

OPINNÄYTETYÖ

NIKO-TEEMU LAPPALAINEN 2014

**AURINKOLÄMMÖN KANNATTAVUUS
OMAKOTITALOSSA**

RAKENNUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIikka JA LIIKENNE
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

AURINKOLÄMMÖN KANNATTAVUUS OMAKOTITALOSSA

Niko-Teemu Lappalainen

2014

Ohjaaja Kai Ryyänen

Hyväksytty _____ 2014 _____

Työ on Theseus-verkkokirjastossa

Tekijä	Niko-Teemu Lappalainen	Vuosi	2014
Työn nimi	Aurinkolämmön kannattavuus omakotitalossa		
Sivu- ja liitemäärä	40 + 1		

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli tutkia kohderakennukseen asennetun aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus ja toimivuus. Tavoitteena oli selvittää, onko järjestelmä kokonaisuudessaan onnistunut valinta tutkimuskohteeseen ja pystyisikö sitä jollakin tavalla parantamaan. Lisäksi tavoitteena oli miettiä tämän tutkimuskohteen kautta, onko aurinkolämmössä potentiaalia omakotitaloissa Suomessa. Tutkimuskohteessa haluttiin vapautua puun poltosta kesäisin ja hankittiin aurinkolämmitysjärjestelmä tuottamaan lämmintä käyttövettä. Opinnäytetyön tarkkailuajanjakso kesti huhtikuusta toukokuuhun 2013.

Tutkimuksesa määriteltiin aurinkolämmitysjärjestelmä yleisesti, minkä jälkeen paneuduttiin kohteen aurinkolämpöjärjestelmään, sen suunnitteluun ja asennukseen. Tämän jälkeen analysoitiin kohteesta saatuja mittaustuloksia. Opinnäytetyössä verrattiin aurinkolämmitysjärjestelmän kustannustehokkuutta suhteessa sähkö- ja puulämpöön. Lopuksi järjestelmälle laskettiin takaisinmaksuaika ja sen kannattavuutta pohdittiin.

Aurinkolämmitysjärjestelmän kannattavuudesta voidaan olla kahta ei mieltä. Tämänhetkisillä energian hinnoilla tutkimuskohteen järjestelmän takaisinmaksuajat jäivät pitkiksi. Toisaalta järjestelmä on onnistunut ja täyttää sille asetetut vaatimukset. Järjestelmä tuottaa lämmintä käyttövettä kesäisin ja auttaa keväällä ja syksyllä lämmitysprosessia.

Author	Niko-Teemu Lappalainen	Year	2014
Subject of thesis	Profitability of Solar Heat in Detached Houses		
Number of pages	40 + 1		

The purpose this study was to investigate the profitability and the functionality of solar heat system installed in a target building. The aim was to investigate if the system is a successful choice for this target building and if improvements could be made. Furthermore, the aim was to reconsider the potential of solar heat in Finnish detached houses with the help of the target building. In the target building wood heating was given up in summer and solar heat was used for producing hot water. The exploration period was from the beginning of April to the end of October 2013.

First the solar heating system was determined in general. Next the design and installation of the solar heat system in the target building was examined. After that the measurements done in the target building were analyzed. Cost-effectiveness of the solar heat system was compared with the cost-effectiveness of electricity and wood heating. Finally, a specified repayment period of the system was calculated and its profitability considered.

Profitability of solar heat systems divides opinions. Due to the current energy prices the repayment period in the target building is long. On the other hand the system is successful and fulfills the given requirements. The system produces domestic hot water in summer and makes the heating process easier during spring and autumn.

Key words solar heat, solar heating, heat-pipe collector

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	1
1 JOHDANTO	2
2 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ.....	3
2.1 AURINKOLÄMPÖ	3
2.2 TYHJIÖPUTKIKERÄIMEN TOIMINTAPERIAATE	3
2.3 AURINKOJÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE	5
2.4 AURINKOLÄMPÖ JA PUULÄMMITYS.....	5
2.5 LÄMMIN KÄYTTÖVESI	6
2.6 AURINKOKERÄIMIEN HYÖTYSUHTEET	7
3 KOHDERAKENNUKSEN ESITTELY.....	8
3.1 RAKENNUKSEN TIEDOT	8
3.2 RAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	8
3.3 RAKENNUKSEN AURINKOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	9
3.4 MIKSI AURINKOLÄMMITYS?	9
4 TUTKIMUSKOHTTEEN JÄRJESTELMÄ	11
4.1 AURINKOJÄRJESTELMÄ	11
4.1.1 Aurinkokeräimet	11
4.1.2 Pumppuryhmä.....	11
4.1.3 Ohjain.....	12
4.1.4 Levylämmönvaihdin.....	12
4.2 AURINKOJÄRJESTELMÄN ASENNUKSEN SUUNNITTELU	13
4.3 AURINKOJÄRJESTELMÄN ASENNUS	13
4.4 JÄRJESTELMÄN MITTAUSPERIAATE.....	15
5 MITTAUSTULOKSET.....	18
5.1 JÄRJESTELMÄSTÄ SAADUT MITTAUSTULOKSET	18
5.1.1 Laitteiston kokonaisteho	18
5.1.2 Keräimen ja varaajan lämpötila	19
5.1.3 Päivittäinen lämpötila	20
5.1.4 Hetkellinen teho	23
5.1.5 Tulo- ja paluulämpötilat	25
5.2 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS	26
5.2.1 Energian hinta	27
5.2.2 Järjestelmästä muodostuneet kulut	27
5.2.3 Laskelmat puulle	28
5.2.4 Laskelmat sähkölle.....	29
5.2.5 Laskelmat siirtopumpuille	30
5.3 TAKAISINMAKSUAIKA.....	31
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	34
6.1 PÄÄTELMÄT TUTKIMUSKOHTEESTA.....	34
6.2 VAIHTOEHTOINEN JÄRJESTELMÄ SAMANLAISEEN TILANTEESEEN.....	36
7 YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET.....	39
LIITTEET.....	41

