

Hybridilämmitysratkaisun toimivuus

Emma Laitinen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Laitinen, Emma	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 39	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Hybridilämmitysratkaisun toimivuus		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka, Lähdesmäki Pekka		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Energia Oy		
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen toimeksiantaja oli Jyväskylän Energia Oy. Jyväskylän asuntomessualueelle toteutettiin 2014 Talo a, jossa pilotoitiin uudenlaista hybridilämmitysratkaisua. Siinä kiinteistön aurinkokeräinten tuottama ylijäämälämpö myydään kaukolämpölaitokselle syöttämällä se kaukolämpöverkkoon. Järjestelmä ei ollut suurimmilta osin toiminut halutulla tavalla ja aurinkolämmön tuotto ja myynti olivat jääneet melko vähäisiksi.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata järjestelmän toimintaperiaate ja selvittää mahdollisia syitä järjestelmän käytön aikana esiintyneisiin ongelmiin, etsiä syitä tuotetun aurinkolämmön vähäiseen määrään sekä löytää potentiaalisia kohtia jatkotutkimuksia varten.</p> <p>Tutkimus tehtiin case-tutkimuksena. Opinnäytetyön tietoperusta kerättiin lähinnä toimeksiantajan materiaalista ja alan julkaisuista. Järjestelmän toiminta kuvattiin tarkasti ja tunnistettiin työn kannalta tärkeät mittauspisteet. Mittausdataa kerättiin ja sen pohjalta laadittiin havainnollistavat kuvaajat. Työssä tunnistettiin ne järjestelmän osat, jotka saattavat vaikuttaa sen toimintaan negatiivisesti.</p> <p>Lopputuloksena selvitettiin, että aurinkolämmön paremman hyödyntämisen kannalta tulisi aurinkolämpöä voida välivarastoida varaajaan. Kaukolämpöverkon läheisyydellä todettiin olevan vaikutusta järjestelmän toimintaan. Todettiin, että matalalämpöverkko olisi hyvä vaihtoehto aurinkolämmön rinnalle muun muassa siksi, että aurinkokeräimet toimivat paremmalla hyötysuhteella matalammissa lämpötiloissa. Aurinkolämmön todettiin vaikuttavan kaukolämmön jäähtymään negatiivisesti, sillä kaukolämpöverkkoon syötetty aurinkolämpö vaikutti jäädyttävän kaukolämpöverkon menopuolta. Todettiin, että olisi hyvä tehdä aurinkolämmityksen soveltuvuusvertailu kattosäteilypaneelien ja lattialämmityksen välillä. Myös matalalämpöverkon toteutuksen tarkempi tutkiminen todettiin aiheelliseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) hybridilämmitys, aurinkolämpö, kaksisuuntainen kaukolämpö, matalalämpöverkko		
Muut tiedot		

Author(s) Laitinen, Emma	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017
	Number of pages 39	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: X
Title of publication Functionality of Hybrid Heating System		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Lähdesmäki Pekka		
Assigned by Jyväskylän Energia Oy		
Description <p>The thesis was assigned by Jyväskylän Energia Oy. During Jyväskylä Housing Fair in 2014, a hybrid heating solution was piloted in one of the town houses. The surplus heat generated by the solar collectors in the property is sold to the district heating plant by feeding it into the district heating network. The system did not mostly work as planned and the yield and sales of solar heat remained rather moderate.</p> <p>The purpose of the thesis was to describe the system's operating principle and to identify possible causes for the problems that arose when the system was used, to find reasons for the limited amount of solar heat produced, and to find potential points for further research.</p> <p>The study was conducted as a case study. The theoretical base of the thesis consists mainly of the assignor's material and relevant publications. The operation principles of the system were accurately described and the important measurement points were identified. Measurement data was collected and illustrative graphs were prepared based on the data. The parts of the system which might negatively affect its operation were identified.</p> <p>As a result, it was found that to use solar heat better, it would be necessary to store solar energy intermittently in a heat accumulator. Closeness of the district heating network was found to have an impact on the operation of the system. It was found that a low-temperature grid would be a good alternative to be used with solar heat, since solar collectors work at higher efficiency at lower temperatures. Solar heat was found to have a negative effect on the difference between the flow and return temperatures of the district heating network, as the solar heat supplied to the district heating network seemed to be cooling the flow temperature. It was recommended that a solar thermal suitability comparison should be conducted between roof radiation panels and underfloor heating. A more detailed examination of the implementation of the low-temperature grid was also considered appropriate.</p>		
Keywords (subjects) hybrid heating, solar heat, low-temperature grid, two-way district heating		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	EU:n energia- ja ilmastotavoitteet	3
1.2	Jyväskylän Energia ja tutkittava kiinteistö	3
1.3	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset.....	5
2	Aurinkolämmitys.....	6
2.1	Keräimet.....	6
2.1.1	Tasokeräin.....	7
2.1.2	Tyhjiöputkikeräin	8
2.1.3	Ilmakeräimet.....	9
2.2	Laitteisto	10
2.3	Aurinkolämpö Suomessa	12
2.4	Aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuus	15
3	Kaukolämpö	16
3.1	Kaukolämpöveden jäähtymä	17
3.2	Kaukolämpöä auringosta	18
4	Hybridilämmitys.....	19
4.1	Kaksisuuntainen kaukolämpö	20
4.2	Kaksisuuntaisen kaukolämmön haasteet	21
5	Tutkittava kiinteistö	22
5.1	Toimintakuvaus.....	24
5.2	Järjestelmään tehdyt muutokset ja havaitut virheet.....	26
6	Järjestelmän toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä	27
6.1	Lämmön välivarastointi.....	28
6.2	Voimalaitoksen läheisyys	28
6.3	Aurinkolämmön vaikutus kaukolämmön jäähtymään.....	29
6.4	Kaukolämmön ja aurinkolämmön lämpötilamittaukset	31

7	Yhteenveto.....	32
8	Pohdinta.....	33
	Lähteet.....	36

Kuviot

Kuvio 1	Tasokeräimen sisärakenne (Posio 2013.).....	8
Kuvio 2	Havainne kuva Heat pipe – teknologiasta (Tietoa aurinkokeräimistä 2016.).....	9
Kuvio 3	Tutkittavan kohteen teknisen tilan laitteet (Jyväskylän Energia)	10
Kuvio 4	Pystymallisen varaajan havainnekuva (Putki-Make Oy)	12
Kuvio 5	Tasokeräinten (10 000m ²) aurinkolämmöntuotto kuukausittain (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet 2013.).....	13
Kuvio 6	Aurinkolämpöjärjestelmien asennusmäärät ja suhteelliset keräinten tuotantokustannukset 27 EU:n jäsenmaassa 1995–2020 (Brown & Eisentraut 2014, 40.)....	15
Kuvio 7	Jäähtymän vaikutus vesivirtaan mitoitukslämpötilassa (Heikkilä 2011, 29.)	17
Kuvio 8	Savosolarin keräimet Løgumklosterissa (Winning solar thermal technology 2016.) .	19
Kuvio 9	Kiinteistön aurinkokeräimet	23
Kuvio 10	Automaatiojärjestelmän esittämä kaavio järjestelmän toiminnasta ja vallitsevista olosuhteista	25
Kuvio 11	Kaukolämmön menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona	26
Kuvio 12	Käyttövesijärjestelmän mitoitus suositukset henkilömäärän mukaan (Aurinkolämpöjärjestelmät Oulussa 2014, 2.)	28
Kuvio 13	Rauhanlahden voimalaitoksen kaukolämpöverkon paine-ero	29
Kuvio 14	Kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat 11.-18.3.2016.....	30
Kuvio 15	Kaukolämpöverkkoon syötetyn aurinkolämmön teho	30
Kuvio 16	Kaukolämmön ja aurinkolämmön menolämpötilojen käyrät.....	31

Taulukot

Taulukko 1.	EU:n ilmasto- ja energiatavoitteet vuosille 2020 ja 2030.	3
Taulukko 2	Kaukolämmön ja aurinkolämmön menovesien mittaustietojen erotus verrattuna myydyin aurinkolämmön määrään.....	32

1 Johdanto

1.1 EU:n energia- ja ilmastotavoitteet

Ihmiskunta tuottaa suuret määrät kasvihuonekaasuja, joiden seurauksena ilmasto lämpenee. Tätä kutsutaan ilmastomuutokseksi. Merkittävin kasvihuonekaasujen lähde on fossiilisten polttoaineiden eli hiilen, öljyn ja maakaasun käyttäminen energiantuotannossa ja liikenteessä. (Ilmastomuutos: Lyhyesti n.d.) Ilmastomuutoksen etenemistä pyritään hillitsemään yhteisesti sovituilla tavoitteilla ja toimenpideohjelmilla. EU on sitoutunut Kioton pöytäkirjan asettamiin päästövähennystavoitteisiin. Tavoitteisiin pyritään EU:n ilmasto- ja energiapaketin avulla. Ilmasto- ja energiapaketissa on sovittu tavoitteista kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi, uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi (ks. taulukko 1). (Euroopan unionin ilmastopolitiikka ohjaa jäsenmaita 2015; Ekman n.d.)

Taulukko 1. EU:n ilmasto- ja energiatavoitteet vuosille 2020 ja 2030.

		2020		2030
Kasvihuonekaasupäästöjen vähennys	↓	-20 % vuoden 1990 tasosta	↓	vähintään -40 % vuoden 1990 tasosta
Uusiutuvan energian osuus	↑	20 prosenttiin energian loppukulutuksesta	↑	27 prosenttiin energian loppukulutuksesta
Energiatehokkuuden parantaminen	↑	20 % verrattuna vuoden 2007 arvioituun kehityspolkuun	↑	27 % verrattuna vuoden 2007 arvioituun kehityspolkuun

(Euroopan unionin ilmastopolitiikka ohjaa jäsenmaita 2015.)

1.2 Jyväskylän Energia ja tutkittava kiinteistö

Tämä tutkimuksen toimeksiantaja on Jyväskylän Energia. Jyväskylän Energia on perustettu vuonna 1902. Toiminnan alkuvuosina yritys tuotti sähköä Jyväskylän seudulle höyryvoimalla. Kaukolämmön tuotanto alkoi vuonna 1960. Nykyään Jyväskylän

Energia Oy tytäryhtiöineen tuottaa, myy ja jakelee sähköä, lämpöä ja vettä omistamissaan verkoissa. Sähköä yritys myi asiakkailleen vuonna 2016 859 GWh ja lämpöä 1120 GWh. (JE-yhtiöt n.d.)

Jyväskylän Energia on viime vuosina lisännyt merkittävästi uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Yrityksellä on Jyväskylässä kaksi lämpövoimalaitosta. Suurempi niistä on vuonna 2010 valmistunut Keljonlahden voimalaitos, jonka pääpolttoaineina käytetään turvetta ja puuta. Voimalaitos voi tuottaa joko yhteistuotantona lämpöä ja sähköä, lauhdetuotantona pelkästään sähköä tai reduktioajossa vain lämpöä. Rauhanlahden voimalaitos on valmistunut vuonna 1986. Se on vastapainevoimalaitos, jossa tuotetaan sähköä ja lämpöä yhteistuotannossa. Polttoaineena käytetään puoliksi puuta ja turvetta.

Näiden lisäksi Jyväskylän Energialla on Keltinmäessä toimiva biokaasulaitos, joka on tyyppiltään mikro-CHP-laitos. Siinä hyödynnetään biokaasua lämmön- ja sähköntuotannossa. Biokaasu on ympäristöystävällinen tapa tuottaa energiaa, koska biokaasu palaa puhtaasti ja sen palamistuotteena syntyy vähän haitallisia ympäristöpäästöjä. (Tutustu JE:n energiantuotantoon! n.d.)

Jyväskylässä järjestettiin asuntomessut vuonna 2014. Asuntomessuille rakennettu Talo A toimi ensimmäisenä Suomessa toteutettuna kokeiluna sähkön ja lämmön kysynnänjoustopalvelulle. Talo on liitetty Jyväskylän Energian kaukolämpöön ja lisälämmönlähteenä toimivat aurinkokeräimet. Silloin kun keräimet tuottavat lämpöä enemmän kuin kiinteistö kuluttaa, ylijäämä syötetään Jyväskylän Energian verkkoon. Tarvittaessa talo ostaa kaukolämpöä ja maksaa käyttämänsä ja tuottamansa mukaisesti nettoenergiasta Jyväskylän Energialle. Kysyntäjoustoön käytettävä automaatio ohjaa laitteita ja järjestelmiä, jotka voivat olla toiminnassa muutaman tunnin jaksoissa mihin vuorokaudenaikaan tahansa. Jyväskylän Energia Oy kehitti taloon kotiautomaation toiminnallisuuksia yhteistyössä alan yritysten kanssa. Rakennuksen omistaja ja käyttäjä ovat olleet aktiivisesti mukana talon järjestelmien kehitystyössä. (Älykkäät energiaratkaisut n.d.)

Järjestelmä ei ole toiminut halutulla tavalla ja siinä on alusta asti ollut häiriöitä. Aurinkolämmön tuotto ja myynti ovat jääneet verrattain melko vähäisiksi.

