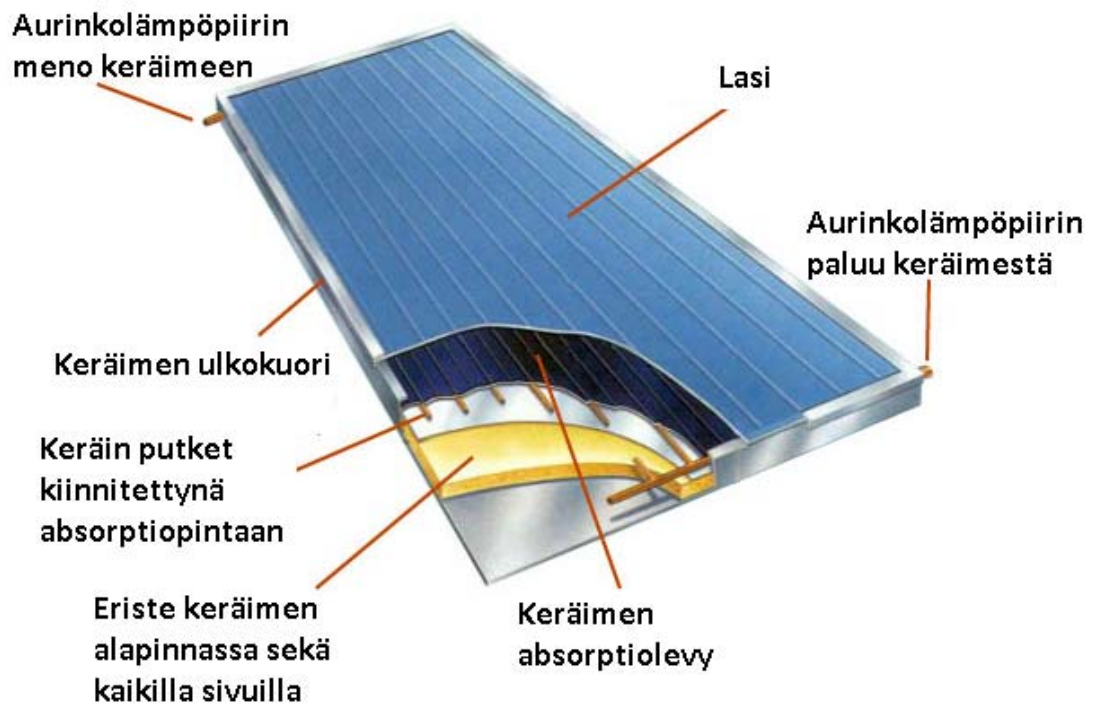
4.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet ovat aurinkolämpöjärjestelmän pääkomponentteja, joiden tehtävänä on, nimensä mukaisesti, kerätä auringonsäteitä ja muuttaa ne absorptio avulla lämmöksi. Absorboitunut energia siirretään keräimestä väliaineen avulla varaajaan tai loppukäyttöpisteeseen riippuen käyttötarkoituksesta. Yleisesti käytössä olevia keräintyyppisiä on kaksi: taso- ja tyhjiöputkikeräimet. Tässä kappaleessa käsitellään eri keräintyyppisiä ja niiden ominaisuuksia.

Keräintyyppisiä vertailtaessa käytetään nimitystä absorptioala ja keräinala. Keräinala tarkoittaa keräinten vaatimaa tilaa absoluuttisena pinta-alana. Keräinalasta osan muodostavat keräinten kehykset ja rakenteet ja osan auringon valoa absorboiva tumma pinta eli absorptioala. Keräintyyppistä riippuen absorptioala suhteessa keräinalaan on suurin tasokeräimillä ja pienin tyhjiöputkikeräimillä. Tässä opinnäytetyössä nimitystä keräinala on käytetty yleisesti keräinten pinta-alasta ja keräinneliötä yhden neliömetrin kokoisesta alueesta keräinalassa.

4.1.1 Tasokeräimet

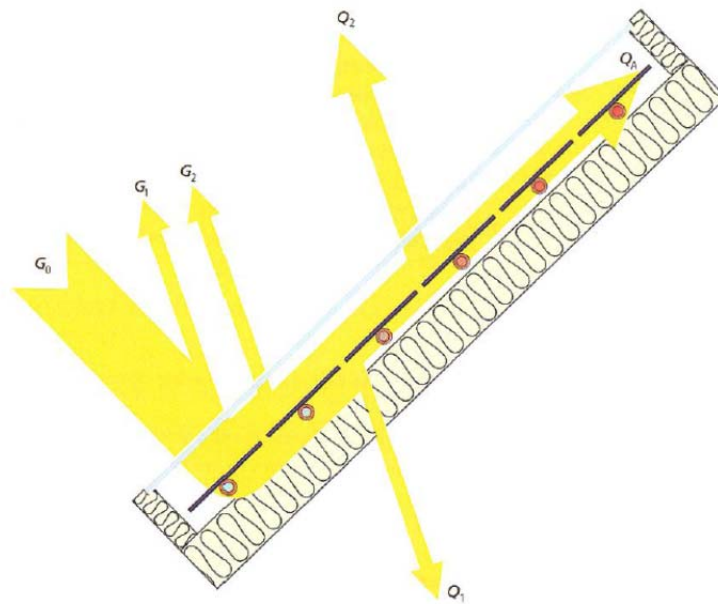
Tasokeräimessä on nimensä mukaisesti taso, jonka tehtävä on kerätä auringon säteilyenergiaa. Tasoon absorboitunut energia siirretään käyttötarkoituksesta riippuen nesteen tai kaasun avulla sinne, missä lämpöä tarvitaan. Tasokeräimet ovat yleensä varustettuja lasilla, jonka tehtävänä on päästää säteilyenergia keräimeen, mutta estää konvektiovirtauksen mukana karkaava lämpö. Mikäli keräimen ja ympäristön välinen lämpötilaero on pieni esimerkiksi lämmitettäessä ulkona sijaitsevaa uima-allasta, ei lasin avulla saavuteta merkittävää hyötyä energiamäärässä. Lämpötilaeron kasvaessa korostuvat keräimen ominaisuudet nimenomaan lasin sekä taustan ja sivujen eristävyyden osalta. Nestekiertoisen keräimen rakenne selviää kuvasta 5. [6.]



KUVA 5. Tasokeräimen rakenne [7]

Tasokeräimeen osuva säteilyenergia jakaantuu kuvan 6 mukaan. Keräimeen osuvan säteilyn sisältämästä energiasta, G_0 , osa heijastuu tasokeräimen lasista, G_1 , ja osa itse keräimen pinnasta, G_2 . Loput säteilystä absorboituu keräimeen ja muuttuu lämmöksi. Absorboitumisesta johtuvasta lämmön noususta keräimessä aiheutuu lämpöhäviöitä keräimen eristeen läpi, Q_1 , ja lasin läpi, Q_2 . Keräimestä hyödyksi saatava energia, Q_A , saadaan seuraavasta kaavasta 1 [6.]:

$$Q_A = G_0 - (G_1 + G_2 + Q_1 + Q_2) \quad (1)$$



n

KUVA 6. Tasokeräimen energiatalous [6]

4.1.2 Tyhjiökeräimet

Yleisin tyhjiökeräintyyppi on erilaiset tyhjiöputkikeräimet, mutta myös tasokeräimistä on kehitetty versioita, joissa absorptiopinnan ja ulkolasin väli on imetty tyhjiöksi. Tyhjiöputkikeräimet ovat tällä saralla vielä kuitenkin niin merkittävässä roolissa, että tyhjiötasokeräimet jätetään tässä opinnäytetyössä mainitsemisen tasolle. Lisää tietoa niistä tarjoaa esimerkiksi isobritannialaisen Genersys Plc:n Internet-sivusto <http://www.genersys-solar.com>.

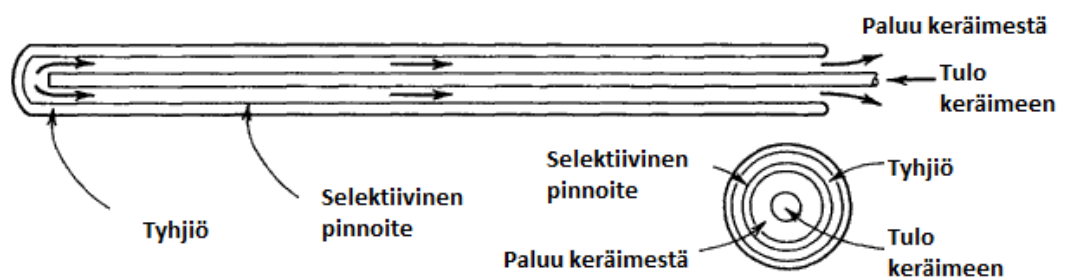
Tyhjiökeräin perustuu energian siirtymiseen väliaineen avulla. Käytännössä keräimen nesteen ja ulkokuorena toimivan lasin välissä on lähes täydellinen tyhjiö ja näin ollen väliaineen määrä erittäin pieni. Tästä johtuen lämpöhäviöt lämmenneen keräinosan ja ulkoilman välillä ovat vähäisemmät kuin perinteisillä tasokeräimillä toimittaessa korkeilla lämpötiloilla ks. kohta 4.1.6. ”Keräintyyppien vertailu”. Tyhjiöputkikeräimet on tässä opinnäytetyössä jaoteltu kolmeen osaan niiden rakenteen mukaan: tyhjiöputkikeräimet, U-putkikeräimet ja lämpöputkikeräimet.

Tyhjiökeräimet soveltuvat parhaiten sovelluksiin, joissa vaaditaan korkeita käyttölämpötiloja tai muutoin lämpötilaero ympäristön ja käytettävän nesteen välillä on korkea.

Yleisesti ottaen tyhjiökeräimet ovat perinteisiä tasokeräimiä kalliimpia ja rakenteensa vuoksi vaativat tarkkuutta asennusvaiheessa. [4.]

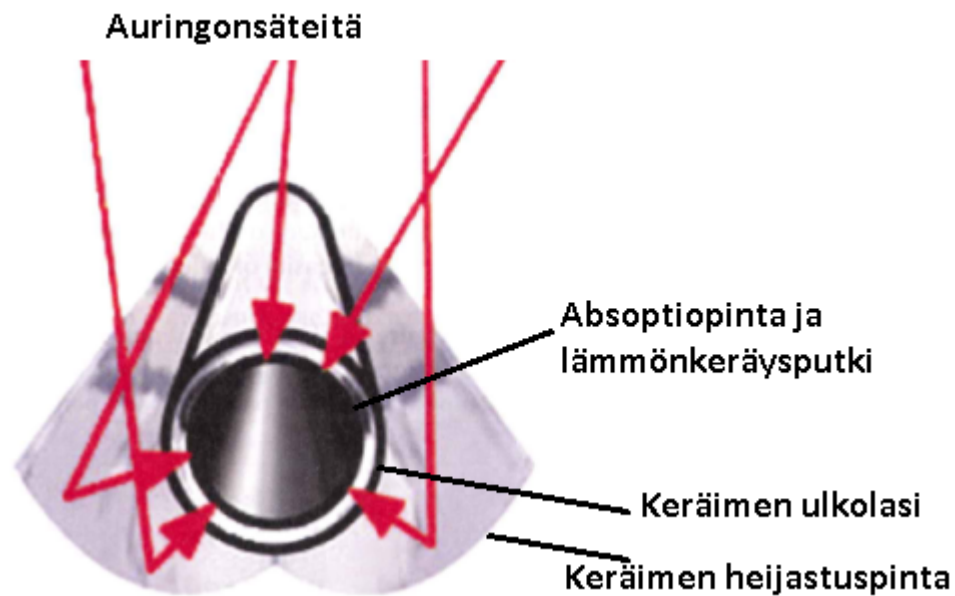
4.1.3 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimessä on useita lasiputkia, laitevalmistajista riippuen 6–30 kpl per keräin. Yksittäisten putkien keskellä on pienempi putki, jonka sisällä lämmönsiirtoneste virtaa. Päistään putket kiinnittyvät runkoputkeen ja sen kautta muuhun aurinkolämpöjärjestelmään. Keräimessä olevista putkista sisemmän ulkopinta on päällystetty selektiivisellä pinnoitteella (ks. 4.1.7. ”selektiiviset pinnoitteet”) ja sen ja ulko-kuorena olevan lasiputken välissä on lähes täydellinen tyhjiö, joka toimii erinomaisena eristeenä ympäristön ja lämmönsiirtonesteen välillä. Lämmönkeruuneste virtaa keräinputken yläpäältä sisään ja kulkee pinnoitetun putken sisällä olevassa putkessa keräinputken alapäähän. Alapäästä jo lämmennyt neste palaa ylöspäin sisimmän putken ja pinnoitetun putken välissä, jossa lämpötila on korkeimmillaan (kuva 7) [4;6; 9;10]



KUVA 7. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate [12]

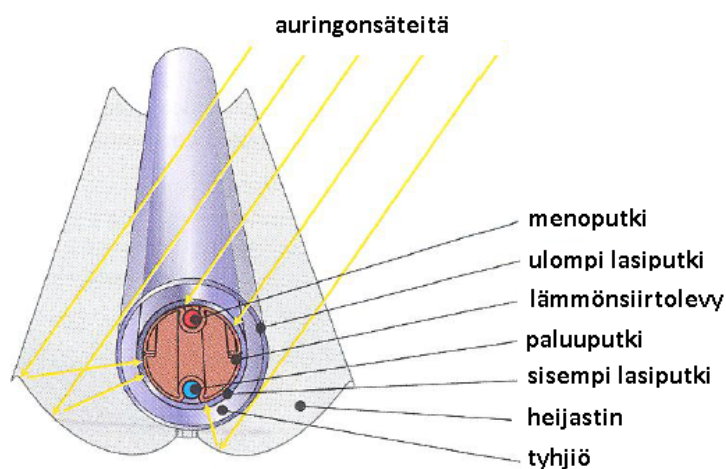
Joissakin tyhjiöputkikeräimissä absorptiopinta-alaa on kasvatettu lisäämällä säteitä heijastavat pinnat keräinputkien alapuolelle kuten kuvassa 8. Oikein suunnatulla heijastuspinnalla saavutetaan merkittäviä hyötyjä kerätyn energian määrässä.



KUVA 8. Heijastuspinnan toiminta tyhjiöputkikeräimessä[4]

4.1.4 U-putkikeräin

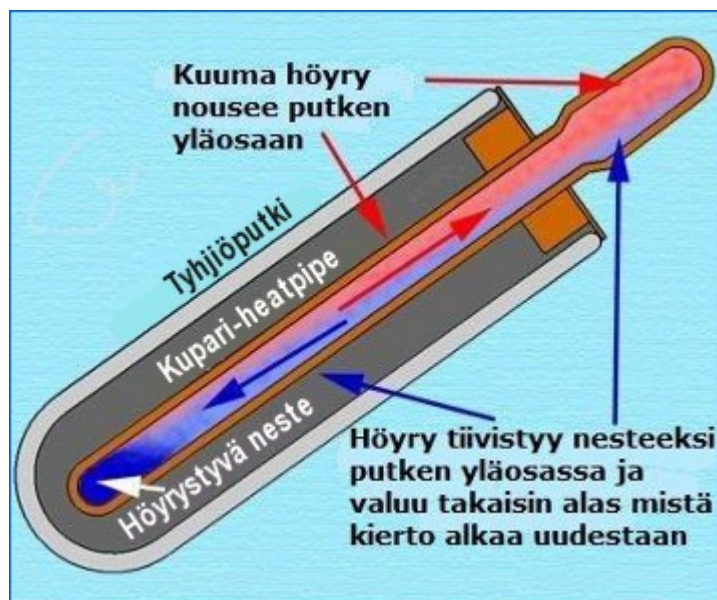
U-putkikeräin on toiminnaltaan tyhjiöputkikeräimen kaltainen: Lasiputken sisällä on toinen putki, jonka pinta on päällystetty selektiivisellä pinnoitteella ja putkien välinen ilmatila on lähes täydellinen tyhjiö. Tämän lisäksi selektiivisellä pinnoitteella pinnoitetun putken sisällä on pieni putki, jossa neste virtaa ensin keräinputken päähän ja tämän jälkeen takaisin. Meno- ja paluuyhde ovat siis keräinputken samassa päässä. Nimensä keräintyyppi saakin sisällä olevan putken u-kirjaimen muotoisesta rakenteesta (kuva 9).



Kuva 9 U-putkikeräimen poikkileikkaus [6]

4.1.5 Lämpöputkikeräin

Lämpöputkikeräin poikkeaa muista keräintyypeistä merkittävästi, koska itse keräinputkissa ei kierrä lainkaan nestettä, joka kiertää itse aurinkolämmitysjärjestelmässä. Putkessa on tavoitelämpötiloista riippuen ainetta, joka höyrystyy alhaisessa lämpötilassa, esim. 25 °C. Höyrystynyt aine nousee keräimen yläosaan, jossa on pieni lämmönsiirtin. Lämmönsiirtimen toisiopuolella kiertää aurinkolämpöjärjestelmän neste, joka lämmitessään jähdyttää ensiöpiirissä olevaa höyryä. (kuva 10) Jäähtyessään höyry kondensoituu nesteeksi ja palaa painovoiman vaikutuksesta takaisin putken alaosaan. Kierto jatkuu niin kauan, kun energiaa on saatavilla riittävästi. [10.]



KUVA 10. Lämpöputkikeräimen toiminta [13]

Lämpöputkikeräimiä suunniteltaessa on otettava huomioon keräinten kaltevuus. Osittain painovoimaan perustuvan prosessinsa vuoksi keräimet toimivat vain yli 25° vaakatasoon nähden kallistettuina. Jos asennusta suunnitellaan lähes vaakasuoralle katolle, on keräimille rakennettava telineet, jotta vaadittava kallistus saavutetaan [6.]

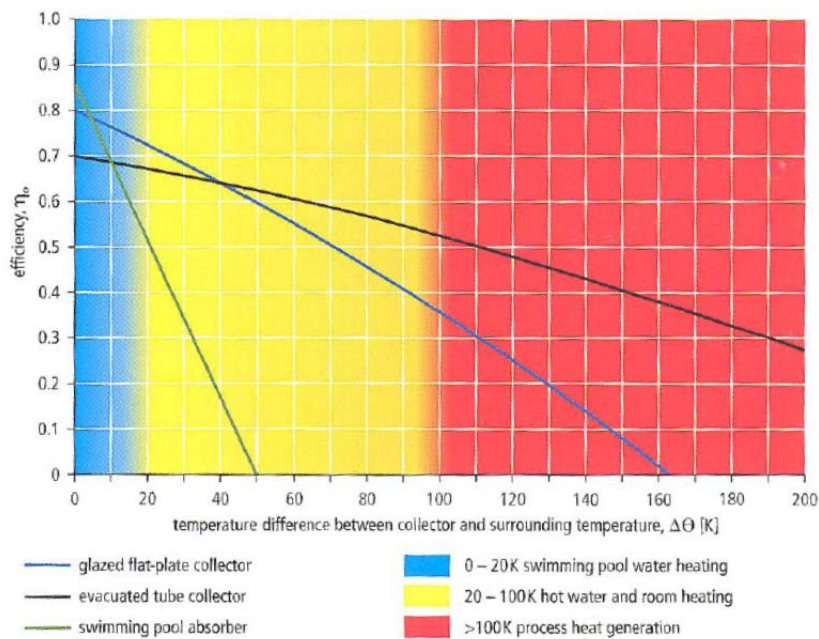
4.1.6 Keräintyyppien vertailu

Keräinten vertailussa on yleensä oleellista verrata ominaisuuksia vallitsevien lämpötilojen osalta. Yksi tapa verrata samantyyppisiä keräimiä toisiinsa on myös stagnaatio-

lämpötila, joka tarkoittaa keräimen lämpötilaa silloin, kun säteily pysyy vakiona eikä neste kierrä keräimessä. Käytännössä tässä siis yhdistetään keräimen absorptio ja eristävyys sekä tiiveys. Tavallisesti stagnaatiolämpötila tasokeräimillä on noin 160–200 °C ja tyhjiöputkikeräimillä yli 200 °C, jopa yli 300 °C. [6.]

Tavallisissa asuinkiinteistöissä lämpimän käyttöveden vaadittu lämpötila laitteistossa on vähintään 55 °C[7]. Aurinkolämmitystä ajatellen etenkin siirtymäkausina (kevät ja syksy) tämä on varsin korkea lämpötila. Käytettävän energian määrää voidaan keräinpinta-alaa kohden kasvattaa, jos aurinkolämmöllä ei yritetä valmistaa kaikkea lämminettä käyttövettä, vaan sitä käytetään käyttöveden esilämmityksessä. Tällöin viranomaismääräysten mukainen lopullinen lämpötila viimeistellään toisella lämmönlähteellä, esimerkiksi kaukolämmöllä tai sähköllä. Kuvassa 11 on esitetty erityyppisten aurinkokeräinten hyötysuhteen muutosta keräimessä kiertävän nesteen keskilämpötilan ja ympäristön välisen lämpötilaeron muuttuessa.

Kuvasta 11 voidaan havaita, että alhaisimmilla lämpötilaeroilla yksinkertainen lasiton keräin (engl. swimming pool absorber) on tehokkain. Melko nopeasti lämpötilaeron noustessa lasilliset tasokeräimet (engl. glazed flat-plate collector) ja tyhjiöputkikeräimet (engl. evacuated tube collector) menevät ohi lasittoman keräimen. Kesällä 20 °C ulkolämpötilassa lämmitettäessä vettä 60 °C:seen lämpötilaero on 40 °C, jolloin tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet ovat käytännössä yhtä tehokkaita. Korkeilla lämpötilaeroilla tyhjiöputkikeräinten eristävyys tulee ilmi yhä selkeämmin korkeampana hyötysuhteenä.



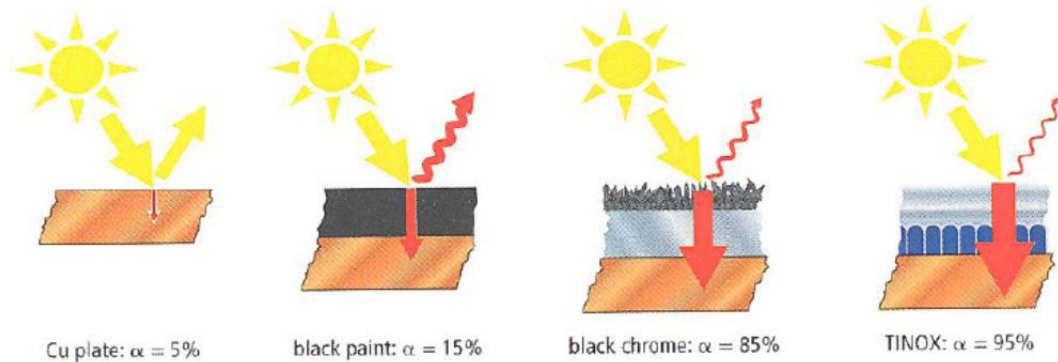
KUVA 11. Kolmen eri keräintyyppin hyötysuhde ympäristön ja keräimen keskilämpötilan funktiona. Taustan väri kuvaa kunkin keräintyyppin parasta toimintaa-alueita [6]

Keräintyypeistä asuinkiinteistöissä yleisimmin käytetty on tasokeräin. Syitä tähän ovat sen edullinen hinta suhteutettuna saavutettuun energiatuottoon ja yksinkertainen rakenne, jonka vuoksi se on tee-se-itse-miesten suosima. Myös tyhjiöputkikeräimet ovat käyttökelpoisia asuinrakennuksissa ja käytännön asennuksissa niistä on saatu hyviä kokemuksia.