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. SIVULEIKKAUS TYHJIÖPUTKESTA	4
KUVIO 2. LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TOIMINTAKAAVIO	6
KUVIO 3. HYÖDYNNETTÄVISSÄ OLEVA AURINGONSÄTEILY	7
KUVIO 4. KOHTEEN SIJAINTI KARTALLA	8
KUVIO 5. PUMPPURYHMÄ	11
KUVIO 6. STECA TR 0603MC-OHJAIN.....	12
KUVIO 7. AURINKOKERÄIMET ASENNETTUNA	15
KUVIO 8. AURINKOPIIRIN KYTKENTÄKAAVIO	16
KUVIO 9. LÄMPÖTILAT.....	20
KUVIO 10. YHDEN PÄIVÄN LÄMPÖTILA.....	21
KUVIO 11. HETKELLINEN TEHO	23
KUVIO 12. TULO- JA PALUULÄMPÖTILAT.....	26
TAULUKKO 1. LÄMMITYSENERGIAN JAKAUTUMINEN ERI KUUKAUSILLE	18
TAULUKKO 2. VARAAJIEN ENERGIASISÄLLÖT	22
TAULUKKO 3. LÄMPÖTILAN NOUSU LÄMPÖMÄÄRÄN MUUTTUESSA.....	25
TAULUKKO 4. PUULAJIEN ENERGIATIHEYDET	29
TAULUKKO 5. TILAVUUKSIEN MUUNTOKERTOIMET	29
TAULUKKO 6. TAKAISINMAKSUAIKA SÄHKÖN HINNAN MUUTTUESSA.....	32
TAULUKKO 7. TAKAISINMAKSUAIKA POLTTOPUUN HINNAN MUUTTUESSA	33
TAULUKKO 8. JÄRJESTELMIEN HINNAT.....	37

1 JOHDANTO

Miltä kuulostaisi tuottaa auringolla lämmintä käyttövettä kesän ajan ja helpottaa lämmitystyötä keväisin ja syksyisin? ”Ei huonompi ajatus” tuumailtiin tutkimuskohteessa vuoden 2011 lopussa. Tuumasta toimeen ja aurinkolämmitysjärjestelmä komeilee omakotitalon katolla 2012 huhtikuussa ja tuottaa lämmintä käyttövettä ihan itsestään.

Opinnäytetyössä tutkitaan tutkimuskohteen avulla aurinkolämmön kannattavuutta ja sen mahdollisuuksia omakotitaloissa Suomen olosuhteissa. Määritetään tutkimuskohteeseen asennettujen aurinkokeräimien takaisinmaksuaika ja arvioidaan järjestelmän toteutusta. Tästä työstä saadut tulokset perustuvat järjestelmästä saatuihin mittaustuloksiin, eivätkä teoreettisesti laskettuihin tuloksiin. Tarkoituksena on esittää realistisesti aurinkolämmön potentiaali Suomessa.

Mielenkiinto aurinkolämmitysjärjestelmiä kohtaan heräsi silloin, kun kohteeseen suunniteltiin aurinkolämmitystä ja konkreettista taustatietoa löytyi niukasti. Niinpä tutkimuskohteen järjestelmän suunnittelu jäi vähäiseksi. Vuoden käytön jälkeen heräsi mielenkiinto lähteä tutkimaan onnistuttiinko toteutuksessa ja kuinka kannattava aurinkolämmitys oikeasti on?

Työssä on pyritty tuomaan esiin kohderakennukseen asennettu järjestelmä ja sen asennus mahdollisimman tarkasti, jotta aurinkolämmitysjärjestelmän hankkimista miettivä voisi tästä toteutuksesta ottaa esimerkkiä.

Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan vain tutkimuskohteen aurinkolämmitysjärjestelmää. Aluksi esitellään aurinkolämmitysjärjestelmä yleisesti, jonka jälkeen paneudutaan kohteen järjestelmään. Esitetään tutkimuskohteen aurinkolämmitysjärjestelmä ja sen asennustapa. Lopuksi tutkitaan mittaustuloksia ja lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaika.

2 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ

2.1 Aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kahdella tavalla; aktiivisesti ja passiivisesti. Passiivisella aurinkolämmityksellä tai aurinkoenergialla tarkoitetaan huonetilan lämmittämistä arkkitehtonisin keinoin, jolloin auringon energiaa hyödynnetään ilman mitään laitteita tai mekaanisia keinoja. Aktiivisessa aurinkolämmityksessä lämpö otetaan lämmityslaitteistoon suoraan auringon säteilyenergiasta. Auringon lämpö kerätään talteen tehokkailla aurinkokeräimillä ja siirretään putkien kautta varaajasäiliöön. Aurinkoenergiajärjestelmät eroavat perinteisistä lämmitysjärjestelmistä lähinnä siinä, että aurinkoenergiaa saadaan epäsäännöllisesti vuodenajan, sään ja paikan maantieteellisen sijainnin mukaan. Suomessa aurinkolämmitys soveltuu pääasiassa käyttöveden lämmitykseen. (Aurinkolämpö 1. 2008.)

Etelä-Suomessa vuosittainen aurinkoenergian saantimahdollisuus vaakatasossa on n. 1000 kWh/m², Keski-Suomessa n. 900 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa n. 800 kWh/m². Vertailun vuoksi aurinkosäteily luvut esimerkiksi Lontoossa 1032 kWh/m² ja Roomassa 1435 kWh/m², joten ei Suomen olosuhteet niin paljon poikkea Keski-Euroopasta, etteikö täälläkin olisi potentiaalia aurinkolämmölle. (Erat ym. 2008, 13.)