1.3 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata hybridilämmitysjärjestelmän toimintaperiaate ja selvittää mahdollisia syitä järjestelmän käytön aikana esiintyneisiin ongelmiin. Tavoitteena oli myös etsiä syitä tuotetun aurinkolämmön vähäiseen määrään sekä löytää potentiaalisia kohtia jatkotutkimuksia varten. Itse kiinteistön tutkimisen lisäksi työssä perehdyttiin aurinkolämmöntuotannon teoriaan, hybridilämmitykseen sekä kaksisuuntaisen kaukolämmön haasteisiin. Hybridilämmitys on yksi mahdollisuus, jolla voidaan edistää Suomen uusiutuvien energianlähteiden käytön tavoitteiden saavuttamista. Mikäli kaksisuuntainen kaukolämpö saadaan kehittymään niin, että siitä on hyötyä kaikille osapuolille, lisää se hybridilämmitysratkaisujen houkuttelevuutta.

Talo A:ssa hyödynnetään myös energiahäkeillä toteutettua maajäähdytysjärjestelmää, joka käyttää samoja kattosäteilypaneeleja kuin talon lämmitysjärjestelmä. Maajäähdytys ei kuitenkaan kuulunut Jyväskylän Energian pilotointiin, eikä sitä ole myöskään opinnäytetyössä otettu huomioon. Opinnäytetyön ulkopuolelle on jätetty myös lämpövaraajaa hyödyntävät hybridilämmitysratkaisut, sillä ne eivät kuvaa tutkimuksen kohteena olevan kiinteistön järjestelyä.

Koska opinnäytetyön kohteena oleva kiinteistö ja sen hybridilämmitysratkaisu ovat toteutettu pilottiprojektina, ei Suomesta löydy toista vastaavanlaista järjestelmää. Opinnäytetyössä on käytetty case- eli tapaustutkimusmenetelmää, sillä tutkimuksessa tehtyjä havaintoja ja päätelmiä ei voida suoraan hyödyntää muissa tulevilla hybridilämmitysratkaisuissa. Tapaustutkimusmenetelmälle tyypillisesti, kohde on kuvattu tarkkaan ja käytetyn järjestelmän toiminta on havainnollistettu. Tapaustutkimusmenetelmä on valittu myös siitä syystä, että tällainen järjestelmä on ainutlaatuinen Suomessa ja opinnäytetyön tavoitteena on luoda ymmärrystä järjestelmän toimintaperiaatteesta.

Työssä on sovellettu myös kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Päätelmien tekemisessä hyödynnetty aineisto on suurimmilta osin kerätty Jyväskylän Energian tietojärjestelmistä. Lähteinä on käytetty muun muassa asennus- ja huoltopäiväkirjoja, sekä automaatiojärjestelmän antamaa mittausdataa järjestelmän eri pisteiden lämpötiloista ja lämmöntuoton energiamääristä. Mittausdataa on kerätty runsaasti ja siitä on valittu yhden viikon otanta, jotta saadaan kuva siitä, kuinka aurinkoenergian keräys on vaikuttanut järjestelmän kokonaistoimintaan.

2 Aurinkolämmitys

Aurinkolämpö on uusiutuva ja päästötön energiaratkaisu. Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää kiinteistöjen lämmityksessä sekä passiivisesti että aktiivisesti. Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen tarkoittaa lämmön ja valon hyödyntämistä sellaisenaan kiinteistön valaistuksessa ja lämmityksessä ilman erillisiä laitteita. Passiivisessa säteilyn hyödyntämisessä avain asemassa on rakennuksen sijainti, arkkitehtuuri ja rakenteet, joten nämä seikat on hyvä ottaa huomioon jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Aktiivinen hyödyntäminen vaatii aurinkoenergian keräämiseen soveltuvan keräimen tai paneelit sekä oheislaitteiston. Tällöin auringon säteily voidaan muuntaa aurinkopaneelilla sähköksi tai aurinkokeräimillä lämmöksi. Nykyteknologian aurinkokeräimillä maapallolle saapuvasta säteilystä noin 25–35 prosenttia on mahdollista muuttaa lämmöksi. (Aurinkolämmön perusteet 2017.)

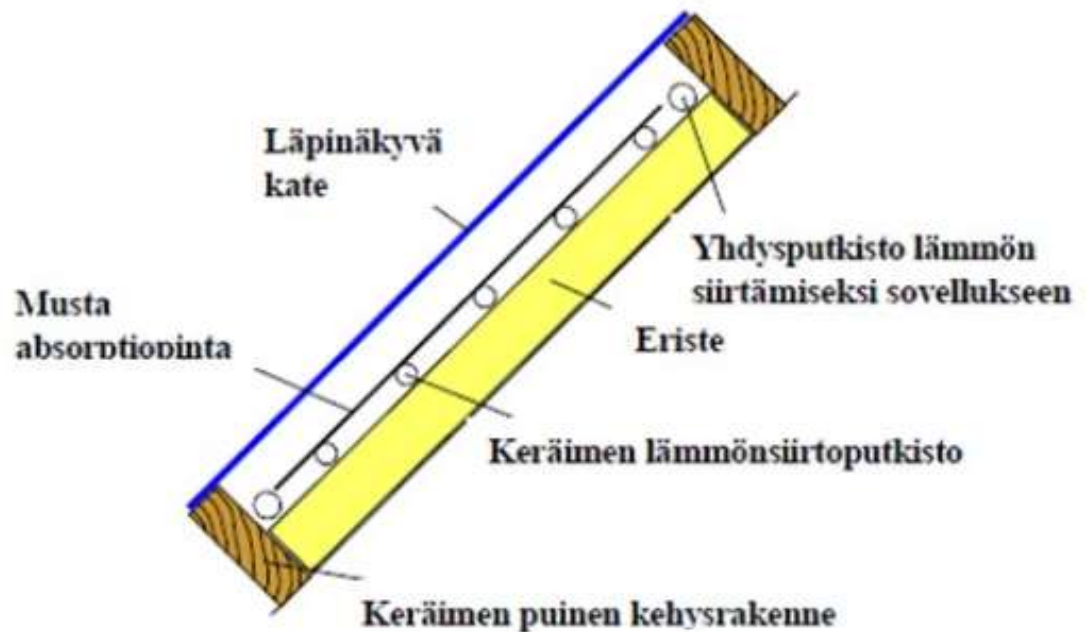
2.1 Keräimet

Auringon säteilyä voidaan muuttaa lämpöenergiaksi erityyppisten aurinkokeräinten avulla. Keräimet jaotellaan niissä kiertävän lämmönsiirtoaineen mukaan neste- ja ilmakeiertoisiin keräimiin. Nestekiertoiset keräimet jaotellaan tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin. Tutkittavaan kohteeseen on valittu keräintyyppiä nestekiertoiset tasokeräimet.

Aurinkokeräimet pyritään asentamaan etelään päin kallistettuna, jolloin optimoidaan auringosta saatavan säteilyn määrä. Useimmiten keräimet asennetaan katolle lämpösuuntaisesti, vaikka optimaalisin kallistuskulma Suomen leveysasteilla ympärivuotiseen lämmönkeräykseen onkin noin 42 astetta. Keräimet voidaan asentaa irrallisina tai upotettuina esimerkiksi osaksi kattorakennetta. (Aurinkoenergia Suomessa 2016.)

2.1.1 Tasokeräin

Tasokeräinten toiminta perustuu keräimissä olevaan tummaan, selektiivisellä pinnitteella varustettuun kerääjäelementtiin. Elementti absorboi auringon säteilyä ja kuumenee lämmittäen samalla lämmönsiirtonestettä. Tasokeräimen yksinkertaistettu perusrakenne on esitetty kuviossa 1. Nestekiertoisissa tasokeräimissä lämmönsiirtonesteenä käytetään veden ja glykolin (propyleeniglykoli) seosta, johon on myös lisätty korroosionestoaineita. Glykolin tehtävä on muun muassa alentaa nesteen jäätymispistettä, jolloin se kestää myös pakkaskeleillä. Mikäli lämmönsiirtonesteenä käytetään pelkkää vettä, on ulkoilman kanssa kosketuksissa olevat keräimen ja putkiston osat tyhjennettävä vedestä ulkolämpötilan laskiessa alle 0 °C jäätymisvaaran vuoksi. Keräimet on myös katettu yleensä karkaistulla lasilla tai muovilevyllä, jolloin saadaan keräimen lämmönsitovuus entistä tehokkaammaksi. Kate ottaa tehokkaasti sisäänsä auringon säteilyenergiaa, mutta estää sen vuotamisen ulos. Tasokeräimillä on tyhjiöputkikeräimiin verrattuna hieman heikompi hyötysuhde, mutta niillä on pienemmät yksikkökustannukset, yksinkertaisempi rakenne ja vähäisempi huollon tarve. (Nestekiertoiset keräimet 2016.)

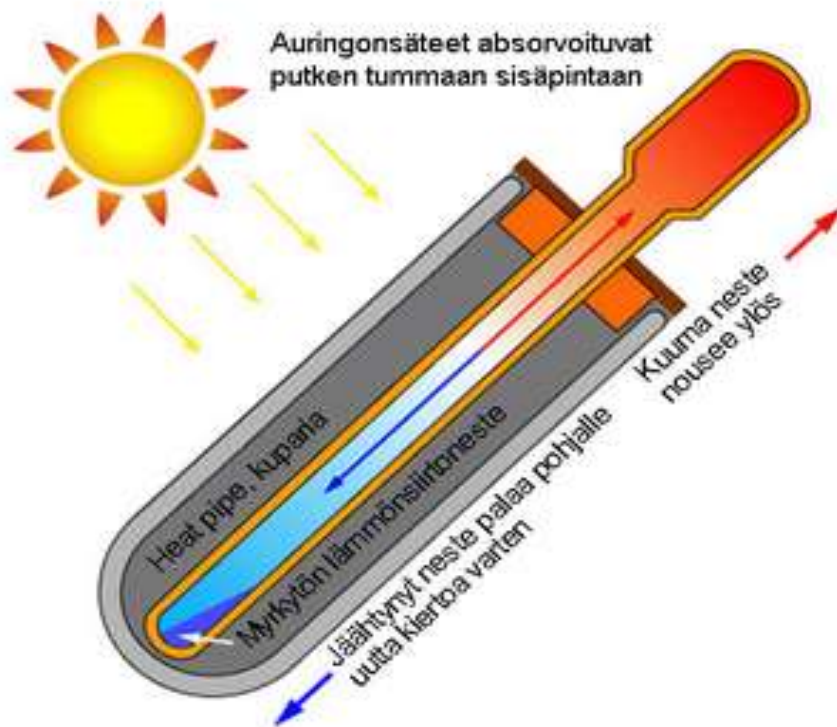


Kuvio 1 Tasokeräimen sisärakenne (Posio 2013.)

2.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimet sisältävät kaksi sisäkkäistä lasiputkea, joiden välistä ilma on saatu poistettua lähes kokonaan, jolloin tilaan syntyy tyhjiö. Tyhjiö toimii lämmöneristeenä estäen putkiin absorboituneen lämmön karkaamisen takaisin ulkoilmaan. Muun muassa tästä syystä tyhjiöputkikeräimet toimivat usein tehokkaammin kuin tasokeräimet etenkin talvisin. (Tyhjiöputkikeräimet n.d.)

Tyhjiöputkikeräimet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin niiden fyysisen rakenteen ja toimintaperiaatteen perusteella. Ensimmäinen tyyppi toimii niin kutsutulla heat pipe – teknologialla, jossa tyhjiöputken sisällä on kuparinen lämpöputki. Lämpöputken sisällä on nestettä, joka alipaineistetusta tilasta johtuen on helposti höyrystyvää. Neste höyrystyy auringon lämpösäteilyn vaikutuksesta ja kuljettaa näin lämmön putken yläosaan. Siellä höyrystynyt neste kondensoituu ja vapauttaa sisältämänsä lämmön keräimen yläosassa kulkevaan lämmönsiirtonesteeseen. Kondensoitunut neste valuu takaisin putken alaosaan uudelleenlämmitettäväksi. Kuvio 2 esittää heat pipe – teknologiaa käyttävän tyhjiöputkikeräimen rakenteen ja toimintaperiaatteen.



Kuvio 2 Havainne kuva Heat pipe – teknologiasta (Tietoa aurinkokeräimistä 2016.)

Yksinkertaisempi tyhjiöputkikeräintyyppi toimii niin kutsutulla läpivirtausperiaatteella. Lämmönsiirtoneste täyttää keräimen sisällä olevan putken, jossa se lämpenee. Lämmennyt neste nousee putken yläosaan, jolloin uutta, kylmempää nestettä valuu tilalle. Tämän tyyppiset keräimet ovat edullisempia, mutta herkkiä jäätymiselle.

(Basics Of Vacuum Tubes n.d.)

