

Niko Vuorenheimo

Aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntäminen asuinkerrostalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

6.4.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Niko Vuorenheimo Aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntäminen asuinkerrostalossa 34 sivua + 2 liitettä 6.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää toimitusjohtaja Tomi Vuorio
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntämisen mahdollisuudet asuinkerrostalossa. Työssä mielenkiintoista oli selvittää aurinkolämmitysjärjestelmästä saatavat tuotot kun aurinkolämmitystä käytetään käyttöveden lämmittämiseen.</p> <p>Insinööriyössä selvitettiin yleisesti aurinkoenergian saatavuutta Suomessa ja käytiin yleisesti läpi aurinkolämmitysjärjestelmän toimintaperiaatetta ja aurinkolämmitysjärjestelmään kuuluvia osia. Työssä selvitettiin myös, mitkä asiat tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan aurinkolämmitysjärjestelmää, ja mihin tulee kiinnittää huomiota aurinkolämmitysjärjestelmän osia valittaessa. Työssä lasketaan aurinkolämmitysjärjestelmästä saatavia tuottoja, kun aurinkolämmitystä käytetään asuinkerrostalon käyttöveden lämmittämiseen. Lisäksi työssä pohditaan, millä asioilla on merkitystä aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon.</p> <p>Tuloksista saatiin selville, että aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoa laskiessa suurin merkitys on aurinkolämmitysjärjestelmän keräin pinta-alalla sekä keräinten ominaisuuksilla. Voitiin havaita, että on vaikea ylittää aurinkolämmitysjärjestelmä asuinkerrostaloon, kun otetaan huomioon rakennuksen ominaisuudet.</p>	
Avainsanat	aurinkolämmitys, aurinkokeräin, aurinkoenergia

Author(s) Title	Niko Vuorenheimo Solar heating system in an apartment building
Number of Pages Date	34 pages + 2 appendices 6 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Tomi Vuorio, Chief Executive Officer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to find out how to utilize solar heating system in an apartment building. The most interesting question was to find out how much heat a solar heating system can provide when used to heat the domestic water of the apartment building. The project started with research on solar energy and solar heating systems. When the information was gathered, the sample building was chosen and the calculations started.</p> <p>The study showed that the most important issues when designing a solar heating system for an apartment building are the surface area and the quality of the solar collectors. The calculations showed how much energy can be provided for apartment buildings. The thesis proved that it is virtually impossible to oversize the solar heating system in an apartment building.</p> <p>The thesis increases the general knowledge about solar energy in our latitude, and about solar heating systems used in apartment buildings. The study also expands our knowledge about matters that should be taken into consideration when designing solar heating systems, as well as about issues that are important when choosing components for a solar heating system.</p>	
Keywords	solar heating system, solar energy, solar panel

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Auringon kokonaissäteilyenergia Suomessa	2
2.2	Aurinkoenergian hyödyntäminen	4
3	Aurinkolämmitys	6
3.1	Aurinkolämmitys lämmitysmuotona	6
3.2	Aurinkolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate	6
3.3	Aurinkolämmitysjärjestelmän osat	8
3.3.1	Aurinkokeräimet	8
3.3.2	Lämmivesivaraaja	10
3.3.3	Pumppuyksikkö	11
3.3.4	Ohjauksyksikkö	12
3.3.5	Lämmönvaihdin	13
3.3.6	Yhdysputkisto	13
4	Aurinkolämmitysjärjestelmän suunnittelu	14
4.1	Aurinkolämmitysjärjestelmän komponenttien valinta	14
4.1.1	Aurinkokeräimien valinta	14
4.1.2	Varaajan ja lämmönsiirtokierukan valinta	17
4.1.3	Pumppuyksikön valinta	17
4.1.4	Ohjauksyksikön valinta	18
4.1.5	Yhdysputkiston valinta	18
4.2	Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton laskenta	18
4.3	Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton optimointi	25
4.3.1	Keräinmäärän ja varaaja koon vaikutus	25
4.3.2	Tasokeräimen valinnan vaikutus järjestelmän tuottoon	29
5	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1. Kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle	
	Liite 2. Varaajatyypin korjauskertoimet	

1 Johdanto

Aurinkolämmitys on vielä murroksessa oleva lämmitysmuoto, ja sen suunnittelusta ei ole vielä Suomessa paljon kokemusta. Aurinkolämmitys on kuitenkin kasvamassa osaksi nykyajan rakentamista ja kiristyvien energiatehokkuusmääräyksiensä alla myös osaksi korjausrakentamista. Tästä syystä nähtiin tarpeelliseksi perehtyä aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntämiseen asuinkerrostalossa.

Insinööriyön päätavoitteena on selvittää aurinkolämmityksen hyödyntämisen mahdollisuudet vanhassa asuinkerrostalossa. Työssä perehdytään ensin aurinkoenergiaan yleisesti, jonka jälkeen perehdytään aurinkolämmitykseen ja sen tekniikkaan. Työssä käydään läpi aurinkolämmityksen keskeisimmät komponentit sekä niiden tehtävät aurinkolämmitysjärjestelmässä. Lisäksi työssä perehdytään aurinkolämmityksen suunnittelussa huomioon otettaviin asioihin ja perusteisiin, joilla aurinkolämmitysjärjestelmän komponentteja voidaan valita. Lopuksi käydään läpi esimerkkikohteen avulla aurinkolämmityksen tuoton laskentaa, järjestelmän optimointia ja tutkitaan, kuinka suuri vaikutus keräinten määrällä ja varaajan koolla on aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon.

Insinööriyön aiheen sain turkulaiselta korjausrakentamiseen erikoistuneelta suunnittelutoimistolta. Suunnittelutoimisto on kiinnostunut korjausrakentamisen kehittämisestä ja näkee aurinkolämmityksen mielenkiintoisena lämmitysmuotona. Insinööriyötä voidaan käyttää tietopakettina aurinkolämmitysjärjestelmän mahdollisuuksien kartoittamisessa.

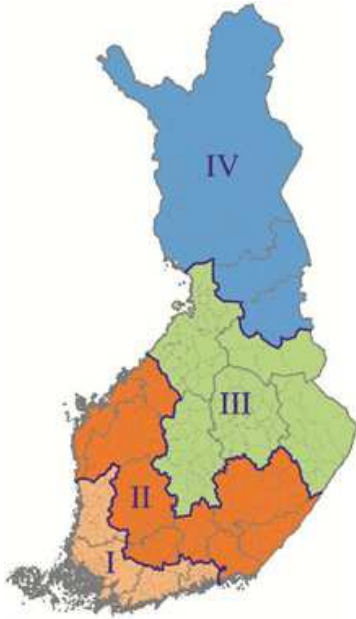
2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on uusiutuva energianlähde, joka energianlähteenä on ilmainen ja saasteeton. Tämän takia on erittäin tärkeää, että aurinkoenergiaa yritettäisiin hyödyntää rakentamisessa mahdollisimman suurissa määrin. Aurinkoenergiaa on saatavilla enemmän kuin sitä nykyään hyödynnetään rakentamisessa. Vain marraskuusta tammi-kuuhun, kun aurinko on erittäin matalalla tai kokonaan poissa näkyvistä, auringon energiaa ei juurikaan pystytä hyödyntämään. [1]

Auringon säteilyenergia on huomattavan suuri. Auringon säteilyn sisältämä teho maan pinnalla on noin 170 000 TW, mutta siitä on mahdollista käytännössä hyödyntää vain pieni osa, koska suuri osa auringon säteilystä heijastuu takaisin ilmakehästä, pilvistä, vesistöistä ja maanpinnalta. Tämä pieni osa on kuitenkin tarpeeksi suuri kattamaan koko maailman energian kulutuksen, joka oli vuonna 2010 noin 17 TW. [1; 2]

2.1 Auringon kokonaissäteilyenergia Suomessa

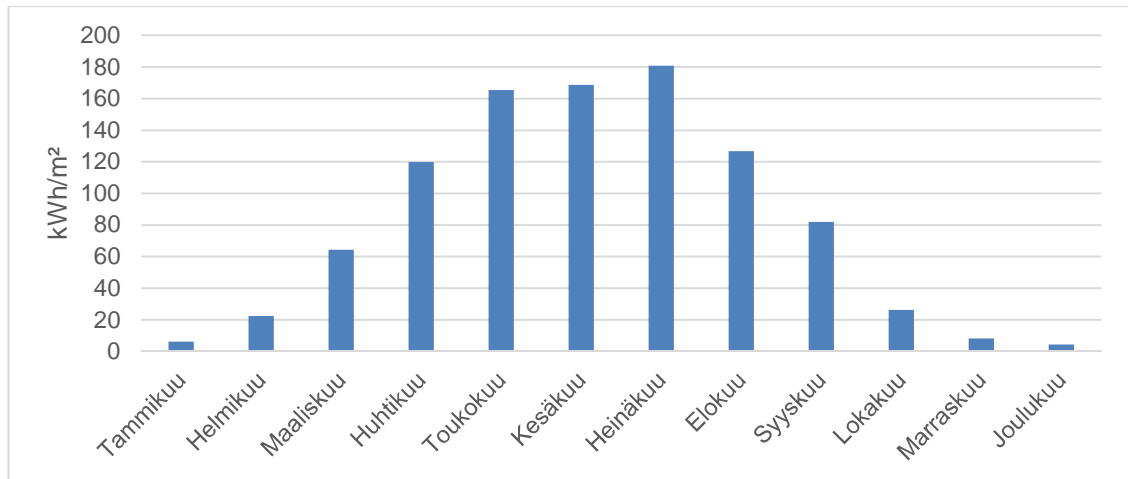
Suomi on jaettu neljään eri lämpötilavyöhykkeeseen. Vyöhykkeet on nimetty roomalaisilla numeroilla I–IV. Näitä lämpötilavyöhykkeitä käytetään hyödyksi myös energialaskennassa, kun mitataan auringon säteilyn tuottamaa energiaa [3]. Kuvassa 1 on esitetty lämpötilavyöhykkeet Suomessa.



Kuva 1. Lämpötilavyöhykkeet Suomessa [3].