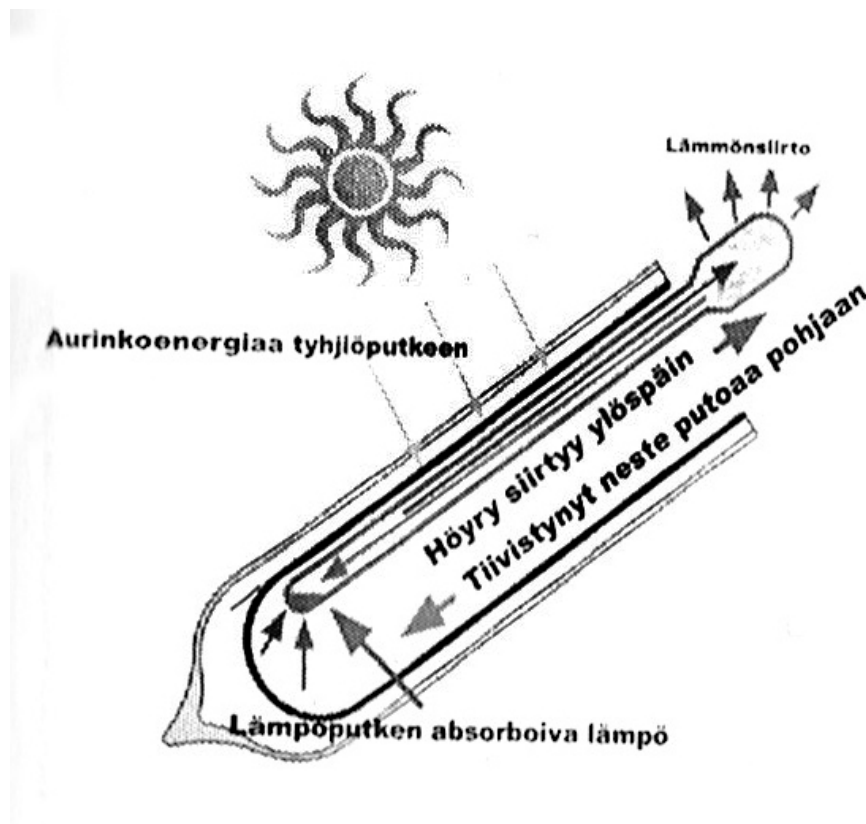
2.2 Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate

Tyhjiöputkikeräimen suurin ero tasokeräimeen on, että tyhjiöputkikeräimessä ilma on poistettu lähes kokonaan, jolloin konvektion osuus laskee jyrkästi ja keräimen hyötysuhde säilyy paljon parempana korkeissa toimintalämpötiloissa kuin tasokeräimellä (Erat ym. 2008, 81).

Tyhjiöputkikeräimet ovat tyypillisimmin joko U-pipe- tai Heat-pipe-tyyppisiä. U-pipe eli läpivirtausperiaatteella toimiva tyhjiöputkikeräimessä neste virtaa u-muotoisessa putkessa, jossa lämpö siirtyy alumiinilevyjen välityksellä putkien sisällä oleviin kupariputkiin ja sieltä edelleen putkien sisällä kiertävään nesteeseen (Energia-auringosta 2014). Kohteessa on Heat-pipe-tyyppiset tyhjiöputkikeräimet.

Tyhjiöputkikeräimissä on kahden lasin välissä tyhjiö, joka toimii hyvänä lämpöeristeenä. Tämän vuoksi ne toimivat myös kylminä kuukausina, kunhan vain aurinko paistaa. Molemmissa tyypeissä sisimmässä putkessa oleva ALN/AIN-SS/CU-pinnoite absorboi auringon säteilyn tehokkaasti muuntaen sen lämpöenergiaksi. Lämpötila putken sisällä nousee jopa 250 asteeseen. (Energia-auringosta 2014.)

Heat-pipe-tyhjiöputken lämmönsiirtoliitos on aina kuiva, minkä ansiosta keräimen yksittäisen putken pystyy vaihtamaan helposti. Heat-pipessa lämpö siirtyy putken sisällä olevaan suljettuun putkeen, jonka sisällä oleva neste höyrystyy. Kuuma höyry nousee heat-pipen yläosaan, joka on kosketuksissa putkeen, jossa lämmönsiirtoneste virtaa. Kuuma höyry joutuu kosketuksiin lämmönsiirtonesteen viilentämään putken yläosaan ja höyry jäähtyy, tiivistyy takaisin nestemäiseen muotoon ja valuu takaisin heat-pipen alaosaan, josta alkaa uusi kierros (Energia-auringosta 2014). Kuvio 1 havainnollistaa Heat-pipe-tyhjiöputken toimintaperiaatteen.



Kuvio 1. Sivuleikkaus tyhjiöputkesta (Erat ym. 2008, 73)

2.3 Aurinkojärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkolämpöjärjestelmän perusosat ovat keräimet, pumppuyksikkö, ohjausyksikkö, varaajaa, lämmönsiirrin, putkisto sekä varolaitteet. Nämä osat löytyvät jokaisesta aurinkolämpöjärjestelmästä muodossa tai toisessa riippumatta siitä, millainen on lisälämmönlähde tai Suomessa oikeastaan päälämmönlähde. (Erat ym. 2008, 97.)

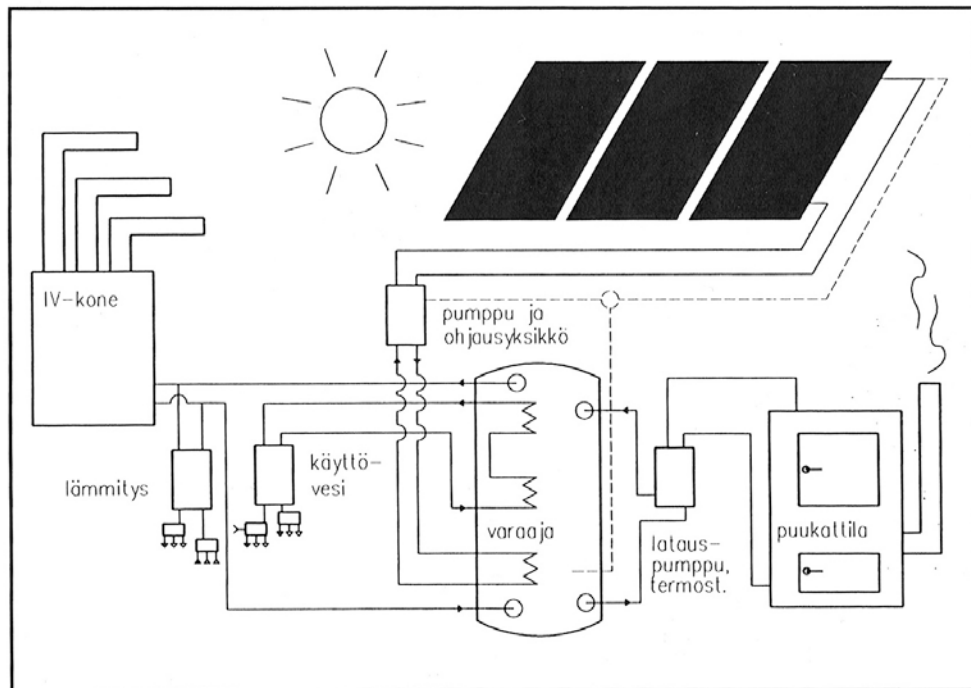
Järjestelmää ohjaa pumppuyksikkö, joka mittaa keräimien ja lämminvesivaraajan välistä lämpötilaeroa. Kun lämpötila keräimissä nousee yli varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötilan, käynnistyy kiertovesipumppu, joka tuo keräimiltä kuumaa lämmönsiirtonestettä varaajassa olevaan lämmönsiirtimeen. Pumppu kierrättää nestettä, kunnes varaaja on saavuttanut keräimissä olevan nesteen lämpötilan tai varaajalle asetetun maksimilämpötilan. Järjestelmässä oleva paisuntasäiliö tasoittaa putkiston lämpiämisestä ja jäähtymisestä aiheutuvia painemuutoksia. Paineventtiili suojelee järjestelmää yli-paineelta esim. sähkökatkoksen aiheuttama nesteen kiehuminen keräimissä. (Energia-auringosta 2014.)