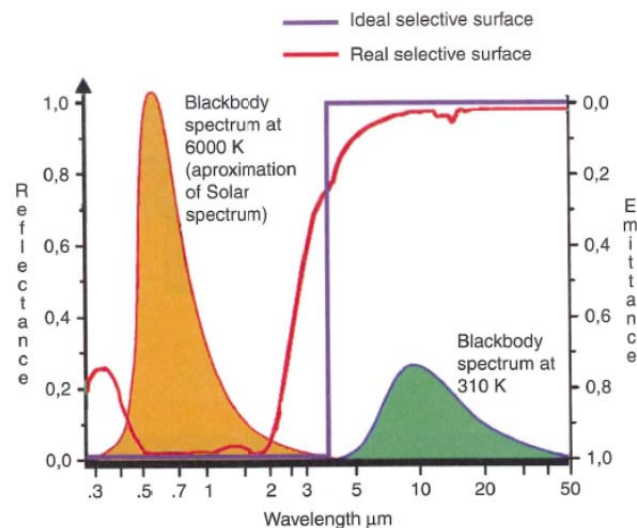
Tyhjiöputkikeräimen etuna on se, että se pystyy hyödyntämään paremmin hajasäteilyä, kuin tasokeräin. Tästä johtuen tyhjiöputkikeräimellä saavutetaan parempi tuotto syksyllä ja keväällä absorptio pinta-ala-yksikköä kohden. Rakenteensa vuoksi tasokeräimen absorptiopinta-ala keräinpinta-alaan suhteutettuna on kuitenkin selkeästi suurempi kuin tyhjiöputkikeräimellä, joten jokaisessa tapauksessa on pohdittava erikseen sopivinta vaihtoehtoa.

4.1.7 Selektiiviset pinnoitteet

Nykyaikaisten aurinkokeräinten absorptiopinnat on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella. Suurin energiamäärä on lyhytaaltoisella säteilyllä (ks. 3.2. ”Säteilyn sisältämä energia”), joten selektiivisen pinnoitteen tarkoituksena on absorboida mahdollisimman tehokkaasti tätä säteilyä. Näitä kahta ominaisuutta, absorptio (α) ja emissiivisyys (ϵ) käytetään vertailtaessa pinnoitteiden ominaisuuksia ja laskettaessa keräimen keräämää energia määrää. Kuvassa 12 on esitetty erilaisten pinnoitteiden vaikutusta absorboituneen energian määrään ja kuvassa 13 on esitetty optimaalisen selektiivisen pinnoitteen sekä erään olemassa olevan pinnoitteen todellisia ominaisuuksia. [4;8.]



KUVA 12. Erilaisten pinnoitteiden absorptiokyky [6]



KUVA 13. Selektiivisen pinnoitteen optimaaliset ja erään todellisen pinnoitteen todelliset ominaisuudet [4]

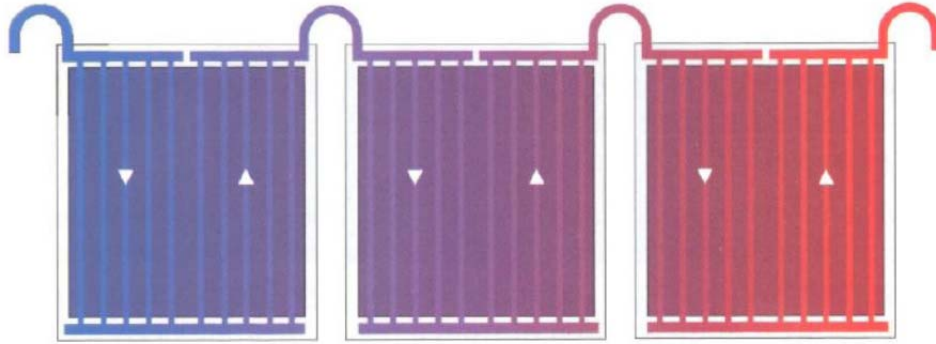
4.1.8 Selektiiviset lasit

Aurinkokeräintyyppistä riippumatta keräimen ulkoilmaa vasten olevana suojana toimii lasi. Koska lämmöksi absorboitunut säteily pyrkii säteilemään ympäristöön pidemmillä aallonpituuksilla, selektiivisen lasin tärkeä tehtävä on estää lämpösäteily keräimen lasin läpi. Luonnollisesti tämän lisäksi keräimeen osuvasta säteilystä mahdollisimman suuren osan tulisi päästä lasin läpi absorptiopinnalle asti. Hyvä selektiivinen lasi päästää lävitseen alle 3000 nm:n säteilystä (valo) mahdollisimman ison osan ja estää mahdollisimman tehokkaasti tätä suuremmalla aallonpituudella kulkevan säteilyn (lämpösäteily) läpäisyn. Näiden ominaisuuksien lisäksi keräimen lasi suojaa absorptiopintaa likaantumiselta ja ympäristövaikutuksilta kuten rakeilta. Keräimen likaantumisesta lisää on kerrottu luvussa 4.1.12. Keräimen toimintaa heikentävät ympäristövaikutukset.

4.1.9 KytKentätavat

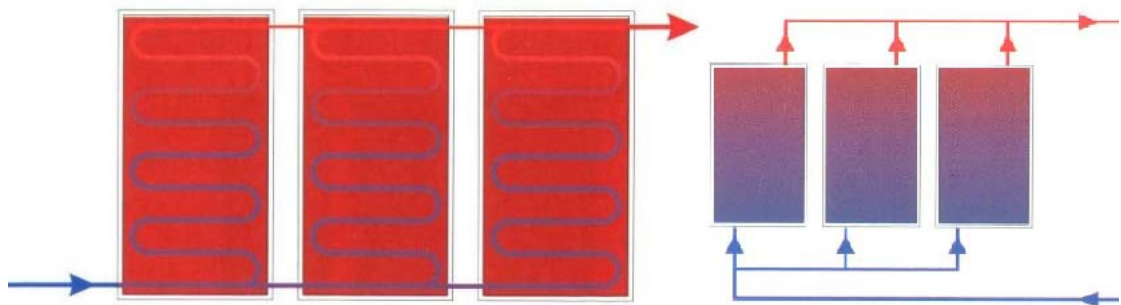
Yleisesti käytettävien aurinkokeräinten koko on noin 1-3 m², ja näin ollen niitä on käytännössä aina liitettävä järjestelmään useita, jotta vaadittu keräinpinta-ala saavutetaan. Keräinten liittäminen toisiinsa ei ole täysin ongelmaton, koska jokaisen keräimen kautta kulkevan nestemäärän on oltava sama. Jos samankokoisissa keräimissä kiertävän nesteen määrä on eri, aiheuttaa se lämpötilaeroja keräimiin ja heikentää järjestelmän toimintaa. Lopputuloksena on hyödyksi saatavan aurinkoenergian määrän aleneminen. Eri kytKentätavat voidaan jakaa kolmeen luokkaan: sarjaan ja rinnan kytKentöihin sekä näiden yhdistelmiin. [6.]

Sarjaan kytKennässä kaikkien keräinten läpi kiertää sama neste ja näin ollen painehäviöiden suhteen kaikki keräimet ovat tasapainossa (kuva 14). Painehäviöt asettavat kuitenkin rajoitteen sarjaa kytKettävien keräinten määrälle, koska keräinten lisääntyessä nousee keräinpiirin painehäviö ja samalla pumppauskustannukset. Sarjaan kytKentä on parhaimmillaan matalavirtausjärjestelmissä, joissa tavoitellaan korkeita käyttölämpötiloja. [8.]



KUVA 14. Sarjaan kytkettyjen keräinten toimintaperiaate [8]

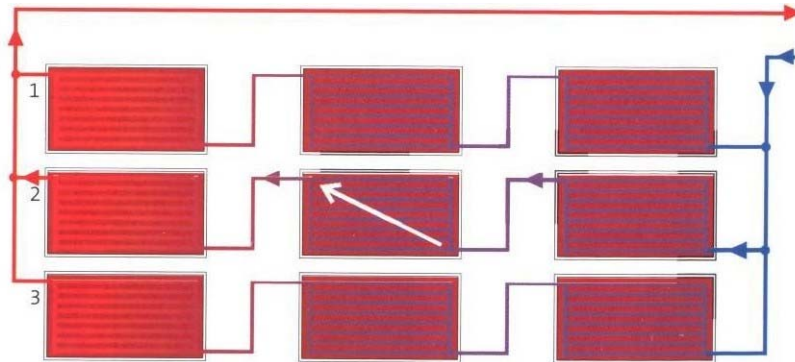
Rinnan kytkennässä jokaisessa keräimessä kiertävän nestemäärän on oltava sama ja sen saavuttamiseksi virtaaman kytkennän läpi on vastattava laitevalmistajan ohjeistusta. Huomiota on kiinnitettävä etenkin runkoputkien painehäviöihin ja siihen, että ne ovat samat kaikista keräimistä tarkasteltuna. Hyvä nyrkkisääntö on se, että keräinten painehäviön on oltava kolminkertainen verrattuna aurinkolämmitysjärjestelmän muuhun painehäviöön. Tällöin virtaama keräimissä on riittävän turbulenttia, jolloin lämmönsiirto paranee. Lisäksi keräinten painehäviöt ovat keskenään samansuuruisia ja näin ollen keräimet virtausteknisesti tasapainossa keskenään. Kuvassa 15 on esitetty niin kutsutut Viessmann-(vas.) ja Tichelmann-kytkennät. [6;8.]



KUVA 15. Vasemmalla ovat niin kutsutulla Viessmann-kytkennällä ja oikealla Tichelmann-kytkennällä rinnan kytketyt keräimet. [8]

Kahta edellä mainittua voidaan käyttää pienissä järjestelmissä, mutta siirryttäessä suurempaan määrään kerääjiä on niitä yhdisteltävä, jotta järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla. Sarjaan kytkennässä ongelmaksi muodostuu keräinten korkea painehäviö ja rinnankytkennässä keräinten vaikea tasapainottaminen keskenään. Jos keräin-

ten läpi virtaavan nesteen määrä ei ole sama jokaisessa keräimessä, lämpenee osa keräimistä enemmän kuin toiset. Tällöin keräinalan hyötysuhde alenee. Yhdistelmäkytkennässä pyritään saavuttamaan molempien kytkentätyyppien edut niitä yhdistelemällä (kuva 16). [8.]



KUVA 16. Rinnan ja sarjaan kytkennän yhdistelmäkytkentä yhdeksälle keräimelle [8]

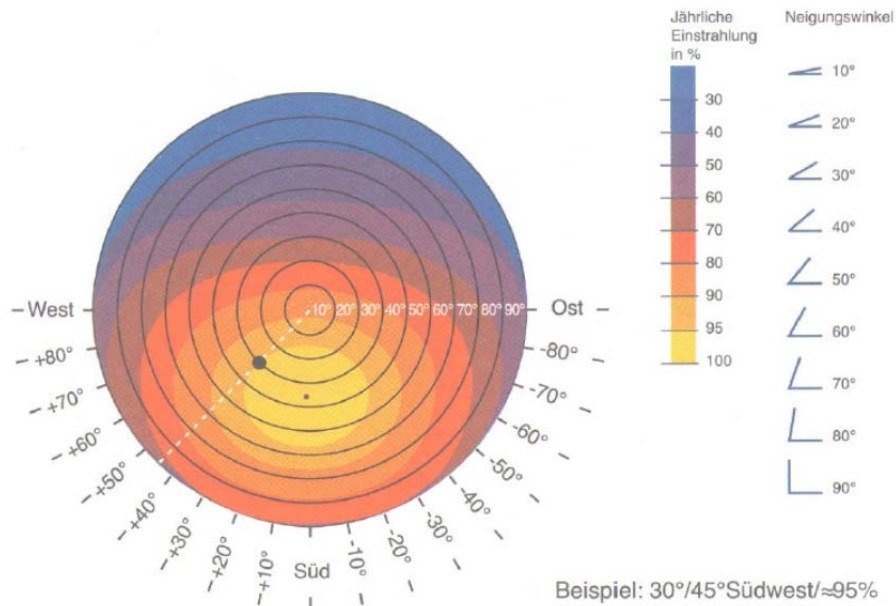
4.1.10 Sijainnin vaikutus

Sijainti vaikuttaa aurinkolämmitysjärjestelmän energiantuottoon niin, että pienillä leveysasteilla saadaan suurempi määrä energiaa per neliömetri. Liitteessä 1 on esitetty kuinka säteily määrä vaihtelee eri osissa Suomea. Sijainnin lisäksi kerätyn energian määrään vaikuttavat muut ympäristötekijät, kuten lumi, sekä keräimien kallistuskulma.

4.1.11 Keräimen kallistuskulma

Suurin määrä säteilyä matalan säteilyn aikana, lokakuusta maaliskuuhun, saadaan kerättyä suurilla kallistuskulmilla (yli 50°) ja päinvastoin korkean säteilyn aikana kesäisin pienemmillä, alle 30° kulmilla. Lisäksi keräimen keräämän aurinkoenergian määrää voidaan painottaa joko aamuun tai iltaan suuntaamalla keräin kaakkoon ja luoteeseen. Suuntauskulmapoikkeama etelästä, 0° , ilmoitetaan asteina niin, että itä on -90° ja länsi 90° . Näitä suurempien suuntauskulman poikkeamien käyttäminen ei ole järkevää, koska kerätyn kokonaisenergian määrä on pieni. Keräimen kallistus- ja suuntauskulman poikkeama optimaalisesta kulmasta vaikuttaa vähentävästi kokonaisenergian-

määrään. Kuvassa 17 on esitetty suhteelliset muutokset säteilymäärässä eri kallistus- ja suuntauskulmille.

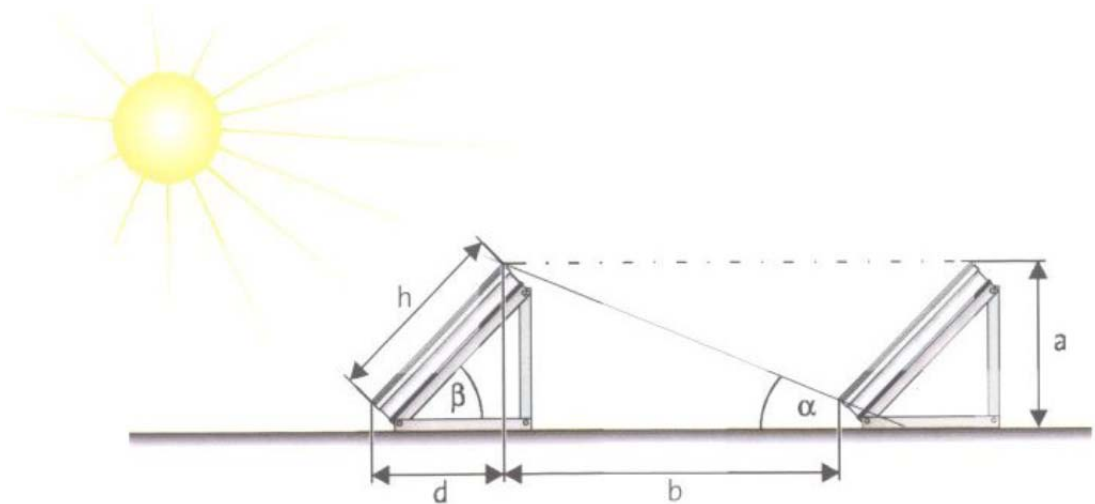


KUVA 17. Kallistus- ja suuntauskulman vaikutus keräimeen osuvan säteilyn määrään [14]

Optimaalinen kallistuskulma vaihtelee vuodenajan mukaan. Vuositasolla ajateltuna nyrkkisääntönä parhaalle kallistuskulmalle ajateltuna kerätyn aurinkoenergian kannalta voidaan pitää leveyspiirin arvoa kerrottuna lukuarvolla 0,7. Esimerkiksi Helsingissä, 60°N, tämä tarkoittaa keräimen kallistuskulmaa 42°. [6.]

Yleisesti, asennuksesta koituvat kustannukset huomioiden, voidaan perinteiselle harjakatolle asennettavien keräinten parhaana kulmana pitää katon kallistuskulmaa. Tällöin asennuksessa käytettäviltä kannakkeina voidaan käyttää edullisempia vakiokannakkeita. Lisäksi yleistymässä ovat asennusmallit, joissa keräin on osa kattomateriaalia. Keräintyyppikohtainen vähimmäiskallistuskulma on huomioitava valittaessa asennustapaa.

Tasa- tai erittäin loivakattoisten rakennusten katolle asennettaville keräimille on asennettava erilaiset kannakkeet kuin suoraan katolle asennettaville. Laittevalmistajilta löytyvät usein valmiit ratkaisut kannakointiin, mutta ohessa on esitetty yksinkertainen laskentamalli, jolla voidaan arvioida käytettävissä olevaan tilaan sopivien keräinten lukumäärä eri kallistuskulmilla (kuva 18).



KUVA 18. Keräinten välinen etäisyys tasakatolla voidaan laskea kaavoja 2-4 käyttäen. [8]

$$b = \frac{a}{\tan \alpha} \quad (2)$$

$$90^\circ - \phi - 23,5^\circ = \alpha \quad (3)$$

$$a = \sin \beta * h \quad (4)$$

α = auringonkorkeuskulma vaakatasosta

b = keräinten välinen etäisyys

ϕ = sijainnin leveyspiiri

h = keräimen korkeus

4.1.12 Keräimen toimintaa heikentävät ympäristövaikutukset

Lumi on pohjoisessa ilmastossa jokavuotinen sääilmiö ja aiheuttaa omat haasteensa aurinkolämpöjärjestelmälle. Keräinten mekaaninen puhdistaminen lumesta ei useinkaan ole talven aikana tarkoituksenmukaista johtuen lumen määrästä ja lumisateiden yleisyydestä. Riittävästi kallistetut tasokeräimet puhdistavat itsensä tehokkaasti, kun säteilyä on riittävästi saatavilla. Ongelmaksi saattavat muodostua tyhjiöputkikeräimet, joiden lämpöhäviöt ovat pienet ja sen vuoksi lumi ei sula yhtä tehokkaasti keräimistä.

Tämän lisäksi jokaiselle autonomistajalle tuttu lasipinnan huurtuminen kylminä talviöinä on merkittävä häiritsevä tekijä tyhjiöputkikeräimiä käytettäessä. Suurin etu tyhjiöputkikeräimillä verrattuna tasokeräimiin on silloin, kun ympäristön ja keruunesteen välinen lämpötilaero on suuri. Selkeinä talviöinä tumman taivaan vaikutuksesta keräimen pinnalla oleva lasi jäähtyy ilmaa viileämmäksi ja ilmassa oleva kosteus huurtuu keräimen pintaan. Esimerkiksi -10° ulkolämpötilassa aurinkoenergian kerääminen aurinkoisena päivänä on täysin mahdollista, ja juuri tällöin lämpötilaerot ympäristön ja keruunesteen välillä ovat suuria.

Suurimmat erot eri keräintyyppien välillä syntyvät tyhjiöputkikeräinten eduksi juuri silloin, kun lämpötilaerot ovat suuria. Kirkasta päivää seuraava selkeä yö muodostaa aiemmin kuvatulla tavalla keräimen pintaan huurrekerroksen. Aamulla huurre tasokeräimen reunoilta alkaa, koska keräimen lasia kiertää kehys, joka lämpenee ja kun auringonsäteet osuvat absorptiopintaan, puhdistuu lasi nopeasti kokonaan lämpöhäviöiden vuoksi.

Tyhjiöputkikeräimessä taas huurrekerros heijastaa auringonsäteet pois ja vaikka keräinputken ala- ja yläpäästä lämpenee, vie kauan ennen kuin absorptiopintaa on niin paljon näkyvässä, että pienten lämpöhäviöiden keräin kykenee puhdistumaan huurteesta. Lopputuloksena saattaa olla, että vaikka hyötysuhteensa perusteella tyhjiöputkikeräimen pitäisi kerätä enemmän energiaa, onkin tilanne päinvastoin. [15.]

Ympäristövaikutuksista myös tuuli ja rakeet vaikuttavat aurinkokeräinjärjestelmään. Rakeiden vaikutukselta aurinkokeräintä suojaa lasi ja samalla lasi suojaa keräintä myös konvektiohäviöiltä ympäristöön (ks. kuva 6, Q_1 ja Q_2). Tuulisella paikalla aurinkokeräimen konvektiohäviöt ovat suuremmat ja tuulen aiheuttama rasitus keräimeen ja sen kannakkeisiin on huomioitava mitoituksessa.

Keräimen lasin likaantuessa keräimen hyötysuhde laskee. Keräimen sijoittamisella voidaan osittain vaikuttaa esimerkiksi lintujen ulosteen määrään sijoittamalla keräimet mahdollisimman kauas katolla olevista antennista tai esimerkiksi lähellä sijaitsevista puista. Saksalaistutkimuksen mukaan yli 30° kallistetut keräimet, meillä vallitsevan

ilmaston kaltaisessa ilmastossa, kykenevät puhdistamaan itsensä sateen avulla niin, että kerätyn energian määrä laskee enimmillään vain 0,5-1,5 %. [8.]

4.2 Järjestelmän muut komponentit

Aurinkokeräinten lisäksi tarvitaan järjestelmä kuljettamaan ja varastoimaan kerätty lämpöenergia. Kaikkien komponenttien osalta on tärkeää, että ne mitoitetaan käytettävän lämmönkeruunesteen ja järjestelmässä esiintyvät lämpötilat kestäväksi. Tässä luvussa käsitellään aurinkolämpöjärjestelmän komponentteja.

4.2.1 Putkisto

Aurinkolämpöjärjestelmässä esiintyvät lämpötilat asettavat rajoituksia käytettäville putkimateriaaleille. Keräinpiirissä lämpötilat voivat kesällä ylittää 200 °C, tyhjiöputkikeräimillä jopa 300 °C, joten on selvää, ettei tavallista muovia tai muutoin kuumudelle arkaa putkimateriaalia voida käyttää. Keräinpiirin putkimateriaalin on myös kestävä kanssakäymistä käytettävän nesteen kanssa. Yleisesti käytetty on vesiglykoliseos ja se aiheuttaa korroosio-ongelmia sinkittyjen putkien kanssa. Keräinpiirissä yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat teräs- ja kupariputket. Muissa järjestelmän osissa käytetään vettä ja lämpötilat ovat vastaavia kuin tavallisissa käyttövesijärjestelmissä, joten niistä ei aiheudu lisävaatimuksia putkimateriaaleille. [6.]

Putkisto on eristettävä mahdollisimman hyvin, jotta keräimillä kerätty energia saadaan tarkasti käytettyä hyödyksi. Aurinkolämmitystä koskeva EN -standardi 12976 mukaan alle 22 mm ulkohalkaisijaltaan olevien putkien eristeen paksuuden tulisi olla vähintään 20 mm (± 2 mm) ja 28–42 mm putkien 30 mm (± 2 mm).[6.]

4.2.2 Käytettävä lämmönsiirtoneste

Lämmönsiirtonesteinä vesi on erinomainen: sen ominaislämpökapasiteetti on suuri, viskositeetti pieni ja lämmönjohtavuus hyvä. Valitettavasti pohjoisessa ilmastossamme veden käyttäminen keräimissä on mahdotonta, jollei keräimiä tyhjennetä kylmien jaksojen ajaksi. Nesteen valinnassa rajoittava seikka on myös keräinten stagnaatio-

lämpötila eli korkein lämpötila tilanteessa, jossa keräimessä oleva neste ei kierrä korkean säteilyn aikana. Tämä voi laadukkailla tyhjiökeräimillä olla yli 300 °C. Nesteen fysikaalisista ominaisuuksista lisäksi olennaisia ovat mahdollisimman suuri ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus sekä matala viskositeetti. Hyvä neste on myös edullista ja ympäristölle vaaratonta. [6.]