Jokaiselle vyöhykkeelle on nimetty oma havaintoasema. Vyöhykkeille I ja II on nimetty yhteinen havaintoasema energiatehokkuuslaskennassa, koska erot näiden kahden vyöhykkeen välillä ovat pieniä ja rakennuskannasta suurin osa sijaitsee vyöhykkeellä I. Vyöhykkeiden I ja II havaintoasemana käytetään Vantaan havaintoasemaa. Vyöhykkeelle III on nimetty havaintoasemaksi Jyväskylä ja vyöhykkeelle IV Sodankylä. [3]

Auringon kokonaissäteilyenergian saatavuudesta vaakasuoralle pinnalle on tehty mitauksia energialaskennan testivuonna 2012. Kuvassa 2 on esitetty auringon kokonaissäteilyenergian keskimääräiset arvot vaakatasolle eri kuukausina vyöhykkeillä I ja II. [3]



Kuva 2. Auringon kokonaissäteilyenergian keskimääräiset arvot kalenterikuukausittain vaakatasolle testivuonna 2012 vyöhykkeillä I ja II [3].

Energialaskennan testivuoden perusteella voidaan vaakatasolle tulevan säteilyn arvona vyöhykkeillä I ja II pitää noin 1 000 kWh/m²/vuosi.

2.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen

Aurinkoenergiaa hyödynnetään aktiivisesti ja passiivisesti. Aktiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä käytetään jotain järjestelmää ja passiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä lämpöä ja valoa voidaan hyödyntää ilman erillisiä järjestelmiä. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti kahdella tavalla ja passiivisesti usealla eri tavalla rakentamisessa, joista toiseen aktiiviseen hyödyntämistapaan eli aurinkolämpöön perehdytään tässä työssä. [4]

Ensimmäinen aktiivinen tapa on aurinkolämpö, jossa auringon säteilyenergia luovuttaa lämpöä aurinkojärjestelmän lämmönsiirtonesteeseen (tai kaasuun) aurinkokeräimen avulla, jonka jälkeen lämmönsiirtoneste kuljettaa lämmön yleensä varastoitavaksi lämpövaraajaan, josta lämpö käytetään esimerkiksi rakennusten lämmittämiseen tai lämpimänä käyttövetenä. Aurinkokeräimillä voidaan muuttaa noin 25–30 % säteilyn energiamäärästä lämmöksi. [4; 5]

Toinen aktiivinen tapa hyödyntää aurinkoenergiaa on aurinkosähkö, jossa säteilyenergia muutetaan sähköksi. Säteilyenergian muuttaminen sähköksi perustuu valosähköiseen ilmiöön, jonka hyödyntämiseen käytetään aurinkosähköjärjestelmää ja sen aurin-

kopaneeleita. Aurinkopaneeleilla voidaan muuttaa säteilyn energiamäärästä noin 15 % sähköksi. [4; 5]

Kolmas tapa hyödyntää aurinkoenergiaa on energian hyödyntäminen passiivisesti, jossa energiaa hyödynnetään ilman erillisiä järjestelmiä. Passiivisessa tavassa auringon säteilyenergian annetaan esimerkiksi lämmittää seinää, joka varastoi lämmön ja luovuttaa sitä hitaasti tai auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää ikkunoiden kautta valona rakennuksessa. [5]

Mikään järjestelmistä ei ole toisiaan poissulkeva. On olemassa myös yhdistettyjä järjestelmiä, joilla voidaan tuottaa lämpöä ja sähköä samanaikaisesti, koska sähköntuotanto muodostaa lisätuotteena lämpöä. Lisäksi absorptiotekniikalla voidaan hyödyntää aurinkolämpöä rakennuksen jäähdytyksessä. [5]

Aurinkoenergian hyödyntämisen mahdollisuudet vaihtelevat huomattavasti asuinpaikasta, ympäristöstä, rakennuksesta sekä käytetystä järjestelmästä riippuen. Aurinkoenergian saatavuus myös vaihtelee suuresti, mutta tätä ongelmaa voidaan lieventää lisäämällä järjestelmään lämpö- tai sähkövarasto. Aurinkosähköjärjestelmään voidaan lisätä akkuja varastoimaan sähköä hyvän tuottojakson aikana ja luovuttamaan sähköä vähäisempien tuottojaksojen ajan. Aurinkosähköjärjestelmien akut ovat kuitenkin kalliita, ja niillä voidaan vaikuttaa vain lyhyen ajan vaihteluihin. [5]

Aurinkolämpöjärjestelmään taas voidaan lisätä lämminvesivaraajia, joista hyvän tuottojakson aikana lämmitetty vesi otetaan käyttöön vähäisempien tuottojaksojen aikana. Aurinkolämpöjärjestelmässä varaajien käytöllä saadaan halvemmalla ja helpommalla hyötyä kuin aurinkosähköjärjestelmissä, sillä joissain lämmitysjärjestelmissä käytetään muutenkin lämminvesivaraajaa. Se ei kuitenkaan takaa, että niillä pystyttäisiin kattamaan pitkän vähäisen tuottojakson tarvitsemaa energiavajetta, joka on Suomessa noin kolme kuukautta. [5]

3 Aurinkolämmitys

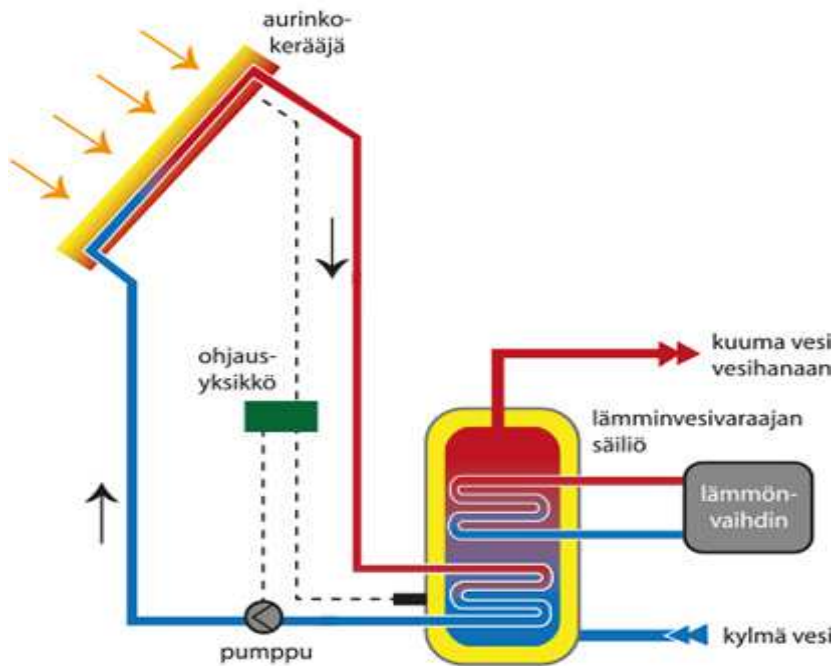
3.1 Aurinkolämmitys lämmitysmuotona

Aurinkolämmitys on vielä murroksessa oleva lämmitysmuoto, ja sen suunnittelusta ei ole vielä Suomessa paljon kokemusta, kun verrataan muihin lämmitysmuotoihin. Aurinkolämmityksessä on paljon potentiaalia lämmitysmuotona, koska se on uusiutuvaa energiaa. Aurinkolämmityksestä puhutaan yleensä kun halutaan energiatehokasta lämmitystä. Aurinkolämmitystä ei kuitenkaan Suomen leveyspiireillä päästä hyödyntämään kuin yhdeksänä kuukautena vuodesta, joten aurinkolämmitystä ei voi ainakaan vielä ajatella ainoana lämmitysmuotona rakennuksessa. Aurinkolämmitystä voidaan kuitenkin käyttää kaikkien päälämmitysmuotojen yhteydessä. [6]

Aurinkolämmitystä ei juurikaan päästä hyödyntämään silloin, kun lämmitystehontarve on suurin. Tällöin on lämmitykseen käytettävä jotain muuta lämmitysmuotoa. Siksi aurinkolämmitys toimiikin parhaiten jonkun toisen lämmitysmuodon rinnalla. Esimerkiksi kaukolämmön rinnalla toimiva aurinkolämmitysjärjestelmä voi oikein mitoitettuna hoitaa suuren osan kesäkuukausien lämpimän käyttöveden valmistuksesta ja vähentää kaukolämmön ostoenergiantarvetta noin yhdeksänä kuukautena vuodesta. Tulevaisuudessa aurinkolämmitys tulee olemaan suuremmissa merkityksessä myös korjausrakentamisessa kiristyvien energiamääräysten takia. [7]

3.2 Aurinkolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkolämmitysjärjestelmä on pääidealtaan varsin yksinkertainen. Aurinkolämmitysjärjestelmän tehtävänä on kerätä auringon säteilyenergiaa lämpönä aurinkokeräimillä ja kuljettaa se suoraan käytettäväksi tai varastoitavaksi esimerkiksi lämminvesivaraajaan. Järjestelmään kuuluu useita komponentteja ja laitteita, joista keskeisimmät aurinkokeräin, lämminvesivaraaja, pumppuyksikkö, ohjausyksikkö, lämmönsiirrin ja yhdysputkisto on esitetty kuvassa 3. [8] Aurinkolämmitysjärjestelmän osat käydään läpi insinööriyön luvussa 3.3.



Kuva 3. Aurinkolämmitysjärjestelmä [9].