2.4 Aurinkolämpö ja puulämmitys

Puulämmitys on otollinen lämmitystapa yhdistettäväksi aurinkoenergiaan. Puukattiloihin liitetään yleensä varaaja, jotta lämmitystyö voidaan tehdä yhtäjaksoisesti. Puukattilasta ei oteta suoraan energiaa kulutukseen, vaan lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus tehdään varaajassa. Näin päästään jatkuvasta lämmitystyöstä ja varmistetaan hyvät edellytykset puun tehokkaalle ja puhtaalle palamiselle. (Erat ym. 2008, 104.)

Puulämmitysjärjestelmä sisältää puukattilan, vesivaraajan sekä lämmönjako-laitteiston. Kuvio 2 havainnollistaa aurinkokeräimien liittämisen päälämmitysjärjestelmän rinnalle. Vesivaraajan tilavuus valitaan sen mukaan kuinka usein lämmitystyötä halutaan tehdä. Suuresta varaajan tilavuudesta riittää lämpöä pitemmäksi aikaa, ennen uutta lämmityskertaa. Tavallisesti vesikiertoinen puulämmitysjärjestelmä sisältää 2000–3000 l suuruisen vesivaraajan. Kattila täytyy olla tarpeeksi tehokas, jotta sillä voidaan lämmittää varaaja tehokkaas-

ti ja kohtuullisella lämmitysrupesella. Tyypillisesti alapaloiset puukattilat ovat tehoiltaan 20–35 kW.



Kuvio 2. Lämmitysjärjestelmän toimintakaavio (Erat ym. 2008, 104)

2.5 Lämmin käyttövesi

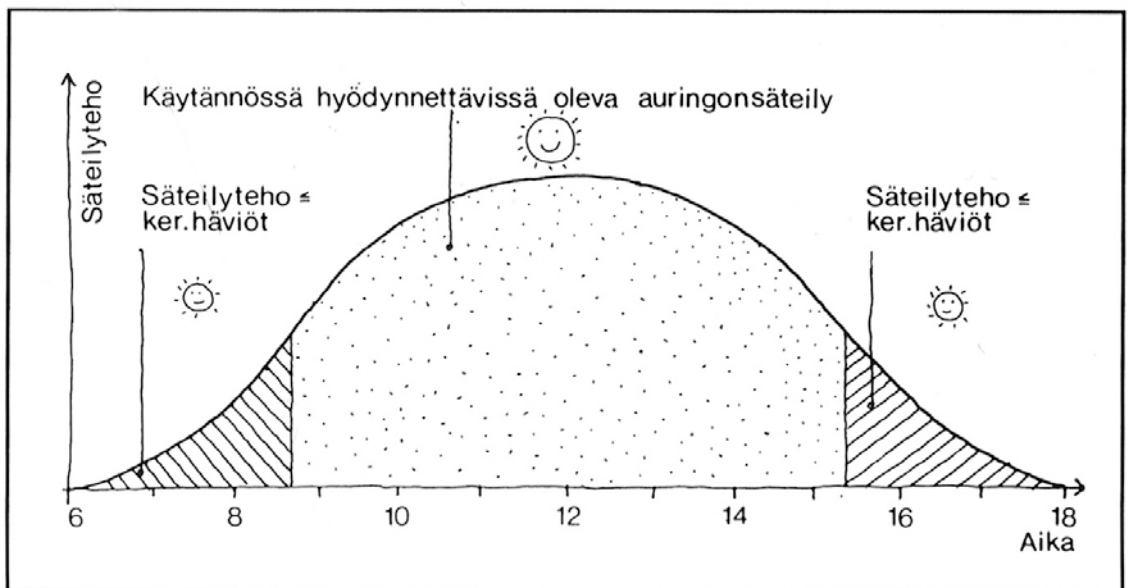
Suomessa veden hinta riippuu asuinpaikkakunnasta, mutta keskimääräisesti vesi maksaa noin 3–5 €/m³ jätevesimaksuineen. Tämä hinta ei sisällä veden lämmittämisestä kertyviä kustannuksia. (Napapiirin vesi 2014.)

Suomalaisissa pientaloissa käytetään vettä asukasta kohden 110–120 litraa vuorokaudessa. Veden kulutuksesta puolet kulutetaan peseytymisessä, neljännes keittiössä ja neljännes WC:ssä. Lämmin käyttövesi kuluttaa noin viidennes osan asuinrakennuksen energiankulutuksesta. Lämmintä vettä kuluu henkilöä kohden noin 40–50 litraa vuorokaudessa. Lämmin käyttövesi joudutaan lämmittämään minimissään 5 °C:sta yli 55 °C:een. Vuositasolla lämmin käyttövettä käytetään yli 18 m³ asukasta kohden. Teoriassa tästä on mahdollista tuottaa puolet, jopa enemmänkin aurinkoenergialla. (Energiatehokas koti 2013.)

2.6 Aurinkokeräimien hyötysuhteet

Aurinkokeräin voi hyödyntää auringonsäteilyn määrästä vain osan. Hyödynnettävissä olevan aurinkoenergianmäärään vaikuttavat asiat: aurinkokeräimen suuntaus ja kaltevuus, aurinkokeräimen katteen (lasin) ominaisuudet, lämmöneristys ja tiiviys, aineiden absorptio- ja lämmönsiirtokyky, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet, aurinkokeräimen käyttölämpötila, etäisyys keräimistä varaajaan, lämmönsiirtoputkien lämmöneristys, varaajan lämpötila, tarvittava lämpötila ja tarvittava energiamäärä (Erat ym. 2008, 80, 81). Ulkoiset olosuhteet vaikuttavat myös hyötysuhteeseen, kuten ulkolämpötila, tuulisuus, auringon tulokulma ja varjot.