Neste keräinpiirissä tulisi tarkistaa säännöllisin väliajoin. Vanhetessaan nesteen ominaisuudet heikkenevät ja jäätyttömäksi kuviteltu järjestelmä saattaa talvipakkasilla jäätyä. Mittaamalla nesteen pH ja vertaamalla sitä valmistajan antamiin ohjeisiin tiedetään, milloin neste on tiensä päässä. Yleensä järjestelmässä kiertävä neste on vaihdettava 5-10 vuoden välein. [6.]

Olemassa ei ole yhtä ja ainutta hyvää lämmönsiirtonestettä, jota voitaisiin käyttää joksikin sovelluksessa. Koska neste tarvitsee vaihtaa säännöllisin väliajoin, on suunnitteluvaiheessa syytä selvittää vaihdosta syntyvät kustannukset sekä käytetyn nesteen kierrätyksestä koituvat maksut. Tapauskohtaisesti on valittava paras vaihtoehto vallitsevin olosuhteisiin.

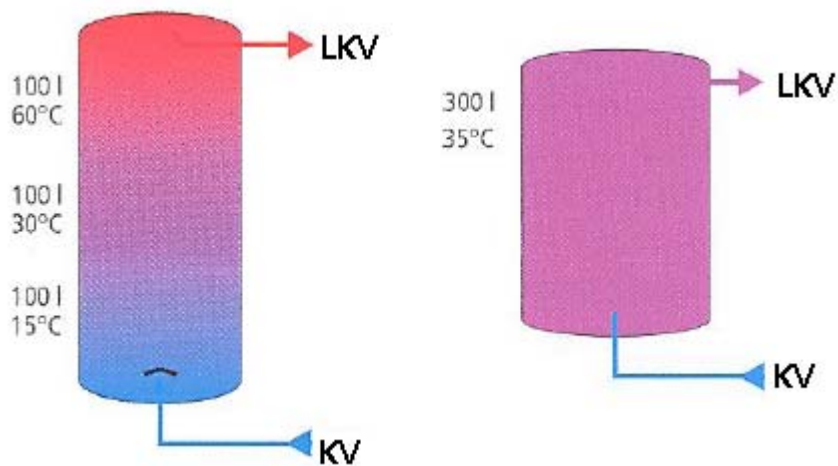
4.2.3 Varaaja

Auringon säteilyn jaksollisuudesta johtuen käytännössä aina aurinkolämpöjärjestelmä on varustettava varaajalla. Varaajat varaavat energiaa yleensä enintään päivien mittaisille ajanjaksoille, mutta myös suuria, satojen m³ kokoisia, pidemmille ajanjaksoille käytettäviä kausivaraajia on käytössä. Kausivaraajien avulla voidaan energiaa kerätä kesällä ja käyttää hyödyksi talven aikana. Tässä opinnäytetyössä keskitytään varaajiin, jotka varaavat energiaa enintään päivien pituisille ajanjaksoille ja ovat näin ollen kooltaan sellaisia, että ne voidaan sijoittaa kerrostalojen sisätiloihin. Varaajien tilavuutta ja käsiteltävyyttä lisätään yleensä käyttämällä esimerkiksi 12 m³ varaajan sijasta neljää 3 m³ varaajaa.

Lyhyeksi ajaksi energiaa varaava varaaja kasvattaa aurinkolämmitysjärjestelmän vuotuista hyötysuhdetta kokemusten perusteella yli 20 %. Yleisimmin käytetty varaajatyyppejä on hyvin eristetty säiliö täynnä vettä. Etuna on se, että vedellä on suuri omi-

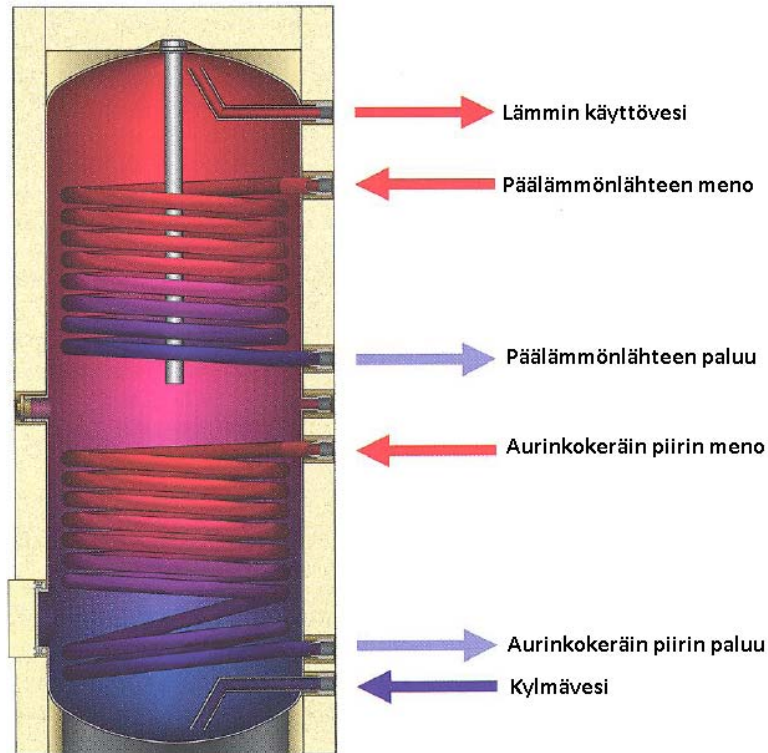
naislämpökapasiteetti ja se on edullista. Veden lisäksi erikoisemmissa ratkaisuisa käytetään hyväksi eri aineiden olomuodon muutosta kiinteästä nesteeksi ja päinvastoin. Tällä hetkellä nk. faasimuutokseen perustuvat varaajat ja niiden käyttämät materiaalit ovat vielä tuotekehitysvaiheessa, eikä niitä ole vielä kaupallisesti järkevään hintaan saatavissa. [4.]

Varaajan kokoa enemmän järjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttaa lämpötilan kerrostuminen varaajassa. Oikein kerrostuneessa varaajassa on varaajan yläosassa esimerkiksi 60 °C vettä ja samaan aikaan alaosassa 15 °C (kuva 19). Energiämäärä on sama, jos verrataan kyseistä varaajaa toiseen, samankokoiseen varaajaan, joka on kauttaaltaan 35 °C. Nämä kaksi varaajaa eroavat kuitenkin siinä, että 35 °C vettä ei voida lainkaan käyttää lämpimänä käyttövetenä esimerkiksi suihkussa, mutta 60 °C voidaan. Ero hyvin ja huonosti kerrostuneen varaajan välillä selviää kuvasta 19. [6.]



KUVA 19. Kerrostuneen ja kerrostumattoman varaajan ero [6]

Varaajan lämpötilakerrostumiseen voidaan vaikuttaa sen rakenteella ja kytkentöjen sijoittamisella. Kuvassa 20 on esitetty esimerkki aurinkolämmitykseen soveltuvasta varaajasta. Kerrostuminen on tehokkaampaa jos varaaja on muodoltaan sellainen, että korkeuden suhde halkaisijaan on vähintään 2,5.



KUVA 20. Esimerkki aurinkolämmityksen yhteydessä käytettävästä varaajasta [6]

Kuvassa 20 oleva varaaja voi käyttää hyödyksi jo hyvin alhaisia lämpötiloja keräimiltä, koska päälämmönlähteeltä tulevalla lämmöllä viimeistellään lämmin käyttövesi tarpeeksi kuumaksi. Ongelmallista tässä mallissa on se, että varastoitava vesi on käytövä ja matalan käytön aikanakin sen olisi vaihduttava riittävän usein. Parempi ratkaisu olisi, että käyttövesi lämmitettäisiin kierukalla ja varaajan neste olisi vain energian varaamiseen.

4.2.4 Lämmönsiirrin

Aurinkolämmitysjärjestelmissä käytetään yleisesti kahdenlaisia lämmönsiirtimiä: erillisiä levylämmönsiirtimiä sekä varaajien sisälle asennettuja kierukoita. Kuten kuvassa 20, kierukkalämmönsiirrin parantaa varaajan lämpötilakerrostumista ja näin ollen järjestelmän toimivuutta. Kierukkaratkaisussa ei tarvita erillistä pumppua kierrättämään vettä lämmönsiirrimen läpi toisin kuin levylämmönsiirrinratkaisussa. Kierukoita voidaan asentaa vaakasuoraan tai pystysuoraan asentoon, mutta lämpötilakerrostumisen kannalta parempi ratkaisu on pystysuoraan asennettu, kuten kuvassa 20. [6.]

Levylämmönsiirrin vaatii toimiakseen pumpun myös toisiopuolelle. Tämän lisäksi pumpun aiheuttama virtaus lisää haastetta lämpötilakerrostumisen suhteen ja näin ollen suunnittelu on tärkeämmässä roolissa. Edellä mainittujen seikkojen lisäksi levylämmönsiirtimellä toteutettu ratkaisu on kalliimpi toteuttaa kuin varaaja sisäisillä kierukkalämmönsiirtimillä. [6.]

4.2.5 Pumppu

Pumpun valinnassa on tärkeää ottaa huomioon käytettävän nesteen ominaisuudet. Esimerkiksi vesi—glykoli-seos on vaikeampaa pumpata ja näin ollen vaikuttaa selvästi pumpun valintaan. Pumpun on luonnollisesti oltava myös materiaaliltaan sellaista, että se soveltuu käytettäväksi kyseisen nesteen kanssa. Tämän lisäksi keräinpiirin ensiöpuolella kiertävä neste saattaa hetkellisesti olla kuumaa, huomattavasti yli 100 °C jopa tavallisissa käyttövesijärjestelmissä, puhumattakaan kuumempiin lämpötiloihin suunnitelluista.

Yleensä lämmitysjärjestelmien kiertopumput on suunniteltu matalalle paineen korotukselle, mutta suurelle virtaamalle. Tällainen pumppu toimii aurinkolämmitysjärjestelmässä huonolla hyötysuhteella. Koska keräimien virtaama on noin 0,01-0,02 l/s*m², tarvitaan pumpulta juuri vastakkaisia ominaisuuksia eli korkeaa nostokorkeutta pienellä virtaamalla. Pumppua tai pumppuja mitoitettaessa kannattaa olla yhteydessä laitevalmistajaan, jolla on parhaat tiedot omista tuotteistaan ja näin ollen virheen mahdollisuus on pieni.

4.2.6 Paisunta- ja varolaitteet sekä muut komponentit

Aurinkokeräinpiirissä olevan nesteen laajenemisesta johtuen, tarvitaan järjestelmään paisunta-astia, joka mahdollistaa laajenemisen ilman järjestelmävaurioita. Paisunta-astiaksi käy perinteinen kalvopaisunta-astia. Lisäksi järjestelmä on varustettava varoventtiilillä, jotta paineen nousu yli komponenttien rakennepaineen estetään ja paine pääsee purkautumaan varoventtiilin kautta ulos.

Paisunta-astia sijoitetaan tavanomaisesta käytännöstä poiketen pumpun painepuolelle ja keräimille palaavaan putkeen, joka on otollisempi paisunta-astialle, varoventtiilille sekä pumpulle alhaisemman lämpötilansa vuoksi. Lisäksi asentamalla pumppu paluuputkeen saadaan paine keräimissä pidettyä halutulla tasolla. [16.]

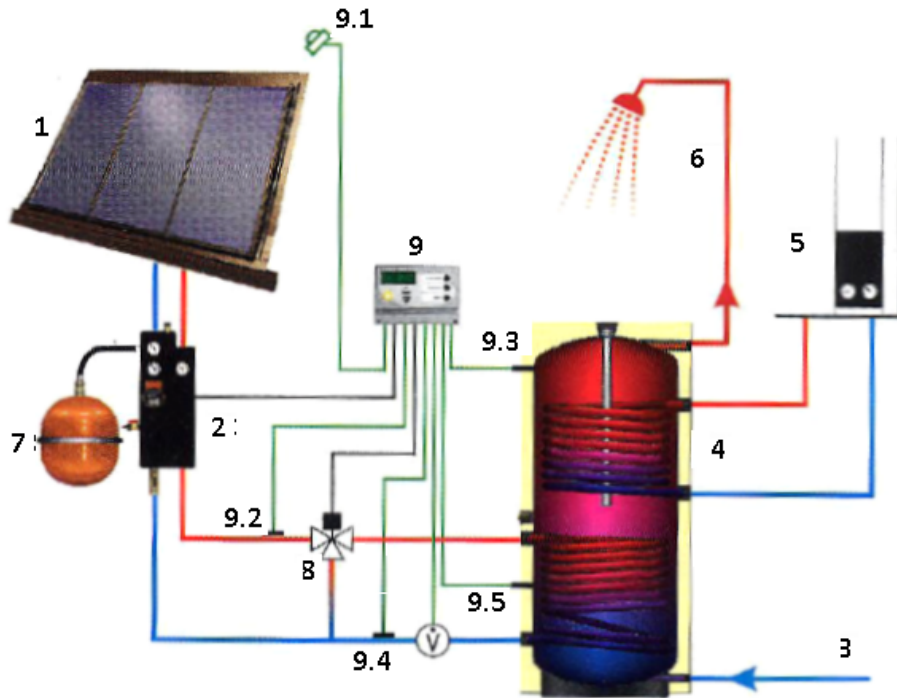
Paisunta-astiaa ei mitoiteta kuin perinteisessä lämmitysjärjestelmässä, vaan niin, että keräimissä tapahtuvan höyrystymisen vuoksi tälle höyrylle on myös varattava tilaa paisunta-astiassa. Seikkaperäiset ohjeet kalvopaisunta-astiamitointukseen löytyvät LVI-kortista LVI 11-10472 [16.]

Kuten kaikista suljetuista nestekiertoisista järjestelmistä, myös aurinkolämmitysjärjestelmästä on poistettava ilma, jotta nesteen kierto halutulla tavalla mahdollistuu. Aurinkolämmitysjärjestelmän korkein kohta on usein keräinten lähettyvillä, jolloin neste kesäaikana höyrystyy. Höyrystymisestä johtuen automaattisten ilmanpoistimien käyttäminen ei ole mahdollista, koska se johtaa lämmönkeruunesteen vähenemiseen ajan mittaan. Järjestelmän korkeimpaan kohtaan on asennettava sulkuventtiili, jonka avulla järjestelmä voidaan tarvittaessa ilmata. [6.]

Talviaikana alempana lämpimissä tiloissa sijaitsevilla järjestelmän osilla neste on lämpimämpää kuin ulkona olevissa keräimissä. Tällöin alhaalla oleva lämmin neste lähtee alhaisemman tiheydensä vuoksi nousemaan ylös kohti keräinkenttää. Näin muodostunut luontainen kierto voi toimia joko meno- ja paluuputken avulla tai vain yhden putken avulla, jolloin keskellä neste nousee ylös ja putken ulkoreunoilla laskee alas. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä lämpöhäviöitä ja sen vuoksi se on estettävä esimerkiksi takaiskuventtiilillä. [6.]

4.2.7 Esimerkkikytkentä

Kuvassa 21 on esitetty yksi tapa kytkeä käyttöveden lämmitykseen aurinkolämpöjärjestelmä päälämmönlähteen rinnalle.



KUVA 21. Aurinkolämpöjärjestelmän kytkentä käyttöveden lämmitykseen päälämmönlähteen rinnalle

Kuvassa 21 on esitetty kuvan 20 varaaja kytkettynä toimivaksi todetulla tavalla. Kuvasta puuttuu päälämmönlähteen säätöyksikkö sekä käyttöveden sekoitusventtiili varaajan jälkeen ennen kuluttajalaitetta. Kylmävesi (3) virtaa varaajaan sen alaosasta ja lämpenee matkalla varaajan yläosaan, josta se jatkaa matkaansa kuluttajalaitteelle. Varaajan ja kuluttajalaitteen välissä olevalla sekoitusventtiilillä varmistetaan, että kuluttajalaitteille menevä vesi ei ole liian kuumaa.

Aurinkokeräimessä (1) lämmönkeruuneste lämpenee ja pumppuyksikön (2) avulla lämmennyt neste kuljetetaan varaajaan. Tapauksen pumppuyksikkö pitää pumpun lisäksi sisällään mittarit sekä varoventtiilin, lisäksi tarvitaan kalvopaisunta-astia (7). Lisälämmönlähde (5) hoitaa liian vähäisen säteilyn aikana käyttöveden lämpötilan viimeistelyyn yli määräysten vaatiman 58 °C.

Säätölaite (9) säätelee säteilyanturin (9.1) sekä varaajassa olevan lämpötila-anturin (9.5) tietojen perusteella pumpun käyntiä. Kun säteily keräimeen ylittää halutun raja-arvon (esim. 300W) pumppu käynnistyy ja neste alkaa virrata. Lämpötilan noustessa lämpötila-anturissa (9.2) riittävästi, esimerkiksi 5 tai 10 °C yli varaajan alaosan lämpötilan

(9.5), aukeaa 3-tieventtiili (8) ja päästää veden virtaamaan varaajan kierukkaan. Kierto kierukassa jatkuu niin kauan, kun lämpötila (9.2) on riittävä, esimerkiksi 5 °C, korkeampi kuin lämpötila varaajan alaosassa (9.4) tai kun lämpötila varaajan yläosassa (9.3) saavuttaa asetetun maksimiarvon esimerkiksi 95 °C.

Lämpötilan laskiessa keräinpiirissä liian alhaiseksi sulkeutuu 3-tieventtiili varaajaan päin. Jos säteilyä on riittävästi, pumppu kierrättää nestettä, kunnes se on tarpeeksi lämmintä lämmittämään varaajaa. Vähäisen säteilyn aikana pumppu ei käy.

Varaajan lämpötilan noustessa maksimiarvoonsa pumppu pysähtyy ja 3-tieventtiili sulkeutuu varaajaan päin. Tämän jälkeen tarvitaan kulutusta ennen kuin varaajaa voidaan ladata uudestaan. Tärkeää on, että korkean säteilyn aikana keräimessä olevan nesteen höyrystyttyä pumppua ei käynnistetä enää samana päivänä (tämä voidaan estää automatiikan avulla). Muutoin on vaara, että pumppuun päätyy höyryä ja se rikkoutuu tai keräimet ovat niin kuumia, että neste höyrystyy välittömästi keräimeen mentyään. Tämä aiheuttaa rasitusta sekä keräimen materiaaleille että varojärjestelmälle.

4.3 Aurinkolämmitysjärjestelmien mitoituksen lähtökohtia

Aurinkolämmitystä pohdittaessa on tärkeää, että järjestelmä voidaan pääpiirteittäin mitoittaa nopeasti ja eri ratkaisuja, esimerkiksi varaajan koon tai keräinkentän koon osalta, voidaan verrata keskenään. Yksinkertaistetulla mitoituksella päästään oikeaan kokoluokkaan ja näin ollen suuntaa antavaan takaisinmaksuaikaan. Näillä tiedoin voidaan arvioida kannattaako järjestelmää toteuttaa kyseisessä kohteessa vai ei. Tämän jälkeen tarkemmat simuloinnit on järkevää tehdä niihin tarkoitettulla ohjelmalla.

Kuten aiemmin luvussa 3.6. todetaan, vaihtelee auringonsäteilyn määrä Suomessa optimaalisesti kallistetulle pinnalle etelän 1100 kWh:sta pohjoisen noin 900 kWh:iin vuodessa neliometriä kohden. 1000 kWh neliölle vuodessa tarkoittaa tuotetun energian määrässä esimerkiksi etelään suunnatulla laadukkaalla lasitetulla tasokeräimellä 400 - 500 kWh per keräineliö riippuen kulutuksesta ja varaajan koosta. Energianmäärään vaikuttaa eritoten käyttövedenkulutus kesäaikana ja tästä johtuen keräinkentän

pinta-alaa mitoitettaessa on tärkeää käyttää käyttöveden todellista kulutusta. Liian suureksi mitoitettu keräinkenttä saavuttaa stagnaatiolämpötilan kesän aikana usein ja sen vuoksi järjestelmän vuosihyötysuhde laskee merkittävästi. [6.]

Aurinkolämmitysjärjestelmästä saatavan energian määrään vaikuttaa huomattavasti se, mitä asiakas järjestelmältä haluaa. Suunnittelun lähtökohta voi olla esimerkiksi se, että kattopinta-alaa on tietty määrä ja se halutaan täyttää keräimillä tai keräinneliötä kohti halutaan suurin mahdollinen määrä energiaa. Joissain tapauksissa halutaan tuottaa kesäaikana energiaa niin, että päälämmönlähde on aika ajoin pois päältä. Tässä tapauksessa käyttövesi täytyy lämmittää päivällä kuumaksi niin, että vielä seuraavana aamuna varaajasta lähtevän veden lämpötila on yli 58 °C. Jos keräimillä halutaan saavuttaa näin korkeita lämpötiloja, niiden hyötysuhde laskee, koska lämpöhäviöt keräimestä ympäristöön kasvavat. [6.]

Arvioitaessa keräinpinta-alaa lähdetään liikkeelle todellisesta käyttöveden kulutuksesta edellisvuosilta. Jos käyttöveden kulutustieto on saatavilla vain käyttöveden kokonaiskulutuksen osalta, lasketaan lämpimän käyttöveden kulutus Rakentamismääräyskokoelman D5 -ohjeistuksen mukaan. Tämä tarkoittaa, että kokonaiskulutuksesta 40 % on lämpimän käyttöveden osuus. [17.]

Hyvät, kokemusperäiset rajat (ks. kuva 22) keräinalan mitoittamiseksi käytettävistä keräimistä riippuen ovat 50–125 litraa lämmintä käyttövettä päivässä keräinneliötä kohden. Lämpimän käyttöveden suhdetta keräinalaan kutsutaan tässä opinnäytetyössä suhteelliseksi kulutukseksi. Jos käyttöveden kulutus suhteessa keräinalaan jää alle 50 l/m²:n, tarkoittaa se usein liian suureksi mitoitettua keräinalaa. Vaikka aurinkoenergia on periaatteessa ilmaista, voidaan sen hinta laskea alkuinvestoinnista ja elinkaaren aikana vaadittujen huoltojen kustannuksesta. Alle 50 l/m²:n suhteellisella kulutuksella ei yleensä päästä parhaaseen aurinkoenergian hintaan (ks. kuva 22). Jos halutaan mahdollisimman suuri osuus keräimiin osuvasta säteilystä käyttöön, valitaan suuri kulutus/keräinala. Tällöin lämmintä käyttövettä ei pyritä lämmittämään yli 60 °C:seen vaan esimerkiksi 10 °C:sta 30 °C:seen.

Taulukossa 1 on esitetty esimerkkimitoitus käyttöveden suhteellisen kulutuksen mukaan. Mitoituksen perusteena on käytetty saksalaisen tutkimusprojektin ”Langzeiterfahrungen Solarthermie”, jonka tuloksia lähde 4 käsittelee, antamia arvoja.

TAULUKKO 1. Keräimen valinta lämpimän käyttöveden ja suhteellisen kulutuksen perusteella. Taulukoidut arvot ovat keräinaloja neliömetreinä.