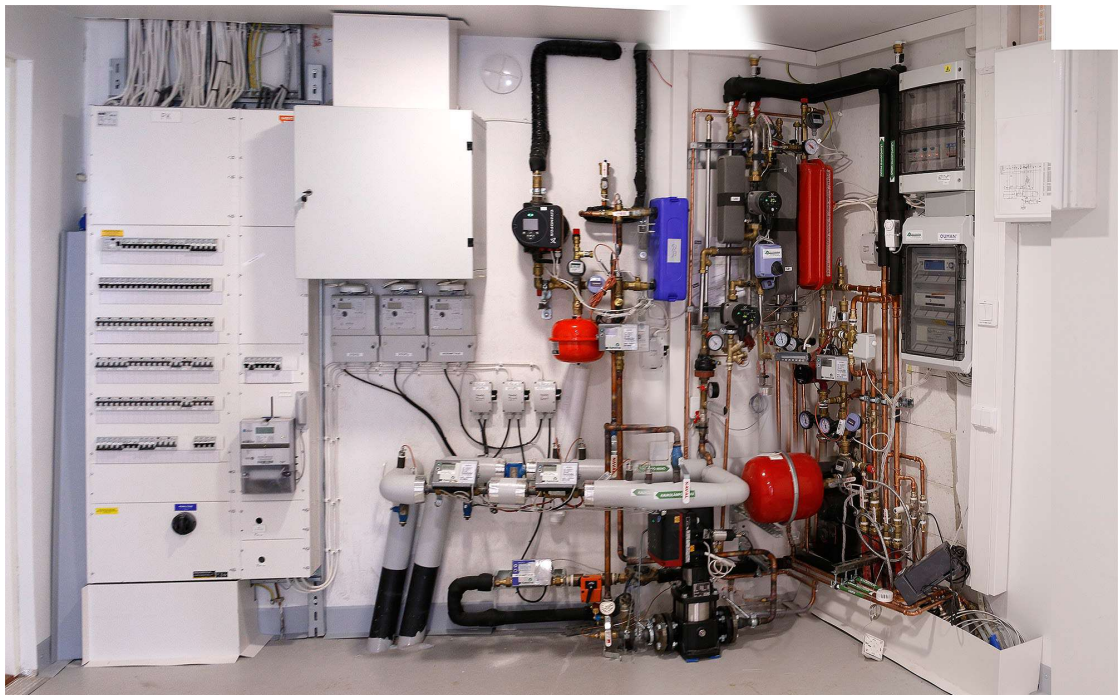
2.1.3 Ilmakeräimet

Ilmakeräimet käyttävät lämmönsiirtoaineenaan ilmaa. Ilmalla on nestettä huonompi kyky vastaanottaa ja siirtää lämpöä, joten ilmakeräimet vaativat suuremman absorptiopinta-alan toimiakseen tehokkaasti. Neste- ja ilmakeräinten toimintaperiaate on samanlainen: auringon säteily lämmittää keräimen sisällä kulkevaa lämmönsiirtoainetta, joka puolestaan kuljettaa lämmön eteenpäin. Ilmakeräimet käyttävät pumpun sijasta puhallinta kuljettamaan ilmaa lämmitettävään kohteeseen. Ilmakeräimillä ei

ole jäätymisvaaraa eivätkä rikkoutumisesta aiheutuneet vuodot aiheuta vahinkoa muille rakenteille. Mutta mikäli ilmakeräimillä halutaan siirtää yhtä suuri lämpö- määrä kuin nestekiertoisilla keräimillä, tarvitaan siihen noin 4000 kertainen ilma- määrä nestekiertoisiin verrattuna. (Ilmakeräimet 2016.) Ilmakeräinten toimintaläm- pötila on yleensä alle 50°C ja lämmön varastoinnissa on haasteita (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa 2013, 10.).

2.2 Laitteisto

Jokaisesta aurinkolämpöjärjestelmästä löytyvät samat perusosat muodossa tai toi- sessa riippumatta siitä, millainen on kiinteistön päälämmönlähde. Nämä osat ovat aurinkokeräimet, pumppuyksikkö, ohjausyksikkö, lämpövarasto, lämmönvaihdin, putkisto, paisunta-astia ja varolaitteet. (Järjestelmän muut osat 2016.) Aurinkoläm- pöjärjestelmien käyttämät laitteet ovat siis lähes samat kuin millä tahansa muulla lämmitysjärjestelmällä. Kiinteistön teknisessä tilassa sijaitsevat lämmitysjärjestelmän laitteet on kuvattu kuviossa 3.



Kuvio 3 Tutkittavan kohteen teknisen tilan laitteet (Jyväskylän Energia)

Pumppu- ja ohjausyksikkö

Pumppu kierrättää lämmönsiirtonestettä keräimien ja varaajan välillä. Pumppua ohjataan erillisen ohjausyksikön avulla. Järjestelmän lämpötiloja seurataan keräimiin ja varaajaan sijoitettujen termostaattien anturien avulla, joiden ilmoittamien lämpötilojen perusteella ohjausyksikkö tekee tarvittavat muutokset pumpun nopeuteen. Järjestelmään asetetaan haluttu ylä- ja alaraja lämpötilaeroille, jolloin pumppu voidaan pysäyttää silloin, kun aurinkoenergiaa ei ole saatavilla, mutta myös silloin, kun aurinkokeräimien tuottamaa lämpöä on liikaa. Näin vältetään varaajan ylikuumenemiselta. Automaation ansiosta pumppua voidaan ohjata niin, että se toimii vain silloin, kun aurinkoenergiaa on saatavilla. (Järjestelmän muut osat 2016.)

Varaaja ja lämmönvaihdin

Aurinkolämpöjärjestelmissä lämpövarasto on lähes aina tarpeen. Lämmön tarve ei aina osu samalle ajalle, jolloin auringonsäteilyä on saatavilla. Lämmönsiirtoaine kuljettaa lämmön kerääjistä varaajan alaosaan sijaitsevaan lämmönvaihtimeen. Lämmönvaihtimen kautta lämpö siirtyy varaajaan, josta se on tarvittaessa käytettävissä käyttöveden tai tilojen lämmittämiseen. Lämmönvaihtimessa yleisimmin käytössä oleva lämmönsiirrin on kupariputkikierukka. Aurinkolämpöjärjestelmässä toimivin ratkaisu on yleensä pystymallinen varaaja, jossa lämmönsiirtimet on asetettu niin, ettei varaajan alaosan kylmä vesi ja yläosan lämmin vesi pääse sekoittumaan. Kuviossa 4 on esitetty tyhjiöputkikeräimen yhteydessä toimivan varaajan havainnekuva, josta nähdään varaaja ja sen kaksi lämmönvaihdinta. (Järjestelmän muut osat 2016.)



Kuvio 4 Pystymallisen varaajan havainnekuva (Putki-Make Oy)

Putkisto ja paisunta-astia

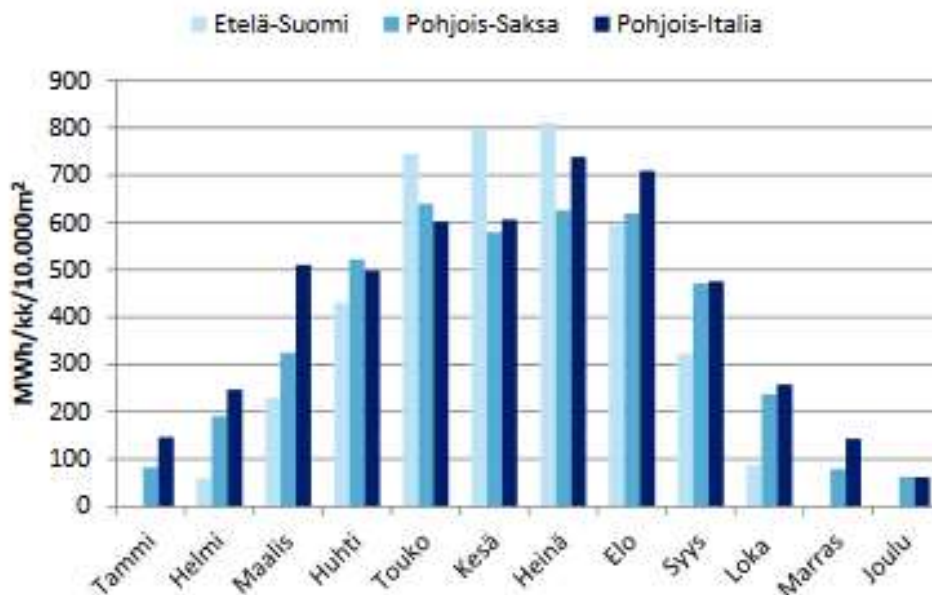
Paisunta-astia on osa keräinpiirin putkistoa. Putkiston lämpötila ja nesteen tilavuus vaihtelevat järjestelmässä jatkuvasti. Paisunta-astian tehtävä on tasata tästä vaihte-
lusta johtuvaa tilavuuden muutosta. Järjestelmä on myös varustettava varo- ja tyh-
jennysventtiileillä, jolloin keräinpiiri on mahdollista tyhjentää ylipaineen syntyessä.
Muu putkisto on yleensä valmistettu kuparista tai ruostumattomasta teräksestä.
Muovia ei sovellu keräinputkiston materiaaliksi, koska se ei kestä korkeita lämpöti-
loja. (Järjestelmän muut osat 2016.)

2.3 Aurinkolämpö Suomessa

Työ- ja Elinkeinoministeriön mukaan Suomi on maailman johtavia maita uusiutuvan
energian hyödyntämisessä. (Uusiutuva energia Suomessa n.d.) Suomen kansallinen
tavoite on, että energiantuotannosta 38 prosenttia tulisi uusiutuvista energianläh-
teistä vuoteen 2020 mennessä. Tämä tavoite täyttyi jo vuonna 2014, jolloin Suo-
messä tuotettiin uusiutuvilla energianlähteillä 38,7 prosenttia energian loppukulu-
tuksesta. (Uusiutuvan energian tavoite ylittyi etuajassa 2016.)

Suomen lisäksi uusiutuvan energian käytön kärkimaita EU:ssa ovat Ruotsi, Latvia ja Itävalta. Ruotsin ja Itävallan osalta vesivoima on merkittävässä osassa, kun taas Suomessa suuri osa uusiutuvan energian tuotannosta keskittyy puuhun ja bioperäisiin kierrätyspolttoaineisiin. (Uusiutuva energia Suomessa 2017.) Aurinkoenergiankäytön edelläkävijä on Tanska, jossa suuren kokoluokan aurinkoenergalaitoksia on jo useita.

Yleinen käsitys on, että auringosta ei saada Suomen leveysasteilla paljoakaan energiaa johtuen kylmistä säistä, lyhyestä kesästä ja pimeydestä. Etelä-Suomessa auringon säteilyteho on kuitenkin samaa luokkaa kun esimerkiksi Saksan keski- ja pohjoisosissa, joissa aurinkoenergian käyttö lämmityksessä ja sähköntuotannossa on hyvin yleistä. Kesäisin auringon säteilyenergiaa on tarjolla jopa enemmän kuin Keski-Euroopassa Suomen pitkien päivien vuoksi. (Suomen Lähienergioliitto 2016.) Kuviossa 5 on esitetty Arcon Solar –tasokeräinten aurinkolämmöntuotto kolmessa eri sijainnissa. Kuvioista nähdään, että vaikka talvikuukausina Etelä-Suomessa ei aurinkoenergiaa ole saatavilla, on kesäkuukausien aurinkolämmöntuotto jopa suurempaa kuin vertailukohteissa.



Kuvio 5 Tasokeräinten (10 000m²) aurinkolämmöntuotto kuukausittain (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet 2013.)

Suomessa auringosta saadaan tehokkaasti energiaa maalis-syyskuun aikana, vaikkakin säteilyn määrä vaihtelee paljon päivittäin ja jopa tunneittain. Säteilyn määrään vaikuttaa niin vuodenaika kuin sääkin. Kesäisin siitepöly ja talvisin lumi voivat peittää keräimet niin, että niiden tuotantoteho heikkenee. Pilvisellä säällä voidaan kerätä talteen auringon hajasäteilyä, joka on ilmakehästä, pilvistä ja maasta heijastuvaa säteilyä. Koska suurin lämmöntarve painottuu talvikuukausille, pelkällä aurinkolämmöllä ei voida kattaa kiinteistön koko lämmöntarvetta. Siksi aurinkolämpö sopii hyvin yhdistettäväksi esimerkiksi kaukolämmön sekä puu- tai öljykattilan yhteyteen niin kutsutuksi hybridijärjestelmäksi. Kun auringon energiaa on saatavilla, voi kiinteistön päälämmitysmuoto olla pois käytöstä, jolloin sen elinkaari pitenee. Tämä mahdollisesti vähentää myös tulevaisuuden laitekustannuksia. (Miten aurinkoenergia toimii? n.d.)

Aurinkolämmön tuotannon suuruudesta Suomessa ei ole tehty vielä kattavaa selvitystä. IEA:n 2015 laatimassa Solar Heat Worldwide – raportissa (Mauthner, Weiss & Spörk-Dür 2015, 10.) on esitetty, että vuoteen 2013 mennessä Suomessa tuotettiin 37 MWth aurinkolämpöä. Saman raportin mukaan tämän lämpömäärän tuottamiseen on käytetty yhteensä 52,202m² verran aurinkokeräimiä. Vertailun vuoksi, Ruotsissa samat lukemat ovat olleet 318 MWth ja 454,000 m². Tilastoissa edellä mainitut Suomen luvut koskevat vain vesikiertoisia järjestelmiä. Järjestelmistä, joissa lämmön siirtoaineena toimii ilma, ei ole tällä hetkellä luotettavia tilastoja saatavilla. Alan asiantuntijat ja laitetoimittajat kuitenkin arvioivat, että Suomessa oli vuoteen 2014 mennessä yhteensä noin yli tuhat asennettua aurinkolämpöjärjestelmää (Auvinen 2016). Energiahintojen vaihdellessa aurinkoenergian käytöstä saatava rahallinen hyöty kasvaa ajan myötä.