Tyypillisesti esim. varhain aamulla ja myöhään iltapäivällä on tilanteita, jolloin aurinko paistaa, mutta hyötyä ei saada (kuvio 3). Auringon säteilyteho ei vielä riitä, ja/tai säteilyteho on alhainen sekä käyttö- ja ulkolämpötilan ero on suuri. (Erat ym. 2008, 81.)



Kuvio 3. Hyödynnettävissä oleva auringonsäteily (Erat ym. 2008, 80)

3 KOHDERAKENNUKSEN ESITTELY

3.1 Rakennuksen tiedot

Opinnäytetyön kohderakennus sijaitsee Keski-Suomessa, Siilinjärven kunnassa (kuvio 4). Omakotitalo on valmistunut vuonna 1976 ja rakennuksen lämmitysala on 180 m². Rakennus sijaitsee pienen mäen päällä ja ympärillä ei ole varjostavia puita. Rakennuksen päälämmitysjärjestelmänä on puulämmitys ja lämmön jakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys.



Kuvio 4. Kohteen sijainti kartalla (Location of Siilinjärvi in Finland 2014)

3.2 Rakennuksen lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen lämmitysjärjestelmä on uusittu pattereita lukuun ottamatta kokonaisuudessaan vuonna 2005. Puukattilana on Jäspi 45, jonka nimellisteho on 45 kW. Puukattilasta lämminvesi siirretään lämminvesivaraajaan, joka on Jäspi Ovali 2400. Lämminvesivaraajan tilavuus on 2400 l ja siinä on yksi 7,5 kW sähkövastus. Käyttövedenlämmitys otetaan varaajan kahdesta lämmin-

vesikierukasta. Vuonna 2012 päälämmitysjärjestelmän rinnalle asennettiin aurinkolämmitys.

3.3 Rakennuksen aurinkolämmitysjärjestelmä

Aurinkolämmitysjärjestelmää ei vuonna 2012 tarkemmin suunniteltu. Lähtötietojen perusteella, pääasiassa varaajan tilavuuden mukaan, valittiin keräimien koko. Kohteessa on melko suuri (2400 l) varaaja ja kesällä lämmöntarve kohdistuu lähinnä lämpimään käyttövedeen. Aurinkolämpöjärjestelmän kannalta tällainen tapaus on varsin ihanteellinen. Koska energiankulutus on kesällä pienempää, pystytään helposti muutamalla aurinkokeräimellä (noin 5–10 m²) tuottamaan tarvittava määrä lämpöä jotta 2000–3000 litran varaaja pysyy tarpeeksi lämpimänä päivittäiseen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. (Erat ym. 2008, 93.)

Aurinkokeräimet sijoitettiin kohderakennuksen katolle, aivan harjan tuntuun. Yksi aurinkokeräinyksikkö käsittää 20 kpl tyhjiöputkia. Näitä yksiköitä katolle sijoitettiin 6 kappaletta. Yhteensä järjestelmässä on 120 kappaletta tyhjiöputkia. Aurinkolämmitys on liitetty vesivaraajaan käyttämällä erillistä levylämmönvaihdinta ja kiertovesipumppua.

3.4 Miksi aurinkolämmitys?

Kohteessa haluttiin luopua etenkin kesällä tapahtuvasta käyttöveden lämmitysprosessista. Kun rakennusta ei enää tarvinnut lämmittää, tuntui puulämmityksen käyttäminen vaivalloiselta ja sähkövastusten käyttäminen kalliilta pelkästään käyttöveden lämmitykseen. Aurinkolämmitysjärjestelmän valintaperusteina olivatkin lopulta omavaraisuus sekä puunpoltosta vapautuminen kesäisin. Kohteessa mietittiin vesi-ilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimien välillä, nopeasti kuitenkin päädyttiin aurinkokeräimiin. Tähän vaikuttivat vahvimmin aurinkokeräimien halvempi hinta, huoltovapaus, järjestelmän yksinkertaisuus ja kiinnostus aurinkoenergiaan.

Nyt kun aurinkolämpöjärjestelmä on ollut käytössä noin 2 vuotta, niin käyttökokemukset ovat olleet pelkästään positiivisia. Kesäisin tapahtuva lämmitys on hävinnyt lähes kokonaan, muutamaa pilvistä ajanjaksoa lukuun ottamatta.

Järjestelmän toimivuudessa ei ole ollut suurempia ongelmia. Heti uutuudeltaan yksi tyhjiöputki oli muuttunut harmaaksi, eli tässä putkessa oli ollut valmistusvirhe. Tyhjiöputki-järjestelmän etuna on, että jokainen putki on itsessään suljettu järjestelmä, joten yksittäisten putkien hajoaminen ei vaikuta koko järjestelmän toimivuuteen.

4 TUTKIMUSKOHTTEEN JÄRJESTELMÄ

4.1 Aurinkojärjestelmä

4.1.1 Aurinkokeräimet

Kohteessa on Sepratecin toimittamat Heat-pipe-tyhjiöputkikeräimet, malliltaan TZ58-1800-20R. Näitä keräimiä kohteessa on yhteensä kuusi kappaletta. Yhdessä keräinyksikössä on 20 kpl tyhjiöputkia ja yhden yksikön mitat ovat L x K x S; 1680 x 2010 x 189 mm. Yhden aurinkokeräinyksikön absorbaattori pinta-ala on 1,607 m², joten yhteensä kohteessa keräinalaa on 9,6 m². Tyhjiöputken lasina on borosilikaattilasi ja lasi kestää jopa 25 mm suuruisia jäärakeita, jos asennuskulma on suurempi kuin 40 °. Valmistusmaa on Kiina.

4.1.2 Pumppuryhmä

Kohteessa on Steca TPS A20 AF-pumppuryhmä (kuvio 5). Pumppuryhmässä on WILO ST 15/6 ECO-pumppu, jossa on kolme nopeusaluetta 33 W, 48 W ja 68 W. Pumppuryhmästä löytyy lämpömittarit meno/paluu, 0–160 °C, sekä painemittari 0–6 bar. Järjestelmä täytetään pumppuryhmän täyttöyhteestä, joka näkyy kuvion 5 oikeassa reunassa. Pumppuryhmässä on myös vapaa-kierron esto. Pumppuryhmän mitat ovat L x K x S; 320 x 334 x 150 mm. Valmistusmaa on Saksa.