Aurinkolämmitysjärjestelmä aktivoituu, kun ohjausyksikkö havaitsee, että lämminvesivaraajan lämpötila mittauspisteessä on asetusravon verran alhaisempi, kuin keräimen lämpötila. Ohjausyksikkö antaa pumpulle päälle käskyn, ja pumppu lähtee käyntiin. Tällöin järjestelmässä kiertävä aurinkolämpöneste, joka on veden ja jonkin jäätymisenestoaineen, esimerkiksi glykolin seosta, lähtee lämminvesivaraajassa sijaitsevalta lämmönsiirtimeltä aurinkokeräimelle. Aurinkokeräimellä auringon säteilyenergia lämmitteää nestettä, joka palaa yhdysputkistoa pitkin takaisin lämmönsiirtimelle ja luovuttaa kerätyn lämmön lämminvesivaraajan veteen. Lämminvesivaraajassa on lisäksi jonkun peruslämmönlähteen lämmönsiirrin tai sähkövastus, joka lämmitteää veden haluttuun lämpötilaan silloin, kun aurinkolämpöä ei saada tarpeeksi. Jos ohjausyksikkö havaitsee, että lämpöä on vielä saatavilla, pumppu pumppaa nesteen uudelleen aurinkokeräimelle ja prosessi toistaa itseään niin kauan, että ohjausyksikkö havaitsee, ettei lämpöä voida enää hyödyntää. [8]

Järjestelmässä on lisäksi paisunta-astia, yksisuuntaventtiili, ylipaineventtiili sekä ilmanpoistiventtiili. Paisunta-astia huolehtii siitä, että järjestelmässä oleva neste pääsee laajentumaan hallitusti lämpötilan muuttuessa. Näin ollen järjestelmän paine pysyy tasaisena eikä hajota putkistoa tai järjestelmän laitteita. Yksisuuntaventtiili pitää huolen, että järjestelmän neste kiertää aina haluttuun suuntaan. Ylipaineventtiili eli varoventtiili varmistaa, ettei järjestelmän paine pääse kohoamaan liian korkeaksi päästämällä pai-

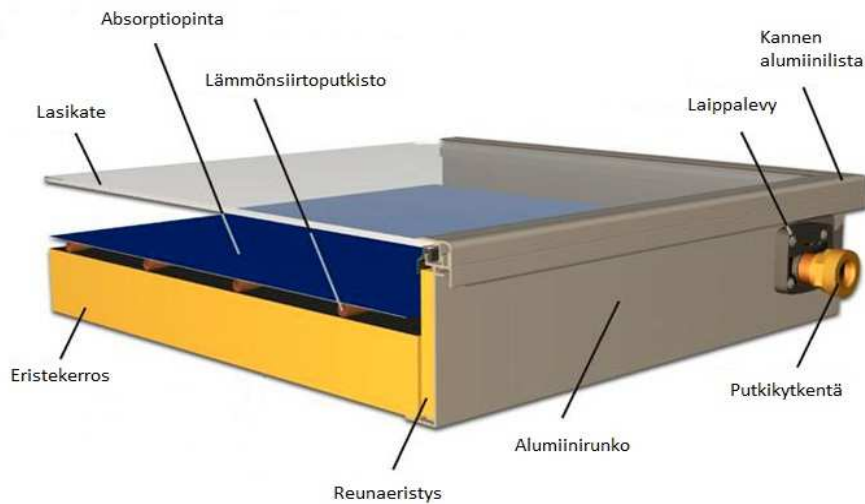
netta ulos, kun varoventtiiliin asetettu paineraja (avautumispaine) ylittyy. Ilmanpoistovenktiili taas huolehtii siitä, että järjestelmässä ei ole ilmaa. Ilmanpoistovenktiili tulee asentaa järjestelmän korkeimpaan kohtaan, josta kaikki järjestelmässä oleva ilma saadaan poistettua. [8]

3.3 Aurinkolämmitysjärjestelmän osat

3.3.1 Aurinkokeräimet

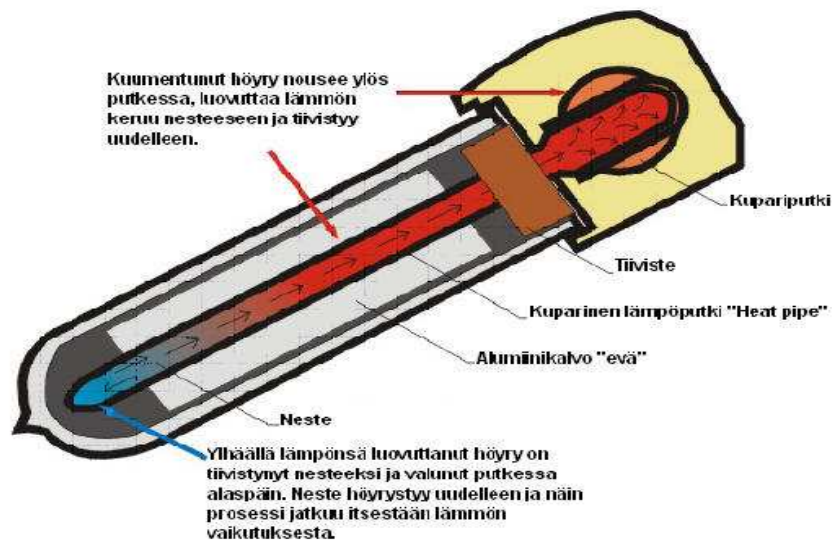
Aurinkolämmitysjärjestelmissä yleisimmin käytetyt keräinmallit ovat tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet, jotka ovat toiminnaltaan samankaltaisia. Rakenteeltaan ja ulkonäöltään tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet eroavat toisistaan. Molemmissa keräimissä auringon säteilyenergia kerätään lämpönä lämmönsiirtonesteeseen mustaa tai tummaa absorptiopintaa hyväksikäyttäen. Absorptiopinnan tehtävänä keräimissä on tehostaa lämmön siirtymistä verkoston nesteeseen ja vähentää takaisin heijastuvaa säteilyä. [10]

Tasokeräimet ovat yleisimmin käytettyjä aurinkolämpökeräimiä. Tasokeräimillä pystytään hyödyntämään sekä haja- että suorasäteilyä. Tasokeräimet tulee suunnata mahdollisuuksien mukaan etelään ja kallistaa optimikulmaan, joka on noin 41–49 astetta. Tasokeräimessä on yleensä runko, eristekerros, lämmönsiirtoputkisto, absorptiopinta sekä lasi- tai muovikate. Tasokeräimen lasi toimii myös lämmöneristeenä ja estää energian karkaamisen keräimestä. Tasokeräimissä yleisin katemateriaali on lasi, koska se on muovia parempi lämmöneriste. [10] Yhden tasokeräimen rakenne on esitetty tarkemmin kuvassa 4.



Kuva 4. Tasokeräimen rakenne [11].

Myös tyhjiöputkikeräimillä pystytään hyödyntämään sekä haja- että suorasäteilyä. Tyhjiöputkikeräimillä pystytään hyödyntämään hajasäteilyä tehokkaammin kuin tasokeräimillä. Tyhjiöputkikeräinjärjestelmillä on yleisesti samat rajoitukset kuin muillakin aurinkojärjestelmillä, mutta niillä voidaan saada energiaa talteen hieman aikaisemmin keväällä ja hieman myöhemmin syksyllä. Tyhjiöputkikeräimessä on kaksi lasiputkea sisäkkäin sekä lämmönsiirtoputki tai heat pipe -putki. Lasiputkien välissä on tyhjiö ja sisempi lasiputki on päällystetty absorptiopinnalla. [10] Heat pipe -putken rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Heat pipe -putki [12].

Tyhjiöputkikeräimien rakenteesta johtuen konvektiosta johtuva energiahukka on minimaalinen. Keräimien tehokkuutta vähentävät kuitenkin johtumisesta ja säteilystä aiheutuvat häviöt sekä optiset häviöt. Tyhjiöputkikeräimien käytöstä lumisissa olosuhteissa on vielä vähän tietoa. Tyhjiöputkikeräimien pintalämpötila ei nouse niin korkealle, että lumi sulaisi, toisin kuin tasokeräimissä. Tyhjiöputkikeräimien kallistuskulmasta ei ole tarkkoja ohjeita, mutta asennuksessa on otettava huomioon, etteivät keräimen putket varjosta toisiaan eikä lumi pääse kerääntymään keräimen päälle. [10]

3.3.2 Lämminvesivaraaja

Lämminvesivaraaja varastoi lämpöä käytettäväksi myöhemmin lämpimänä käyttövetenä tai rakennuksen lämmitysjärjestelmässä. Lämminvesivaraajassa on vesisäiliö, jonka ympärillä on eristekerros, joka estää lämmönkarkaamisen varaajan vaipan läpi. Aurinkolämmitysjärjestelmän lämminvesivaraajassa on vähintään kaksi lämmönlähdettä, joista toinen on aurinkolämmön kierukkalämmönsiirrin ja toinen sähkövastus. Toinen lämmönlähde voi olla myös kierukkalämmönsiirrin, jossa kiertää jonkin peruslämmönlähteen lämmönsiirtoneste, jota käytetään kun aurinkolämpöä ei saada tarpeeksi. Varaajassa kylmävesi syötetään varaajan alaosaan ja kuumavesi otetaan käyttöön varaajan yläosaan. [13] Lämminvesivaraajan rakenne näkyy kuvassa 6.



Kuva 6. Lämminvesivaraajan rakenne [13].

Varaajassa on tärkeää, että lämpö kerrostuu oikein eikä yläosan lämminvesi pääse sekoittumaan alaosan kylmänveden kanssa. Lämminvesivaraaja on käyttövesivaraaja sekä energiavaraaja. Käyttövesivaraajaa käytetään yleensä sähkölämmitteisissä taloissa, joissa käyttövesi lämmitetään aurinkolämmityksellä. Energiavaraajia käytetään kun rakennuksen lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen, jolloin aurinkolämpöä voidaan käyttää rakennuksen lämmitysjärjestelmässä sekä käyttöveden lämmityksessä. [14]

3.3.3 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikkö tai pumppuryhmä pitää huolta lämmönsiirtonesteen kierrosta järjestelmässä. Pumppuyksikkö sisältää kiertovesipumpun, varoventtiilin, painemittarin, lämpömittarit, takaiskuventtiilit, liitännän paisuntasäiliölle, virtausmittarin, täyttö- ja tyhjennysventtiilin, ilmanerottimen sekä ilmausventtiilin. [14] Kuvassa 7 on esitetty pumppuyksikkö.



Kuva 7. Pumppuyksikkö [15].

Pumppuyksikkö on sijoitettava aurinkolämmitysjärjestelmän menopuolelle, jotta pumpun imupuolella on aina nestettä [14].

3.3.4 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkö mittaa lämpötiloja varaajassa sekä keräimissä ja säättää pumppuyksikön pumpun toimintaa sen mukaan. Ohjausyksikkö käynnistää kiertovesipumpun kun keräimien lämpötila on korkeampi kuin varaajan lämpötila ja sammuttaa pumpun kun varaajan lämpötila on lähellä keräimien lämpötilaa. Ohjausyksikköön kuuluu lämpötila anturit ja säätöyksikkö. Ohjausyksikkö voi olla osana pumppuyksikköä, josta esimerkki on kuvassa 8. [14]



Kuva 8. Ohjausyksikkö osana pumppuyksikköä [16].