Keräinten mitoitus, m ²					
suhteellinen LKV kulutus, l/m ²	lämpimän käyttöveden (60°C) kulutus, l/d				
	2000	4000	6000	8000	10000
50	40	80	120	160	200
60	33	67	100	133	167
70	29	57	86	114	143
80	25	50	75	100	125

Keräinpinta-alan jälkeen mitoitetaan varaaja käyttämällä suhteellista kulutusta 30–70 litraa varaajatilavuutta per keräineliö. Pienellä tilavuudella vesi lämpenee nopeammin ja pienemmällä energialla riittävän kuumaksi, mutta korkean säteilyn aikana stagnaatiolämpötila saavutetaan useammin. Jos energiaa halutaan säilöä yhden sateisen päivän yli, voidaan käyttää samaa arvoa, jolla keräinala on mitoitettu. Pieni tilavuus varaajassa tarkoittaa nopeaa lämpenemistä ja kesäisin stagnaatiota ja iso tilavuus sitä, että päälämmönlähdettä ei voida kokonaan kytkeä pois päältä kesäksi. Taulukossa 2 on esitetty suhteellisen tilavuuden ja keräinalan vaikutusta varaajan tilavuuteen.[6.]

TAULUKKO 2. Suhteellisen tilavuuden ja keräinalan vaikutus varaajan tilavuuteen

Varaajan mitoitus, litraa				
suhteellinen tilavuus, l/m ²	keräinala, m ²			
	50	100	150	200
30	1500	3000	4500	6000
50	2500	5000	7500	10000
70	3500	7000	10500	14000

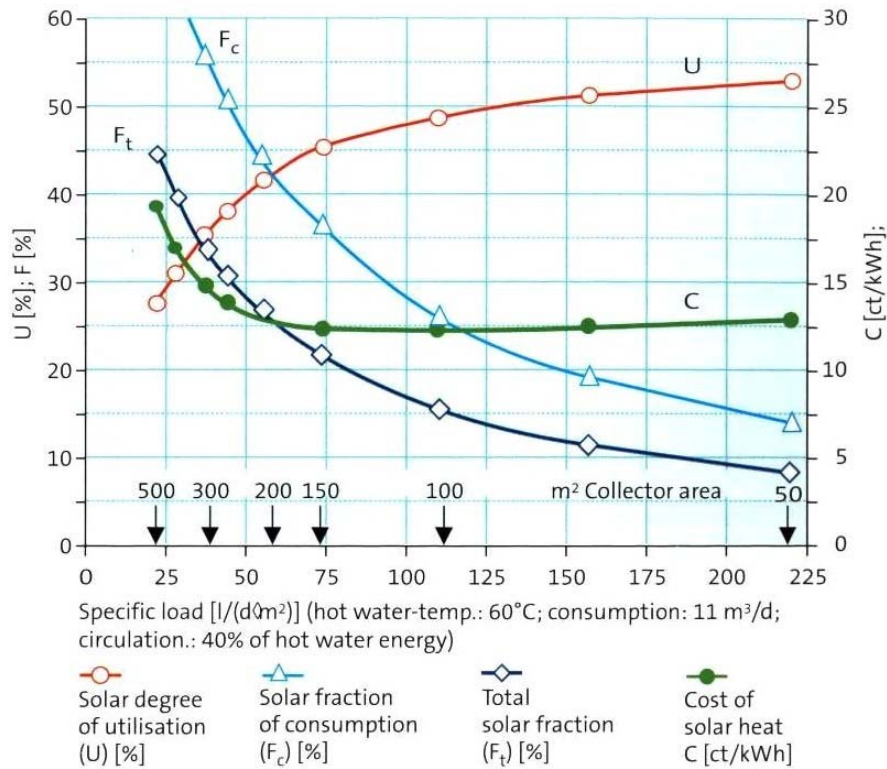
Putket voidaan mitoittaa tavallisin perustein muistaen, että keräinten painehäviön olisi oltava noin kolminkertainen verrattuna muun järjestelmän painehäviöihin. Käytännössä tämä tarkoittaa putkille enimmillään 0,7-1,0 m/s virtausnopeutta. Keräinpinta-alaan suhteutetulla tilavuusvirralla voidaan määrittää runkoputkien virtaama ja sen avulla halkaisija.

Aurinkolämmitysjärjestelmissä on käytössä kaksi tilavuusvirtaan perustuvaa mitoitus-tapaa. Toinen on nimeltään korkeavirtausjärjestelmä, jossa keräinalaan suhteutettu virtaama on yli 30 l/h per keräinneliö, jolloin virtaama keräimissä on turbulenttista ja lämmön siirto tehokasta. Alle 30 l/h*m² järjestelmiä kutsutaan matalavirtausjärjestelmiksi ja niitä käytetään, kun tavoitellaan korkeita lämpötiloja. Korkeavirtausjärjestelmät ovat käytetympiä lämmitettäessä käyttövetä, joten tässä konseptissa käytetään sellaista. Korkeavirtausjärjestelmien virtaamat voivat olla 30–50 l/h*m². Taulukossa 3 on esitetty vähimmäishalkaisijat keräinjärjestelmän runkoputkille. [6.]

TAULUKKO 3. Aurinkokeräinjärjestelmän runkoputkien vähimmäissisähalkaisija virtausnopeuksilla 0,7 ja 1,0 m/s

Runkoputkien vähimmäissisähalkaisijat (mm) 0,7 ja 1,0 m/s virtausnopeudelle								
virtaama, l/h*m ²	keräinala, m ²							
	50		100		150		200	
30	28	23	39	33	48	40	55	46
40	32	27	45	38	55	46	64	53
50	36	30	50	42	62	52	71	59

Hintaa ajateltaessa aiemmin mainitun saksalaistutkimuksen mukaan järjestelmän hinta per tuotettu kilowattitunti laskee aina suhteelliseen kulutukseen 50 l/keräinneliö, jonka jälkeen hinta pysyy lähes vakiona. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hinta ei mainitun rajan jälkeen ole enää riippuvainen keräinalasta vaan sieltä hyödyksi saatavan energian määrästä, johon vaikuttavat kulutus, varaajakoko ja se, käytetäänkö aurinkoenergiaa lämmittämään käyttövesi kokonaan vai vain osittain. Kuvassa 22 on esitetty tutkimuksen tuloksista koottu kaavio. [8.]



KUVA 22. Kuvassa on esitetty erään saksalaisen järjestelmän laskennalliset kustannukset (C), kerätyn aurinkolämmön osuus lämpimän käyttöveden kulutuksesta (F_c), aurinkolämmön osuus kulutuksesta mukaan lukien kiertoehviöt (F_t) sekä keräimeen osuneen energian ja hyödyksi saadun energian suhde (U) [8]

Kuvassa 22 olevan järjestelmän lämpimän käyttöveden kulutus on 11 m³/d 60 °C vettä. Lisäksi järjestelmässä on kiertojohto, jonka lämpöhäviöt ovat 40 % käyttöveden kokonaislämpöhäviöistä. Kuvasta nähdään, että kiertojohto laskee aurinkolämmön kokonaisosuutta kulutetusta energiasta johtuen kiertojohdon korkeasta lämpötilatasosta (käyrät F_c ja F_t). Toinen huomattava seikka on aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhde, U, joka tarkoittaa keräimeen osuvasta säteilystä hyödyksi saatavan energian osuutta. Se ei merkittävästi nouse enää 75 l/m² keräinalan jälkeen, joten pienemmästä keräinalasta saatava hyöty ei ole merkittävä ja saattaa olla jopa päinvastainen verrattuna 50–70 l/m² tilanteeseen. Vaikka esimerkki sijoittuu Keski-Eurooppaan, voidaan sitä pitää suuntaa-antavana myös pohjoisiin olosuhteisiimme.

Aurinkojärjestelmiä voidaan aikaisemmin mainittuja nyrkkisääntöjä tarkemmin mitoittaa erilaisilla laskentatavoilla, kuten William A. Beckmannin ym. kehittämä F-chart, mutta opinnäytetyön laajuuteen vedoten niitä ei käsitellä tässä raportissa. Tämän lisäksi markkinoilla on useita aurinkolämmityksen mitoitukseen tarkoitettuja simu-

laintiohjelmiä. Simulointiohjelmat sisältävät historialliseen tietoon perustuvat säätiedot, kuten auringon säteilyn määrän ja sitä vähentävät asiat kuten tyypillisen pilvisyyden. Tämän opinnäytetyön simuloinneissa on käytetty Valentine softwarin T*SOL PRO -ohjelmaa ja sen opiskelijaversiota.

5 AURINKOLÄMMITYKSEN KANNATTAVUUS JA VAIKUTUKSET

Aurinkoenergian käyttö vaikuttaa suoraan taloudellisesti energiakustannuksiin sekä välillisesti esimerkiksi Suomessa rakennuksen E-lukuun (ks. luku 5.2. E-luku). Samoin aurinkolämpöjärjestelmän rakentamiseen mahdollisesti saatavat tuet ja avustukset vaikuttavat järjestelmän takaisinmaksuaikaan. Näiden lisäksi aurinkolämmöstä puhuttaessa on syytä ottaa keskusteluun myös ympäristövaikutukset ja aurinkoenergian päästöttömyys.

Järjestelmäinvestoinnin kannattavuutta laskettaessa on otettava huomioon vuotuinen inflaatio, nimelliskorko, energian hinnannousu sekä aurinkolämpöjärjestelmän vuotuinen energian tuotto sekä asennuskustannukset. Lisäksi todennäköiset huoltokustannukset on syytä huomioida. Tässä opinnäytetyössä ei ole huomioitu aurinkolämmitysjärjestelmien mahdollista teknistä heikkenemistä käyttöiän aikana. Monista kannattavuuden laskentamenetelmistä tässä opinnäytetyössä on käytetty nykyarvomenetelmää.

5.1 Nettonykyarvomenetelmä

Nettonykyarvomenetelmä on yleisesti käytetty menetelmä investointien kannattavuuden arvioinnissa. Tässä menetelmässä lasketaan vuotuinen kassavirta järjestelmän investoinneista, kuluista ja tuotoista. Vallitsevat korot ja inflaatio huomioidaan diskonttaamalla eli laskemalla nettonykyarvo jokaiselle vuodelle ja laskemalla koko valitun ajanjakson diskonttatut kassavirrat yhteen. Näin saatua summaa kutsutaan investoinnin nettonykyarvoksi, P ja se kertoo investoinnin kannattavuuden. Nettonykyarvon ollessa positiivinen on investointi käytetyillä arvoilla kannattava. [18.]

Vuotuinen kassavirta diskontataan siten, että jokaiselle vuodelle lasketaan nk. diskonttaustekijä ja kerrotaan kyseisen vuoden kassavirta sillä. Diskonttaustekijä a_k lasketaan kaavalla 5.[18.]

$$a_k = 1 / (1 + r)^k \quad (5)$$

a_k = diskonttaustekijä

r = reaalikorko

k = vuoden järjestysnumero

5.1.1 Järjestelmän käyttöikä

Aurinkolämmitys järjestelmä on käyttöikänsä pitkäikäinen. Useat laitevalmistajat antavat laitteistolle 10 vuoden takuun ja käyttöikäarviot liikkuvat 20–30 vuoden välillä. RT-kortista LVI 01-10424 mainituissa käyttöi'issä ei ole erikseen aurinkolämmitysjärjestelmää, mutta komponenttien, kuten kiertopumpun ja lämmönsiirtimen, käyttöiät ovat 20 vuotta. Näin ollen tämän opinnäytetyön laskelmissa oletetaan teknisen käyttöiän olevan vähintään 20 vuotta.

5.1.2 Inflaatio ja nimelliskorko

Vuotuinen inflaatio on 2000-luvulla ollut keskimäärin noin 1,5 % vuodessa. Euroopan keskuspankki pyrkii ohjaamaan inflaatiota ja sen tavoitteena on pitää vuotuinen inflaatio alle 2 %:ssa. Tämän opinnäytetyön laskelmissa on käytetty inflaationa 2 %:ia vuodessa. [19.]

Nimelliskorko kuvaa lainan korkoa ja sen pohjalta valitaan laskentakorkokanta taloudellisille laskelmille. Kohderyhmän, 60–70-lukujen asuinkerrostalojen, taloudellisissa laskelmissa on historiallisesti käytetty 3 %:n tai 5 %:n laskentakorkoa. [20.]

5.1.3 Käytettävä korkokanta

Tämän opinnäytetyön taloudellisissa laskelmissa on käytetty korkona reaalikorkoa, joka saadaan laskettua kaavan 6 avulla. Reaalikorko ottaa inflaation lisäksi huomioon myös nimelliskoron. [18.]

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (6)$$

r = reaalikorko

i = inflaatio

f = nimelliskorko

Reaalikoron vaikutus sijoitetun pääoman arvoon ajanjaksolla k voidaan laskea kaavalla 7 [18].

$$P_k = P(1 + r)^k \quad (7)$$

P_k = Pääomanarvo tarkasteltavan ajanjakson jälkeen

P = Pääomanarvo alkutilanteessa

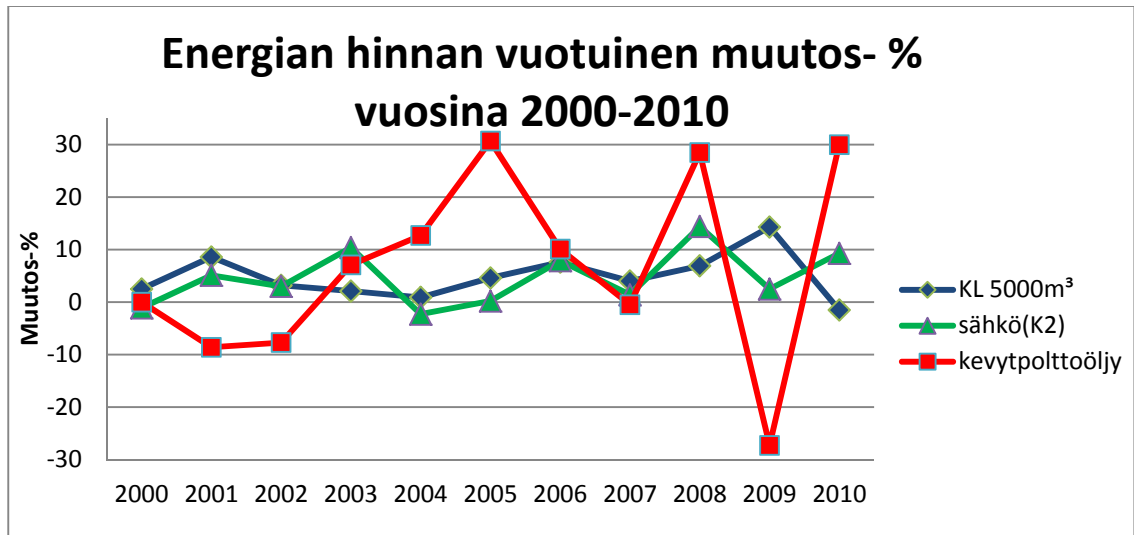
r = reaalikorko, %

k = tarkasteltava ajanjakso vuosina

5.1.4 Järjestelmän tuotto

Aurinkolämpöjärjestelmän tuottona taloudellisissa laskelmissa käytetään järjestelmän avulla säästettyä energiamäärää ja sen rahaksi muutettua arvoa. Säästetyn energian määrän arviointiin on hyvä käyttää simulointiohjelmaa, johon on sisään syötettynä keskimääräisen vuoden säätiedot ja erityyppisiä kulutusprofiileja. Tuoton arviointi on toki mahdollista yksinkertaistetuilla menetelmillä ja Excel-taulukon avulla, mutta tarkemmissa laskelmissa ja suuremmissa kohteissa laskenta monimutkaistuu ja muuttuu työlääksi. Tässä opinnäytetyössä on energian tuoton laskentaan käytetty Valentine Softwaren T*SOL PRO -ohjelman opiskelijaversiota.

Aurinkolämpöjärjestelmän säästämän energian arvossa täytyy energian määrän lisäksi huomioida kulloinkin käytettävän energian hinnanmuutos. Hyvänä tapana voidaan pitää useamman vuoden historiallisten hinnanmuutosten keskiarvoa. Edellisvuosien energian hinnankehitys eri lämmitysmuodoille on esitetty kuvassa 23.



KUVA 23. Lämmitysenergian vuotuinen hinnanmuutos vuosina 2000–2010[21]

Vuosina 2000–2010 kaukolämmön hinta on muuttunut 5000 m³ kerrostaloissa 4,7 % vuodessa ja 10000 m³ kerrostaloissa 4,8 %. Samana ajanjaksona sähkön kuluttajahinta on noussut keskimäärin vuodessa 4,6 % ja kevyen polttoöljyn 6,8 %. Näillä tiedoilla on perusteltua käyttää investointien kannattavuutta laskettaessa energian hinnalle vuotuista 5 % kasvua. [21.]

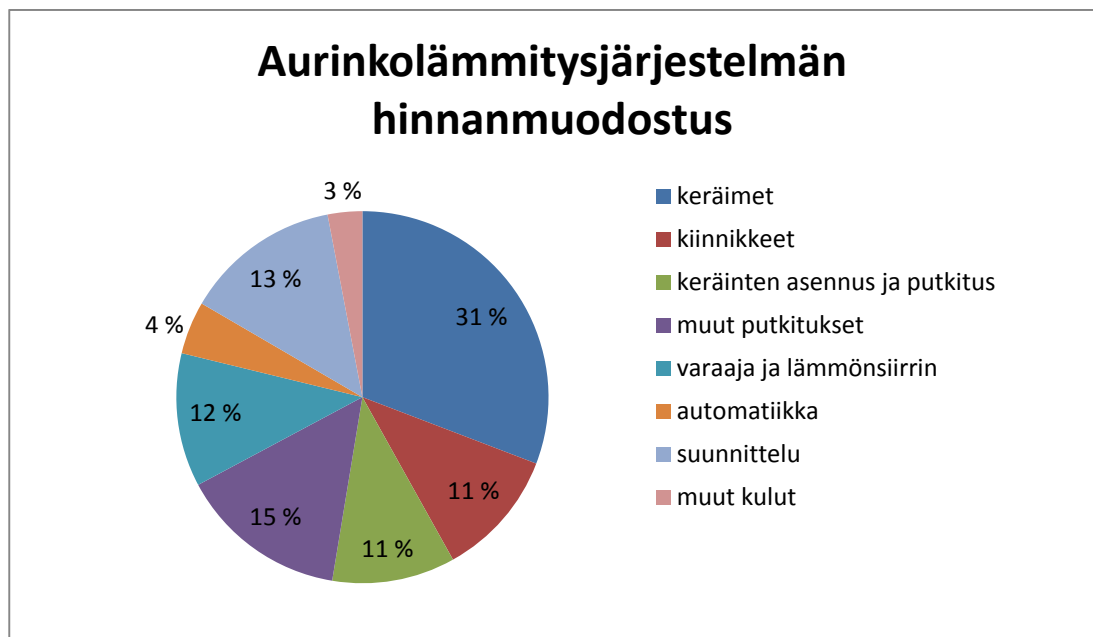
Energian hinnan vaikutus on olennainen tekijä mietittäessä aurinkolämmitykseen siirtymistä ja siihen investoimisen kannattavuutta. Energian hinnan kehityksen ollessa alhaisempi kuin samanhetkinen inflaatio on aurinkolämmitysjärjestelmän takaisin maksuaika lyhyempi kuin päinvastaisessa tilanteessa. Mitä korkeampi on päälämmönlähteen energian hinta, sitä kannattavampaa on myös asentaa aurinkolämpöjärjestelmä. Taulukossa 4 on esitetty energian vuotuisia keskihintoja lähihistoriasta.

TAULUKKO 4. Energian historiallinen hinta vuosittain €/MWh alv. 0 % [21]

Energian hinta vuosittain €/MWh				
vuosi	kaukolämpö		sähkö	kevytpolttoöljy
	10000m ³	5000 ³		
2000	33,76	35,08	84,1	43,8
2001	36,77	38,08	88,4	40
2002	37,73	39,3	91,1	36,9
2003	38,64	40,11	100,5	39,5
2004	38,18	40,47	98,2	44,6
2005	40,4	42,33	98,4	58,3
2006	43,17	45,56	106,1	64,1
2007	45,06	47,4	107,6	63,8
2008	48,35	50,65	123,1	82
2009	55,76	57,87	126,2	59,6
2010	53,99	57,03	137,9	77,5
keskiarvo	42,89	44,90	105,60	55,46

5.1.5 Aurinkolämpöjärjestelmän investoinnin kulujen muodostuminen

Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset koostuvat komponenttien hinnasta ja niiden asennustyön hinnasta. Tämän lisäksi järjestelmän suunnittelu ja ylläpito on otettava huomioon laskettaessa kokonaishintaa. Saksalaisen tutkimuksen mukaan aurinkolämpöjärjestelmien kustannukset jakaantuvat keskimäärin kuvan 24 mukaan.

**KUVA 24. Aurinkolämmitysjärjestelmän hinnanmuodostuminen [8]**

Aurinkolämpöä rakennettaessa muodostuu kustannuksia keräimistä, putkista eristeineen, varaajasta, pumpusta ja automaatiosta sekä näiden asennuskustannuksista. Asennuskustannuksiin vaikuttavat myös erinäiset rakennustyöt, joita joudutaan järjestelmää asennettaessa tekemään. Tällaisia rakennustöitä ovat esimerkiksi reikien poraaminen kerrosten välillä.

Koska suurempien aurinkolämpöjärjestelmien hinnat ovat paljon riippuvaisia kulloinkin kohteena olevista kiinteistöistä ja vaikeita saada laitevalmistajilta, ovat tämän opinnäytetyön kustannuslaskelmat arvioita. Arviot perustuvat kuvaan 24 ja siinä esitettyyn keräinten ja varaajan osuuteen, joka on noin 43 % kokonaisinvestoinnista.

Aurinkolämmitysjärjestelmän huoltokustannukset ovat alhaiset. Ainoat liikkuvat osat ovat säätöventtiilit sekä pumppu ja lämmönkeruuneste. Niiden huoltokustannuksiin varataan tässä opinnäytetyössä 1000 € joka viides vuosi. Tällä rahamäärällä voidaan käytettävä neste vaihtaa kolmesti ja pumppu huoltaa kerran käyttöiän, 20 vuotta, aikana.

5.1.6 Investoinnin kannattavuus taloudellisesta näkökulmasta

Aurinkolämmitysjärjestelmä on kannattavaa rakentaa silloin, kun nettonykyarvo ylittää halutun vaatimustason. Järjestelmän käyttöikä arvioissa on käytetty 20 vuotta. Mitä suurempi on investoinnin nettonykyarvo, sitä parempi se on sijoituksena.

5.2 E-luku

E-luku kuvaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta, ja Suomessa se lasketaan rakennuksen ostoenergiankulutuksesta taulukon 5 energiamuotokertoimia käyttäen. E-luku otettiin käyttöön heinäkuun alussa 2012 kuvaamaan rakennusten energiankulutusta painotettuna energiamuotokertoimilla. Uusien määräyksien kerrostaloja koskeva muutos otettiin voimaan kesäkuussa 2013 ja näin ollen kaikilta sen jälkeen valmistuvilta kerrostalojen on täytettävä energiatodistuksessa vaadittu E-luku. Lisäksi saneer-

rauskohteissa saneerauksen osalta vaaditaan voimassa olevien määräyksien täyttymistä. [17.]

E-lukulaskennassa rakennuksen kokonaisenergiankulutus vähennettynä uusiutuvilla omavaraisenergialla kerrotaan tuottotavan mukaan taulukon 4 energiamuotokertoimella. Tulona saatu luku on rakennuksen E-luku. Tässä tapauksessa uusiutuvat omavaraisenergiat tarkoittavat rakennuksessa hyödyksi käytettävää ja itse tuotettua uusiutuvaa energiaa esimerkiksi aurinkosähkö ja aurinkolämpö. [17.]