Kuvio 5. Pumppuryhmä (Sepratec 2008)

4.1.3 Ohjain

Kohteessa on Steca TR 0603mc-ohjain (kuvio 6), joka on ohjelmoitu erityisesti aurinkolämpöjärjestelmien ohjaamiseen. Laitteessa on nestekidenäyttö. Ohjaimessa on 5 liitännätuloa lämpötila-antureille ja 1 liitännätulo pulssille, mikä mahdollistaa virtausmittarin liittämisen ohjaimeen. Ohjaimella on mahdollista tallentaa mittaustietoja SD-kortille. Ohjaimessa on monipuoliset toiminnot, mm: energianmittaus, loma, ajastin ja jäätymisenesto. Valmistusmaa on Saksa.



Kuvio 6. Steca TR 0603mc-ohjain

4.1.4 Levylämmönvaihdin

Kohteessa on Greenes Oy:n toimittama Hrale B3-23/50-levylämmönvaihdin. Lämmönvaihtimessa on 50 kpl lämmönsiirtolevyjä ja sen lämmönvaihtoala on 1,10 m². Materiaalina on ruostumaton teräs ja lämmönvaihtimet mitat ovat L x K x S; 315 x 73 x 139 mm.

4.2 Aurinkojärjestelmän asennuksen suunnittelu

Kohteeseen tilattiin aurinkolämmitysjärjestelmä erikseen toimittajalta ja asentaminen hoidettiin itse. Keräinpakettiin kuului rungot ja asennustuet, joilla keräimet voitiin asentaa. Keräimet sijoitettiin kohderakennuksen katolle, aivan katon harjalle. Tällöin voidaan hyödyntää auringon matalatkin korkeuskulmat ja varjostavia esteitä ei ole. Myös keräimien etäisyys varaajaan pysyi näin mahdollisimman pienenä.

Kohderakennuksen katon lappeet osoittavat kaakkoon ja luoteeseen, joten keräimet asennettiin rakennuksen katon suuntaisesti kaakon puoleiselle lappeelle. Paras asennussuunta olisi ollut etelään, mutta tämä ei ollut tässä kohteessa mahdollista, ilman kalliita ja monimutkaisia keräintelineitä. Tyhjiöputkikeräin ei ole niin tarkka suuntauksesta, kuin esimerkiksi tasokeräin. Tyhjiöputki pystyy ottamaan vastaan aurinkoenergiaa, myös sivusta, tyhjiöputken pyöreän muotonsa ansiosta. Myös suurempi pinta-ala korvaa suuntauksen aiheuttamaa tuoton vähenemistä.

Kohteessa ei haluttu asentaa keräimiä talon kattokaltevuuden mukaan vaan asennuskulmaksi valittiin 60 °. Jyrkän kulman etuna on, että voidaan hyödyntää kevättalven tuottoa. Myös Suomen talviset olosuhteet vaikuttivat, että keräimet nostettiin jyrkkään kulmaan. Tällöin lumi ei kerry niin herkästi keräinputkien päälle ja koska keräimet sijaitsevat talon harjalla, on niitä hankala päästä puhdistamaan kertyneestä lumesta. Tällä tavalla varmistetaan keräinten toimintakunto ja toimivuus talven auringonsäteille. Kuitenkaan jyrkempää asennuskulmaa ei valittu, jotta voidaan hyödyntää tuotto myös kesällä, auringon käydessä korkealla keskellä päivää. Myös ulkonäkö vaikutti, ettei asennuskulmaa nostettu korkeammaksi.

4.3 Aurinkojärjestelmän asennus

Yhden keräinyksikön tyhjäpaino on 76 kg, nesteineen ja keräintelineineen painoa koko järjestelmästä kertyi yli 450 kg. Painoa kertyy katolle paljon, joten asentaminen tuli hoitaa huolellisesti. Kohteessa on uusittu vesikate vuonna 2008, jolloin on myös uusittu kattotuolit ja ruoteet. Ruoteina on käytetty

32x100 lautaa, 300 mm ruodevälillä, joten voidaan olettaa katon kestävän painokuorman ja huolellinen kiinnitys oli mahdollista.

Keräimien rungot kasattiin valmiiksi, mikä vähensi katolla työskentelyä ja helpotti asentamista ylipäätään. Katolle asennettiin 12 m:n matkalle lumiesteet, 1,5 m päähän katon harjasta lappeen suuntaisesti. Lumiesteisiin pujotettiin vain yksi lumiesteputki, normaalin kahden putken sijaan. Lumiesteeseen saatiin tukevasti kiinnitettyä aurinkokeräinrunгон alapää. Runгон yläpään tuenta toteutettiin mukana tulleilla asennustuilla. Katon harjalistat poistettiin asennuksen ajaksi siltä osin, johon aurinkokeräimet asennettiin. Harjalistan alle asennettiin n. 200 mm pitkä kulmarauta lappeen suuntaisesti. Kulmarautaan kiinnitettiin asennustuki, jonka toinen pää kiinnitettiin aurinkokeräinrunгон yläpäähän. Kuvio 7 havainnollistaa lopputuloksen, kuinka keräimet katolle sijoituivat.

Runkoasennuksien jälkeen yhdistettiin runkojen yläpäätkiilitöksien avulla toisiinsa kiinni, missä kiertää lämmönkeruuneste. Neljännen ja viidennen aurinkokeräinmoduulin välissä on savupiippu, joten näiden välille asennettiin pidempi putki. Aurinkokeräimet liitetään pumppuryhmän ns. joustavalla putkella, joka on eristetty EPDM-kumilla. Tuloveden putkiveto pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman lyhyenä, jotta lämpöhäviö olisi mahdollisimman pieni. Tulopuolen putki vedettiin talon päädyn kautta yläpohjaan ja sieltä suoraan kattilahuoneen yläpohjan läpi pumppuryhmälle. Tuloveden putken pituudeksi tuli noin 5 m. Pumppuryhmältä vedettiin paluuvesiputki yläpohjan kautta ja liitettiin ensimmäiseen aurinkokeräinyksikköön. Paluueden putken pituudeksi tuli noin 15 m.