Ohjausyksiköissä on usein myös yksinkertainen lämpömäärälaskenta, joka antaa luetavan arvon kilowattitunteina [16].

3.3.5 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin tai lämmönsiirrin on aurinkolämmitysjärjestelmän osa, joka luovuttaa kerättyä energiaa käytettäväksi. Lämmönvaihtimen avulla voidaan aurinkolämmitysjärjestelmän neste pitää erillään käyttövesi- tai lämmitysjärjestelmästä. Lämminvesivaraajan veteen luovutetaan lämpöä järjestelmästä kierukkalämmönsiirtimen avulla. Lämmönsiirrin voi olla myös ulkoinen levylämmönvaihdin, joka luovuttaa aurinkolämpöä suoraan käytettäväksi vaikka rakennuksen lämmitysjärjestelmään. [13] Kierukkalämmönsiirrin lämminvesivaraajan sisällä on esitetty kuvassa 6.

3.3.6 Yhdysputkisto

Yhdysputkisto yhdistää lämminvesivaraajan, pumppuyksikön ja keräimet toisiinsa. Putkistossa virtaa lämmönsiirtoneste, joka on aurinkolämpönestettä. Putkiston materiaalina käytetään joko kupariputkea tai RST-putkea. Muoviputkea ei voi käyttää yhdysputkistossa, koska se ei kestä aurinkolämmitysjärjestelmän korkeita lämpötiloja. Yhdysputkiston tulee olla mahdollisimman lyhyt, jotta lämpöhäviöt putkistossa olisivat mahdollisimman pienet. Putkisto tulee myös eristää hyvin lämpöhäviöiden minimoimiseksi.

Putkistoon tulee liittää paisunta-astia, joka pitää huolen siitä, että lämmönsiirtoneste eli aurinkolämpönereste pääsee lämpölaajentumaan rikkomatta putkistoa. Putkistoon tulee asentaa myös ilmausventtiili, josta putkistoon syntyvä ilma saadaan poistettua. Putkistossa, eristyksessä ja kaikissa putkiston laitteissa on otettava huomioon niiden lämpötilankestä, jonka pitää olla yli 160 celsiusastetta. [17]

4 Aurinkolämmitysjärjestelmän suunnittelu

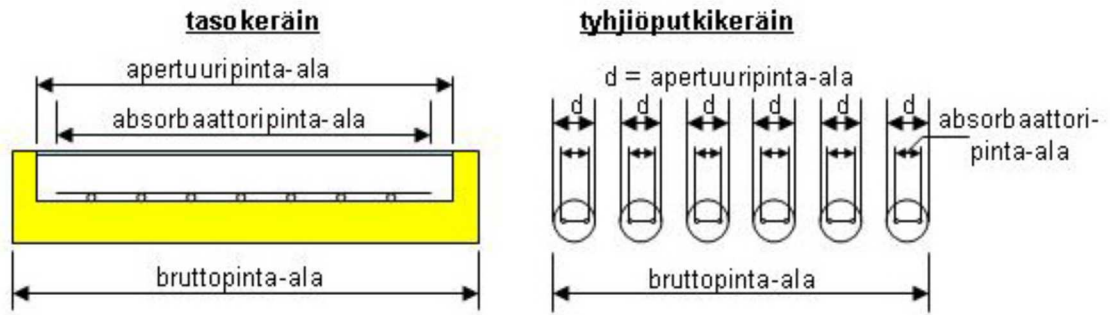
Aurinkolämmitysjärjestelmän suunnittelu olemassa olevassa rakennuksessa alkaa siitä, että selvitetään rakennuksen lämmitysjärjestelmän tiedot, päälämmitysmuoto sekä lämpimän käyttöveden ja lämmitysenergian kulutus. Selvitetään, mitä aurinkolämmityksellä voidaan lämmittää, esimerkiksi lämmin käyttövesi ja märkätilojen lattialämmitys. Selvitetään, onko aurinkolämmitys mahdollista kytkeä energiatehokkaasti vanhan lämmitysmuodon rinnalle ja onko aurinkolämmitysjärjestelmän komponenteille rakennuksessa järkevää sijoituspaikkaa. Selvitetään laskemalla, mitkä mahdollisuudet aurinkolämmitysjärjestelmällä on vähentää ostoenergiantarvetta vuositasolla. Kun on selvitetty aurinkolämmitysjärjestelmän mahdollisuudet rakennuksessa, alkaa itse järjestelmän suunnittelu.

4.1 Aurinkolämmitysjärjestelmän komponenttien valinta

4.1.1 Aurinkokeräimien valinta

Aurinkolämmitysjärjestelmän tärkein komponentti on aurinkokeräimet. Aurinkokeräimien valinnassa tulee pohtia, mikä on omaan järjestelmään sopiva aurinkokeräin ja mikä on optimaalinen aurinkokeräinten määrä ja pinta-ala. Aurinkokeräinten määrään ja pinta-alaan otetaan kantaa insinööriyön luvussa 4.2 Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton laskenta.

Aurinkokeräimien pinta-alat voidaan ilmoittaa kolmena eri pinta-alana, joita ovat bruttopinta-ala, apertuuripinta-ala sekä absorbaattoripinta-ala. Yleisesti keräimien tehovertailussa käytetään apertuuripinta-alaa. [18] Kuvassa 9 on esitetty, mitä eri aurinkokeräimien pinta-alat tarkoittavat.



Kuva 9. Aurinkokeräimien pinta-alat [18].

Keräimen hyötysuhde selviää optisen hyötysuhteen sekä lämmönläpäisykertoimien avulla. Keräimen hyötysuhteeseen vaikuttavat myös keräimen ja ulkoilman välinen lämpötilaero sekä säteilyn voimakkuus. [18] Keräimen hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 1.

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_e} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_e} \quad (1)$$

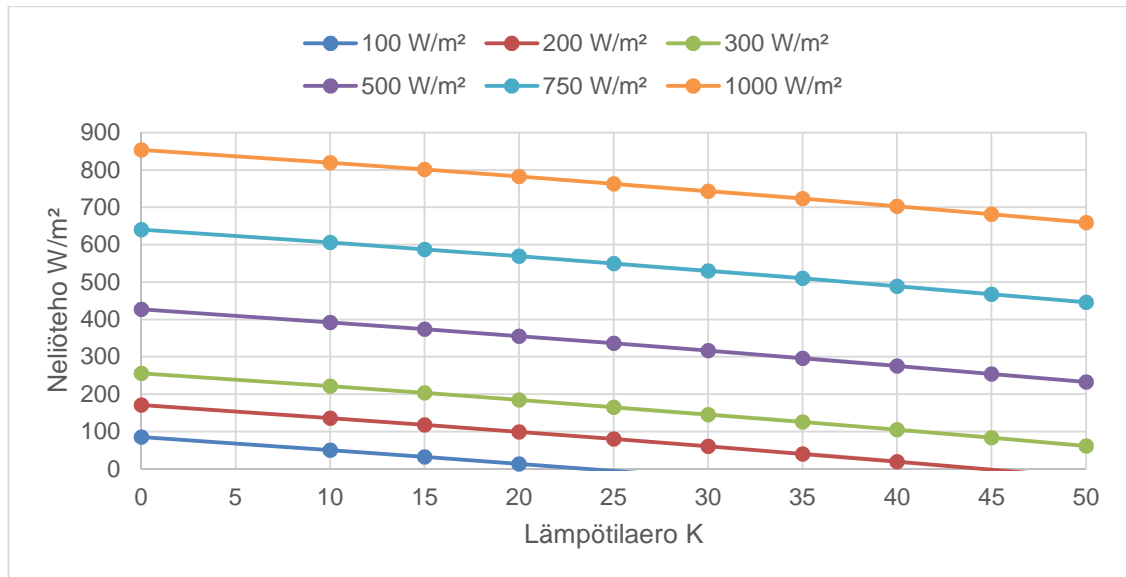
η	keräimen hyötysuhde
η_0	keräimen optinen hyötysuhde
k_1	lämmönläpäisykerroin (W/m ² K)
k_2	toisen potenssin lämmönläpäisykerroin (W/m ² K ²)
ΔT	keräimen ja ulkoilman lämpötilaero (K)
E_e	säteilyn voimakkuus (W/m ²)

Aurinkokeräimien vertailussa on hyvä käyttää hyötysuhdekäyrästä riippuvaa tehokäyrää, joka ilmoitetaan joko tehona keräinmoduulia kohti tai tehona keräinpinta-alaa kohden, jossa kohdepinta-alana on apertuuripinta-ala. [18] Tehon keräinpinta-alaa kohden saa laskettua kaavalla 2.

$$P = \eta * E_e \quad (2)$$

P	keräimen neliömetriteho (W/m ²)
-----	---

Kuvassa 10 on esitetty yhden valmistajan tasokeräimen neliömetritehokäyrät eri säteilyn voimakkuuksilla.



Kuva 10. Neliömetriteho suhteessa lämpötilaeroon eri säteilyn voimakkuuksilla [18].