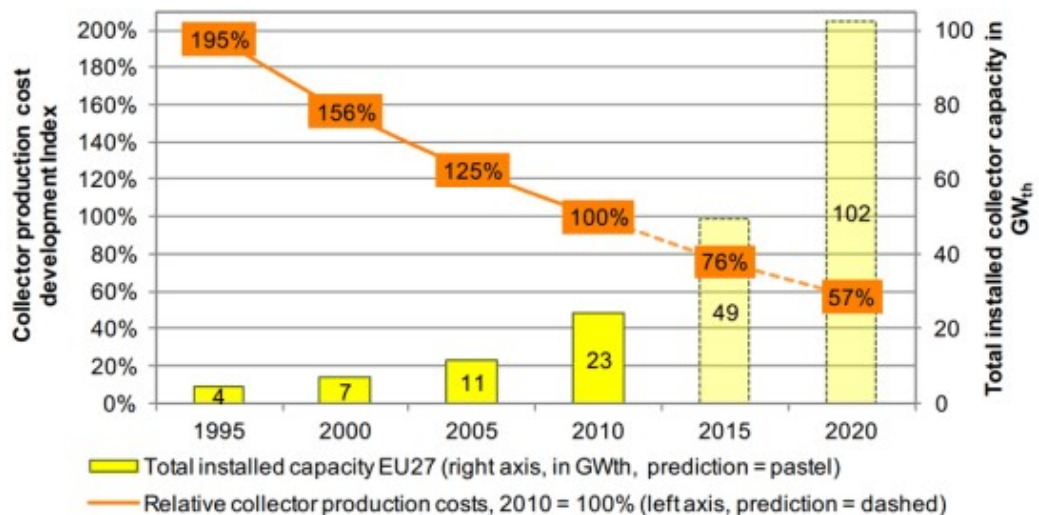
Kaukolämpö on tällä hetkellä valta-asemassa Suomessa johtuen sen helppoudesta ja toimintavarmuudesta. Kuitenkin kilpailun lisääntyessä ja teknologian kehittyessä aurinkolämpö tulee olemaan houkutteleva vaihtoehto kaukolämmön rinnalle.

2.4 Aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuus

Aurinkoenergian kannattavuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon lämpövoimalan tuottaman lämmön hinta verrattuna vaihtoehtoisten energialähteiden kokonaiskustannuksiin. Laskemien mukaan keskikokoisen järjestelmän (20–100 keräineliötä) aurinkolämmön tuotantohinta on noin 45–68 €/MWh kun tuotto on 0,4 MWh/m³ ja 36–54 €/MWh, kun tuotto on 0,5 MWh/m³.

Aurinkolämpöinvestointeihin on saatavissa erilaisia yhteiskunnan maksamia tukia, joilla investointikustannuksia voidaan alentaa. Tällaisia tukia ovat esimerkiksi remontointityöstä saatava kotitalousvähennys ja kunnalta haettava ARA:n energia-avustus. Yritykset ja kunnat voivat lisäksi hakea Työ- ja elinkeinoministeriöstä tai ELY:stä energiatukea. (Auvinen 2016.)

Aurinkolämpöjärjestelmien hinnat ovat olleet Suomessa laskussa viime vuosina. Suomen hinnan noudattavat kansainvälisiä kehitystrendejä (ks. kuvio 6).



Note: EU27 = all EU member states prior to the accession of Croatia in July 2013.

Source: ESTTP (2013), *Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology*, ESTTP, Brussels.

Kuvio 6 Aurinkolämpöjärjestelmien asennusmäärät ja suhteelliset keräinten tuotantokustannukset 27 EU:n jäsenmaassa 1995–2020 (Brown & Eisentraut 2014, 40.)

3 Kaukolämpö

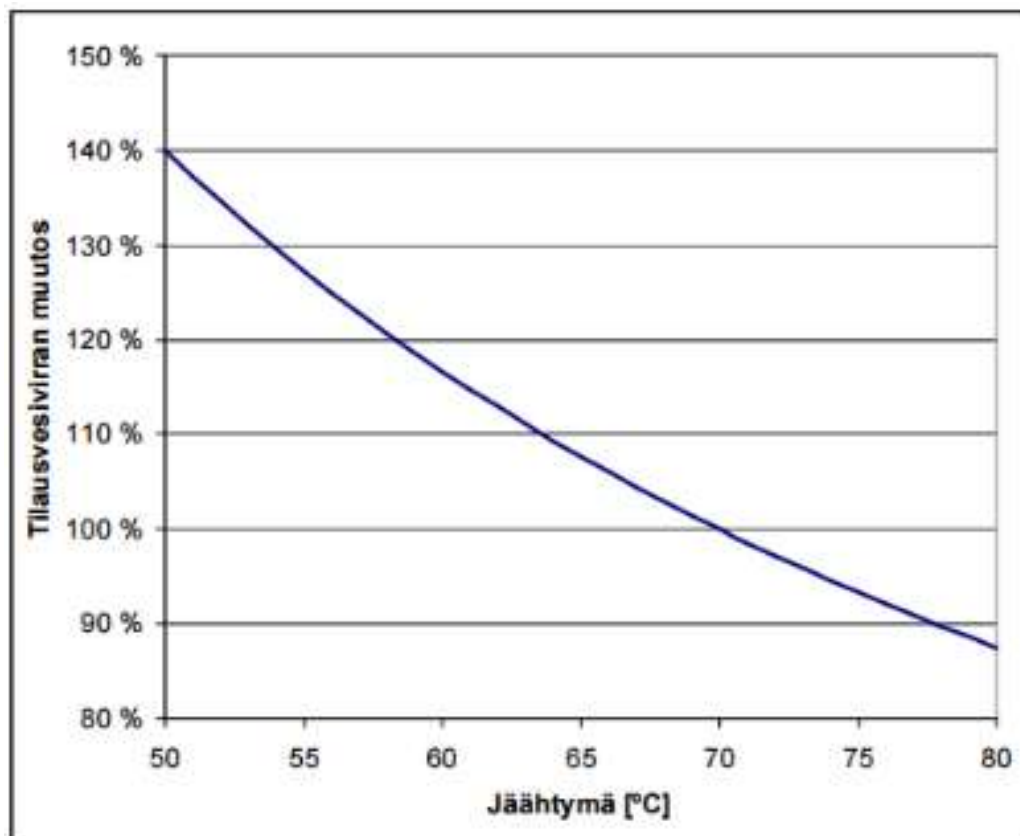
Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, sillä noin puolet asuinrakennusten ja palveluiden lämmöntarpeesta katetaan kaukolämmöllä. (Energia vuosi 2016 – Kaukolämpö 2017, 7.) Kaukolämmön suurin asiakaskunta sijaitsee suurissa kaupungeissa ja taajama-alueilla. Mitä tiheämpään asuttu alue, sen taloudellisempaa kaukolämmön hyödyntäminen lämmityksessä on. Vuonna 2016 kaukolämpöä myytiin Suomessa noin 33,6 TWh. Kaukolämmön markkinaosuus oli 46 % ja kaukolämmöllä lämpenevissä taloissa asui noin 2,7 miljoonaa ihmistä. (Energia vuosi 2016 – Kaukolämpö 2017, 2.)

Kaukolämpöä tuotetaan CHP-laitoksissa tai lämpökeskuksissa. Vuonna 2016 Suomen kaukolämmöstä 70 % tuotettiin CHP- eli yhteistuotantolaitoksissa. (Energia vuosi 2016 – Kaukolämpö 2017, 8.) Yhteistuotantolaitoksissa tuotetaan sekä lämpöä että sähköä. Niissä sähköntuotannosta syntyvä hukkalämpö hyödynnetään kaukolämpöveden lämmittämiseen. Lämmitetty vesi pumpataan maan alla kulkevaan, kaksiputkiseen kaukolämpöverkkoon, jonka kautta lämpö saadaan siirrettyä verkkoon liitettyjen kiinteistöjen lämmönjakokeskuksiin. Keskusten lämmönvaihtimien avulla kaukolämpöveden sisältämä lämpöenergia siirretään kiinteistön lämpöverkkoon. Kiinteistössä lämpö voidaan käyttää huoneiden ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen sekä ilmanvaihtoon. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi kulkee paluuputkea pitkin takaisin voimalaitokselle, jossa se lämmitetään uudestaan. Kaukolämpövesi ei siis missään vaiheessa sekoitu kiinteistön lämpöverkossa kulkevaan veteen, vaan ainoastaan lämpö siirtyy näiden kahden lämmönsiirtonesteen välillä lämmönvaihtimissa. (What is District Heating? n.d.; Miten kaukolämpö toimii? n.d.)

Kiinteistöille saapuvan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee välillä 65 – 115°C välillä, riippuen vallitsevasta ulkolämpötilasta. Kesällä kaukolämpöveden lämpötila on alimmillaan, sillä lämmityksen tarvekin on vähäistä. Tuolloin lämpöä tarvitaan lähinnä lämpimän käyttöveden valmistamiseen. Paluuputkessa kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee välillä 20–50°C. Paluulämpötilaan vaikuttaa sekä ulkolämpötila että lämpökuorma. (Kaukolämmöllä ja sillä siisti n.d.)

3.1 Kaukolämpöveden jäähtymä

Kaukolämpöveden jäähtymällä tarkoitetaan kaukolämpöverkon meno- ja paluuputkessa virtaavien vesien lämpötilojen erotusta. Mitä suurempi jäähtymän arvo on, sitä tehokkaammin lämpöä on saatu siirrettyä kiinteistön käyttöön. Alhainen jäähtymä huonontaa yhteistuotantolaitoksen hyötysuhdetta ja lisää lämpöhäviöitä. (Kylmä 2015, 4.) Huono jäähtymä vaikuttaa suoraan kaukolämpölaitoksen pumppauskustannuksiin, sillä huonompi jäähtymän arvo nostaa tarvittavaa verkoston vesivirtaa. Tämä nähdään kuviosta 7, joka esittää kaukolämmön tilavuusvesivirran muutosta suhteessa jäähtymän muutokseen. Talvisin jäähtymä on optimaalinen, mikäli se on yli 60 °C. Kesäaikaan jäähtymän tulisi olla yli 15 °C. (Kaukolämpölaitteiden seuranta- ja käyttöohjeita n.d., 2.)



Kuvio 7 Jäähtymän vaikutus vesivirtaan mitoituslämpötilassa (Heikkilä 2011, 29.)

3.2 Kaukolämpöä auringosta

Maailmalla on muutama sovellus, jossa osa kaukolämmöstä tuotetaan aurinkoenergialla. Auringon lämpösäteilyn talteenotossa suuret keräimet ovat kustannustehokkaampia ja toimivat paremmalla hyötysuhteella kuin pienemmät, hajautetut keräimet. Siksi aurinkoenergian hyödyntäminen sopii hyvin kaukolämmön tuotantoon. Suomessa keräinten hinnat ja asennuskustannukset ovat vielä niin korkeat, ettei aurinkolämmön käyttö kaukolämmön tuotannossa ole samalla tasolla kuin esimerkiksi Tanskassa. Tanskan ensimmäinen aurinkolämpöä hyödyntävä kaukolämpölaitos rakennettiin jo vuonna 1988. Tuolloin aurinkolämpöä tuotettiin vain 1000m²:n suuruisella keräimellä. Aurinkolämmön menestys Tanskan markkinoilla voi osittain johtua myös siitä, että Tanskassa on hyvin paljon pienempiä kaukolämpölaitoksia. Kun asiakkaita ja lämmöntarvetta on vähemmän, saadaan aurinkokeräimillä tuotettua suurempi osuus kokonaislämmöntarpeesta. Lisäksi aurinkolämmön hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa on houkutteleva vaihtoehto Tanskassa maakaasun korkeasta verotuksesta johtuen. (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa 2013, 35.)

Tanskassa, Silkeborgin kylässä sijaitsee maailman suurin aurinkokeräinpuisto, jonka pinta-ala on 156,694 m². Keräimillä, joiden nimellisteho on 110 MWth, saadaan kattettua 20 %, noin 21 000 verkkoon liitetyn asiakkaan vuotuisesta lämmöntarpeesta. Keräinjärjestelmä otettiin käyttöön joulukuussa 2016. Tanskassa sijaitsee myös edellinen maailmanennätyksen haltija, joka on yli puolet pienempi kuin Silkeborgin aurinkopuisto (Vojens, 70 000 m², 48,90 MWth). (Epp 2017.)

Toinen mainitsemisen arvoinen kohde on Løgumklosterin Fjernvarme -niminen kaukolämpölaitos Etelä-Tanskassa, joka tuottaa noin neljänneksen tarvitsemastaan lämmöstä aurinkokeräimillä. Mikkeliäinen Savosolar Oy on toimittanut laitokselle aurinkokeräimet, joilla tuotetaan lämpöä noin 3500:lle asukkaalle. Kuvioista 8 nähdään keräimet, jotka kattavat noin 15 300 m² alan laitoksen vieressä. Laitos käyttää aurinkolämmön rinnalla pellettikattilaa 30 000 MWh:n vuotuisen lämmöntarpeen kattamiseen. Laitos käyttää polttoaineenaan tarvittaessa myös maakaasua, mutta vain silloin, kun sähkön hinta on tarpeeksi korkea. Tavoitteena on nostaa aurinkolämmön

tuotto noin 50 - 60 prosenttiin suunnitelluilla 35 000m² lisäkeräimillä ja uudella 150 000m³ varaajalla. (Lampila 2016; Tanskalaiset tuottavat aurinkolämpöä yhteistuumiin 2015.)



Kuvio 8 Savosolarin keräimet Løgumklosterissa (Winning solar thermal technology 2016.)