TAULUKKO 5. E-lukulaskennassa käytettävät energiamuotokertoimet [22]

Energiamuotokertoimet ostoenergialle	
sähkö	1,7
fossiiliset polttoaineet	1
kaukolämpö	0,7
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5
kaukojäähdytys	0,4

5.2.1 Käyttöveden lämmityksessä käytetyn aurinkoenergian vaikutus E-lukuun

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 antaa aurinkoenergian laskennalle kaavan 6, jossa käytetään keräinten tuottamalla lämpöenergialla, $q_{\text{aurinkokeräin}}$, taulukon 6 ja kertoimelle $k_{\text{aurinkokeräin}}$ taulukon 7 mukaisia arvoja. Taulukkoarvot ovat keräimille, joiden kallistuskulma on 30–70 °. [22.]

$$Q_{\text{aurinkokv}} = q_{\text{aurinkokeräin}} \times A_{\text{aurinkokeräin}} \times k_{\text{aurinkokeräin}} \quad (6)$$

$Q_{\text{aurinkokv}}$ = aurinkokeräimellä lämpimään käyttöveteen tuotettu energia, kWh/a

$q_{\text{aurinkokeräin}}$ = aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräin pinta-alaa kohti kWh/(m²a)

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ = aurinkokeräimen pinta-ala, m²

$k_{\text{aurinkokeräin}}$ = aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin

TAULUKKO 6. Laskennassa käytettävä aurinkolämpökeräinten tuottama energia säävyöhykkeittäin keräinpinta-alaa kohti

Vyöhyke/paikkakunta	$Q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/(m ² a)
I-II/ Helsinki	156
III/ Jyväskylä	139
IV/Sodankylä	125

TAULUKKO 7. Laskennassa käytettävät kertoimet aurinkolämpökeräinten suuntaukselle

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

Taulukon 6 arvot ovat keräimille, joiden kallistuskulma on 30–70°. Muissa tapauksissa arvot kerrotaan luvulla 0,8. [17.]

Koska E-luku kuvaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta, on aurinkokeräinpiirin pumpun sähkönkulutus otettava huomioon kaavojen 7 ja 8 mukaisesti.

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = \sum(P_{\text{pumppu},i} \times t_{\text{pumppu},i})/1000 \quad (7)$$

$W_{\text{aurinko,pumput}}$ = kaikkien aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen yhteenlaskettu sähköenergian kulutus

$P_{\text{pumppu},i}$ = Yksittäisen pumpun i teho, W

$t_{\text{pumppu},i}$ = Yksittäisen pumpun i käyntiaika, h

Tapauksissa, joissa ei ole käytettävissä tarkempia suunnitteluarvoja, käytetään pumpun tai pumppujen käyntiaikana 2000 tuntia vuodessa. Yksittäisen pumpun teho laskeaan kaavalla 8:

$$P_{\text{pumppu}} = 50[W] + 5[W/m^2]A_{\text{aurinkokeräin}} \quad (8)$$

P_{pumppu} = Pumpun teho, W

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ = aurinkokeräimen pinta-ala, m²

Lopullinen vaikutus E-lukuun saadaan, kun kerrotaan pumppujen yhteen laskettu energiankulutus sähkön energiamuotokertoimella ja vähennetään saatu summa aurinkolämmöllä käyttöveteen siirretystä energiasta (kaava 9).

$$\text{Vaikutus } E_{\text{osto}} = f \times Q_{\text{aurinkolkv}} - f_{\text{sähkö}} \times W_{\text{aurinko,pumput}} \quad (9)$$

vaikutus E_{osto} = Vaikutus E-lukuun

f = käytetyn energiamuodon energiamuotokerroin

$f_{\text{sähkö}}$ = sähkön energiamuoto kerroin 1,7

5.3 Ympäristövaikutukset

Yksi merkittävä etu aurinkolämmitysjärjestelmissä verrattuna moniin muihin on se, että asennuksen jälkeen siitä ei aiheudu muita päästöjä kuin lämmönkeruunesteiden vaihdossa syntyvä jäte, joka sekin voidaan usein kierrättää. Aurinkokeräinten rakenne sisältää paljon kierrätettävää materiaalia, kuten alumiinia ja kuparia, ja pitkän teknistaloudellisen käyttöikänsä, yli 20 vuotta, ansiosta aurinkoenergia on yksi vähiten ympäristöä kuormittavista energiamuodoista.

Yksi tärkeä huomio on se, että keräimet ovat täysin äänettämiä ja soveltuvat siten hyvin käytettäväksi tiheästi asutuilla alueille. Samaten niiden ulkonäkö on tuotekehityksen vuoksi järkevä ja esimerkiksi eri väri vaihtoehtoja on saatavilla niin kehyksen kuin absorptiolevyn osalta useita.

Esimerkiksi olemassa olevan öljylämmitysjärjestelmän rinnalla saavutettavat säästöt päästöissä ovat merkittäviä, ja niiden esille tuominen markkinoinnissa järkevää. Onhan aurinkolämmityksen valitseminen toimintaa ilmastonmuutosta vastaan, eikä pelkästään sivusta seuraamista.

6 KONSEPTTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda aurinkolämmityskonsepti, toimintamalli suunnittelijalle, jonka avulla suunnittelijan on helppo seurata kussakin suunnitteluprosessin vaiheessa tehtäviä asioita. Tärkeää on se, että ratkaisut ja niiden pohjana olevat laskelmat tehdään oikeaan aikaan ja näin ollen koko prosessi sujuu jouhevasti alusta loppuun saakka. Tuloksena syntynyt konsepti on liitteessä 2 ja tässä luvussa sitä käsitellään kohta kohdalta.

6.1 Suunnitteluprosessin kulku

Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa tehdään lähtötietojen pohjalta aurinkolämmön mitoittamiseen karkeat laskelmat, joiden avulla voidaan esitellä asiakkaalle ratkaisun taloudellista ja ympäristöllistä vaikutusta tulevaisuudessa. Jos tässä vaiheessa vaikuttaa järkevältä toteuttaa aurinkolämmitys, on suunnittelijan tehtävänä perustella asiakkaalle, miksi kannattaa maksaa tarkemmista suunnitelmista koituvista lisätyötunneista ja mitä etuja on saavutettavissa. Tämän jälkeen asiakkaalla on perustiedot tehtävistä lisäselvityksistä päättämiseksi.

Asiakkaan hyväksytyä aurinkolämmityksen toteutettavaksi suunnittelijan tehtävä on suunnitella järjestelmä sellaisella tarkkuudella, että sen perustella voidaan pyytää alustavat tarjoukset ja tarkentaa hinta-arviota. Viimeistään tässä vaiheessa on oltava varmaa, ettei rakennusteknisistä syistä jouduta luopumaan projektista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että esimerkiksi reitti keräinten ja varaajien välillä on esteetön ja varaajalle löytyy riittävästi tilaa.

Projektin edetessä suunnitelmia tarkennetaan ja lopullisten toteutussuunnitelmien perusteella pyydetään tarjoukset urakoitsijoilta. Se, käytetäänkö samaa urakoitsijaa kuin LV-urakassa, voidaan päättää erikseen. Etenkin ensimmäisten projektien yhteydessä kannattaa pohtia aurinkojärjestelmiä asentavia ammattilaisia, jotka ovat jo asentaneet järjestelmiä ja ymmärtävät niiden toiminnan. Käytettäessä osaavaa urakoitsijaa sääste-

tään suunnittelijan aikaa, kun työmaalla ei tarvitse miettiä perusasioita vaan työt hoiduvat sujuvasti.

Asennusvaiheessa suunnittelija erikseen sovittaessa omalta osaltaan valvoo, että asennukset tapahtuvat niin kuin ne on suunniteltu. On suositeltavaa, että suunnittelijakin valvoo töiden etenemistä. Suunnittelijan on syytä pitää itsensä ajan tasalla sekä urakoitsijan että laitevalmistajan kanssa ja tehtävien muutosten kanssa konsultoida molempia, jolloin saadaan enemmän näkökulmia päätösten tueksi. Urakan loppuvaiheessa suunnittelija valvoo käyttöönottoa ja järjestelmän toimintakoetta.

Urakan jälkeen tulisi kerätä tietoa järjestelmän toiminnasta ja sen tuottamasta energiamäärästä. Tätä tietoa on tulevia kohteita varten hyvä säilyttää, koska käytännön tuloksilla asiakkaalle on helpompi markkinoida aurinkolämpöä ja konkreettisesti osoittaa saavutetut hyödyt.

6.2 Lähtötiedot

Alussa kerättävien lähtötietojen perusteella tehdään alustavat päätökset aurinkolämmityksen suhteen ja prosessin edetessä niitä tarkennetaan tilanteen mukaan. Tavoitteena on, että suunnittelija on jatkuvasti tietoinen tilanteesta ja osaa tehdä tilanteen edellyttämia laskelmia ja ehdotuksia asiakkaalle. Avainasemassa ovat lähtötietolomake tietoineen sekä konseptin runko, jotka löytyvät tämän raportin liitteistä 2 ja 3.

Suunnitteluprosessin alussa täytettävän lähtötietolomakkeen tavoitteena on ohjata suunnittelijaa prosessin aikana. Näin ollen lomake auttaa suunnittelijaa tarjoamaan asiakkaalle ajanmukaista ja oikeanlaista tietoa aurinkolämmityksen käyttömahdollisuuksista kohteessa. Lähtötietolomakkeen tiedoista suunnittelija saa suurimman osan muiden lähtötietojen ohessa (esimerkiksi rakennuksen valmistumisvuoden ja lämmönjakotavan lämmityssaneerauksen yhteydessä). Loput tiedot voidaan täydentää asiakkaan kanssa palaverissa. Tietojen täydentäminen vie muutamia minutteja riippuen asiakkaan perustiedoista rakennuskohteesta ja rakentamisesta ylipäätään.

6.2.1 Perustiedot

Perustietojen täydentäminen kuuluu olennaisena osana moniin lomakkeisiin, niin myös tähän. Kun perustiedot ovat kunnossa, kuten kiinteistön tunnistetiedot, suunnittelija pysyy aina varmasti oikean kiinteistön tiedoissa, eikä sekaannuksia sen suhteen pääse käymään. Olennaisin kysymys tässä vaiheessa on kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan. Vastauksen ollessa ehdoton ei, suunnittelua ei ole perusteltua jatkaa näiltä osin.

Asiakkaan puolelta on luontevaa, että yhteyshenkilönä toimii sama henkilö, joka vastaa koko prosessista, mutta suunnittelutoimiston kannalta tämä ei ole välttämätöntä. Oleellista on kuitenkin, että yhteystiedot ovat kätevästi löydettävissä tilanteen niin vaatiessa.

6.2.2 Rakennus

Rakennustyyppillä tarkoitetaan tässä tapauksessa esimerkiksi kerrostaloa, asuntolaa, palvelutaltoa, hotellia, teollisuuskiinteistöä, koulua tai muuta rakennusta. Rakennuksen tyyppi vaikuttaa suoraan käyttöveden kulutukseen ja esimerkiksi käyttöveden kulutuksen jakautumiseen yksittäisen päivän, viikon, kuukauden ja aina vuoden ajanjaksolle saakka.

Koska aurinkolämmityksen toteuttamiseen ei yleensä ryhdytä ilman muita rakennustoimenpiteitä, on muiden rakennustoimenpiteiden laatu hyvä tietää. Esimerkiksi putkiremontin yhteydessä tai entistä lämmönlähdettä saneerattaessa päästään pienempiin kokonaiskustannuksiin kuin asennettaessa pelkästään uusi aurinkolämmitysjärjestelmä. Asennuskustannuksia verrattaessa ja takaisinmaksuaikoja laskettaessa tarvitaan tieto nykyisistä energiankulutuksista, jotka olisi hyvä saada ainakin kahdelta edelliseltä vuodelta. Tällöin käytettävä tieto on ajantasaisinta ja samalla yhden vuoden kulutuksessa olevaa mahdollista virhettä pienennetään laskemalla kahden vuoden kulutuskeskiarvo.

6.2.3 Käyttövesi

Käyttöveden kulutuksesta kerätään auringosta saatavan hyödyn kannalta tärkeimmät tiedot, kuten kulutustiedot edellisvuosilta. Lisäksi tärkeää on kiertojohtojen pituusarvio, koska pitkä kiertojohto lämpöhäviöineen heikentää aurinkolämmön osuutta käyttöveden kokonaiskulutuksesta sen korkean lämpötilatason vuoksi. Jos näitä ei ole käytössä, käytetään laskelmissa kokonaispinta-alaa ja kiinteistössä asuvien henkilöiden lukumäärää. Näillä arvoilla voidaan Rakentamismääräyskokoelman D3 avulla laskea lämpimän käyttövedenkulutus, jota käytetään aurinkolämmitysjärjestelmän mitoituksessa.

Jaksollinen käyttöveden kulutus vaikuttaa aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen. Rakennuksissa, joissa oleskellaan ympäri vuoden, on kulutus tasaista, mutta esimerkiksi toimistoissa viikonloppuisin kulutus on vähäisempää. Sama pätee myös esimerkiksi opiskelija-asuntoloihin, joissa kulutus kesälomien aikaan on selvästi pienempi kuin muuhun vuoden aikaan. Keräinten suuntauksella voidaan vaikuttaa siihen, mihin aikaan lämpöä kerätään. Esimerkiksi iltaan painottuva kulutus saadaan katettua tehokkaammin lounaaseen suunnatuilla keräimillä ja aamuun painottuva kaakkoon suunnatuilla. Lisäksi vuotuisen energiamäärän painottumiseen voidaan vaikuttaa keräinten kallistuskulmilla. Suuret kallistuskulmat 70–90° lisäävät aurinkoenergian määrää keväisin ja syksyisin, kun taas pienet, alle 30°, kulmat painottavat energian saantia kuukauden kesäkuukausille. Kulutuksen ollessa kesäisin vähäistä voidaan keräimet asentaa esimerkiksi seinälle, jolloin keväällä ja syksyllä saadaan enemmän energiaa kerättyä.[15.]

6.2.4 Nykyinen lämmitysjärjestelmä

Projektin alkuvaiheessa on syytä selvittää nykyisen lämmitysjärjestelmän tila ja se, aiotaanko lämmitystapaa muuttaa nyt tai lähiaikoina. Tämän lisäksi kerätään muita tietoja lämmitysjärjestelmästä. Kaikissa lämmitystavoissa on syytä selvittää vuotuiset kustannukset energian ja ylläpidon osalta, jotta päästään myöhemmin käsiksi taloudellisiin seikkoihin. Nehän usein asiakasta eniten kiinnostavat. Kokemuksen kautta konseptia voidaan tarkentaa ja jo näillä tiedoilla luopua aurinkolämpöinvestoinnista tai

jatkaa suunnittelua. Lämmityskustannusten ollessa korkeat voidaan olettaa aurinkolämmöllä saatavan energiamäärän olevan suurempi kuin jo valmiiksi energiapiheissä kiinteistöissä.

Kaukolämmöstä tarvittava tieto kulutusten lisäksi on tilausvesivirta. Jos aurinkolämmöllä voidaan vaikuttaa tilausvesivirtaan, voidaan tulevaisuudessa säästää rahaa pienempien perusmaksujen vuoksi.

Lämpöpumppukiinteistöjen lämpöpumpun sijainti on hyvä tietää. Lomakkeessa olevaan kohtaan ”lämpöpumpun sijainti” kirjoitetaan esimerkiksi alakerta tai ullakko riippuen lämpöpumpun sijainnista. Tämän lisäksi yhteisesti kaikista lämpöpumpuista kirjataan ylös tekniset tiedot: merkki, malli, valmistusvuosi, tyyppi (ilma/ilma, ilma/vesi jne.), teho ja käyttölämpötila.

Kiinteistön käyttäessä polttoainetta (öljyä, haketta, pellettiä jne.) on kiinteistössä usein valmiiksi asennettuna varaaja. Lämmitysmuodosta itsestään tiedoiksi riittää teho, sijainti ja se, saneerataanko sitä. Varaajasta kerätään tiedot myöhemmin lomakkeessa.

Tulevaisuudessa konseptin laajennettua myös lämmityksen kattavaksi on lämmönjakotapa olennaista tietää. Lisäksi tässä kohtaa kerätään tiedot käyttölämpötiloista meno- ja paluulinjoista. Lämmönjakotapa vaikuttaa olennaisesti aurinkolämmön käyttömahdollisuuksiin kiinteistön lämmityksessä. Patterilämmitys sulkee aurinkolämmön usein pois, mutta esimerkiksi lattialämmitys on omiaan lisäämään aurinkolämmön mahdollisuuksia matalien lämpötilojensa ansiosta. Laskettaessa aurinkolämpöjärjestelmään tehtävän investoinnin takaisinmaksuaikaa on tiedettävä energian nykyinen hinta.

6.2.5 Varaaja

Aurinkolämpöjärjestelmä tarvitsee rinnalleen aina varaajan auringon säteilyn jaksotaisuudesta johtuen. Jos rakennuksessa on valmiiksi olemassa varaaja ja sen kunto on hyvä, voidaan sitä yleensä käyttää myös aurinkolämmityksessä avuksi. Aurinkolämmitys tarvitsee kuitenkin ison varaajan ja jos sitä ei ennestään ole, voi sen sijoittami-

nen olla hankalaa. Tämän vuoksi jo alkuvaiheessa on pohdittava mahdollinen paikka uudelle varaajalle.

6.2.6 Ilmanvaihto ja tavallisuudesta poikkeava energiankulutus

Ilmanvaihto ei vaikuta aurinkolämmityksen käyttöön käyttöveden lämmittämiseen. Konseptia laajennettaessa voidaan aurinkoenergiaa kuitenkin käyttää myös tuloilman lämmittämisessä ja ilmanvaihtokoneiden sijaitessa rakennuksen yläosassa reititys keräimiltä kohteeseen on edullinen toteuttaa..

Poikkeava lämmönkulutus, kuten aiemmin mainittu ilmanvaihto, ei vaikuta tässä vaiheessa konseptiin, mutta tulevaisuutta ajatellen se on sisällytetty jo nyt lomakkeeseen. Jos rakennuksessa ilmenee erityisen suurta lämmönkulutusta kesäisin, on se usein toteutettavissa aurinkolämmöllä riippuen vaadittavista lämpötiloista. Tulevaisuudessa esimerkiksi sorptiojäähdytys voi olla merkittävä kohde aurinkolämpöjärjestelmien toteuttamiseen.

6.2.7 Aurinkokeräimet

Keräinkentän sijoituskysymyksillä pyritään selvittämään käytettävissä olevat eri ratkaisut sijoituksen suhteen. Yleisimmin keräimet sijoitetaan kiinteistöjen katolle, mutta on hyvä selvittää niiden sijoitusmahdollisuutta muuallekin esim. piha-alueelle tai seinälle. Katolle sijoitettujen keräimien etu on usein pienempi varjostusten määrä. Katolla oleva tila on usein käyttämätöntä tilaa ja näin ollen, rakenteiden sen salliessa, suositeltava sijoituspaikka keräimille. Sijoituspaikan jälkeen on hyvä tietää varjostuksen määrä asteikolla 1-5. Valinta ”1” tarkoittaa, että varjostusta ei ole, ja ”2”, että varjostuksen määrä on vähäinen esimerkiksi puu. Arvo kolme tarkoittaa, että aurinkolämpö voidaan toteuttaa vähäisillä vaikutuksilla aurinkokeräinten energiamäärään. Luvut neljä ja viisi tarkoittavat käytännössä aurinkolämmöstä luopumista sijoituksen osalta, mutta asiakkaan halutessa voidaan se vielä toteuttaa valinnalla neljä.

Reitin keräimiltä lämmönlähteen luokse on oltava mahdollista toteuttaa. Jos kiinteistöstä löytyy ennestään käytöstä poistettuja kuiluja tai hormeja, on niistä hyvä mainita

tässä kohdassa. Lopuksi päätetään, mihin kohtaan kiinteistöä aurinkolämmityksen toteuttamista kannattaa pohtia.

Lähtötietojen keräämisen jälkeen, näitä tietoja avuksi käyttäen, voidaan asiakkaalle esittää aurinkolämmön käyttöä tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, tilojen tai käyttöveden lämmityksessä tai erikseen mainitussa tarkoituksessa. Erikoistapauksissa aurinkolämpöä voidaan käyttää esimerkiksi teollisissa sovellutuksissa, mutta tässä opinäytetyössä keskitytään asuinkerrostaloihin.

6.3 Hankesuunnitteluvaihe

Hankesuunnitteluvaiheessa suunnittelijan tehtävänä on suunnitella aurinkolämmitysjärjestelmä pääpiirteittäin niin, että eri ratkaisuista voidaan valita paras ja sen perusteella pyytää urakoitsijoilta alustavat tarjoukset. Näin saadaan tarkennettua aikaisemmin annettua arviota kustannuksista ja takaisinmaksuajoista. Suunnittelun yhteydessä varmistetaan myös keräinten sijoitus ja reititys kerääjiltä varaajalle, päätetään, missä kytkentä varsinaiseen käyttövesijärjestelmään tehdään, ja varataan siihen tarvittava tila. Lisäksi varmistetaan tila varaajalle läheltä päälämmönlähdettä sekä varaajan siirtoreitti lopulliselle paikalle. Varaajat ovat isoja ja painavat paljon, joten niiden kuljettaminen pienistä ovista alakertaan on vaikeaa.

Asiakkaan tietämys aurinkolämmityksestä ei välttämättä ole kovin hyvä eikä perustu faktoihin. Tällaisessa tilanteessa suunnittelijan tärkeä tehtävä on kertoa riittävän selkeästi järjestelmän mahdollisuuksista ja vaikutuksista, jolloin asiakkaalla on mahdollisuus päättää ratkaisujen väliltä parhaan mahdollisen tiedon pohjalta.

Suunnittelussa on hyvä käyttää apuna laitevalmistajia ja heidän kokemuksiaan. Heillä on paras tieto omien laitteidensa soveltumisesta toisten lämmitysjärjestelmien rinnalle ja he voivat ehdottaa, millainen ratkaisu kannattaa toteuttaa. Monilla laitevalmistajilla on myös omat mitoitusohjelmansa, joten on vartenotettava vaihtoehto mitoituttaa järjestelmä laitetoimittajilla.

Kuten laitevalmistajien, myös urakoitsijoiden osalta pitää selvittää, onko heillä ennestään kokemuksia aurinkolämmitysjärjestelmien asentamisesta. Jos kokemusta ei ole, on syytä miettiä mahdollisen aurinkolämmitysjärjestelmiin erikoistuneen yrityksen käyttämistä urakoinnissa.

Olellaisena osana hankesuunnitteluvaihetta selvitetään viranomaisten määräykset kiinteistöjen julkisivuun liittyen kyseessä olevan rakennuskunnan rakennusjärjestyksestä. Etenkin rakennusten julkisivuille asetetut vaatimukset saattavat olla tarkoin määritettyjä, joten etukäteen on hyvä selvittää asiat ja olla paikallisiin viranomaisiin yhteydessä. Aurinkokeräimet ovat äänettäviä ja näin ollen ainoat lähiympäristöön vaikuttavat seikat ovat esteettisiä.

Hankesuunnitteluvaiheen päätteeksi asiakas tekee päätöksen järjestelmän toteuttamisesta tai toteuttamatta jättämisestä. Päätöksen ollessa myönteinen alkaa toteutussuunnitteluvaihe.