Neliömetritehonkäyrästä näkee suoraan, millainen tarkastelussa oleva keräin on, koska siitä näkee keräimen suorituskyvyn eri säteilyolosuhteissa. Tämä mahdollistaa keräimien keskinäisen vertailun. Mitä korkeammalla teho- tai hyötysuhdekäyrä ovat käyrästä ja mitä loivemmin käyrät laskevat lämpötilaeron kasvaessa, sitä parempi keräin on tässä vertailutavassa. Keräimien teho- ja hyötysuhdekäyrät ovat matemaattisia eivätkä kerro suoraan keräimen todellista tuottoa. Kaikki vertailussa tarvittavat arvot tulisi olla saatavilla maahantuojilta, ja osa on jo valmiiksi ilmoitettu kauppateksteissä. [18]

Tasokeräimen valinnassa tulee kiinnittää huomiota myös keräimen eristykseen, esimerkiksi jos keräin on suunniteltu toimimaan Etelä-Euroopan ilmastossa, sen eristykset eivät välttämättä riitä Suomen sääolosuhteissa. Jos keräimen tiedoissa ei ilmoiteta eristepaksuutta, eristyksen paksuuden voi helposti varmistaa mittaamalla keräimen paksuuden. Jos keräin on alle 90 mm paksu, sen eristys ei todennäköisesti riitä Suomen olosuhteissa. Tasokeräimen eristepaksuuden tulee olla yli 40 millimetriä. Tasokeräintä valittaessa tulee kiinnittää huomiota myös keräimen lasin paksuuteen, koska liian ohut lasi ei kestä mahdollista lumikuormaa talvella. Hyvänä nyrkkisääntönä voi käyttää, että pinta-alaltaan 2 m² tai sitä suurempi keräin on järkevää valita lasilla, joka on noin 4 mm paksu, vähärautainen karkaistu lasi. [18]

4.1.2 Varaajan ja lämmönsiirtokierukan valinta

Varaajien valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, että varaajassa on sopivat lämmönsiirtokierukat, koska aurinkolämmitys ei yleensä ole ainoana lämmitysmuotona rakennuksessa. Varaajassa tulee olla vähintään kaksi lämmönsiirtokierukkaa tai yksi lämmönsiirtokierukka ja yksi lämpövästus. Varaajien vertailussa kannattaa ottaa huomioon varaajien eristykset, jotka vähentävät energiahäviöitä varaajan vaipan läpi. Varaajan eristyspaksuuden olisi hyvä olla vähintään 100 mm, jotta varaajan lämpöhäviöt saadaan minimoitua. Lisäksi varaajaa valittaessa tulee ottaa huomioon varaajan lämpökerrostuminen. Varaajan tärkein valintaperuste on kuitenkin aina varaajan koko, joka valitaan mitoituksen mukaan. Vaikka varaajan mitoituksessa ilmoitettaisiin, että varaajan koko on 7 000 litraa, ei se välttämättä tarkoita yhtä 7 000 litran varaajaa vaan useampaa pientä rinnankytkettyä varaajaa, jotka ovat jokainen esimerkiksi 500 litraa. Jos yksittäisen varaajan vesitilavuus on liian suuri, ei aurinkolämmityksen lämmönsiirtokierukka pysty lämmittämään varaajan vettä tarpeeksi korkeaan lämpötilaan ja lisälämmitystä tarvitaan jatkuvasti. Varaajan aurinkolämmönvaihdin on joko kampakuparikierukka tai sileäputkikierukka. Kampakuparikierukassa on enemmän lämmönsiirtopinta-alaa kuin sileäputkikierukassa, joten se siirtää lämpöä tehokkaammin varaajan veteen. [18]

4.1.3 Pumppuyksikön valinta

Pumppuyksikkö sisältää suuren osan aurinkolämmitysjärjestelmän tarvitsemista osista. Järjestelmän pumpussa tulee olla hyvät säätömahdollisuudet, jotta järjestelmä saadaan aina optimoitua vallitsevalle säälle. Pumppuyksikössä on tärkeää, että se on varustettu vapaankierron estoilla sekä meno- että paluupuolella. Pumppuyksikkö tulee olla myös varustettu molemmin puolin sulkuventtiileillä, jotta pumpun vaihdon tai huollon yhteydessä ei koko järjestelmää tarvitse tyhjentää lämmönsiirtonesteestä. Pumppuyksikköön on mahdollista saada myös yksinkertainen energiamittari, joka on suositeltava. Sen kautta järjestelmän energiantuottoa on helppo seurata. Pumppuyksikössä on myös virtausmittari, joka toimii yleensä virtausalueella 1–14 l/min. Pumppuyksikköön kuuluu myös paisunta-astia ja muut varolaitteet, jotka valitaan mitoituksen mukaan. Pumppuyksikössä on huomioitava myös sen lämmönkesto, koska aurinkolämmitysjärjestelmässä kiertävän nesteen lämpötila voi nousta korkeaksi. [15; 18]

4.1.4 Ohjausyksikön valinta

Ohjausyksikön tulee olla yhteensopiva pumppuyksikön kanssa, siksi suuressa osassa aurinkolämmitysjärjestelmien pumppuyksiköistä on ohjausyksikkö valmiina. Ohjausyksikön valinnassa on huomioitava hyvät säätömahdollisuudet, koska järjestelmä on kyettävä optimoimaan olosuhteiden muuttuessa. Ohjausyksikköön on mahdollista saada myös jälkilämmityksen ohjaus sekä energiamittaus, tai sillä voidaan hoitaa vaikka kokolämmitysjärjestelmän ohjaus. On olemassa myös ohjausyksiköitä jotka toimivat vain on/off -kytkimenä, mutta tämä heikentää aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoa huomattavasti. Ohjausyksikkö tulee valita aina omaan järjestelmään sopivaksi. [18]

4.1.5 Yhdysputkiston valinta

Yhdysputkisto valitaan aina mitoituksen mukaan. Putkistomateriaalin valinta vaikuttaa putkiston lämpölaajenemiseen ja putken halkaisijaan. Yhdysputkistoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon sen lämpölaajeneminen, koska aurinkolämmitysjärjestelmän putkiston lämpötilaerot ovat suuria. Esimerkiksi 10 metriä kupariputkea laajenee 17 millimetriä 100 kelvinin lämpötilaerolla. Lisäksi putkistomateriaalia valittaessa on otettava huomioon putken lämmönkestävyys, jonka tulee olla yli 160 celsiusastetta. Putkiston valintaan kuuluu myös putkiston eristys, jonka valinnassa tulee ottaa huomioon sen eristävyys sekä lämmönkestävyys. Varsinkin silloin kun putkiston pituus kasvaa, on kiinnitettävä enemmän huomiota siihen, että putkisto on asianmukaisesti eristetty. Putkiston eristyksen tulee vähintään olla 14 mm:n solukumieristys, jonka lämmönjohtavuus on noin 0,04 W/m*K. [18; 19]

4.2 Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton laskenta

Tasokeräinten määrällä ja pinta-alalla on suuri merkitys aurinkolämmitysjärjestelmän energian tuottoon. Tässä työssä lasketaan aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoa, kun sitä käytetään rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Tuoton laskennan yhteydessä tulee huomioida myös energian varastointi. Kun lähdetään suunnittelemaan aurinkolämmitysjärjestelmän keräinten määrää sekä varaajan kokoa, tulee ensin selvittää, mikä on kyseisen rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve, jotta keräinten määrä sekä varaajan koko voidaan optimoida kyseiselle rakennukselle.

Tuoton laskennan lähtötietoina käytetään tässä työssä Turun keskustassa sijaitsevaa kahdeksankerroksista asuinkerrostaloa, jossa on 160 asuntoa. Turussa sijaitsevan rakennuksen säävyöhyke on kuvan 1 mukaan I. Käyttöveden kulutusta on seurattu vuonna 2014.

Lämpimän veden kulutukseksi on arvioitu 40 % vedenkulutuksesta. Lämpimän käyttöveden kuukausittainen lämmityksen tarve, jossa huomioidaan jakeluhäviöt, lasketaan kaavalla 3. Rakennuksen lämpimässä käyttövedessä käytetään kiertojohtoa, joten lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteena käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukon 6.3 mukaan lukuarvoa 0,97. [20]

$$Q_{tarve,A} = LKV_{kulutus/kk} * \frac{1kg}{l} * \frac{4,19kJ}{kgK} * 50K * \frac{1}{0,97} \quad (3)$$

$Q_{tarve,A}$ lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve (kWh/kk)

$LKV_{kulutus/kk}$ lämpimän käyttöveden kulutus kuukaudessa (l/kk)

Rakennuksen käyttöveden kulutukset sekä lämpimän käyttöveden lämmityksen tarpeen laskentatulokset näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Vedenkulutukset ja LKV:n lämmityksen tarve asuinkerrostalossa

	Vedenkulutus m ³	LKV kulutus m ³	Qtarve,A kWh/kk
Tammikuu	696,2	278,5	16707
Helmikuu	629,1	251,6	13636
Maaliskuu	704,8	281,9	16914
Huhtikuu	682,1	272,8	15841
Toukokuu	704,8	281,9	16914
Kesäkuu	682,1	272,8	15841
Heinäkuu	653,1	261,2	15673
Elokuu	649,5	259,8	15587
Syyskuu	628,5	251,4	14596
Lokakuu	649,5	259,8	15587
Marraskuu	628,5	251,4	14596
Joulukuu	649,5	259,8	15587

Keräimet on asennettu rakennuksen katolle 45 asteen kulmaan ja suunnattu kaakkoon. Säteilyarvoina käytetään testivuoden 2012 säteilyarvoja vyöhykkeellä I. Kokonaissäteilyenergiat 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna on esitetty liitteessä 1. Keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa saadaan laskettua kaavasta 4 [20].

$$sP_{kk} = q_{45kk} * 1000 / \frac{h}{kk} \quad (4)$$

sP_{kk}	keskimääräinen säteilyteho/kk (W/m ²)
q_{45kk}	säteily kallistetulle pinnalle (kWh/m ² /kk)
$\frac{h}{kk}$	tunteja/kuukausi (h)

Taulukossa 2 on esitetty kokonaissäteilyenergiat 45 astetta kallistetulle pinnalle kaakkoon suunnattuna sekä keskimääräiset säteilytehot vyöhykkeellä I [20].

Taulukko 2. Kokonaissäteilyenergiat sekä keskimääräiset säteilytehot

	Kokonaissäteilyenergia kWh/m ²	Keskimääräinen säteilyteho W/m ²
Tammikuu	11	14
Helmikuu	37	56
Maaliskuu	95	128
Huhtikuu	143	199
Toukokuu	178	240
Kesäkuu	164	227
Heinäkuu	184	247
Elokuu	151	202
Syyskuu	111	154
Lokakuu	37	50
Marraskuu	14	19
Joulukuu	9	12

Valitaan 15 kappaletta tasokeräimiä, joiden tiedot näkyvät taulukossa 3. Lisäksi valitaan keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin (IAM), joka on oletuksena lasikatteiselle tasokeräimelle 0,94. Sen jälkeen lasketaan keräinpiirin putkiston sekä keräinpiirin lämpöhäviöt ja valitaan keräinpiirin hyötysuhde. [20]

Taulukko 3. Keräimen tiedot

Keräimen tiedot:		
Apertuuripinta-ala	2,37	m ² /kpl
Optinen hyötysuhde	0,854	
a1	3,37	W/m ² K
a2	0,0104	W/m ² K ²

Lasketaan keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin kaavalla 5 [20].