4 Hybridilämmitys

Hybridilämmitys tarkoittaa kahden tai useamman eri lämmitysratkaisun yhdistämistä. Yleistä on yhdistää esimerkiksi aurinkolämmitys jonkin toisen lämmitysmuodon rinnalle. Näin pyritään sekä pienentämään lämmityslaskua korvaamalla osa ostedusta energiasta itse kiinteistössä tuotetulla lämmöllä että lisäämään lämmityksen ympäristöystävällisyyttä. Mahdollista on myös lisätä esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu öljylämmityksen rinnalle, jolloin saadaan huonetilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavia polttoainekustannuksia pienennettyä. Hybridilämmitysjärjestelmän etu onkin sen mukautuvuudessa: järjestelmä osaa valita edullisimman lämmitystavan eri vuorokauden- ja vuodenaajoille.

Vaikkakin hybridilämmityksen hyödyntämisessä on paljon etuja, on tähän vaadittavat järjestelmät monimutkaisia ja sisältävät hyvin paljon laitteita. Tämä lisää järjestelmän huoltotarvetta ja vikaantumisriskiä.

4.1 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Kaukolämmön kaksisuuntaisuudella tarkoitetaan järjestelmää, joka mahdollistaa lämmön oston kaukolämpöyhtiöltä, ja kiinteistön tuottaman ylimääräisen lämmön syötön takaisin kaukolämpöverkkoon. Järjestelmä mahdollistaa energiantuotannon hajaannuttamisen ja parhaimmillaan vähentää voimalaitoksen polttoainekustannuksia sekä lisää lämmöntuoton ympäristöystävällisyyttä. Kaksisuuntainen lämmönsyöttö vaatii tiivistä kommunikointia ja yhteistyötä asiakkaan ja kaukolämpölaitoksen välillä. Vaikka kaukolämpö onkin jo merkittävässä asemassa Suomen lämmöntuotannossa, voi kaksisuuntainen kaukolämpö lisätä entisestään kaukolämmön kiinnostavuutta kiinteistöjen lämmitystapaa valittaessa.

Suurimman hyödyn kaksisuuntaisesta lämmönsyötöstä saavat toimijat, joilla ylijäämälämmöntuotanto on suurinta. Tällaisia ovat esimerkiksi teollisuuden kohteet, joissa hukkalämpöä syntyy runsaasti ja sen siirto kaukolämpöverkkoon on mahdollista alhaisin kustannuksin. Useat kaukolämpöyhtiöt hyödyntävätkin jo teollisuuden hukkalämpöä normaalissa toiminnassaan. Erittäin potentiaalinen asiakaskunta voisi olla myös erilaiset suuret jäähdytyskohteet, kuten datakeskukset. Tällaisissa kohteissa lämmöntuotannon ennustaminen on helpompaa, kuin esimerkiksi aurinkolämpöä tuottavissa kohteissa. Kaukolämpöyhtiö hyötyy ennustettavuudesta, koska tällöin sen on helpompi säädellä omaa tuotantoaan. (Kaksisuuntainen kaukolämpö 2016, 2-3.)

Pienten tuottajien liittämistä kaukolämpöverkkoon ei säädellä missään laissa, eikä kaukolämmön myyjällä täten ole siihen lakisääteistä velvoitetta. Vaikka kilpailunrajoituksista säädetyn lain 3 §:n 2 momentin tulkinnan mukaan kaukolämmön myyjä on asiakasta kohtaan määrävässä asemassa toiminta-alueellaan, ostaessaan lämpöä asiakkaalta näin ei kuitenkaan enää ole. Muun muassa tästä syystä lämmön myyjän ja

asiakkaan välille on luotava lämpösopimus, jossa esitetään tarkkaan kummankin osapuolen vastuut ja velvollisuudet esimerkiksi vikaantumisen ja ehkäisevän kunnossapidon osalta. (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa 2013, 31.)

4.2 Kaksisuuntaisen kaukolämmön haasteet

Vaikka lämmön kaksisuuntainen syöttö tarjoaa paljon mahdollisuuksia rakennusten energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamiseen, on tällaisella teknologialla myös haasteensa. Kaukolämpöyhtiön kannalta haasteina, varsinkin teknologian kehityksen alkuvaiheessa, on muun muassa kasvavasta työmäärästä ja uusien liiketoimintamallien laatimisesta johtuvat lisäkustannukset. Kaksisuuntainen lämmönsyöttö edellyttää lisämittausten asentamista, mittaustulosten jatkuvaa seuranta ja lämpöyhtiön oman tuotannon suunnittelukäytäntöjen muuttamista. (Kaksisuuntainen kaukolämpö 2016, 2-3.)

Kaukolämpöverkot ovat eri puolella maata hyvin erilaisia ja lämmöntuotosta kiinnostuneiden kaukolämpöasiakkaiden tarpeet vaihtelevat tapauskohtaisesti. Tämän vuoksi yhtenäisen ja kaikkiin tilanteisiin sopivan toimintamallin kehittäminen on mahdotonta. Tällä hetkellä kaksisuuntaisen kaukolämmön kehittymiselle ja kasvulle merkittävä edellytys on tietoisuuden lisääminen sekä kaukolämpöyhtiöiden, että potentiaalisten asiakkaiden keskuudessa. (Kaksisuuntainen kaukolämpö 2016, 2-3.)

Yksittäisen lämmön pientuottajan liittämällä kaukolämpöverkkoon ei ole merkittävää vaikutusta. Jos kuitenkin lämmöntuottajien määrä lisääntyy, lisääntyy myös niiden vaikutus kaukolämpöverkon ja voimalaitoksen toimintaan. Mikäli pientuottajat liitetään kaukolämpöverkkoon, jonka lämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksella, pienentää pientuottajien verkkoon syöttämä lämpö sähkön tuotantoa. Tämä puolestaan vähentää sähkön myynnistä saatavia tuloja. (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä 2013, 33.)

Kaukolämpöverkot rakentuvat niin, että voimalaitokselta lähtevät lämmönsiirtojohdot ovat suurempia ja kaukana pienempiä. Lämpöä tuottavan kaukolämpöasiakkaan kannalta olisi edullisempaa syöttää tuottamaansa lämpöä kaukolämpöverkon paluuputkeen. Tämä kuitenkin huonontaisi kaukolämmön tuotannon hyötysuhdetta muun muassa lisäten verkon lämpöhäviöitä ja kasvattaen verkon pumppauskustannuksia. Myös mikäli tuottajia olisi useita ja näin paluulinjaan syötetty lämpöteho kasvaisi suuresti, vaatisi se suurempien paluuputkien rakentamista. (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa 2013, 34.)

Yksi ratkaisu lämmön kaksisuuntaisen syötön haasteisiin olisi niin kutsutun matalalämpöverkon rakentaminen. Matalalämpöverkko toimii normaalin kaukolämpöverkon rinnalla ja on yhdistetty siihen lämmönvaihtimien välityksellä. Kiinteistöjen lämmitysenergian tarve on laskussa, mikä näkyy perinteisessä kaukolämpöverkossa mm. lisääntyneinä lämpöhäviöinä. Matalalämpöverkko toimii nimensä mukaisesti matalammassa lämpötilassa: menolämpötila noin 60°C ja paluulämpötila 30° (vrt. kaukolämpöverkon menolämpötila 65-115 °C ja paluulämpötila 40-60 °C). Tästä syystä myös esimerkiksi aurinkolämmön syöttö verkkoon on tehokkaampaa, sillä aurinkokeräimet toimivat tehokkaasti matalammassa lämpötiloissa ja aurinkokeräimillä on helppompi saavuttaa matalalämpöverkon menolämpötila kuin perinteisen kaukolämpöverkon vastaava lämpötila. (Suhonen 2016, 10.)

5 Tutkittava kiinteistö

Tutkimuksen kohteena on vuonna 2014, Jyväskylän Asuntomessujen aikaan, Äijälänrantaan rakennettu omakotitalo. Talon huoneistoala on 155,5 m² ja rakennustilavuus 866 m³. Kiinteistö on rakennuslupamenettelyn yhteydessä laskettu kuuluvaksi energiatehokkuutensa puolesta A-luokkaan. Kohteen päälämmitysjärjestelmänä toimii kaukolämpö, jonka lisäksi talon teknisen tilan päätyyn on asennettu aurinkokeräimet. Aurinkokeräinten tuottama lämpö käytetään kokonaisuudessaan ensisijaisesti kiinteistön ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Huonetilojen lämmitys toteute-

taan alakattorakenteisiin integroiduilla kattosäteilypaneeleilla, joiden lisäksi märkätiloissa on lattialämmitys. Kiinteistössä pilotoitiin hybridilämmitysjärjestelmää, jossa aurinkokeräinten tuottama ylijäämälämpö myydään kaukolämpölaitokselle syöttämällä se kaukolämpöverkkoon. Kiinteistössä ei siis ole erillistä varaajaa, vaan kaukolämpöverkko toimii varaajana. Jyväskylän Energia ostaa kiinteistön tuottamaa aurinkoenergiaa samalla hinnalla, kuin myy kaukolämpöä kiinteistölle.

Kiinteistön käyttämä aurinkokeräintyyppi on Ruukki Classic Solar -merkinen tasokeräin. Kokonaiskeräinpinta-ala on 4 m² ja keräimet on integroitu kiinteistön teknisen tilan pätyyn vesikatteeseen (ks. kuvio 9). Keräinten arvioitu vuosituotanto on 2 - 3 MWh ja ne toimivat 2,0 kW:n teholla. Aurinkokeräimet on otettu huomioon jo talon rakennusvaiheessa, joten teknisen tilan seinä, johon keräimet on integroitu, on suunnattu suoraan etelään. Koska keräimet on integroitu vesikatteeseen, on keräinten tausta suojassa viilentävältä tuulelta.