Kuvio 7. Aurinkokeräimet asennettuna

Lämmöntalteenotto vesivaraajaan toteutettiin ulkoisella levylämmönvaihtimen avulla. Levylämmönvaihdin asennettiin vesivaraajan alaosaan, varaajan siirtonestettä, eli vettä kierrättää oma kiertovesipumppu. Levylämmönvaihtimen ensiöpuolelle ohjataan aurinkopiirin lämmönsiirtoneste, jota kierrättää pumpuryhmän kiertovesipumppu. Järjestelmän putkivetojen jälkeen järjestelmä täytettiin 50/50 % vesi-propyleeniglykoliseoksella, seoksen jäätymispiste on -31 °C. Lopuksi asennettiin tyhjiöputket aurinkokeräinrunkoihin. Tyhjiöputken ja keräinrunгон lämmönsiirron parantamiseksi tyhjiöputken päähän laitettiin pii-tahnaa. Pii-tahna parantaa lämmönsiirtokykyä.

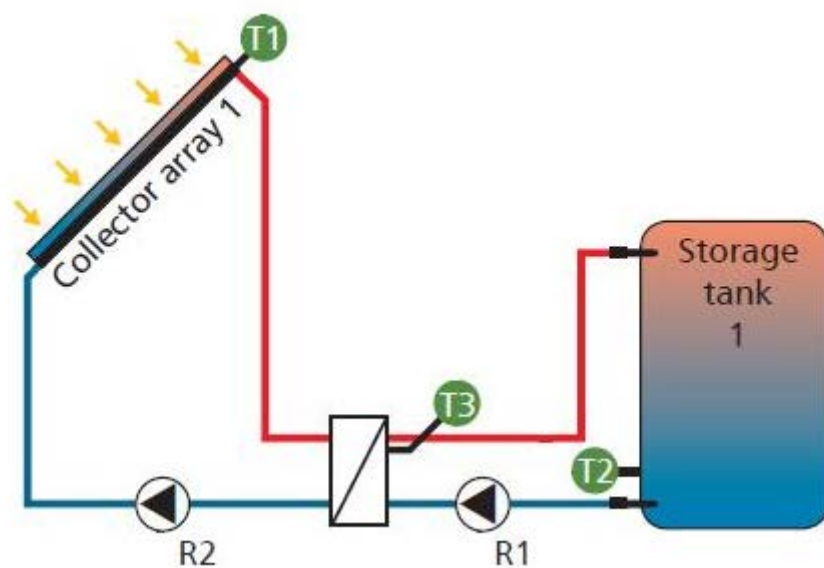
4.4 Järjestelmän mittausperiaate

Järjestelmässä on neljä lämpötila-anturia, jotka mittaavat nesteen lämpötilaa järjestelmän erikohdissa ja välittävät tiedon ohjauskeskukselle. Lämpötilaantureina käytettiin vastusanturi PT 1000:sta, jonka vastus muuttuu lämpötilan muuttuessa. Aurinkopiiristä mitataan sekä tulo- että paluuvien lämpötila-

laa. Lisäksi löytyy anturi varaajan alaosasta sekä vaihtimen ja varaajan välillä.

Kuviossa 8 on esitetty kytkentäkaavio kohteen aurinkopiiristä. Aurinkopiirin pumpppu R2 käynnistyy heti kun säädetty lämpötilaero saavutetaan keräimen A1 (T1) ja varaajan B1 (T2) välillä. Aurinkopiirin pumpppu R2 sammuu, kun säädetty sammumislämpötila tai turvaraja saavutetaan. Varaajan latauspumpppu R1 käynnistyy heti kun säädetty lämpötilaero saavutetaan vaihtimen F1 (T3) ja varaajan B1 (T2) välillä. Varaaja on ladattu kunnes sammumislämpötilaero vaihtimen F1 (T3) ja varaajan B1 (T2) välillä on saavutettu tai kunnes turvaraja tulee vastaan.

Kohteessa Aurinkopiirin tuloveden (T1) ja varaajan (T2) lämpötilaeroksi on asetettu 4 °C. Eli aurinkopiirin pumpppu R2 alkaa kierrättämään lämmönsiirtonestettä heti, kun tämä lämpötilaero saavutetaan. Aurinkopiirin pumpun R2 sammumislämpötilaeroksi on asetettu 1 °C, eli pumpppu sammuu kun keräimen lämpötila on asteen matalampi kuin varaajan lämpötila. Varaajan pumpun R1 raja-arvoksi on asetettu 5 °C, eli pumpppu alkaa kierrättämään varaajan vettä heti kun vaihtimelta on saatavilla lämpöenergiaa. Varaajan maksimilämpötilaksi on asetettu 90 °C.



Kuvio 8. Aurinkopiirin kytkentäkaavio (mukaillen Steca Electronics 2014, 27)

A1: Kerääjä
B1: Lämminvesivaraaja

F1: Ulkoinen levylämmönvaihdin
R1: Varaajan latauspumppu
R2: Aurinkopiirin pumppu
T1: Keräimen lämpötila-anturi
T2: Varaajan lämpötila-anturi
T3: Lämmönvaihtimen lämpötila-anturi

Kohteessa on myös katolle palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila-anturi. Anturi asennettiin, jotta on helppo seurata, ettei neste mene liian kuumana takaisin keräimelle. Tällä on merkitys järjestelmän säätämisessä toimivaksi.

Kohteeseen asennettiin myös virtausmittari, joka mittaa aurinkopiirin lämmönsiirtonesteen virtausta. Virtausmittari välittää virtausnopeuden ohjauskeskukselle. Virtausmittarin ansioista pystytään laskemaan auringosta saatu lämmitysenergiämäärä.