6.4 Toteutussuunnitteluvaihe

Toteutussuunnitteluvaiheessa viimeistellään suunnitelmat ja varmistetaan muiden alojen suunnittelijoiden kanssa, ettei päällekkäisyyksiä reitityksissä tai tilavarauksissa ole. Järjestelmän komponentit lyödään lukkoon ja varmistetaan valittujen komponenttien mukainen mitoitus esimerkiksi pumpulle ja paisunta- ja varolaitteille. Suunnitelmien ohessa luodaan aikataulu toteutukselle.

Suunnitelmien jälkeen kilpailutetaan urakka, päätöksestä riippuen joko LV-urakoitsijalla tai erillisellä aurinkolämmitysjärjestelmiin erikoistuneella yrityksellä. Mahdollisuuksien mukaan on hyvä pyytää tarjoukset molemmilta.

6.5 Urakka

Urakan aikana suunnittelija omalta osaltaan valvoo järjestelmien asennuksen ja ohjaa urakoitsijaa puutteita huomatessaan. Jos urakoitsijalla on ongelmia toteutuksen kanssa, muuta kysyttävää tai esimerkiksi parannusehdotuksia, suunnittelija on urakoitsijan

tukena. Samoin asiakkaan ja urakoitsijan välisessä tiedonvälityksestä on pidettävä huolta, että ikäviltä väärinkäsityksiltä välttyään.

Järjestelmän valmistuttua on tärkeää huuhdella se vedellä ennen varsinaista täyttöä lämmönkeruunesteellä. Kuten patteriverkostossa, myös aurinkolämmitysjärjestelmässä on ahtaita paikkoja ja asennusvaiheessa järjestelmään jääneet roskat voivat heikentää järjestelmän tehoa. Täytön jälkeen suunnittelija on mukana järjestelmän toimintakokeessa ja valvoo, että kaikki toimii halutulla tavalla. Tärkeintä on, että toimintakokeessa automatiikalla testataan toiminta stagnaatiotilanteessa. Lämpötilan noustessa korkeaksi keräimissä pumppu pysähtyy ja varaaja ei pääse kiehumaan. Lisäksi testataan säätö- sekä varolaitteiden toiminta. Lopuksi suunnittelija piirtää puhtaaksi mahdolliset muutoskuvat.

6.6 Ylläpito ja jälkiseuranta

Takuuaikana ilmestyviin ongelmiin suunnittelijan on reagoitava nopeasti, jolloin asiakkaalle jää hyvä kuva toiminnasta. Usein suunnittelijalle riittää paikalla käynti ja asiasta keskusteleminen urakoitsijan kanssa.

Tulevaisuutta ajatellen on tärkeää kerätä ja säilyttää mittaustuloksia ja tilastoja energiantuotosta, aurinkoenergian suhteesta kokonaisenergiankulutukseen sekä aurinkolämpöjärjestelmää koskevista huoltokustannuksista. Nämä kaikki vaikuttavat järjestelmän takaisinmaksuaikaan ja kiinnostavat sekä kyseistä että tulevia asiakkaita. Hyvillä referensseillä on helpompi perustella tulevissa kohteissa hankkeen hankesuunnitteluvaiheessa lisätyötunneista aiheutuvia kustannuksia kuin ilman referenssejä.

Toteutuneiden takaisinmaksuaikojen lisäksi on hyvä miettiä, mitä voisi tehdä tehokkaammin. Tuotekehityksellä voidaan sekä konseptista että järjestelmistä ja niiden suunnittelusta saada tehokkaampia ja houkuttelevampia kokonaisuuksia asiakkaiden kannalta.

6.7 Vaadittava aika ja resurssit

Suunnitteluun kuluvan ajan on arvioitu olevan rakennuskohteen koosta riippuen noin 75 tuntia. Hankkeen alkuvaiheessa pidetään palavereita asiakkaan kanssa ja käydään tutustumassa kohteeseen. Tässä vaiheessa noin kolmen työpäivän (yhteensä 25 h) työpanoksella voidaan kertoa, millaista hyötyä on mahdollista saavuttaa ja kuinka laajoja lisäselvityksiä on tehtävä.

Hanke- ja toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelijalta kuluu tarkempien selvitysten ja suunnitelmien tekemiseen noin 50 h. Lisätunneista asiakkaalle koitua kustannus on suuruusluokaltaan yhden suunnittelijan kahden viikon työpanos eli noin 75 h. Esimerkkikohteen tuntijako on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

Riippuen siitä, mitoitatako suunnittelija järjestelmän itse, tarvitaan suunnittelutoimistolle aurinkolämmitysjärjestelmien mitoitukseen soveltuva ohjelmisto. Ohjelmistolla eri ratkaisut voidaan simuloida ja verrata lopputuloksia toisiinsa. Monesta ohjelmasta saa tulokset selkeästi ja visuaalisesti niin, että asiakkaalle syntyy uskottava kuva aurinkolämmöstä. Simulointiohjelmien hinnat vaihtelevat ollen lisenssiä kohti hieman alle 1000 €. Esimerkiksi ETU software GmbH:n Getsolar Professional –ohjelma maksaa n. 750 € [23] ja Valentine Softwaren T*SOL PRO -ohjelma n. 800 € [24].

Simulointiohjelmien käyttäminen itsessään on varsin yksinkertaista. Tärkeintä on muistaa asettaa kaikki arvot, sijainnit ja kulutukset oikein, koska muutenkin ohjelma antaa tulokset, mutta ne eivät ole oikeita. Esimerkiksi aurinkolämmityksen osuus käytöveden kulutuksesta on prosentteina. Vaikka kymmenen prosenttiyksikön ero tuloksessa vaikuttaa pieneltä ja on vaikea tulkita oikeaksi tai vääräksi, tekee se suuren eron takaisinmaksuaikaa laskettaessa. Ohjelma tekee, mitä sen käsketään tehdä, mutta suunnittelijan on ymmärrettävä, mitä ohjelma tekee.

7 CASE

Esimerkkitapauksena käytettävä kerrostalokiinteistö on vuonna 1961 valmistunut kahdesta kerrostalosta koostuva taloyhtiö Helsingin Ullanlinnan kaupunginosassa,

johon Karves Suunnittelu Oy on tehnyt toteutussuunnitelman linjasaneerauksen osalta. Kohteeseen on tehty paljon erilaisia selvityksiä, kuten energiasäästölaskelmia, ja Karves Suunnittelu Oy:n kautta näiden saatavuus oli hyvä.

Kiinteistö koostuu kahdesta kerrostalosta, joista suurempi on 8-kerroksinen, joista asuinkäytössä on 6 kerrosta. Katutasossa olevassa ensimmäisessä kerroksessa toimii päivittäistavarakauppa. Kokonaispinta-ala molemmissa rakennuksissa yhteensä on 3041 m². Molempien talojen yhteinen lämmönjakohuone sijaitsee suuremman talon kellarikerroksessa, jossa ovat myös taloyhtiön sauna ja väestönsuoja. Suurempi talo on harjakattoinen ja ullakkotila on lämmittämätön varastotila. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistolla.

Pienempi talo on kolmikerroksinen, jonka alin kerros koostuu pääsääntöisesti autotalleista. Kahdessa asuinkerroksessa ilmanvaihto on painovoimainen ja suuremmassa talossa sijaitsevasta lämmönjakohuoneesta tulevat sekä vesi että lämpö maanalaisia kanavia pitkin.

7.1 Lähtötiedot

Aivan aluksi kohteesta täytettiin saatavilla olevien tietojen pohjalta lähtötietolomake, joka on liitteessä 3. Siitä käyvät ilmi olennaisimmat seikat: Keräimet voidaan sijoittaa katolle, keräimille on järjestettävissä reitti vanhaa hormia pitkin ja kytkentä lämmönjakohuoneessa on mahdollista toteuttaa. Lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämmönjakotapana patterilämmitys mitoittuna 80/60 °C:seen. Lisäksi harjakatto on kallistettu etelään 30° eikä sitä varjosta mikään. Näiden tietojen pohjalta voidaan todeta, että aurinkolämmityksen toteuttamista käyttöveden lämmitykseen kannattaa selvittää lisää.

Energiankulutus on viime vuosina ollut 57,74 kWh/m³/a ja käyttöveden kulutus 13800 l/vrk, jonka lisäksi kiinteistössä on lämpimän käyttöveden kiertojohto, jonka pituudeksi on arvioitu noin 1000 metriä. Käyttövesikierron pituus arvioitiin kuvista mittaamalla taulukon 8 esittämällä tavalla.

TAULUKKO 8. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituuden arviointi

Lämmin käyttövesikierto (KT= katutalo ja PT=pihatalo)		
alakerta	KT	30 m
	PT	15 m
kanaali		30 m
nousut	KT	4 kpl
	PT	4 kpl
	KT	22 m
	PT	7 m
kerroksissa	KT+PT	4 m/kerros ja nousu
kerroksia	KT	7 kpl
	PT	3 kpl
nousuja	KT+PT	8 kpl
yhteensä edestakaisin		1022 m

Kiinteistö on tavallinen asuinkerrostalo, joten käyttöveden kulutus ei ole tavallisuudesta poikkeavan jaksottaista vaan kokonaiskulutus, noin 100l/hlö/vrk, jakaantuu tasaisesti koko vorokauden ajalle. Aamuisin ja iltaisin ovat luultavasti kulutuspiikit, mutta ne eivät vaikuta aurinkolämmitysjärjestelmään. Pienempi talo on matala, ja se sijaitsee etelästä katsoen suuremman talon katveessa, joten aurinkokeräimiä ei voida sen katolle asentaa. Suuremman talon katon pinta-ala on noin 600 m², ja siitä puolet aukeaa etelään.

Asuinrakennuksille ominaisesta ikkunoiden sijainnista tasaisin välein johtuen keräinten asentaminen seinälle ei sovi tähän kohteeseen. Oletetaan, että keräinkentän jokaiselle puolelle jätetään metrin huoltotila, jolloin käytettävissä oleva pinta-ala on 5,5 m x 38 m = 209 m².

7.2 Hankesuunnitteluvaihe

Tässä vaiheessa valitaan alustavasti varaaja, putkimateriaalit ja keräinala. Samalla kilpailutetaan alustavasti urakoitsijoita hinta-arvion saamiseksi.

Kerätyillä tiedoilla sekä suunnitelluilla laitteilla voidaan laskea karkeat arviot järjestelmän koosta, tuotosta, hinnasta ja takaisinmaksuajasta. Kiinteistön käyttöveden ku-

lutus on viimeisen kahden vuoden aikana ollut noin 13800 l/d. Mitoitukseen käytettävä lämpimän käyttöveden kulutus on tästä 40 % eli noin 5500 l/d.

Taulukossa 8 on laskettu mahdolliset vaihtoehdot keräinalaksi kohteena olevassa kerrostalossa käyttöveden kulutukseen perustuen. Kuten aiemmin kappaleessa 4.3 ”Aurinkolämmityksen mitoituksen lähtökohtia” todettiin, matalimmat aurinkoenergian hinnat saadaan 50 – 125 l/keräineliö suhteellisella kulutuksella. Kohteen karkeaan mitoitukseen on käytetty arvoja 60, 70, 80 ja 90 l/keräineliö.

TAULUKKO 9. Keräinalan karkea mitoitus

Esimerkkikohteen keräinten mitoitus					
käyttöveden kulutus	5520				dm³/d
kulutus/keräinala	60	70	80	90	dm³/m²
keräinala	92	79	69	61	m²

Varaajalle on järjestettävissä tilaa lämmönjakohuoneesta, joten varaajan koko ei tässä mielessä ole ongelma. Varaajan koko vaihtoehtoja on esitetty taulukossa 10. Varaajien hinnat vaihtelevat 1000–2000 € alv.0 % / m³ [16], mutta olennaisempaa on löytää reitti varaajalle sisään lämmönjakohuoneen lähelle. Isot 2-3 m³ varaajat ovat mallista riippuen yli metrin halkaisijaltaan ja painavat satoja kiloja, joten ne eivät sovi tavallisista ovista eivätkä ole kuljetettavissa hankalia reittejä pitkin.

TAULUKKO 10. Varaajan mitoitus

Esimerkkikohteen varaajan mitoitus									
keräinala	60		70		80		90		m²
tilavuus/keräinala	50	80	50	80	50	80	50	80	dm³/m²
varaajan tilavuus	3000	4800	3500	5600	4000	6400	4500	7200	dm³

Taulukossa 10 esitetyllä mitoituksella laskettiin raja-arvot varaajan koolle kullekin keräinalalle. Kohteessa pannuhuoneeseen vievä reitti on ahdas, joten käytettäväksi varaajatyypiksi oli valittava perinteisestä pyöreästä muodosta poikkeava Jäspi Ovali, joka nimensä mukaisesti on soikea poikkileikkaukseltaan. Kooksi valittiin Ovali 1,8 eli 1800 litran varaaja, jolloin varaajia karkean mitoituksen perusteella tarvittiin kahdesta neljään.

Seuraavaksi pohdittiin putkikokoa runkoputken osalta. Taulukossa 11 on laskettu neljälle eri keräinalalle, kahdelle virtausnopeudelle ja kolmelle virtaamalle putken vähimmäissisähalkaisijat. Taulukossa mitoitusperusteena käytetyt nopeudet ovat suuruusluokaltaan sellaiset, että sisähalkaisijoita voidaan käyttää niin teräs-, kupari- kuin muoviputkienkin mitoitukseen.

TAULUKKO 11 Runkoputkien mitoitus

Runkoputkien vähimmäissisähalkaisijat (mm) 0,7 ja 1,0 m/s virtausnopeudelle								
virtaama, l/h*m ²	keräinala, m ²							
	60 (=90 l/m ²)		70 (=80 l/m ²)		80 (=70 l/m ²)		90 (=60 l/m ²)	
	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0
30	21,3	17,8	23,0	19,3	24,6	20,6	26,1	21,9
40	24,6	20,6	26,6	22,3	28,4	23,8	30,2	25,2
50	27,5	23,0	29,7	24,9	31,8	26,6	33,7	28,2

Putkikooksi valittiin joko kupari 35x1,5mm tai teräs 42,4x3,25mm, jolloin sisähalkaisija on riittävä kaikille keräinaloille ja kustannus toteutuksessa samansuuruinen tai pienempi riippuen valittavasta keräinalasta. Tässä tapauksessa putkikoko ei vaikuttanut vertailtaessa keräinaloja keskenään ja helpotti näin ollen keräinalan valintaa. [25.]

Suuria järjestelmiä toteuttaneet yritykset vetosivat liikesalaisuuksiin lopullista järjestelmä hintaa kysyttäessä, joten tässä opinnäytetyössä on jouduttu tekemään muutamia oletuksia investoinnin kannattavuuden laskennassa. Luonnollisesti järjestelmän hintaan vaikuttavat kohteen tyyppi ja koko, joten tässä esitetyt laskelmat ovat suuntaa-antavia.

7.2.1 Kustannusarvio ja investoinnin nettonykyarvo

Laskelmissa järjestelmän hinnan arvioinnissa on käytetty kuvien 22 ja 24 kaavioita. Kaaviot ovat noin kymmenen vuotta vanhoja, ja tutkimus on tehty Saksassa. Tässä opinnäytetyössä kuitenkin oletetaan, että sekä vuotuinen hintojen nousu että hintataso ovat suhteessa toisiinsa myös tällä hetkellä Suomessa.

Järjestelmän tuottoa karkeasti arvioitaessa voidaan käyttää apuna kuvaa 22. Kuvasta 22 käyrältä F_t voidaan lukea arvot suhteellista kulutusta vastaavalle aurinkolämmön

osuudelle. Arvot ovat Saksan ilmastolle, joten niitä korjataan hieman kotimaiseen ilmastoomme sopivammaksi. Korjaukset on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Tuottoarvio prosentteina lämpimän käyttöveden energian kulutuksesta ja arvojen korjaus Suomen olosuhteisiin. Varaajakoko vastaa yhden päivän energian kulutusta.

Tuoton arviointi % kokonaiskulutuksesta		
suhteellinen kulutus	tuotto Saksassa	korjattu arvo Suomeen
50	28 %	25 %
75	22 %	20 %
100	17 %	15 %

Kuvan 24 kaaviosta huomataan, että keräimet ja varaajat muodostavat keskimäärin 43 % kokonaisinvestoinnista. Näin ollen laskemalla keräinten ja varaajien yhteishinnan ja jakamalla tuloksen luvulla 0,43 saadaan tuloksena kokonaisinvestointi. Tätä laskentatapaa on käytetty tämän opinnäytetyön taloudellisissa laskelmissa.

Kustannuksen arvioinnissa keräimenä käytettiin SavoSolar Oy:n tasokeräintä, jonka tyyppi on SF100-03 DE. Tällaisen keräimen kuluttajahinta veroineen on noin 700 €, joka keräimen pinta-alalla tekee noin 350 €/m² [21]. Varaajaksi valitun Jäspi Ovali 1,8:n verollisena hintana laskelmissa on käytetty 3600 €/kpl [16]. Kuvan 23 kaavion mukaan keräimistä ja varaajista muodostuva osa kustannuksesta on 43 %. Laskelmissa on käytetty tätä osuutta kokonaiskustannuksen arvioinnissa. Lämpimän käyttöveden kulutus on aiemmin mainittu 5500 l/d.

Hankesuunnitteluvaiheessa valitaan tarkasteluarvoksi 75 litraa lämmintä käyttövettä päivässä aurinkokeräineliötä kohden. Tällöin keräinalaksi tulee $5500/75=74$ m², joka tarkoittaa 37 kpl keräimiä. Varaajakoon tässä vaiheessa on vastattava yhden päivän lämpimän käyttöveden kulutusta eli 1,8 m³ varaajia käytettäessä valitaan määräksi kolme.

Kokonaisinvestointi saadaan laskemalla keräinten ja varaajien hinta yhteen ja jakamalla tulos arvolla 0,43. Keräimet ja varaajat yhdessä maksavat $700 € \cdot 37 + 3 \cdot 3600 € = 36700 €$. Tällä summalla investoinnin määräksi muodostuu $36700 € / 0,43 = 85349 €$

Kun investoinnin määrä on arvioitu, voidaan saatu summa syöttää Excel-taulukkoon, jolla voidaan laskea investoinnin nettonykyarvo. Esimerkkikohteena oleva kiinteistö on kytketty kaukolämpöön, mutta opinnäytetyön nettonykyarvolaskentaa tehtäessä on käytetty energianhintana kevyen polttoöljyn hintaa. Muutos on tehty siksi, että yhteistuotantona tuotetun kaukolämmön käytön vähentäminen aurinkolämmöllä ei ole konkreettisesti järkevää ja alhaisen energiahinnan vuoksi on myös investointina kannattamatonta.

Hankesuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma on liitteessä 4. Hankesuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelmassa on käytetty energianhintana 77,5 €/MWh (taulukko 4), joka vastaa kevyen polttoöljyn verollista hintaa vuonna 2010. Hinnan nousuna on käytetty kevyen polttoöljyn historiallista hinnannousua 6,8 %. Lämpimän käyttöveden kulutuksen kuluvan energian määrä on 230 MWh vuodessa ja siitä saadaan aurinkolämpöjärjestelmästä arviolta taulukon 12 mukaan 20 %. Inflaationa on käytetty 2 %:ia vuodessa ja nimelliskorkona 5 %:ia. Kevyttä polttoöljyä käytettäessä on kuvailun investoinnin nettonykyarvo noin 22 506 €.

Mainittakoon, että vastaava arvo kaukolämmössä olevalle kiinteistölle 53,99 €/MWh:n (taulukko 4.) energian hinnalla ja 4,7 % energian hinnannousulla on noin - 23 959 €. Kuten huomataan, käytettävä energiamuoto vaikuttaa huomattavasti investoinnin nettonykyarvoon.

7.2.2 Vaikutus E-lukuun

Vaikutus E-lukuun saadaan laskettua luvun 5.2 ”E-luku” mukaan. Aurinkolämpöjärjestelmästä hyödyksi saatavasta energiamäärästä vähennetään pumpun kuluttama sähkö energiamuotokertoimet huomioiden. Tämän jälkeen jaetaan järjestelmän tuotto rakennusten kokonaispinta-alalla, 3041 m²:lla.

Kaavan 6 mukaan laskelma on seuraava:

$$Q_{\text{aurinko,lkv}} = 156 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \times \text{keräinala, m}^2 \times 1,0$$

Taulukossa 13 on esitetty aurinkokeräinten tuotto Rakentamismääräyskokoelma D5:n laskentaohjeen mukaan eri keräinaloille.

TAULUKKO 13. Aurinkokeräimien tuotto E-luku laskennassa

Aurinkokeräimillä saavutettava energian määrä MWh/a Rakmk D5 mukaan					
$q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/a*m ²	Keräinala, m ²				
	50	100	150	200	250
156	7,8	15,6	23,4	31,2	39

Saaduista laskennallisista tuotoista on vähennettävä aurinkolämmityspiirin kierto-vesipumppujen kuluttama energia. Oletettiin, että pumppuja on yksi. Tulokset on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Aurinkolämpöjärjestelmän sähkönkulutus vuodessa Rakmk D5:n mukaan

Aurinkolämpöjärjestelmän sähkönkulutus kWh/a Rakmk D5 mukaan					
Keräinala, m ²					
50	100	150	200	250	
600	1100	1600	2100	2600	

Kaavasta 9 saadaan laskettua vaikutus E-lukuun, kun valitaan taulukoista kohdetta vastaavat arvot. Laskelmissa on huomioitu energiamuotokertoimet Rakentamismääräyskokoelma D5:n ohjeiden mukaan. Taulukossa 15 on esitetty lopullisia vaikutuksia E-lukuun.

TAULUKKO 15. Kohteena olevan kiinteistön aurinkolämmitysjärjestelmän vaikutus rakennuksen E-lukuun. Luvut pienentävät E-lukua.

Aurinkolämpöjärjestelmän vaikutus E-lukuun kWh/a*m ² Rakmk D5 mukaan					
Käytettävä päälämmönlähde	Keräinala, m ²				
	50	100	150	200	250
sähkö	4,0	8,1	12,2	16,3	20,3
fossiiliset polttoaineet	2,2	4,5	6,8	9,1	11,4
kaukolämpö	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5
uusiutuva pa.	0,9	2,0	3,0	4,0	5,0

Kuten huomataan, on vaikutus E-lukuun sitä suurempi, mitä suurempi on keräinala. Tuloksista voidaan päätellä, ettei aurinkolämpöjärjestelmän pääasiallinen tarkoitus ole pienentää E-lukua.

7.3 Toteutussuunnitteluvaihe

Toteutussuunnitteluvaiheessa päätetään järjestelmän lopullisesta mitoituksesta. Keräinala, varaajatilavuus sekä muut käytettävät komponentit mitoitetaan ja mitoitettujen tietojen perusteella pyydetään tarjoukset.

Toteutussuunnitteluvaiheessa päätetään järjestelmän komponenttien lisäksi valitaanko LV-urakoitsija asentamaan myös aurinkolämmitysjärjestelmä vai ei. Valittavasta urakoitsijasta riippumatta voi hänellä olla ehdotuksia suunnittelussa käytettyjen laitteiden ja materiaalien tilalle. Suunnittelijan tehtävänä on varmistaa ennen hyväksymistä, että ehdotetut laitteet täyttävät vaaditut vaatimukset.