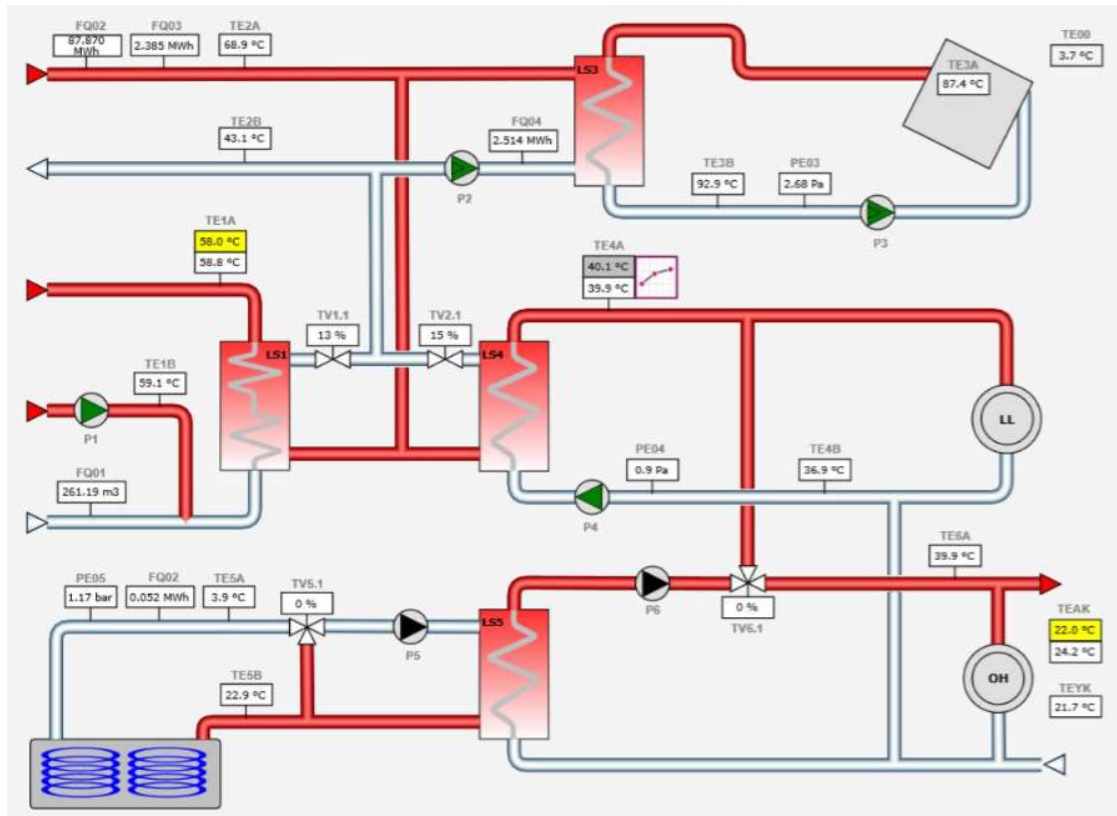


Kuvio 9 Kiinteistön aurinkokeräimet

5.1 Toimintakuvaus

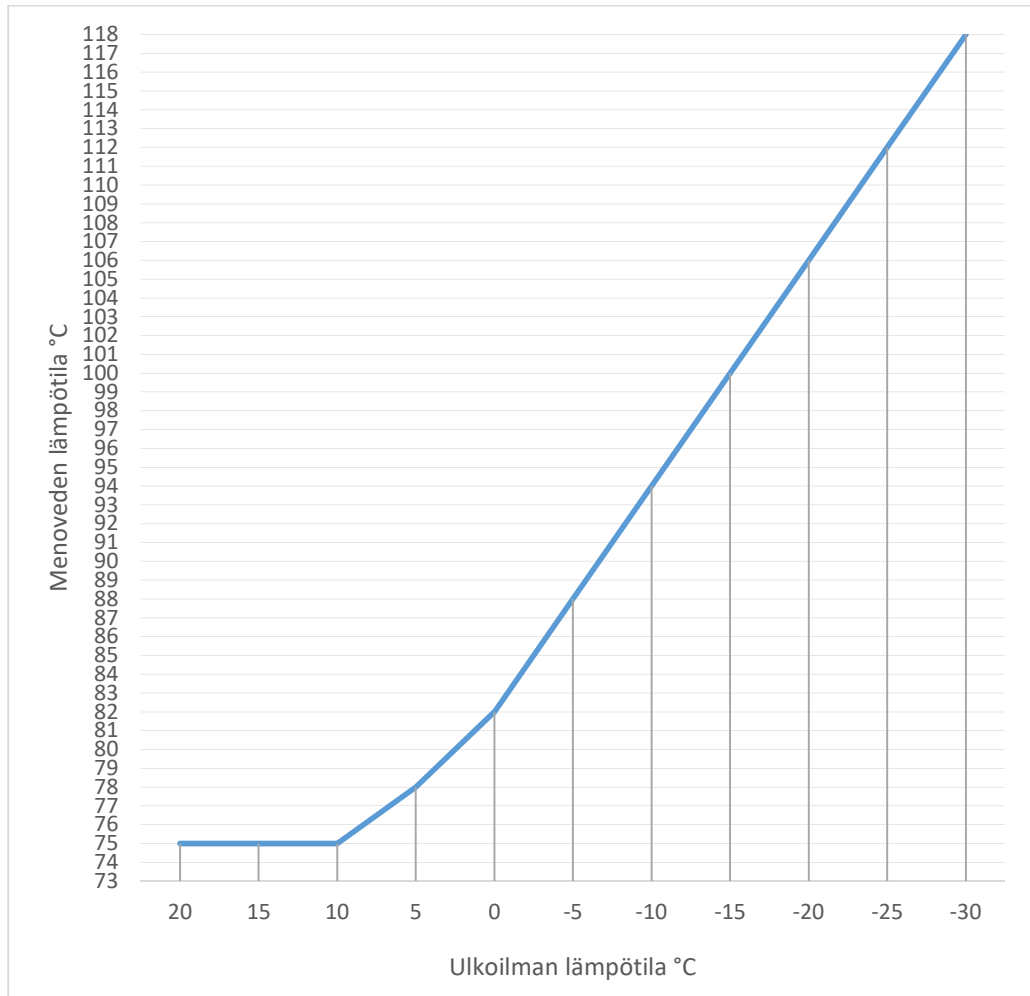
Järjestelmä toimii automatiikalla, joka seuraa muutamaa eri mittauspistettä ja tekee säädöt niiden antamien tietojen perusteella. Kuvio 10 esittää rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymää, josta nähdään järjestelmän laitteet, vallitsevat olosuhteet ja asetusarvot. Kun kiinteistössä on lämmöntarvetta, säätöventtiilit TV1.1 ja TV2.1 ovat auki ja kaukolämpöverkosta tuleva lämpö pääsee virtaamaan kiinteistön lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmönvaihtimiin LS1 ja LS4. Venttiilien ohjaus seuraa jatkuvasti TE1A ja TE4A lämpötila-antureita, jotka mittaavat lämpimän käyttöveden ja kiinteistön lämmityksen lämpötiloja. Kuvioista 11 nähdään, että näille lämpötiloille on määritelty asetusarvot, joiden mukaan venttiilejä ohjataan. Automaatiikka mittaa jatkuvasti myös kaukolämmön meno- ja paluuputkien lämpötilaa TE2A ja TE2B antureilla.

Aurinkokeräimissä sijaitsevalla TE3A lämpötila-anturilla mitataan aurinkopaneelin pintalämpötilaa. Kun lämpötila ylittää kaukolämpöpiirin paluulämpötilan TE2B 5 °C, käynnistyvät pumpput P2 ja P3. Pumppu P3 kierrättää lämmönsiirtonestettä aurinkokeräimen ja LS3 lämmönvaihtimen välillä pyrkien pitämään aurinkopiirin lämpötilaeron asetetussa arvossaan. Pumppu P3 käy 100 % nopeudella johtuen havaituista virtaamahäiriöistä. Pumppu P2 kierrättää kaukolämpöveden edellä mainittuun lämmönvaihtimeen, jolloin aurinkokeräinten tuottama lämpö saadaan siirrettyä kaukolämpöveden ja tätä kautta edelleen kiinteistön käyttöön. Pumppu P2 seuraa lämpötilaeroa lämmönvaihtimen LS3 yli, jonka tulisi olla yli 10 °C.



Kuvio 10 Automaatiojärjestelmän esittämä kaavio järjestelmän toiminnasta ja vallitsevista olosuhteista

Kesäaikaan voi tulla tilanne, jolloin kiinteistössä ei ole lämmityksen tarvetta, mutta aurinkokeräin tuottaa lämpöä. Tällöin säätöventtiilit TV1.1 ja TV2.1 ovat kiinni (tai auki alle asetetun arvon), pumpput P2 ja P3 toimivat omien ohjelmiansa mukaisesti ja lämpöä syötetään kaukolämpöverkkoon. Pumpun P2 on ylitettävä kaukolämpöverkon paine, jolloin se saa virtauksen suunnan muuttumaan ja lämpöä saadaan syötettyä kaukolämpöverkon menopuolelle. Pumpun ohjaus noudattaa kaukolämpöverkon menolämpötilan säätökäyrää, joka on esitetty kuviossa 11. Kuvioista nähdään, että kaukolämpöverkon menoveden lämpötila määräytyy vallitsevan ulkolämpötilan TE00 mukaan. Pumppu P2 pyrkii pitämään kaukolämmön menoveden TE2A asetetussa arvossaan muuttamalla pumpun nopeutta. Kun säätöventtiilit TV1.1 ja TV2.1 ovat auki yli asetetun arvon, tulkitaan tilanne lämmöntarpeeksi. Tällöin pumppu P2 saa luvan pumpata 60 °C vettä kaukolämmön menoputkeen edellyttäen, että myös pumppu P3 pyörii.



Kuvio 11 Kaukolämmön menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona

5.2 Järjestelmään tehdyt muutokset ja havaitut virheet

Heti asennuksen jälkeen huomattiin, että keräinjärjestelmässä ei virrannut lämmönsiirtonestettä, joten järjestelmä jouduttiin ilmaamaan putkiurakoitsijan toimesta. Tämän lisäksi järjestelmän ylipaineventtiilin kooksi vaihdettiin 6 baaria aiemman 1,5 baarin sijaan. Järjestelmän 4 litran paisunta-astia oli myös rikkoontunut ja sen tilalle vaihdettiin 18 litran paisunta-astia.

Keräimiin oli myös päässyt kosteutta asennus aikana, mikä näkyi keräinten sisäpinnalle kerääntyvinä vesipisaroina. Siitä huolimatta, että laitevalmistajan kehotuksesta keräinpiirin kiertopumppuja oli pidetty jatkuvasti päällä, ei ylimääräinen kosteus ollut poistunut keräinten sisältä.

Kaukolämpöverkkoa mittaavat lämpötila-anturit oli asennettu väärään paikkaan, jolloin ne mittasivat putkea, jossa vesi ei virrannut. Anturit jouduttiin jälkikäteen siirtämään putkihaaran toiselle puolelle.

Lisäksi huomattiin, että laitteiston käyttöliittymästä ei pystytty vaikuttamaan pumppujen toimintarajoihin. Pumput jouduttiin siis asettamaan manuaalisesti sopivalle nopeudelle.

Pumppu P2 on asetettu toimimaan puoliteholla siinä tilanteessa, kun lämpöä käytetään itse. Muun muassa tämä aiheutti kaukolämmön menoveden jäähtymistä. Järjestelmää on kuitenkin sittemmin päivitetty niin, että pumpun kierrosnopeus säätyy kaukolämmön menoveden mukaan.

Jotta lämmönsiirtoneste ehtisi lämmitä keräimissä tarpeeksi, olisi optimaalista, että aurinkokeräinpiirin pumppu P3 käynnistyisi miniminopeudella. Keräinpiirin virtaushäiriöistä johtuen pumppu on kuitenkin jouduttu asettamaan niin, että se käynnistyy heti maksiminopeudella. Pumppu pysyy käynnissä kunnes keräimissä sijaitsevan TE3A lämpötila-anturin ilmoittama lämpötila laskee alle asetetun arvon. Anturi TE3A mittaa keräinten pintalämpötilaa, joten se kertoo, milloin aurinkolämpöä on saatavilla. Se ei kuitenkaan ilmoita itse lämmönsiirtonesteen lämpötilaa. Tällöin saatetaan ajautua tilanteeseen, jossa lämmönsiirtoneste ei ole ehtinyt lämmitä keräimissä ja pumppu pyörittää liian viileää lämmönsiirtonestettä keräinten ja lämmönvaihtimen välillä. Virtaushäiriöt voivat johtua keräinpiiriin päässeestä ylimääräisestä ilmasta. Keräinpiirin ilmausruuvi on kuitenkin asennettu niin matalaan paikkaan, että sen kautta ei saada poistettua kaikkea ilmaa putkistosta.

6 Järjestelmän toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä

Tutkimuksen kohteena oleva järjestelmä ei ole suurimmilta osin toiminut halutulla tavalla. Opinnäytetyössä on pohdittu muutamia syitä, mitkä voivat vaikuttaa haitallisesti kyseisen aurinkolämpöjärjestelmän ja kaksisuuntaisen lämmönsyötön toimintaan.

6.1 Lämmön välivarastointi

Aurinkolämmön hyödyntäminen on siinä mielessä hankalaa, että lämmön tuotto ja lämmityksen tarve eivät useinkaan osu samalle ajan hetkelle. Siksi varaajan lisääminen aurinkolämpöjärjestelmän yhteyteen on yleensä järkevää. Lisäksi aurinkolämmön varastointi toisi lisäarvoa myös kaksisuuntaiselle syötölle, sillä aurinkolämpöä voisi myydä silloin, kun kysyntä on suurempaa. Pöyryn laatimassa raportissa (Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa 2013, 34) mainitaan seuraavaa:

Erityisesti kiinteän polttoaineen lämmöntuotantolaitoksissa tuotantotehon muutosnopeus on rajallinen, kun taas aurinkolämmön tuotanto vaihtelee suuresti. Tämän takia tuotantotehon muutosnopeudelle on asetettava laatuvaatimuksia.

Aurinkolämpö täyttäisi nämä laatuvaatimukset vain siinä tapauksessa, jos aurinkolämpöä voidaan varastoida varaajaan tai lämpöakkuun. Kuvioista 12 nähdään, että kolmen henkilön asuttamalle talolle suositeltu keräinpinta-ala on minimissään 3,6 m² ja maksimissaan 6 m². Tutkittavan kiinteistön keräinpinta-ala on 4 m², joten näiden tietojen perusteella sopiva varaaja on 225–300 litraa.

henkilömäärä	1	2	3	4	5	6	7
keräin min (m ²)	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4
keräin max (m ²)	2	4	6	8	10	12	14
varaaja min (litraa)	75	150	225	300	375	450	525
varaaja max (litraa)	100	200	300	400	500	600	700

Kuvio 12 Käyttövesijärjestelmän mitoitus suositukset henkilömäärän mukaan (Aurinkolämpöjärjestelmät Oulussa 2014, 2.)

6.2 Voimalaitoksen läheisyys

Tutkittava kiinteistö sijaitsee vain noin 700m päässä kaukolämpölaitokselta. Tästä syystä kaukolämpöverkon painetaso kiinteistölle saapuessaan on lähes sama, kuin voimalaitokselta lähtevä kaukolämpöveden paine. Jotta aurinkolämpöä pystytään

syöttämään kaukolämpöverkkoon, on kiinteistössä sijaitsevan pumpun (P2) syrjäytettävä kaukolämpöverkon menoputken paine. Kuviossa 13 on esitetty Rauhanlahden voimalaitokselta lähtevä kaukolämpöverkon paine-ero aikavälillä 28.1.–15.4.2017. Kaukolämpölaitokselle saapuva verkon paine on hyvin pieni, joten kuvion 14 voidaan nähdä osoittavan melko tarkasti voimalaitokselta lähtevää painetta. Kiinteistön pumppu P2 pystyy syrjäyttämään maksimissaan 5,5 bar paineen. Kuten kuviosta 14 nähdään, verkon paine on ollut paikoin huomattavasti suurempi, kuin 5,5 bar. Tällöin, vaikka kiinteistöllä olisikin aurinkolämmön ylijäämätuotantoa, pumppu P2 ei pysty syöttämään lämpöä kaukolämpöverkkoon.