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

U_L keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (W/K)

A keräinten pinta-ala (m²)

Lisäksi lasketaan keräinpiirin lämpöhäviökerroin kaavalla 6 [20].

$$U_C = a1 + 40 * a2 + U_L/A \quad (6)$$

U_C keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m²K)

$a1$ keräinpinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin (W/m²K)

$a2$ keräinpinta-alaa vastaava häviökerroin (W/m²K²)

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökertoimeksi saadaan 22,78 W/K ja sitä kautta keräinpiirin lämpöhäviökertoimeksi 4,43 W/m²K. Keräinpiirin hyötysuhteena käytetään oletusarvoa $\eta_{kierto} = 0,8$.

Aurinkolämmön varaaaja valitaan yleensä pienissä kohteissa vastaamaan noin kahden päivän lämpimän veden kulutusta [8]. Näin ei kuitenkaan voi toimia, kun kohteena on suuri asuinkerrostalo. Varaajan koko pitää suuressa kohteessa valita keräinpinta-alan mukaan, johon käytiin tässä laskelmassa arvoa 70 litraa/keräin (28 dm³/keräin-m²). Aurinkolämmön varaajan tilavuudeksi valitaan 1 000 litraa. Koska varaajan tilavuus poikkeaa aurinko-oppaan referenssitilavuudesta, pitää laskea varaajakapasiteetin korjauskerroin kaavalla 7. [20]

$$C_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}}\right)^{-0,25} \quad (7)$$

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

Varaajakapasiteetin korjauskertoimeksi saadaan 1 000 litran varaajalla 1,278.

Seuraavaksi lasketaan referenssilämpötilaerot (ΔT), joita varten pitää laskea ensin sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila kaavalla 8 [20].

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad (8)$$

θ_{ref}	sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
θ_{hw}	lämpimän käyttöveden minimilämpötila, joka on $40 \text{ } (^{\circ}\text{C})$
θ_{cw}	kylmän veden lämpötila, joka on $5 \text{ } (^{\circ}\text{C})$
θ_e	tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

Lasketaan vielä referenssilämpötilaerot kaavalla 9 [20].

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

Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila, tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila sekä referenssilämpötilaerot nähdään taulukosta 4.

Taulukko 4. Referenssilämpötilaerot

	Θ_e °C	Θ_{ref} °C	ΔT K
Tammikuu	-4	83,38	87,38
Helmikuu	-4,5	84,04	88,54
Maaliskuu	-2,6	81,53	84,13
Huhtikuu	4,5	72,16	67,66
Toukokuu	10,8	63,84	53,04
Kesäkuu	14,2	59,36	45,16
Heinäkuu	17,3	55,26	37,96
Elokuu	16,1	56,85	40,75
Syyskuu	10,5	64,24	53,74
Lokakuu	6,2	69,92	63,72
Marraskuu	0,5	77,44	76,94
Joulukuu	-2,2	81,00	83,20

Seuraavaksi lasketaan jokaiselle kuukaudelle erikseen dimensiottomat suureet X ja Y, joista X kertoo häviöiden suhteen tarpeeseen ja Y kertoo tuoton suhteen tarpeeseen. Suureet X ja Y lasketaan kaavoilla 10 ja 11. [20]

$$X = \frac{A \cdot U_c \cdot \eta_{kierto} \cdot \Delta T \cdot t_h \cdot c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (10)$$

t_h tarkastelujakson pituus (h)

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (11)$$

$Q_{keräin}$ auringon säteilyenergia aurinkokeräinten pinnalle tarkastelujaksolla (kWh/m²)

Kun dimensiottomat suureet X ja Y on laskettu, voidaan laskea aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto kaavalla 12 [20].

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \cdot Q_{tarve,A} \quad (12)$$

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

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

c_{tyyppi} varaajatyypin korjauskerroin, joka on vakio tässä menetelmässä.

a, b, c, d, e, f myös varaajatyypin korjauskertoimia, jotka ovat myös vakioita tässä menetelmässä.

X suhde häviöt/tarve.

Y suhde tuotto/tarve.

Varaajatyypin korjauskertoimet on esitetty liitteessä 2.

Kun kaikki arvot on laskettu, saadaan taulukko, josta nähdään aurinkolämmitysjärjestelmän tuottama energia kuukausitasolla, josta voidaan laskea vuosituotto. Taulukossa 5 on esitetty lasketut suureet X ja Y sekä aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto.

Taulukko 5. Aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla

	X	Y	Qtuotto,A kWh
Tammikuu	0,63	0,01	0
Helmikuu	0,70	0,06	253
Maaliskuu	0,60	0,13	1518
Huhtikuu	0,49	0,21	2704
Toukokuu	0,38	0,24	3545
Kesäkuu	0,33	0,24	3295
Heinäkuu	0,29	0,27	3752
Elokuu	0,31	0,22	3039
Syyskuu	0,43	0,17	2097
Lokakuu	0,49	0,05	374
Marraskuu	0,61	0,02	0
Joulukuu	0,64	0,01	0
		Vuosi	20578

Jos $Q_{tuotto,A} < 0$, on $Q_{tuotto,A}$ ilmoitettu taulukossa arvona 0 tai jos $Q_{tuotto,A} > Q_{tarve,A}$, on $Q_{tuotto,A}$ ilmoitettu taulukossa $Q_{tarve,A}$ arvolla [20].

Lasketaan vielä aurinkolämmitysjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus, mitä varten lasketaan ensin pumpun arvioitu teho kaavalla 13, koska järjestelmän pumpun tehosta ei ole tarkkaa tietoa [20].

$$P_{pumppu} = \frac{(50+5*A)}{1000} \quad (13)$$

P_{pumppu} pumpun teho (kW)

Saadaan pumpun tehoksi 0,228 kW. Tämän jälkeen lasketaan aurinkolämmitysjärjestelmän pumpun sähköenergiankulutus kaavalla 14 [20]. Jos pumppuja on enemmän kuin yksi, lasketaan pumppujen sähköenergiankulutukset yhteen.

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

$W_{aurinko,pumput}$ pumppujen sähköenergiankulutus vuodessa (kWh/a)

t_{pumppu} pumpun käyttöaika (h/a)

Käytetään pumpun käyttöaikana oletusarvoa 2000 h/a ja saadaan pumpun sähköenergiankulutukseksi 456 kWh/a. Taulukosta 1 voidaan laskea, että vuotuinen käyttöveden lämmityksen tarve kohteessa on 187476 kWh/a, josta 20578 kWh/a voidaan tuottaa aurinkolämmitysjärjestelmällä. Aurinkolämmitysjärjestelmän hyöty näin ollen on pienellä sähköenergiankulutuksella noin 11 % koko käyttöveden lämmityksen tarpeesta, kun keräimiä on 15 kpl ja niiden pinta-ala on 35,55 m² ja varaajan tilavuus 1 000 litraa.

4.3 Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton optimointi

4.3.1 Keräinmäärän ja varaaja koon vaikutus

Tein aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton laskennasta Excel-laskurin, jolla voidaan optimoida aurinkolämmitysjärjestelmä tuotto rakennukseen sopivaksi. Käyttäen hyväksi luvussa 4.2 Aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton laskenta ollutta kohdetta voidaan helposti keräinpinta-alaa ja varaajan kokoa muuttamalla nähdä niiden vaikutus aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon. Lisäksi laskurissa voidaan vaihtaa tasokeräimen tietoja ja nähdä, mikä on tasokeräimen vaikutus aurinkolämmitysjärjestelmässä.

Ensin sijoitin kohteeseen 100 kpl samanlaisia keräimiä kuin aikaisemmassa laskelmasa ja valitsin varaajan kooksi 18 000 litraa (76 dm³/keräin-m²), joka vastaa esimerkkira-

kennuksessa kahden päivän lämpimän käyttöveden kulutusta. Laskennan tulokset on nähtävillä taulukossa 6.

Taulukko 6. Aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto, 100 kpl keräimiä ja 18 000 l varaaja

	X	Y	Qtuotto,A kWh	Qtarve,A kWh
Tammikuu	3,17	0,10	0	16707
Helmikuu	3,55	0,42	2445	13636
Maaliskuu	3,01	0,85	9032	16914
Huhtikuu	2,50	1,38	13583	15841
Toukokuu	1,90	1,60	16781	16914
Kesäkuu	1,67	1,57	15715	15841
Heinäkuu	1,47	1,78	15673	15673
Elokuu	1,58	1,47	14853	15587
Syyskuu	2,16	1,16	11138	14596
Lokakuu	2,48	0,36	3002	15587
Marraskuu	3,09	0,15	0	14596
Joulukuu	3,23	0,09	0	15587
		Vuosi	102222	187476

Järjestelmän tuotto ei ylittänyt käyttöveden lämmityksen tarvetta muuta kuin kesäkuussa, joten järjestelmästä saatava vuosituotto on noin 54 % koko lämpimän käyttöveden lämmityksen tarpeesta. 100 kpl aurinkokeräimiä rakennuksen katolla ei välttämättä ole järkevä tai edes mahdollinen ratkaisu, koska rakennuksen katolla ei riittäisi tilaa keräimille. Vaikka rakennuksen katolla riittäisikin tilaa asentaa 100 kpl aurinkokeräimiä, ongelmaksi voisi syntyä keräinten painon vaikutus rakennuksen kattorakenteisiin, joita ei ole suunniteltu kestäämään aurinkokeräinten painoa. Erittäin ison järjestelmän ongelmaksi voisi syntyä myös varaajan koko. Jos esimerkiksi rakennuksessa on pieni lämmönjakuhuone, varaajille tulisi löytää jokin toinen sijoituspaikka rakennuksessa. Mitä kauempana sijoituspaikka on lämmönjakuhuoneesta, sitä suuremmaksi järjestelmän häviöt kasvavat. Lisäksi järjestelmän hinta voisi nousta korkeaksi.

Seuraavaksi asetin varaajan kooksi vain 500 litraa ($2 \text{ dm}^3/\text{keräin-m}^2$), jotta nähtiin, miten pienempi varaaja vaikuttaa aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon. Tulokset nähdään taulukosta 7.