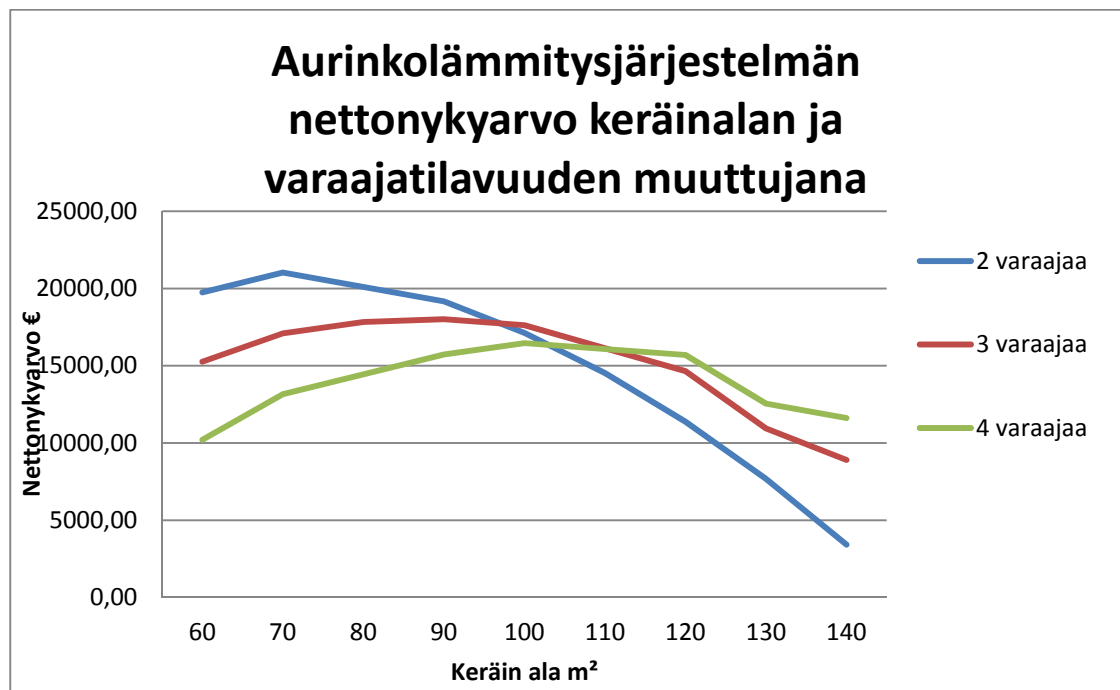
7.3.1 Järjestelmän pääkomponenttien mitoitus

Järjestelmästä hyödyksi saatavan energian vuotuinen määrä on vaikea arvioida tarkasti ilman tarkoitukseen sopivaa ohjelmaa. Tämän raportin toteutussuunnitteluvaiheen arvioissa on käytetty Valentine Software T*SOL Pro -ohjelman opiskelijaversiosta saatuja arvoja. Esimerkkiraportti simuloinnista on liitteessä 5. Simuloiduista tuloksista on koottu taulukkoon 16 aurinkolämmön osuudet koko lämpimän käyttöveden kulu- tuksesta eri keräinaloilla ja varaajatilavuuksilla.

TAULUKKO 16. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottoja eri keräinaloilla ja varaajatilavuuksilla

Aurinkolämmön osuus kokonaisenergian kulutuksesta										
varaajien määrä	Keräinten määrä ja keräinala									
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	kpl
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	m ²
2 varaajaa	15,8 %	17,5 %	18,8 %	20,1 %	21,2 %	22,2 %	23,1 %	23,9 %	24,6 %	
3 varaajaa	16,5 %	18,3 %	19,9 %	21,4 %	22,8 %	24,0 %	25,2 %	26,0 %	27,1 %	
4 varaajaa	17,1 %	19,1 %	20,8 %	22,5 %	24,1 %	25,5 %	26,9 %	27,8 %	29,1 %	

Taulukossa 16 esitettyjen aurinkolämmön osuuksien perusteella laskettiin nettonykyarvot kullekin keräinala/varaajayhdistelmälle. Laskelmissa on käytetty polttoaineena kevyttä polttoöljyä ja vuotuisena energian hinnannousuna 6,8 %. Kuten hankesuunnitteluvaiheessa, inflaationa käytettiin 2 % ja nimelliskorkona 5 %. Varaajakooksi on valittu hankesuunnitteluvaiheessa 1,8 m³ ja yhden varaajan hinta on 3600 € veroineen. Keräimet ovat Savo Solar Oy:n keräimiä tyypiltään SF100-03 DE ja maksavat 700 €/kpl. Keräimen ala on 2 m².



KUVA 25 Aurinkolämmitysjärjestelmien nettonykyarvoja eri keräinaloille ja varaajatilavuuksille

Kuvan 25 nettonykyarvoja tarkasteltaessa huomataan, ettei pienen keräinalan kanssa käytettävästä suuresta varaajasta ole hyötyä tarkasteltaessa nettonykyarvoa. Samoin suuresta keräinalasta ei ole vastaavaa hyötyä, jos varaaja on liian pieni. Kauttaaltaan nettonykyarvot ovat pääsääntöisesti 10 000–20 000 € eli kannattavia.

Kannattavinta yhdistelmää valittaessa huomataan, että 70 m² keräinala kahdella 1,8 m³ varaajalla varustettuna on paras vaihtoehto laskelmien mukaan. Jos verrataan hankesuunnitteluvaiheessa laskettuun arvioon, voidaan todeta, että keräinalan arviointi onnistui hyvin. Hankesuunnitteluvaiheen karkeassa laskelmassa nettonykyarvoksi lasket-

tiin 23 264 €, joka on hieman korkeampi kuin tarkemmissa simuloinneissa. Toteutus- suunnitteluvaiheen nettonykyarvoksi saatiin 20 275 €. Toteutussuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma on esitetty liitteessä 6.

Simulointituloksista laskettujen nettonykyarvojen tuloksista huomataan, että parhaat tuotot investoinneille saadaan suhteellisen käyttöveden kulutuksen arvoilla, jotka ovat yli 55 (5500 l/d/100 m²) litraa päivässä keräinneliötä kohden. Tulos on kokoluokaltaan aivan kuten kuvan 22 tutkimuksessa, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina.

7.4 Suunnitteluun käytetty aika

Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty ajankäyttö esimerkkikohteen suunnittelussa. Yhteensä aikaa kuluu yhdeltä suunnittelijalta noin kaksi työviikkoa.

TAULUKKO 17. Hankesuunnitteluvaiheen ajankulutus

Hankesuunnitteluvaihe		
vanhoihin suunnitelmiin tutustuminen	4	h
kohteessa tutustuminen	8	h
karkea mitoitus	8	h
arvio takaisinmaksuajasta	4	h
yhteensä	24	h

TAULUKKO 18. Toteutussuunnitteluvaiheen ajankulutus

Toteutussuunnitteluvaihe		
keräinmitoitus ja valinta	8	h
-kannakkeet	4	h
-putkitus	4	h
runkoputki	4	h
varaajan mitoitus	4	h
- putkitukset	4	h
kytkentä järjestelmään	8	h
paisunta- ja varolaitteet	4	h
yhteen sovittaminen	8	h
automaatiikka	8	h
yhteensä	56	h

8 POHDINTA

Aurinkolämmitysjärjestelmät ovat tämän opinnäytetyön laskelmien mukaan kannattava investointi kohteissa, joissa lämmitysmuoto on jokin muu kuin kaukolämpö ja järjestelmän fyysinen toteuttaminen on mahdollista. Kaukolämpöä tuotetaan lisäksi usein yhteistuotantona sähkön kanssa, ja kesäaikaan, jolloin aurinkolämpöjärjestelmä tuottaa eniten, ovat kaukolämpökuormat alhaisia. Tällöin alhaisen kuorman edelleen alentaminen heikentää yhteistuotannon hyötysuhdetta eikä aurinkolämmön käyttäminen ole perusteltavissa edes ympäristöseikoilla. Sähköntuotannosta syntyvä hukkalämpö on joka tapauksessa jäädytettävä esimerkiksi mereen.

Tässä opinnäytetyössä esitetyt laskelmat ovat arvioita, eikä kyseistä aurinkolämpöjärjestelmää lähdetä ainakaan vielä toteuttamaan. Tulokset ovat kuitenkin rohkaisevia aurinkolämmön kannalta, ja tekniikan kehittyessä nettonykyarvot todennäköisesti kasvavat ja investointien kannattavuus paranee. Nettonykyarvolaskelmissa investoinnit on laskettu kiinteällä keräinten ja varaajien hinnan suhteella kokonaishintaan. Referenssikohteiden lisääntyessä on hyvä tarkistaa, mikä on oikea suhde ja kuinka paljon se vaihtelee järjestelmän koosta riippuen. Voi hyvin olla, että kuvan 25 mukaan paras investointi 70 m² ja kaksi varaajaa ei todellisuudessa olekaan paras, koska pienessä järjestelmässä voi muiden komponenttien osuus kokonaisinvestoinnista olla suurempi kuin suurissa järjestelmissä.

Energianmuutosta, inflaatiota ja vallitsevaa korkokantaa voidaan vain ennustaa ja tukea ennustuksia historiallisin perustein. Jos energian hinta tai inflaatio kasvaa tulevaisuudessa viimeisen vuosikymmenen keskiarvoa suuremmalla nopeudella, on tehty investointi kannattavampi kuin esitetyissä laskelmissa. Tämä pätee myös toisin päin eli hinnan tai korkojen nousun ollessa maltillisempaa ei investointi kannata samoissa määrin kuin aiemmin on esitetty. On myös mahdollista, että uusiutuvien energiamuotojen tukeminen tulevaisuudessa alentaa kynnystä ryhtyä aurinkolämmitysjärjestelmän toteuttamiseen. Tällöin osaavan suunnittelutoimiston tehtävänä on pysyä ajan tasalla, jolloin myös asiakkaalle tarjottavat vaihtoehdot ovat ajantasaisia.

Käytännön tilanteissa tässä raportissa mainittujen haasteiden lisäksi saattaa ongelmia aurinkolämpöjärjestelmien toteuttamisessa muodostua paikkakuntaakohtaisista käytännöistä esimerkiksi rakennusten ulkonäön suhteen. Esimerkkikohteen kaltaisissa korkeissa rakennuksissa keräimet eivät vaikuta rakennuksen ulkonäköön katutasosta katsottuna, mutta esimerkiksi seinille asennettavien keräinten käyttöä viranomaiset saattavat rajoittaa. Paikallisten viranomaisen suhtautuminen aurinkolämpöön on hyvä selvittää ajoissa, jolloin järjestelmän suunnittelua voidaan ohjata sen mukaisesti.

Aurinkolämmön vaikutusta E-lukuun laskettaessa syntyy huomattava ero Rakentamismääräyskokoelma D5 ja simulointiohjelman T*SOL Pro välillä. Rakmk D5:n laskennassa käytettävä arvo kerätylle aurinkoenergialle Helsingissä, 156 kWh/m²a, on simulointiin verrattuna vain noin 45 % keskimääräisestä vuotuisesta säätietoihin perustuvasta energian määrästä. Verrattaessa Rakmk D5:n ja T*SOL Pro:n käyttämiä säätietoja ei vuotuisessa säteilyn määrässä ole kuitenkaan eroa muutamaa prosenttia enempää, joten ero syntyy jostain muusta. Mahdollisesti E-lukulaskennassa pyritään arvioimaan pienin mahdollinen kerätyn energian määrä, joka saavutetaan huonoilla keräimillä, joiden vuotuinen hyötysuhde on vain noin 1015 % tai jopa alle sen. Jos laskentamenetelmää tarkennetaan tulevaisuudessa niin, että hyvillä keräimillä kerätyn energiamääränä voidaan käyttää parempaa tuottoa, on vaikutus E-lukuunkin suurempi.

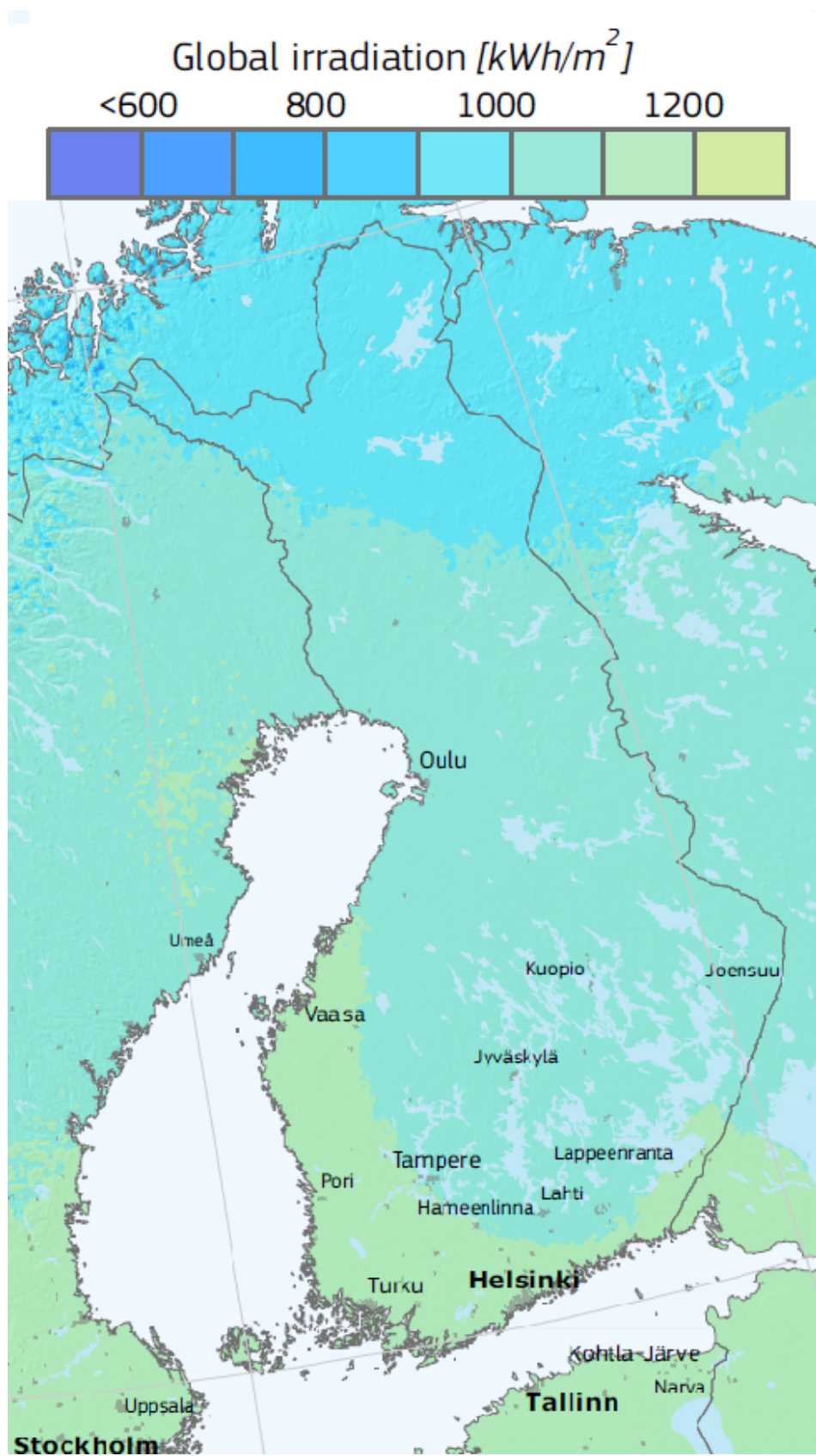
Tulevaisuudessa olisi järkevää tutkia tarkemmin jo olemassa olevien tämän kokoluokan järjestelmien toteutuneita kerätyn energian määriä ja verrata niitä tässä raportissa mainitun tutkimuksen tuloksiin. Lisäksi olisi hyvä tarkastella toteutuneiden järjestelmien todellisia hintoja esimerkiksi suhteellisen kulutuksen muuttujana. Samoin tärkeää olisi selvittää kuinka paljon järjestelmien kulumisen ja likaantumisen vaikuttavat todellisuudessa kerätyn energiamäärään käyttöiän loppupäässä. Kaikilla näillä toimenpiteillä tarkennettaisiin hankesuunnitteluvaiheessa tehtävää taloudellista kannattavuusarviota ja tuettaisiin asiakkaan päätöstä aurinkolämpöön ryhtymisessä.

LÄHTEET

1. Taloyhtiön energiakirja – sähköinen versio. Internet-sivu. <http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 16.10.2013
2. LVI 01-10424, 2008. Kiinteistöjen tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Ohjekortti. Rakennustietosäätiö (RTS).
3. Paiho Satu, Heimonen Ismo, Kouhia Ilpo, Nykänen Esa, Nykänen Veijo, Riihimäki Markku ja Terttu Vainio, 2009. Putkiremonttien uudet hankinta- ja palvelumallit. Espoo: VTT.
4. Kalogirou S. A, 2012. Comprehensive Renewable Energy Volume 3: Solar Thermal Systems: Components and Applications. Amsterdam: Elsevier.
5. Duffie J. A & Beckman W. 2006. Solar Engineering of Thermal Process Third Edition. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
6. Earthscan, 2010. Planning and Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects and engineers. Lontoo: Earthscan Ltd.
7. Greenspec. Internet -sivu. <http://www.greenspec.co.uk/solar-collectors.php>. Päivitetty 16.10, Luettu 16.10.2013.
8. Dr. Peuser F. A, 2002. Solar Themal Systems: Successful Planning and Construction. Berliini: Solarpraxis AG
9. Motiva, Internet -sivu. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet. Päivitetty 10.5.2013. Luettu 21.5.2013

10. Aurinkopuisto, Tietoa aurinkokeräimistä - Internet -sivu.
<http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php> Päivitetty 2.2.2013. Luettu 21.5.2013.
11. Suomen rakentamismääräyskokoelma D1, 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, Määräykset ja ohjeet 2012. Määräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki.
12. Power from the sun, Internet-sivu. <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter06/chapter06.html>, Päivitetty 16.10.2013, Luettu 16.10.2013.
13. Oy Jackson Imports Ltd, Internet-sivu. <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 16.10.2013.
14. Prof. Mengedoht G. Solarenergienutzung/Solarthermie – luentomateriaali. Hochschule Ulm. 2013.
15. Prof Floß A. 2013. Henkilökohtainen tiedonanto 7.6.2013. Energiatekniikan professori, Hochschule Biberach,
16. LVI 11–10472, Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto, 2011.
17. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, 2012. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012, luonnos 14.3.2012. Määräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki.
18. Siren Kai, 2010. Rakennusten energiainvestoinnin kannattavuuden laskenta- PDF-dokumentti. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-58.4129/materiaali/Ene-58_4129_energiainvestoinnit_2.pdf. Aalto yliopisto.

19. Suomen virallinen tilasto, SVT: Kuluttajahintaindeksi 2000=100, verkkojulkaisu. https://tilastokeskus.fi/til/khi/2012/10/khi_2012_10_2012-11-14_tau_004_.html. Päivitetty 14.11.2012. Luettu 18.9.2013.
20. Betonielementtikerrostalojen linjasaneerauksen hankesuunnitelman energiansäästö-laskennan ja raportoinnin kehittäminen, Jouni Sillman, Aalto yliopisto, 2013, PDF-dokumentti
21. Suomen virallinen tilasto, SVT: Energian hinnat, verkkojulkaisu. <https://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/tau.html>. Päivitetty 20.3.2013. Luettu 8.6.2013.
22. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012. Rakennusten enrgiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. Määräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki.
23. ETU software GmbH, Internet-sivu. <https://shop.etu.de/Shop/Uebersicht/Get-Solar.html>,1,0,376,0. Päivitetty 16.10. Luettu 16.10.2013
24. Valentine software, Internet-sivu. <http://www.valentin.de/shop/default/14/9/0/0/t-sol-pro.html>. Päivitetty 1.6.2013. Luettu 7.6.2013.
25. Ahlsell Oy, tuotehinnasto 1.3.2013 alkaen. Saantitapa http://www.ahlsell.fi/page___9630.aspx. Päivitetty 1.3.2013. Luettu 10.6.2013.
26. Kilgast Miika, 2013. Sähköpostikeskustelu 24.7.2013. Tekninen asiantuntija. Saivosolar Oy.