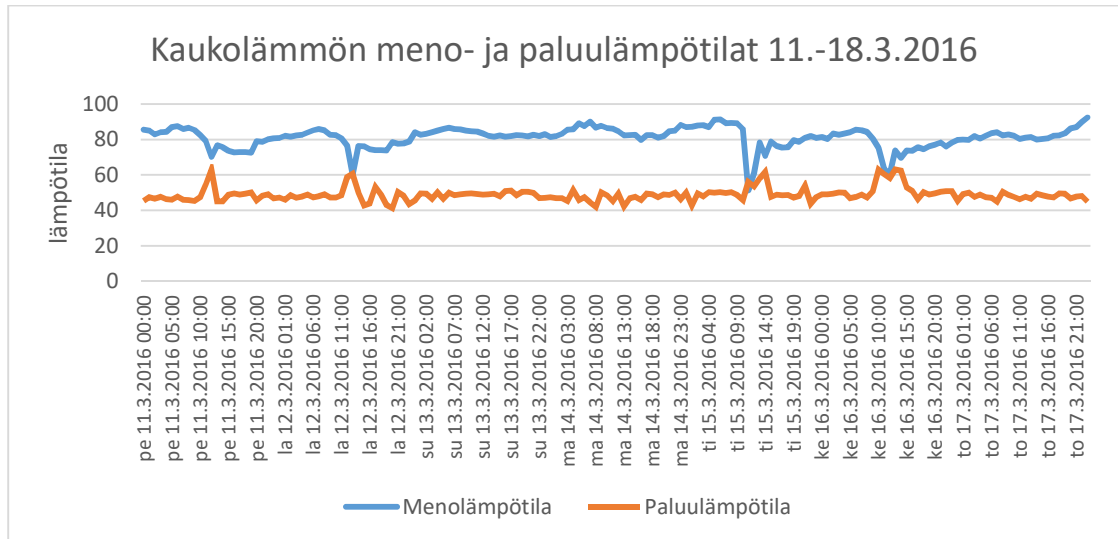


Kuvio 13 Rauhanlahden voimalaitoksen kaukolämpöverkon paine-ero

6.3 Aurinkolämmön vaikutus kaukolämmön jäähtymään

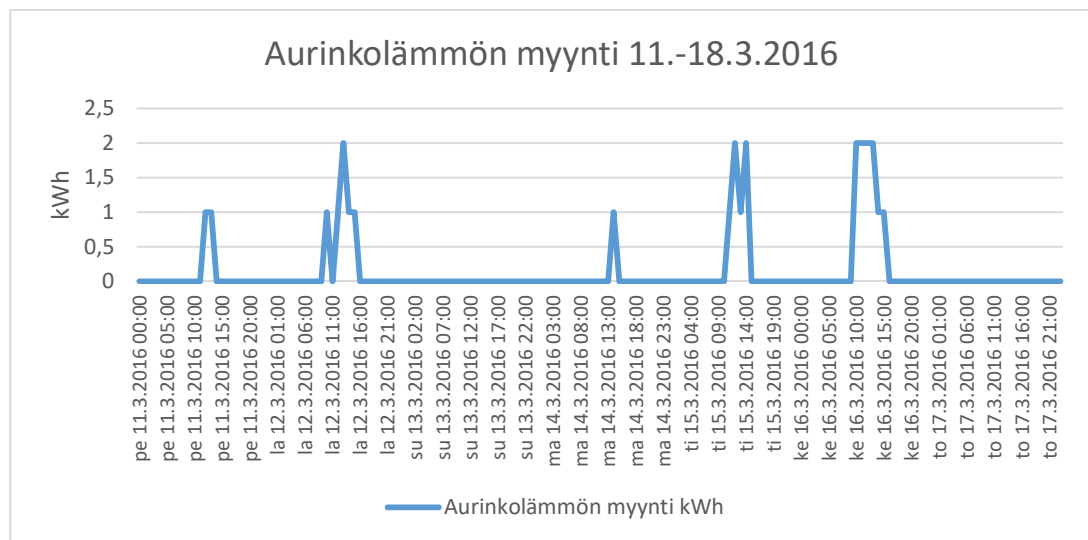
Kaukolämpöyhtiön ja asiakkaan välisessä lämpösopimuksessa määritellään muun muassa suositeltu kaukolämmön jäähtymä kiinteistön yli. Talviaikaan jäähtymä on erittäin hyvä, mikäli se on yli 60 °C. Kesällä riittää, kun jäähtymä on yli 15 °C. (Kaukolämpölaitteiden seuranta- ja käyttöohjeita n.d., 2.)

Kuten kuviosta 14 nähdään, on kaukolämmön jäähtymä suurimmilta osin hyvällä tasolla (noin 30–40°C). Kuvaajasta on kuitenkin myös nähtävissä, että paikoin kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötilat lähenevät toisiaan, jolloin jäähtymän arvo lähenee 0 °C.



Kuvio 14 Kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat 11.–18.3.2016

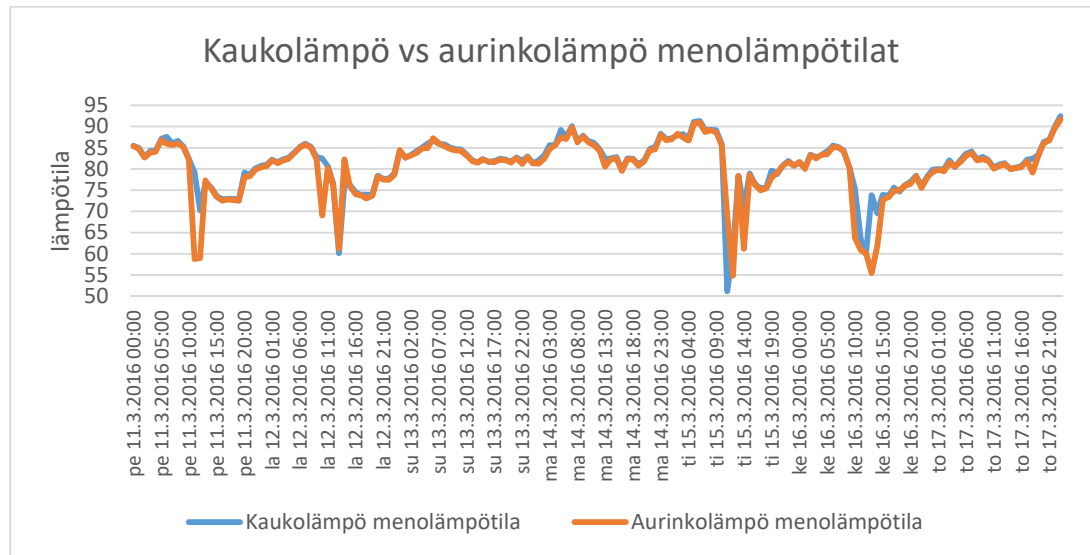
Kuviosta 15 nähdään, että poikkeamat kaukolämmön jäähtymässä osuvat samalle ajalle kuin aurinkolämmön verkkoon syöttö. Kaukolämpöverkkoon syötetty aurinkolämpö siis vaikuttaa jäähdyttävän kaukolämpöverkon menopuolta.



Kuvio 15 Kaukolämpöverkkoon syötetyn aurinkolämmön teho

6.4 Kaukolämmön ja aurinkolämmön lämpötilamittaukset

Kiinteistön lämmitysjärjestelmä antaa muun muassa neljä eri lämpötilatietoa. Järjestelmä mittaa kaukolämmön meno- ja paluuveden lämpötilaa, sekä se ilmoittaa myös aurinkolämmön myynnin meno- ja paluulämpötilaa. Todellisuudessa sekä kaukolämmön, että aurinkolämmön menolämpötilat on mitattu samasta kohdasta. Nämä lämpötilat siis teoriassa tulisi olla yhtä suuret. Kuvioista 16 kuitenkin nähdään, että näin ei aina ole. Tämän lisäksi kun vertaillaan kuvioita 15 ja 16 keskenään voidaan huomata, että lämpötilojen heitot ajoittuvat juuri samalle ajalle, kuin aurinkolämmön tuotto.



Kuvio 16 Kaukolämmön ja aurinkolämmön menolämpötilojen käyrät

Kun tarkastellaan lämpötilojen arvoja päivältä 15.3.2016 huomataan, että esimerkiksi kello 11:00–14:00 mittareiden ilmoittamien lämpötilojen ero on vaihdellut hyvin suuresti (ks. taulukko 2). Taulukossa esitetään myös aurinkolämmön myynnin tilavuusvirran suuruus, joka on yksikköä m^3/h .

Taulukko 2 Kaukolämmön ja aurinkolämmön menovesien mittaustietojen erotus verrattuna myydyin aurinkolämmön määrään

	Kaukolämmön meno	Aurinkolämmön meno	Erotus	Aurinkolämmön tilavuusvirta
ti 15.3.2016 00:00	86,99	86,82	0,17	0,00
ti 15.3.2016 01:00	87,21	87,00	0,21	0,00
ti 15.3.2016 02:00	87,92	88,28	-0,36	0,00
ti 15.3.2016 03:00	88,20	87,47	0,73	0,00
ti 15.3.2016 04:00	86,98	86,72	0,26	0,00
ti 15.3.2016 05:00	91,11	90,71	0,40	0,00
ti 15.3.2016 06:00	91,31	90,91	0,40	0,00
ti 15.3.2016 07:00	89,15	88,75	0,40	0,00
ti 15.3.2016 08:00	89,31	89,09	0,22	0,00
ti 15.3.2016 09:00	89,11	88,61	0,50	0,00
ti 15.3.2016 10:00	85,97	85,39	0,58	0,00
ti 15.3.2016 11:00	51,16	69,05	-17,89	0,13
ti 15.3.2016 12:00	60,95	54,86	6,09	0,21
ti 15.3.2016 13:00	78,31	78,35	-0,04	0,11
ti 15.3.2016 14:00	70,69	61,19	9,50	0,22
ti 15.3.2016 15:00	78,97	78,53	0,44	0,03
ti 15.3.2016 16:00	76,44	76,21	0,23	0,00
ti 15.3.2016 17:00	75,53	75,04	0,49	0,00
ti 15.3.2016 18:00	75,55	75,50	0,05	0,00
ti 15.3.2016 19:00	79,63	78,00	1,63	0,00
ti 15.3.2016 20:00	78,78	79,11	-0,33	0,00
ti 15.3.2016 21:00	80,79	80,73	0,06	0,00
ti 15.3.2016 22:00	81,89	81,69	0,20	0,00
ti 15.3.2016 23:00	80,83	80,74	0,09	0,00

Pienet heitot järjestelmän mittauksissa voivat johtua joissain määrin mittausvirheestä, mutta esimerkiksi 15.3.2016 klo 13:00 arvoa ei mittausvirheellä voida selittää. Kiinnostava yksityiskohta on myös se, että aurinkolämmön ja kaukolämmön menovesien lämpötilaerot ovat ajoittain runsaasti miinuksella ja taas hetken päästä lämpötilaero nousee positiiviseksi luvuksi. Kuitenkin molemmissa tapauksissa aurinkolämpöä on syötetty kaukolämpöverkkoon. Tämä olisi hyvä kohta aloittaa, jos kohteesta laaditaan jatkotutkimuksia.

7 Yhteenveto

Tutkittavan kiinteistön keräinjärjestelmässä on ollut vikoja ja sekä lämmöntuotto, että myynti ovat jääneet melko vähäiseksi. Näiden vikojen korjaamiseksi keräinpiirin pumppujen toiminta parametreja tulisi säätää. Jotta pumppu P3 saataisiin toimimaan

tarkoitettulla tavalla, olisi putkistosta tärkeä saada ylimääräinen ilma poistettua. Lisäksi mittari TE3A tulisi siirtää mittaamaan aurinkokeräimen pinnan sijasta lämmönsiirtonesteen lämpötilaa, jotta pumppu P3 ehtii reagoida lämmönsiirtonesteen lämpötilan muutoksiin. Toisaalta jos pumppu P3 saadaan toimimaan niin, ettei se käy jatkuvasti täydellä teholla voi myös siitä olla apu tähän ongelmaan.

Kaukolämmön ja aurinkolämmön meno- ja paluulämpötilojen mittauksien luotettavuutta ja usean mittauspisteen tarpeellisuutta tulisi tarkastella.

Kun keräinpiirin viat saadaan korjattua, olisi järjestelmään hyvä lisätä lämpövaraaja. Näin saadaan suurempi hyöty irti aurinkolämmöntuotosta, sillä lämpöä voidaan myydä sellaiseen vuorokaudenaikaan, kun kysyntä on suurempaa. Tutkittava kiinteistö sijaitsee liian lähellä kaukolämpölaitosta, mikä näkyy ajoittain hyvin korkeana kaukolämpöverkon menoveden paineena. Liian korkea paine estää aurinkolämmön syöttämisen kaukolämpöverkkoon, vaikka tuotantoa olisikin. Myös tässä tilanteessa olisi mahdollinen ratkaisu se, että tuotettu aurinkolämpö saataisiin varastoitua lämpövaraajaan ja syötettyä kaukolämpöverkkoon silloin kun se on mahdollista.

Mittaustuloksista havaittiin, että aurinkolämmön syöttö kaukolämpöverkkoon jäädyttää verkkoa. Edellä esille tuoduista korjausehdotuksista voi olla apua tähän ongelmaan. Kiinteistön liittäminen matalalämpöverkkoon olisi kuitenkin paras ratkaisu aurinkolämmön syötön ongelmiin.