Taulukko 7. Aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto, 100 kpl keräimiä ja 500 l varaaja

	X	Y	Qtuotto,A kWh	Qtarve,A kWh
Tammikuu	7,76	0,10	0	16707
Helmikuu	8,70	0,42	0	13636
Maaliskuu	7,38	0,85	5612	16914
Huhtikuu	6,13	1,38	10740	15841
Toukokuu	4,65	1,60	14303	16914
Kesäkuu	4,09	1,57	13619	15841
Heinäkuu	3,59	1,78	15161	15673
Elokuu	3,88	1,47	12879	15587
Syyskuu	5,29	1,16	8783	14596
Lokakuu	6,06	0,36	226	15587
Marraskuu	7,57	0,15	0	14596
Joulukuu	7,92	0,09	0	15587
		Vuosi	81324	187476

Järjestelmän tuotto ei ylittänyt enää kesäkuussakaan tarvetta ja järjestelmän vuosituotoksi saadaan noin 43 %. Kuitenkin hyödyttömien kuukausien määrä kasvoi kolmesta neljään, ja kaikki keräinmäärää koskevat ongelmat pysyivät samana ensimmäisessä järjestelmässä.

Tämän jälkeen vähensin keräinmäärän takaisin 15 kpl:seen ja valitsin varaajan kooksi 18 000 litraa ($507 \text{ dm}^3/\text{keräin-m}^2$), jotta nähtiin, millainen vaikutus varaajan kasvattamisella on aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon. Tulokset nähdään taulukosta 8.

Taulukko 8. Aurinkolämmitysjärjestelmän tuotto, 15 kpl keräimiä ja 18 000 l varaaja

	X	Y	Qtuotto,A kWh	Qtarve,A kWh
Tammikuu	0,30	0,01	0	16707
Helmikuu	0,34	0,06	564	13636
Maaliskuu	0,29	0,13	1847	16914
Huhtikuu	0,24	0,21	2960	15841
Toukokuu	0,18	0,24	3754	16914
Kesäkuu	0,16	0,24	3468	15841
Heinäkuu	0,14	0,27	3902	15673
Elokuu	0,15	0,22	3200	15587
Syyskuu	0,21	0,17	2302	14596
Lokakuu	0,24	0,05	624	15587
Marraskuu	0,30	0,02	48	14596
Joulukuu	0,31	0,01	0	15587
		Vuosi	22670	187476

Taulukosta 8 nähdään, että järjestelmän tuotto kasvoi vain 1 %, kun varaajakokoa kasvatettiin 18-kertaiseksi. Tästä voidaan helposti päätellä, ettei varaajan koon kasvattamisella saada aikaan suuria muutoksia tuotossa. Lisäksi 18 000 litran varaajatilavuutta ei saada kokonaan lämmitettyä aurinkolämmöllä ja lisälämmönlähdettä joudutaan käyttämään, jotta varaajan lämpötila saadaan tarpeeksi korkealle. Siten liian suuresta varaajan kasvattamisesta saatava hyöty aurinkolämmitysjärjestelmässä on todennäköisesti haitta, jos koko lämmitysjärjestelmä otetaan laskennassa huomioon.

Järjestelmiä vertaillessa huomataan, että aurinkokeräinten määrällä on erittäin suuri vaikutus järjestelmän energiantuottoon ja varaajan koolla vaikutus on pienempi. Joten järjestelmän tuottoa optimoidessa tulee ottaa huomioon kohteena olevan suuren rakennuksen mahdollisuudet sijoittaa aurinkolämmitysjärjestelmä ja antaa enemmän painoarvoa keräinten määrälle kuin varaajan koolle. Varaajien alimitoitus leikkaa helposti tuottavia kuukausia, koska aurinko paistaa pimeämpinä kuukausina vain rajallisesti. Energiaa tulisi varastoida mahdollisimman paljon myöhempää käyttöä varten. Vertailussa huomattiin myös, ettei suuressa asuinkerrostalossa voida helposti ylittää aurinkolämmitysjärjestelmää, vaikka aurinkolämmitystä käytettäisiin vain käyttöveden lämmitykseen. Asuinkerrostalon vedenkulutus on niin suurta myös kesäaikaan, että sen lämmittämiseen vaadittava keräinmäärä on usein paljon suurempi kuin rakennukseen on mahdollista sijoittaa. Jos on mahdollista, rakennukseen voidaan asentaa suuri määrä varaajia, joilla voidaan kattaa osa käyttöveden lämmityksen tarpeesta heikkona

tuotantohetkenä. Varaajien tulisi olla kooltaan sopivan kokoisia (noin 500 l), ja ne tulisi kytkeä rinnan. Lisäksi ohjausjärjestelmän tulisi pitää huolta siitä, että varaajia otettaisiin käyttöön portaittain lämmitysenergian saatavuuden mukaan.

Optimaalinen keräinmäärä esimerkkikohteessa olisi arviolta 30 kappaletta, ja optimaalinen varaajatilavuus olisi 100 litraa/keräin, toisin kuin laskentaesimerkissä käytetty 70 litraa/keräin. Tuottolaskennan mukaan tällä saataisiin tuotettua noin 21 % rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmityksen tarpeesta vuositasolla, ja järjestelmä kuluttaisi vain 811 kWh sähköä vuodessa. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska 30 keräintä olisi kyseisessä rakennuksessa vielä mahdollista asentaa rakennuksen katolle ja 3 000 litran varaaja mahtuisi lämmönjakohuoneeseen, joten varaajille ei tarvitsisi löytää toista sijoituspaikkaa. 30 keräintä pystyisi kesäkuukausina lämmittämään noin 40 % koko lämpimän käyttöveden lämmityksen tarpeesta.

Tarkempaa optimointia varten tulisi laskea järjestelmän takaisinmaksuaikoja, joissa otetaan huomioon järjestelmän asennuskustannukset ja mahdollisesti vaatimat julkisivumuutokset. Tulisi tehdä tarkempi tarkastelu toimenpiteistä, joita suuren keräinmäärän asennus rakennuksen katolle vaatisi. Lisäksi olisi hyvä tutkia, saataisiinko keräimet suunnattu paremmin ja kuinka suurilla vaikutuksilla sillä olisi aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoon.

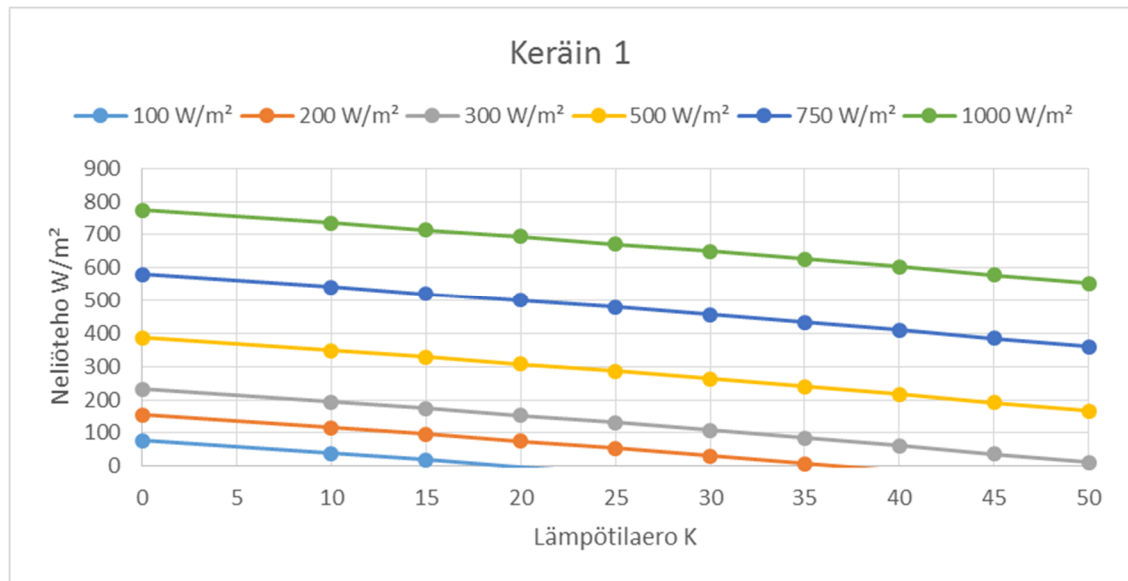
4.3.2 Tasokeräimen valinnan vaikutus järjestelmän tuottoon

Valitsin tässä työssä vertailtavaksi kaksi erilaista tasokeräintä, joita vertaillaan esimerkkikohteessa varaaja tilavuudella 1 000 litraa. Tasokeräimet on valittu niin, että keräin 1 on selvästi heikompi kuin keräin 2, jotta saadaan vertailulle mahdollisimman havainnollistavat tulokset. Tasokeräinten tiedot on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Tasokeräinten tiedot

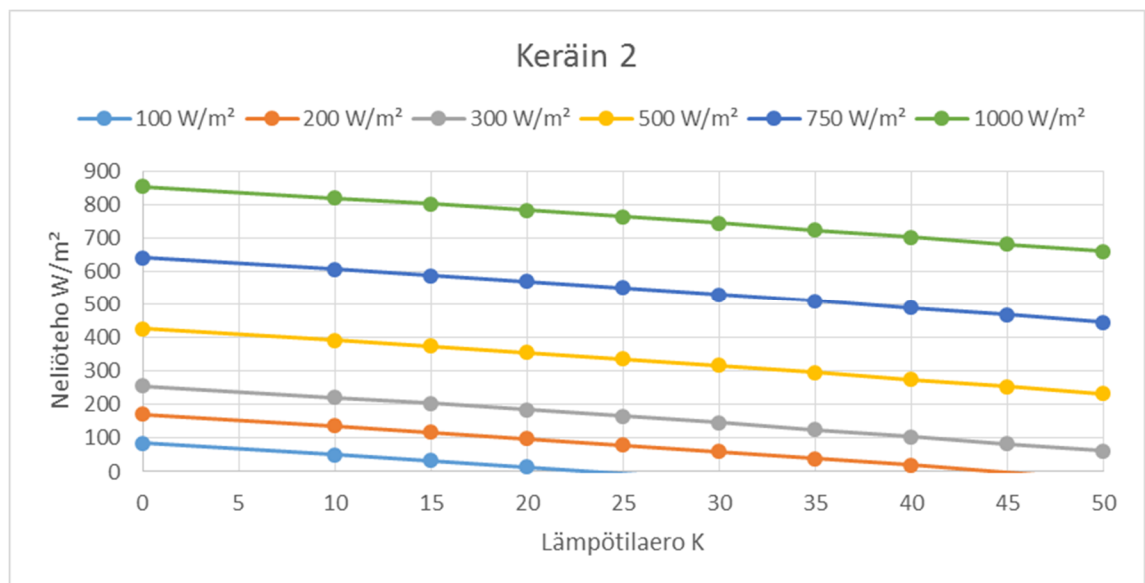
	Keräin 1:	Keräin 2:	
Apertuuripinta-ala	1,88	2,37	m ²
Optinen Hyötysuhde	0,773	0,854	
a1	3,676	3,37	W/m ² K
a2	0,0143	0,0104	W/m ² K

Keräimen 1 neliömetritehokäyrä on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Keräimen 1 neliömetritehokäyrä.