Lähde JRC European Community: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Aurinkolämmityksen lähtötietolomake			
Perustiedot:		päiväys <u>20.9.2013</u>	
kohde: <u>Esimerkki kohde</u>			kunta: <u>Helsinki</u>
osoite: <u>Aurinkotie 3</u>			postinumero: <u>46100</u>
yhteyshenkilö (asiakas): <u>Mikko Nieminen</u>	puhelinnumero: _____		
vastuuhenkilö (sunn. tsto): <u>Markus Hyttinen</u>	puhelinnumero: _____		
kiinnostus aurinkoenergian hyödyntämiseen		<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei
Rakennus:			
rakennustyyppi:	<input type="checkbox"/> pientalo	<input checked="" type="checkbox"/> kerrostalo	<input type="checkbox"/> rivitalo <input type="checkbox"/> koulu <input type="checkbox"/> hotelli
	<input type="checkbox"/> asuntola	<input type="checkbox"/> toimisto	<input type="checkbox"/> teollisuusrakennus <input type="checkbox"/> sairaala
	<input type="checkbox"/> palvelutalo	<input type="checkbox"/> muu, mikä? _____	
rakennusvuosi: <u>1961</u>			
pinta-ala: <u>3041</u> m ²	tilavuus: _____ m ³	asukasmäärä: _____	hlö
suunnitteilla olevat saneeraukset:		Edellisvuosien kulutustiedot	
<input checked="" type="checkbox"/> julkisivu	v. <u>2010</u>	<u>686,8</u> MWh /	_____ €
<input type="checkbox"/> kylpyhuone	v. <u>2011</u>	<u>791,9</u> MWh /	_____ €
<input type="checkbox"/> keittiö	josta lämmityksen osuus		
<input checked="" type="checkbox"/> LVI	v. _____	_____ MWh /	_____ €
<input type="checkbox"/> lämmitys	v. _____	_____ MWh /	_____ €
<input checked="" type="checkbox"/> käyttövesi	ja käyttöveden osuus		
<input type="checkbox"/> ilmanvaihto	v. _____	_____ MWh /	_____ €
<input type="checkbox"/> muu, mikä?	v. _____	_____ MWh /	_____ €
Käyttövesi:			
kulutustiedot:		v. <u>2010</u>	v. <u>2011</u>
<input checked="" type="checkbox"/>	käyttöveden kokonaiskulutus	<u>4768,6</u> m ³ /a	<u>6495</u> m ³ /a
<input type="checkbox"/>	lämpimänkäyttöveden kulutus	_____ m ³ /a	_____ m ³ /a
<input type="checkbox"/>	muu tieto _____		
kiertojohto:			
<input type="checkbox"/> ei	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	pituus noin <u>1000</u> m	
käyttövedenkulutus painottuu tiettyyn vuorokauden aikaan:			
<input checked="" type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä,	kellonaikoihin: _____ - _____ ja _____ - _____	
käyttövedenkulutus painottuu tiettyyn aikaan viikosta:			
<input checked="" type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä,	<input type="checkbox"/> ma	<input type="checkbox"/> ti <input type="checkbox"/> ke <input type="checkbox"/> to <input type="checkbox"/> pe <input type="checkbox"/> la <input type="checkbox"/> su
käyttövedenkulutus painottuu tiettyyn aikaan vuodesta:			
<input checked="" type="checkbox"/> ei	<input type="checkbox"/> kyllä,	<input type="checkbox"/> tammi	<input type="checkbox"/> helmi <input type="checkbox"/> maaliskuu <input type="checkbox"/> huhti <input type="checkbox"/> touko <input type="checkbox"/> kesä
		<input type="checkbox"/> heinä	<input type="checkbox"/> elokuu <input type="checkbox"/> syys <input type="checkbox"/> loka <input type="checkbox"/> marras <input type="checkbox"/> joulukuu
Lämmitys: valmistusvuosi: <u>1961</u>			
Nykyinen lämmitysmuoto:			
<input checked="" type="checkbox"/> kaukolämpö	<input type="checkbox"/> öljy	<input type="checkbox"/> sähkö	<input type="checkbox"/> lämpöpumppu <input type="checkbox"/> puu
Nykyinenlämmönjakotapa: <input checked="" type="checkbox"/> patterit <input type="checkbox"/> lattia- <input type="checkbox"/> lammitys <input type="checkbox"/> ilmalämmitys			
	<input type="checkbox"/> muu, mikä? _____		
lämmityksen mitoituslämpötilat (meno/paluu): <u>80</u> / <u>60</u> °C			

Lisätietoja nykyisestä lämmitysjärjestelmästä:	

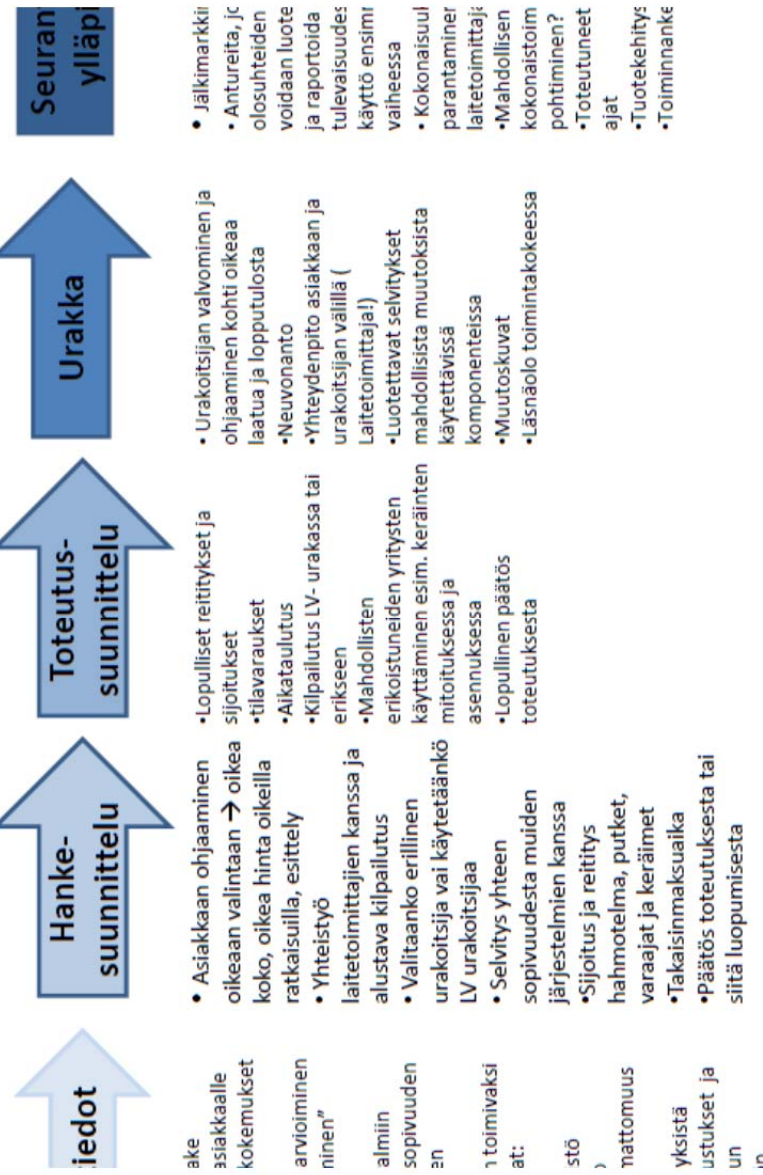
saneerauksen yhteydessä lämmitysjärjestelmä:	
	<input checked="" type="checkbox"/> jää ennalleen
	<input type="checkbox"/> saneerataan kokonaan
	<input type="checkbox"/> saneerataan osittain, miltä osin?
lämmitysmuoto saneerauksen jälkeen:	
<input checked="" type="checkbox"/> kaukolämpö	_____
	tilausvesivirta: _____ m ³ /h
<input type="checkbox"/> lämpöpumppu	_____
<input type="checkbox"/> maalämpöpumppu	<input type="checkbox"/> ilmalämpöpumppu
<input type="checkbox"/> poistoilmalämpöpumppu	_____
merkki: _____	malli: _____
	teho: _____ kW
Lämpöpumpun sijainti: _____	
<input type="checkbox"/> öljy	_____
merkki: _____	malli: _____
	teho: _____ kW
<input type="checkbox"/> puu	_____
<input type="checkbox"/> hake	<input type="checkbox"/> pelletti
<input type="checkbox"/> muu, mikä?	_____
merkki: _____	malli: _____
	teho _____ kW
<input type="checkbox"/> sähkö	_____
<input type="checkbox"/> suorasähkö	<input type="checkbox"/> varaaja
<input type="checkbox"/> sähkövastukset varalla	_____
lämmityksen energian hinta:	v. _____ 2011 _____ 55 _____ €/MWh
lämmityksen huoltokustannukset:	_____ €/a
lämmönjakotapa:	<input checked="" type="checkbox"/> patterit <input type="checkbox"/> lattialämmitys <input type="checkbox"/> ilmalämmitys
	<input type="checkbox"/> muu, mikä? _____
lämmityksen mitoituslämpötilat (meno/paluu): _____ 80 / _____ 60 _____ °C	
Varaaja:	
merkki: _____	malli: _____
	tilavuus _____ m ³
sijainti: _____	
varaaja uusitaan:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei
varaajan voi sijoittaa lähelle lämmönjakohuonetta	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei
Ilmanvaihto: <input type="checkbox"/> ei ole <input type="checkbox"/> painovoimainen <input type="checkbox"/> keskitetty tulo-/poistoilma	
<input checked="" type="checkbox"/> keskitetty koneellinen poisto	<input type="checkbox"/> huoneistokohtainen tulo-/poistoilma
<input type="checkbox"/> muu, mikä?	_____
Ilmanvaihtokoneiden tiedot:	
merkki: _____	malli _____
	määrä: _____ kpl
mitoitustiedot: Jos ilmanvaihtokoneita enemmän täydennä ne	
ulkoilmavirta: _____ m ³ /s	kohtaan "lisätietoja" lomakkeen lopussa
Erityistiedot:	
Kiinteistössä on tavallisesta poikkeavaa lämmöntarvetta kesäisin:	<input type="checkbox"/> kyllä <input checked="" type="checkbox"/> ei
millaista? _____	

poikkeavan lämmöntarpeen lämpötilat: _____ - _____ °C	
	_____ - _____ kWh tai MWh/a

Aurinkokeräimet	
aurinkokeräimet voidaan sijoittaa katolle:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei
katon tyyppi	<input checked="" type="checkbox"/> harjakatto <input type="checkbox"/> tasakatto <input type="checkbox"/> pulpetti
katon kallistuskulma on noin	<u>30</u> °
katonpinta-ala	<u>600</u> m ²
kattoa varjostaa	<input type="checkbox"/> ei mikään <input type="checkbox"/> puut <input type="checkbox"/> rakennus <input type="checkbox"/> muu, mikä? _____
varjostuksen määrä	<input type="checkbox"/> 1 vähäinen <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input checked="" type="checkbox"/> 5 huomattava
<input type="checkbox"/>	muu aurinko keräinten sijoitus, mikä? _____
Reitti:	
reitti keräimiltä lämmönlähteelle noin	<u>30</u> m
reitti voidaan toteuttaa käyttäen valmiita hormeja tvs.	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei
reitti voidaan toteuttaa muutoin	<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei
aurinkoenergian käyttötarkoitus:	<input type="checkbox"/> lämmitys ja käyttövesi <input type="checkbox"/> lämmitys <input checked="" type="checkbox"/> käyttövesi <input type="checkbox"/> muu, mikä? _____
Lisätietoja: _____ _____ _____ _____ _____	

Aurinkolämmityksen suunnittelukonsepti

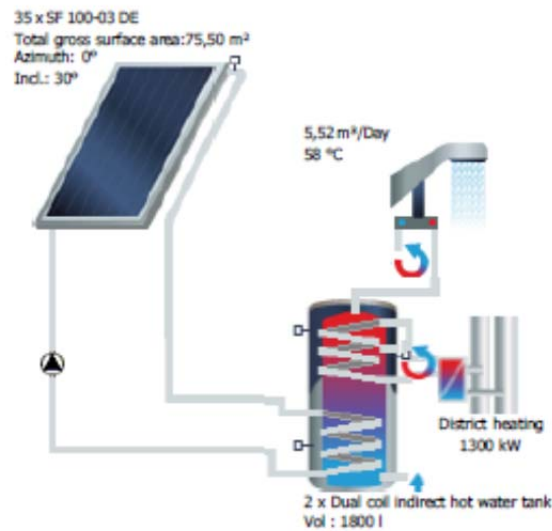
Aurinkolämmityskonsepti



Hankesuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma

Investoinnin nettonykyarvo (hankesuunnitteluvaihe)													
Lämpimän käyttöveden vuotuinen energian kulutus		230	MW/h/a		inflaatio		2,0 %	aurinkolämpöpöjärjestelmän osuus		20 %	korkokanta		5,0 %
keräinala		74	m ²		energian vuotuinen hinnannmuutos		6,8 %	keräimen hinta		350	Keräinten ja varaajien hinnan osuus		43 %
varaajien määrä		3	kpl					varaajien hinta		3600			
varaajien hinta		3600	€/kpl										
Aika	tuotot	kulut	investointi	kassavirta	reaalikorko	diskonttaustekijä	diskontattu kassavirta	energianhinta					
a	€/a	€/a	€	€	%		€/a	€/MWh					€/MWh
0	3565,00	0	85348,84	-81783,84	2,9 %	1	-81783,84	77,50					
1	3807,42	0	0	3807,42	2,9 %	0,97	3698,64	82,77					
2	4066,32	0	0	4066,32	2,9 %	0,94	3837,28	88,40					
3	4342,83	0	0	4342,83	2,9 %	0,92	3981,13	94,41					
4	4638,15	1000	0	3638,15	2,9 %	0,89	3239,84	100,83					
5	4953,54	0	0	4953,54	2,9 %	0,87	4285,19	107,69					
6	5290,38	0	0	5290,38	2,9 %	0,84	4445,82	115,01					
7	5650,13	0	0	5650,13	2,9 %	0,82	4612,48	122,83					
8	6034,34	1000	0	5034,34	2,9 %	0,79	3992,36	131,18					
9	6444,67	0	0	6444,67	2,9 %	0,77	4964,76	140,10					
10	6882,91	0	0	6882,91	2,9 %	0,75	5150,87	149,63					
11	7350,95	0	0	7350,95	2,9 %	0,73	5343,96	159,80					
12	7850,81	1000	0	6850,81	2,9 %	0,71	4838,07	170,67					
13	8384,67	0	0	8384,67	2,9 %	0,69	5752,11	182,28					
14	8954,82	0	0	8954,82	2,9 %	0,67	5967,73	194,67					
15	9563,75	0	0	9563,75	2,9 %	0,65	6191,44	207,91					
16	10214,09	1000	0	9214,09	2,9 %	0,63	5794,64	222,05					
17	10908,65	0	0	10908,65	2,9 %	0,61	6664,32	237,14					
18	11650,43	0	0	11650,43	2,9 %	0,59	6914,13	253,27					
19	12442,66	0	0	12442,66	2,9 %	0,58	7173,32	270,49					
20	13288,76	0	0	13288,76	2,9 %	0,56	7442,21	288,89					
							P=	22506,46					

Opinnäytetyöprojekti



Results of annual simulation

Installed collector power:		52,85 kW
Installed solar surface area (gross):		75,5 m ²
Irradiation on to collector surface (active):	80,57 MWh	1 148,12 kWh/m ²
Energy delivered by collectors:	41,74 MWh	594,83 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop:	41,15 MWh	586,45 kWh/m ²
DHW heating energy supply:		123,99 MWh
Solar contribution to DHW:		40,97 MWh
Energy from auxiliary heating:		193,7 MWh
District heating savings:		45 313,2 kWh
CO2 emissions avoided:		9 787,65 kg
DHW solar fraction:		17,5 %
Fractional energy savings (DIN CEN/TS 12977-2):		17,9 %
System efficiency:		50,8 %

Opinnäytetyöprojekti

Site data

Climate file

Location:	Helsinki-Kaisani
Climate data record:	Helsinki-Kaisani
Total annual global irradiation:	969,903 kWh/m ²
Latitude:	60,17 °
Longitude:	-24,95 °

Domestic hot water

Average daily consumption:	5,52 m ³
Desired temperature:	58 °C
Consumption profile:	Constant load
Cold water temperature:	February: 5 °C August: 5 °C
Circulation:	Yes

-

Opinnäytetyöprojekti

System

Collector loop

Manufacturer:		Savo-Solar Oy
Type:		SF 100-03 DE
Number:		35,00
Total gross surface area:		75,5 m ²
Total active solar surface area:		70,18 m ²
Tilt angle:		30 °
Collector Orientation:		180 °
Azimuth:		0 °

Dual coil indirect hot water tank

Manufacturer:		Standard
Type:		2 x Dual coil indirect hot water tank
Volume:		2 x 1800 l

Auxiliary heating

Manufacturer:		Standard
Type:		District heating
Nominal output:		1300 kW

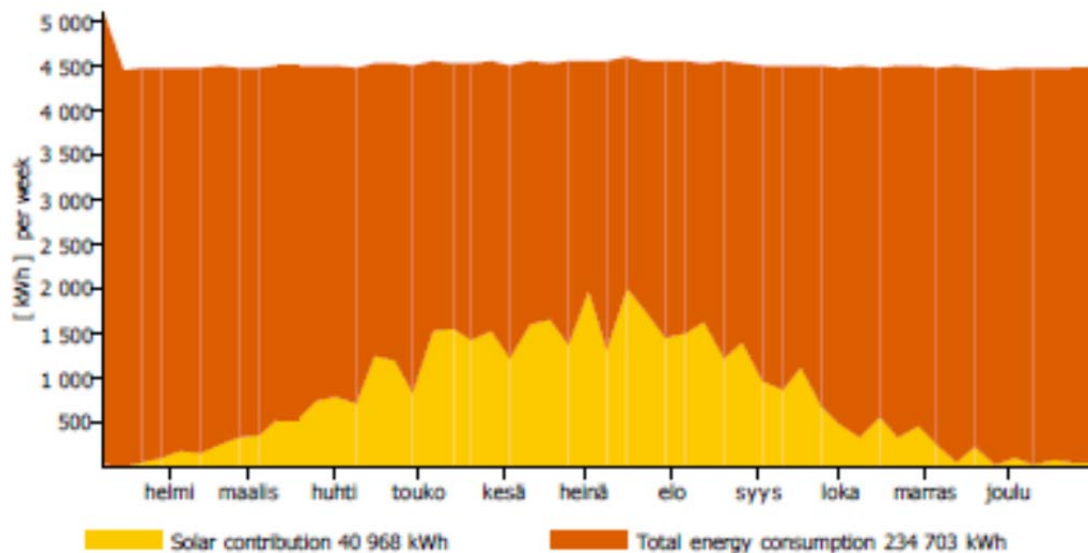
Legend

With test report
Solar Keymark

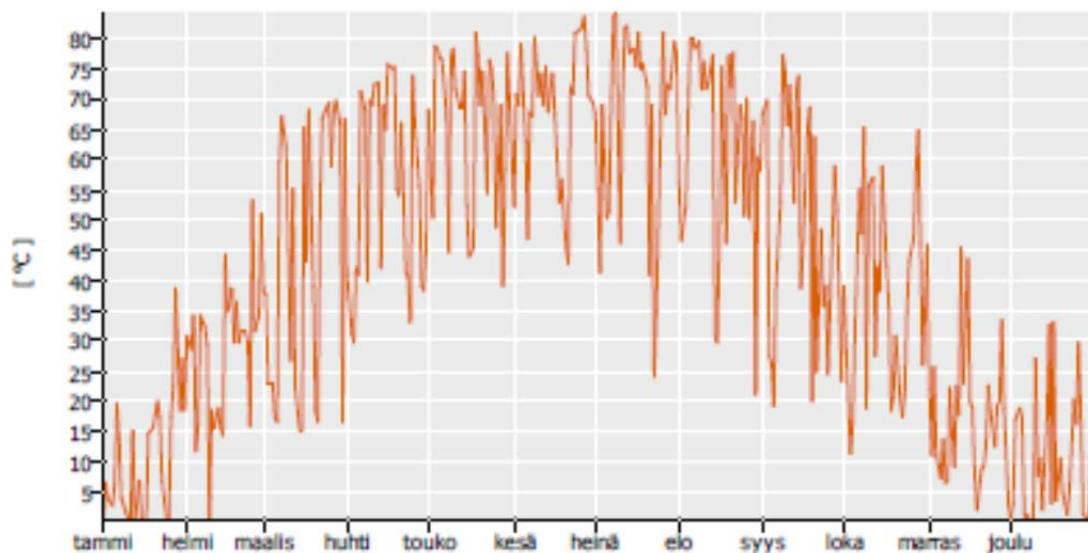


Opinnäytetyöprojekti

Solar energy consumption as percentage of total consumption

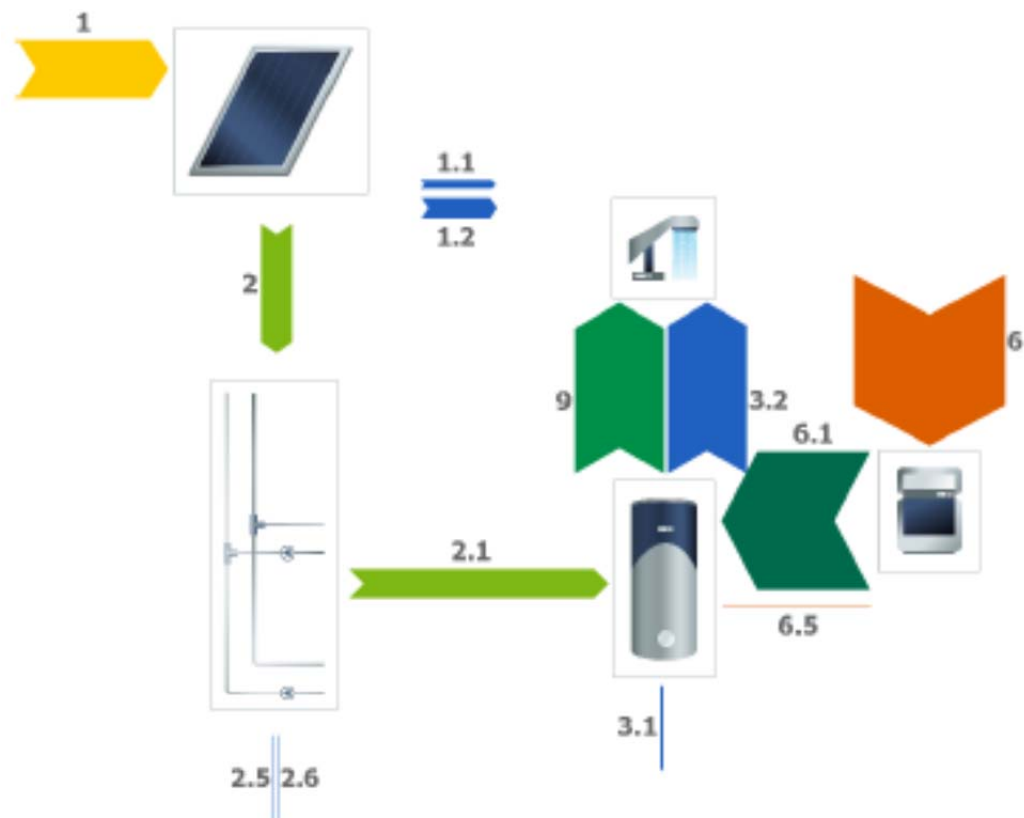


Daily maximum collector temperature



These calculations were carried out by T*SOL Pro 5.5 (R1) - the simulation program for solar thermal heating systems. The results are determined by a mathematical model calculation with variable time steps of up to 6 minutes. The system schematic diagram above does not represent and cannot replace a full technical drawing of the solar system.

Energy balance schematic



Legend

1	Irradiation on to collector surface (active)	81 MWh
1.1	Optical collector losses	11 MWh
1.2	Thermal collector losses	28 MWh
2	Energy from collector array	42 MWh
2.1	Solar energy to storage tank	41 MWh
2.5	Internal piping losses	373 kWh
2.6	External piping losses	215 kWh
3.1	Tank losses	1 595 kWh
3.2	Circulation losses	109 MWh
6	Final energy	211 MWh
6.1	Supplementary energy to tank	194 MWh
6.5	Electric element	0 kWh
9	DHW energy from tank	124 MWh

Glossary

1	Irradiation on to collector surface (active) Solar energy irradiated onto tilted collector area (active surface area)
1.1	Optical collector losses Reflection and other losses
1.2	Thermal collector losses Heat conduction and other losses
2	Energy from collector array Energy output at collector array outlet (i.e. before piping)
2.1	Solar energy to storage tank Energy from collector loop to storage tank (minus piping losses)
2.5	Internal piping losses Internal piping losses
2.6	External piping losses External piping losses
3.1	Tank losses Heat losses via surface area
3.2	Circulation losses Circulation piping losses
6	Final energy Final energy supply to system. This can be supplied from natural gas, oil or electricity (not including solar energy) and takes efficiency into account.
6.1	Supplementary energy to tank Supplementary energy (e.g. boiler) to tank
6.5	Electric element Energy from electric water heater element
9	DHW energy from tank Heat from tank (excluding circulation) for DHW consumption

Toteutussuunnitteluvaiheen nettonykyarvolaskelma

Investoinnin nettonykyarvo (toteutussuunnitteluvaihe)									
		230	MWh/a						
en vuotuinen energian kulutus	230								
inkolämpöpöjärjestelmän osuus	17,5 %								
keräinala	70	m ²							
keräimen hinta	350	€/m ²							
varaajien määrä	2	kpl							
varaajan hinta	3600	€/kpl							
kulut	investointi	kassavirta	reaalikorko	diskonttaustekijä	diskontattu	€/a	€	€/a	€/a
0	73720,93	-70601,56	2,9 %	1	-7060				
0	0	3331,49	2,9 %	0,97	3236				
0	0	3558,03	2,9 %	0,94	3357				
0	0	3799,98	2,9 %	0,92	3483				
1000	0	3058,38	2,9 %	0,89	2723				
0	0	4334,35	2,9 %	0,87	3745				
0	0	4629,08	2,9 %	0,84	3890				
0	0	4943,86	2,9 %	0,82	4035				
1000	0	4280,04	2,9 %	0,79	3394				
0	0	5639,09	2,9 %	0,77	4344				
0	0	6022,55	2,9 %	0,75	4507				
0	0	6432,08	2,9 %	0,73	4675				
1000	0	5869,46	2,9 %	0,71	4145				
0	0	7336,58	2,9 %	0,69	5033				
0	0	7835,47	2,9 %	0,67	5221				
0	0	8368,28	2,9 %	0,65	5417				
1000	0	7937,33	2,9 %	0,63	4991				
0	0	9545,06	2,9 %	0,61	5831				