8 Pohdinta

Erilaiset hybridilämmitysratkaisut ovat toimiva keino kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseen, uusiutuvien energianlähteiden käytön lisäämiseen ja hajautetun energiantuotannon kehittämiseen. Kaksisuuntainen kaukolämpö on vielä melko kehitysvaiheessa, mutta tietoisuuden lisääminen ja järjestelmien toiminnan tutkiminen käytännössä edistävät tämän teknologian kehitystä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua hybridilämmitysratkaisun toteutukseen ja selvittää asioita, jotka vaikuttavat kyseessä olevan järjestelmän toimintaan. Tutkimusky- symyksenä käytettiin muun muassa sitä, miksi aurinkolämmöntuotto ja myynti ovat jääneet melko vähäisiksi. Heti käyttöönotosta asti järjestelmän toiminnassa on ollut häiriöitä, joten tutkimusta päätettiin lähestyä sen kannalta, että järjestelmän käytön aikana ei ole tullut uusia häiriöitä tai rikkoontumisia. Järjestelmän toiminta saatiin kuvattua tarkasti ja tunnistettiin työn kannalta tärkeät mittauspisteet. Mittausdataa saatiin kerättyä melko paljon, ja sen pohjalta laaditut kuvaajat auttoivat päätelmien tekemistä. Työssä saatiin myös tunnistettua järjestelmän kohdat, jotka saattavat vai- kuttaa sen toimintaan negatiivisesti.

Auringon energiaa saadaan tehokkaasti kerättyä maaliskuun ja syyskuun välisenä ai- kana, tehokkaimmin kesäaikaan. Työn kannalta oleellista olisi ollut tutkia aurinkoläm- mön tuottoa ja sen myynnin vaikutuksia kaukolämpöverkkoon erityisesti kesäaikaan, mutta tuota tietoa ei ollut saatavilla tietojärjestelmän toimintahäiriön vuoksi. Kesä- ajan lämmöntuotosta olisi ollut dataa saatavilla vuosilta 2014–2015, mutta tämän jäl- keen järjestelmään tehtyjen muutosten vuoksi nuo arvot eivät olleet enää käyttökelpo- isia.

Työssä käytetty mittausdata on saatu rakennusautomaatiojärjestelmästä, joka kertoo suoraan mittareiden mittaaman tiedon. Järjestelmä on itse luotettava, mutta se ei poista sitä mahdollisuutta, että mittarit itsessään voivat toimia virheellisesti. Rakennusaikana tapahtuneilla järjestelmän asennusvirheillä ja siihen myöhemmin tehdyillä korjaustoimenpiteillä voi olla vaikutusta muun muassa mittausdatan vertailukelpoi- suuteen ja järjestelmän toimintakuvauksen paikkansapitävyyteen.

Tutkittavassa kiinteistössä kaukolämmön kulutus on ollut yllättävän suurta kun ottaa huomioon sen, että kiinteistö kuuluu energiatehokkuutensa puolesta A-luokkaan. Kiinteistön lämmitys toteutetaan ItuGraf – kattosäteilypaneeleilla ja talon keittiö-olo- huone tila on erittäin korkea. Olisi hyvä tutkia edelleen, minkä verran korkea huone- tila ja ylimääräiset lämmitettävät kuutiot vaikuttavat kaukolämmön kokonaiskulutuk- seen.

Koska aurinkokeräimet toimivat huonommalla hyötysuhteella korkeissa lämpötiloissa, olisi hyvä tehdä aurinkolämmityksen soveltuvuusvertailu kattosäteilypaneelien ja lattialämmityksen välillä. Lattialämmitys toimii matalammassa lämpötilassa kuin suurin osa muista lämmitysmuodoista, joten siitä syystä aurinkolämpö sopii lattialämmitykseen hyvin.

Keräinten sisälle oli asennuksen yhteydessä päässyt kosteutta. Ylimääräinen kosteus vaikuttaa haitallisesti keräinten sisällä vallitsevaan mikroilmastoon. Olisi hyvä myös tutkia, kuinka tärkeää mikroilmaston säilyttäminen keräimissä on ja kuinka sen vaarantuminen vaikuttaa keräinten optimaaliseen toimintaan.

Pientuottajien yleistyessä yksi mahdollisuus lämmönsyötön tehostamiseen olisi niin kutsutun matalalämpöverkon rakentaminen. Matalalämpöverkko kytketään normaaliin kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimien välityksellä. Matalalämpötilaverkko vähentää lämpöhäviöitä ja helpottaa asiakkaan liittämistä lämpömyyjäksi. Erityisesti aurinkolämmön rinnalla matalalämpöverkon edut tulevat esiin. Normaalin kaukolämpöverkon korkea lämpötilataso luo haasteita aurinkolämmön syöttämiselle verkkoon, koska aurinkokeräinten korkea lämpötila heikentää tuotannon hyötysuhdetta.

Matalalämpöverkko olisi hyvä vaihtoehto erityisesti silloin, kun rakennetaan uutta asuinalueita. Tällöin hybridilämmitys voitaisiin ottaa huomioon jo rakennusvaiheessa, aurinkokeräimet voitaisiin integroida talojen rakenteisiin ja ne voitaisiin mitoitaa toimimaan hyvällä hyötysuhteella matalalämpöverkkoon liitettynä.

Lähteet

Auringosta lämpöä ja sähköä. 2016. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 2.5.2017. http://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf.

Aurinko Opas – 04 Aktiivinen aurinkoenergia, aurinkokeräimet. 2017. Aurinkoteknillisen Yhdistyksen verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=168.

Aurinkoenergia Suomessa. 2016. Aurinkoenergiaa.fi verkkosivut. Viitattu 11.5.2017. <http://www.aurinkoenergiaa.fi/aurinkoenergiaa.html>.

Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. 2013. Loppuraportti. Pöyry Management Consulting. http://energia.fi/files/1001/Aurinkolammon_liiketoimintamahdollisuudet_Poyry_2013.pdf.

Aurinkolämmön perusteet. 2017. Motivan verkkosivut. Viitattu 19.5.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_perusteet.

Aurinkolämpöjärjestelmät Oulussa. 2014. RESCA Oulun julkaisema suunnitteluohje. Viitattu 13.5.2017. http://www.rescaoulu.fi/wp-content/uploads/20140624_ohje_aurinkol%C3%A4mp%C3%B6.pdf.

Auvinen, K. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Artikkelin Fin Solarin verkkosivuilla. Viitattu 30.4.2017. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>.

Basics Of Vacuum Tubes. N.d. Northern Lights Solar Solutions verkkosivut. Viitattu 13.5.2017. <https://www.solartubs.com/how-do-solar-vacuum-tubes-work.html>.

Brown, A. & Eisentraut, A. 2014. Heating without global warming. Market Developments and Policy Considerations of Renewable Heat. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/FeaturedInsight_HeatingWithoutGlobalWarming_FINAL.pdf.

Ekman, H. N.d. EU:n energia- ja ilmastopolitiikka vuoteen 2030. Energiateollisuuden verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. http://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/eu_n_2030-tavoitteet.

Epp, B. 2017. Denmark: New Solar District Heating World Record. Artikkelin Global Solar Thermal Energy Council verkkosivuilla. Viitattu 4.5.2017. <http://www.solartermalworld.org/content/denmark-new-solar-district-heating-world-record>.

Euroopan unionin ilmastopolitiikka ohjaa jäsenmaita. 2015. Artikkelin Ilmasto-opaan verkkosivuilla. Viitattu 20.5.2017. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/>

/artikkeli/b82589fa-efc6-41c0-b7fd-0f1233b76c86/euroopan-unionin-ilmastopoli-
tiikka-ohjaa-jasenmaita.html.

Heikkilä, T. 2011. Kaukolämmön hinnoittelurakenteet. Opinnäytetyö, ylempi AMK.
Metropolia Ammattikorkeakoulu, Talotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 11.5.2017.
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32684/Insinoorityo%20TimoHeik-
kila%2015.4.2011.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32684/Insinoorityo%20TimoHeikkila%2015.4.2011.pdf?sequence=1).

Ilmakeräimet. 2016. Motivan verkkosivut. Viitattu 30.4.2017. [https://www.mo-
tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmake-
raimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet).

Ilmastonmuutos: Lyhyesti. N.d. Ilmasto.org verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. [http://il-
masto.org/ilmastonmuutos/lyhyesti](http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/lyhyesti).

JE-yhtiöt. N.d. Jyväskylän Energian verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. [http://www.jyvas-
kylanenergia.fi/je-yhtiot](http://www.jyvas-
kylanenergia.fi/je-yhtiot).

Jyväskylän Energian Talo a. N.d. EnergiaKokeilut.fi verkkosivu. Viitattu 20.5.2017.
<http://www.energiakokeilut.fi/node/150>.

Järjestelmän muut osat. 2016. Motivan verkkosivut. Viitattu 11.5.2017.
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojar-
jestelmat/jarjestelman_muut_osat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojar-
jestelmat/jarjestelman_muut_osat).

Kaksisuuntainen kaukolämpö. 2016. Tutkimustiedote. Energiateollisuus. [http://ener-
gia.fi/files/599/Kaksisuuntainen_KL_Tutkimustiedote_20160817.pdf](http://ener-
gia.fi/files/599/Kaksisuuntainen_KL_Tutkimustiedote_20160817.pdf).

Kaukolämmöllä ja sillä siisti. N.d. Kannuksen Kaukolämpö Oy:n verkkosivut. Viitattu
21.5.2017. <http://www.kannuksenkaukolampo.fi/kaukolampo>.

Kaukolämpölaitteiden seuranta- ja käyttöohjeita. N.d. Kaukolämpölaitteiden opas Jy-
väskylän Energian verkkosivuilla. Viitattu 1.5.2017. [http://www.jyvaskylanener-
gia.fi/filebank/210-kaukolampolaitteidenopas.pdf](http://www.jyvaskylanener-
gia.fi/filebank/210-kaukolampolaitteidenopas.pdf).

Kylmälä, A. 2015. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteen kytkennän vaikutus kauko-
lämpöjärjestelmän toimintaan. Opinnäytetyö, ylempi AMK. Jyväskylän ammattikor-
keakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu
19.5.2017. [https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/95867/Alex%20Kylmala%20Opinnaytetyo.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/95867/Alex%20Kylmala%20Opinnaytetyo.pdf?sequence=1).

Lampila, J. 2016. Everything is different in the state of Denmark. LinkedIn artikkeli.
Viitattu 2.5.2017. [https://www.linkedin.com/pulse/everything-different-state-den-
mark-jouko-lampila?trk=prof-post](https://www.linkedin.com/pulse/everything-different-state-den-
mark-jouko-lampila?trk=prof-post).

Lämpöä kotiin keskitetysti. 2012. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 2.5.2017.
https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf.

Mauthner, F., Weiss, W., Spörk-Dür, M. 2015. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2013. Raportti. Päivitetty 2015. IEA Solar Heating & Cooling Programme. <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2015.pdf>.

Miten aurinkoenergia toimii?. N.d. Suomen aurinkoenergia Oy:n verkkosivut. Viitattu 12.5.2017. <http://www.suomenaurinkoenergia.fi/?q=aurinkoenergia>.

Miten kaukolämpö toimii? N.d. Elenian verkkosivut. Viitattu 30.4.2017. http://www.elenia.fi/lampo_ja_kaasu/tietoa_kaukolammosta/toiminta.

Nestekiertoiset keräimet. 2016. Motivan verkkosivut. Viitattu 30.4.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet.

Posio, M. 2013. Aurinkoenergian mahdollisuudet. Power Point esitys. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. <http://slideplayer.fi/slide/1940039/>.

Putkikeräimet. N.d. Putki-Make Oy:n verkkosivut. <http://www.putki-make.fi/aurinko.html>.

Suomen Lähienergialiitto. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmät: toimintaperiaate ja käyttökohteet. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=PMLXu6g53pE>.

Suhonen, H. 2016. Matalalämpötilaisten jätelämpövirtojen hyödyntäminen lämpöpumpuilla: Case Energiaväylä. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123354/Kandidaatinty%C3%B6_Suhonen_Hanna.pdf?sequence=2.

Tanskalaiset tuottavat aurinkolämpöä yhteistuumin. 2015. ATY Viestinnän artikkeli Aurinkoteknillisen Yhdistyksen verkkosivuilla. Viitattu 4.5.2017. <https://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?p=607>.

Tietoa aurinkokeräimistä. 2016. Aurinkopuisto.com verkkosivut. Viitattu 4.5.2017. <http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php>.

Tutustu JE:n energiantuotantoon!. N.d. Jyväskylän Energian verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/lampo/kaukolammon-tuotanto/energiantuotantolaitokset>.

Tyjiöputkikeräimet. N.d. Motivan verkkosivut. (Viitattu 24.5.2017) https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet.

Uusiutuva energia Suomessa. 2017. Motivan verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. https://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa.

Uusiutuva energia Suomessa. N.d. Työ- ja elinkeinoministeriön verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. <http://tem.fi/uusiutuva-energia>.

Uusiutuvan energian tavoite ylittyi etuajassa. 2016. Uutinen Energiaviraston verkkosivuilla 26.1.2016. Viitattu 20.5.2017. <https://www.energiavirasto.fi/-/uusiutuvan-energian-tavoite-ylittyi-etuajassa>.

What is District Heating?. N.d. Danfossin verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. <http://district-heating.danfoss.com/applications/what-is-district-heating/#/>.

Winning solar thermal technology. 2016. Savo-solarin esitysmateriaali Pörssin Avoinmet Ovet –tapahtumassa 31.8.2016. Viitattu 20.5.2017. http://www.nasdaqomxnordic.com/digitalAssets/103/103487_savosolar-2016-08-31-nasdaq-v4.pdf.

Älykkäät energiaratkaisut. N.d. Jyväskylän Energian verkkosivut. Viitattu 20.5.2017. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/asuntomessut/alykkaat-energiaratkaisut>.