Keräimen 2 neliömetritehokäyrä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Keräimen 2 neliömetritehokäyrä

Keräinten neliömetritehokäyristä voidaan paremmin havaita, että keräin 1 on ominaisuuksiltaan heikempi kuin keräin 2, koska keräimen 2 tehokäyrät ovat käyrästä ylemmänä ja laskevat loivemmin kuin keräimen 1.

Laskelmissa käytetään samaa keräinpinta-alaa, mikä tarkoittaa sitä, että keräintä 1 pitää asentaa kolme kappaletta enemmän kuin keräintä 2. Saman keräinpinta-alan käyttö mahdollistaa keräinten paremman vertailun ja vaikutukset ovat paremmin havaittavissa. Keräinten tuoton vertailu on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Keräinten vertailu

	Keräin 1:	Keräin 2:
	Qtuotto,A kWh	Qtuotto,A kWh
Tammikuu	0	0
Helmikuu	110	253
Maaliskuu	1253	1518
Huhtikuu	2362	2704
Toukokuu	3148	3545
Kesäkuu	2934	3295
Heinäkuu	3361	3752
Elokuu	2704	3039
Syyskuu	1828	2097
Lokakuu	243	374
Marraskuu	0	0
Joulukuu	0	0
Vuosi	17942	20578

Vuotuinen käyttöveden lämmityksen tarve esimerkkitilanteessa oli 187 476 kWh, josta keräimellä 1 saadaan tuotettua 9.5 % ja keräimellä 2 saadaan 11 %. Tästä voidaan päätellä, että keräimen valinnalla on suuri vaikutus järjestelmän tuottoon.

5 Yhteenveto

Aurinkolämmitys on vielä murroksessa oleva lämmitysmuoto. Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, mitkä ovat aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntämismahdollisuudet asuinkerrostalossa. Ensin käytiin läpi, mikä on aurinkolämmitysjärjestelmä ja sen toimintaperiaate. Sen jälkeen selvitettiin, miten aurinkolämmitysjärjestelmän osat voidaan valita ja mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota osia valittaessa. Sen jälkeen laskettiin aurinkolämmitysjärjestelmän tuottoja asuinkerrostalossa ja huomattiin, että aurinkolämmitysjärjestelmällä voidaan lämmittää vain osa käyttöveden lämmityksen tarpeesta myös valoisina kuukausina. Tästä pääteltiin, että optimaalinen keräinmäärä ja varaajan koko on enemmän kiinni siitä, paljon aurinkokeräimiä voidaan rakennukseen sijoittaa ja kuinka monta varaajaa voidaan sijoittaa vanhaan lämmönjakohuoneeseen. Ylimoituksen vaaraa suurissa asuinkerrostaloissa ei työssä käytetyllä laskentamenetelmällä ole.

Insinööriyöstä selvisi, että aurinkolämmitysjärjestelmällä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja saada säästöä ostoenergiantarpeesta. Tarkempia päätelmiä voidaan kuitenkin tehdä vasta kun selvitetään aurinkolämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaikoja. Työtä voitaisiin jatkaa mittaamalla esimerkkirakennuksen aurinkolämmöntuottoa ja laskea aurinkolämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaikoja. Tästä saataisiin selville aurinkolämmitysjärjestelmän todellinen tuotto rakennuksessa ja voitaisiin arvioida, onko aurinkolämmitysjärjestelmä vain rakennuksen energiatehokkuutta ja imagoa parantava ratkaisu vai myös taloudellisesti kannattava sijoitus.

Lähteet

- 1 Aurinkoenergia. 2015. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>>. Luettu 20.3.2015.
- 2 Lemmetyinen, Helge. 2012. Aurinkoenergia Orgaaniset ja polymeeriset aurinkokennot Potentiaalinen huokea PV-tekniikka. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. <http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/lemmetyinen_helge.pdf>. Luettu 20.3.2015.
- 3 Jylhä, Kirsti, Kalamees, Targo, Tietäväinen, Hanna, Ruosteenoja, Kimmo, Jokisalo, Juha, Hyvönen, Reijo, Ilomets, Simo, Saku, Seppo & Hutila, Asko. 2012. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=dbdff25e-e174-440a-a7b2-46ef9f54380b&groupId=30106>. Luettu 20.3.2015.
- 4 Auringosta lämpöä ja sähköä. 2014. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/files/9698/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2014.pdf>. Luettu 21.3.2015
- 5 Kääriäinen, A. 2013. Aurinkoa, jopas! Johdatus, opastus ja perehdytys aurinkoenergian saloihin. Ekokumppanit Oy. Verkkodokumentti. <http://neuvoo.fi/Portals/rane/files_materiaali/Aurinko-opas-v11.pdf>. Luettu 21.3.2015
- 6 Aurinkolämmitys. 2015. Verkkodokumentti. Kaukora. <<http://www.kaukora.fi/hybridilammitys/aurinkolammitys>>. Luettu 19.3.2015.
- 7 Aurinkoenergia – viisas valinta. 2015. Verkkodokumentti. Aurinkovoima. <<http://www.aurinkovoima.fi/fi/sivut/aurinkoenergia>>. Luettu 19.3.2015.
- 8 Aurinkolämmön itserakennus opas. 2006. Verkkodokumentti. SOLPROS. <<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>>. Luettu 21.3.2015.
- 9 Aurinkoenergialla lämmintä käyttövettä. 2014. Verkkodokumentti. Solarblue. <<http://www.solarblue.fi/tuotteet.html>>. Luettu 21.3.2015.
- 10 Silomaa, Timo. 2011. Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 11 Aurinkolämpökeräin. 2009. Verkkodokumentti. SirRai. <<http://www.sirrai.com/html/img/aurinkolampo/FK6300leikkaus.jpg>>. Luettu 22.3.2015.

- 12 Heat pipe -putki. 2014. Verkkodokumentti. Sepratec.
<<http://www.sepratec.fi/com/images/sepras1.jpg>>. Luettu 27.3.2015.
- 13 Varaaja. 2015. Verkkodokumentti. Energiakauppa.
<<http://www.energiakauppa.com/Kaeyttoevesi-energiavaraaja>>. Luettu 27.3.2015.
- 14 Jäspi Solar Pak aurinkojärjestelmät. 2013. Verkkodokumentti. Kaukora.
<http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/kayttoohjeet/Kayttoohje_Jaspi_Solar_PAK.pdf>. Luettu 27.3.2015.
- 15 OEG Twin Line pumppuyksikkö. 2015. Verkkodokumentti. Pexos.
<http://www.pexos.fi/Verkkokauppa/images/OEG_pumppuyksikko.jpg>. Luettu 27.3.2015.
- 16 Ohjausyksikkö. 2015. Verkkodokumentti. Resol.
<http://images.resol.de/Zusatzfotos/ALS15Ablaufschlauch_offen.jpg>. Luettu 27.3.2015
- 17 Aurinkolämpö. 2015. Verkkodokumentti. Energiakauppa.
<http://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe/Putkilinja>. Luettu 28.3.2015
- 18 Jodat, Timo. 2012. Ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestelmäopas 2012. Verkkodokumentti. Jodat Ympäristöenergia Oy. < http://www.solution-concerto.org/IMG/pdf/Microsoft_Word_-_SOL_Ohje_Aurikolampojarjestelman_itserakennuskurssi_2010-2.pdf>. Luettu 2.4.2015
- 19 Armaflex DuoSolar. 2013. Verkkodokumentti. Armacell.
<[http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/ArmaflexDusolarFIN.pdf/\\$File/ArmaflexDusolarFIN.pdf](http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/ArmaflexDusolarFIN.pdf/$File/ArmaflexDusolarFIN.pdf)>. Luettu 3.4.2015
- 20 Aurinko-opas 2012. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%257D%2F30750&ei=eHgeVbbSN8eVsgGGtoDwDQ&usg=AFQjCNF4kqSOeVwxZSCnwtqM2_4Tu-1cFQ&bvm=bv.89947451,d.bGg>. Luettu 3.4.2015

Kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle

Kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä I ja II, kWh/m ²									
2012									
	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu	
Tammikuu	5,2	5,2	6,2	10,7	13,1	10,7	6,3	5,2	
Helmikuu	15,4	15,8	23,5	37,3	44,3	36,8	22,6	15,6	
Maaliskuu	38,1	44,4	66,3	94,9	106,7	90,3	63,1	42,5	
Huhtikuu	51,5	73,7	108,8	143,4	154,9	142,7	114,3	72,8	
Toukokuu	71,8	106,9	148,9	178,3	183	171,8	147,3	100,3	
Kesäkuu	91,9	115,2	148	163,6	167,6	168,4	156,1	120,2	
Heinäkuu	83	117,4	156,1	183,6	189,8	187,5	169,1	117,6	
Elokuu	60	87,2	123,5	150,5	152,1	136,9	113,7	78,7	
Syyskuu	34,8	47,1	76,2	110,8	126,9	112,3	81,3	46,9	
Lokakuu	17,1	18,1	25,6	37,2	44,3	38,7	26,9	18,5	
Marraskuu	6,2	6,2	8	14	17	13,9	8,1	6,2	
Joulukuu	3,6	3,6	4,2	8,8	11,2	9,1	4,6	3,6	
Koko vuosi	478,5	640,8	895,4	1133,2	1210,9	1119,1	913,3	628,1	

Varaajatyypin korjauskertoimet

Ctyyppi	1
a	1,029
b	-0,065
c	-0,245
d	0,0018
e	0,0215
f	0