5 MITTAUSTULOKSET

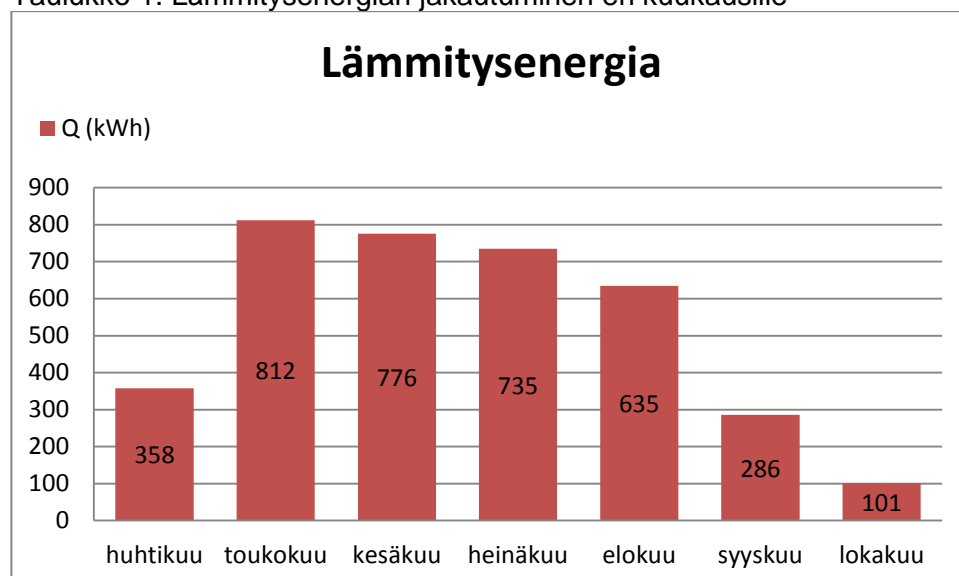
5.1 Järjestelmästä saadut mittaustulokset

Opinnäytetyössä tarkkailujaksoksi on rajattu huhtikuu–lokakuu 2013. Tähän päädyttiin, koska kohteesta ei ollut saatavilla mittaustietoja vuoden alusta ja lokakuun jälkeen auringosta saatava energia on vähäistä. Ohjausyksikkö tallensi mittaustietoja tarkkailuajanjakson ajalta SD-kortille. Näitä mittaustietoja käsiteltiin Steca TS Analyzer 2-ohjelmalla. Olisi ollut mielenkiintoista, myös tutkia jo helmikuulta ja maalikuulta saatuja mittaustietoja. Tähän ei ollut mahdollisuutta, koska mittaustietoja alettiin tallentaa muistikortille vasta maaliskuun lopussa.

5.1.1 Laitteiston kokonaisteho

Tarkkailuajanjakson aikana auringosta saatu kokonaislämmitysenergia oli yhteensä 3703 kWh, taulukosta 1 nähdään kuinka energia jakaantui eri kuukausien osalta. Huomataan, että toukokuusta elokuuhun energia määrät ovat suuria, kun taas lokakuussa energiaa saadaan enää vain murto-osa kesään verrattuna. Kuitenkin jo huhtikuussa ja sekä syyskuussa energiaa saadaan miltei puolet kesäkuukausiin verrattuna. Taulukosta voi päätellä myös, että toukokuu on ollut kesän 2013 aurinkoisin kuukausi, vaikka auringonpaistettunnit ovat pienemmät kuin kesä- ja heinäkuussa.

Taulukko 1. Lämmitysenergian jakautuminen eri kuukausille

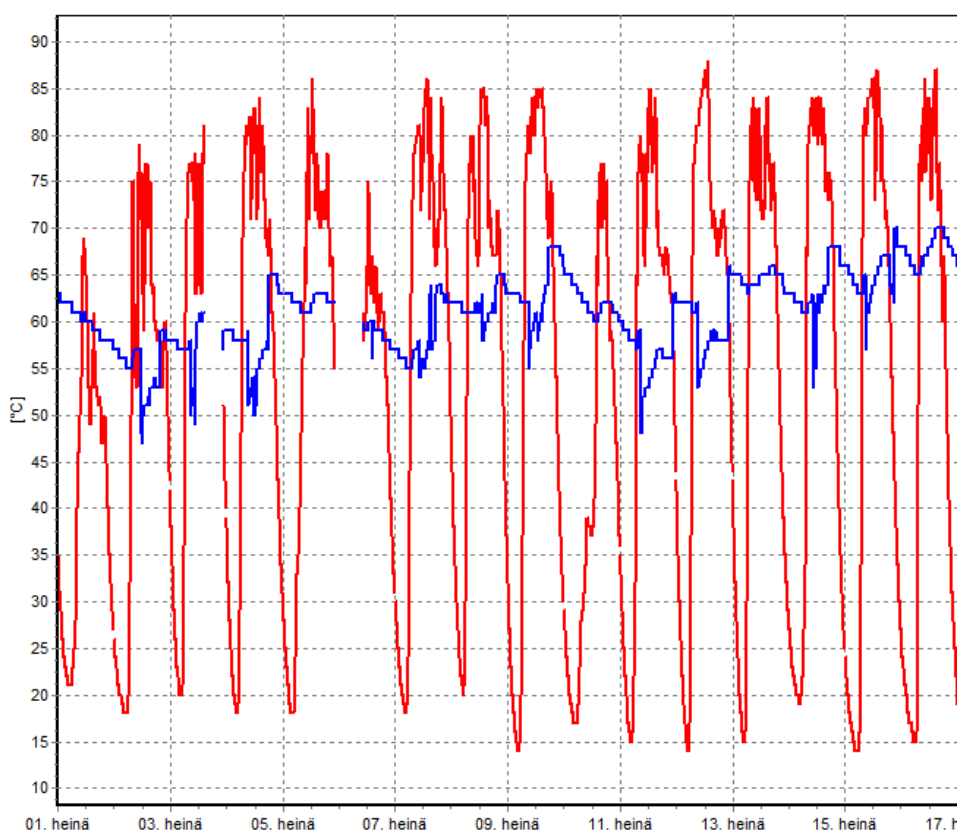


5.1.2 Keräimen ja varaajan lämpötila

Kuviossa 9 on esitetty keräimen ja varaajan lämpötiloja heinäkuun puoleen väliin asti. Punaisella on piirretty aurinkokeräimen lämpötila ja sinisellä lämminvesivaraajan lämpötila. Varaajan lämpötila-anturi on asennettu alaosaan, joten kuvaaja kertoo varaajan matalimman lämpötilan. Keräimen lämpötila laskee aina öisin ulkolämpötilan tasolle, päivisin lämpötila nousee jopa yli 85 °C tasolle.

Lämminvesivaraajan lämpötilan käyttäytyminen seuraa keräimen lämpötilaa. Iltaisin lämpimän käyttöveden kulutus on suurempaa, kuin päivisin peseytymisen vuoksi. Tämä näkyy, kun varaajan lämpötila laskee aina iltaisin keskimäärin n. 55 °C tasolle. Myös varaajan lämpöhäviöt vaikuttavat öisin putoavaan lämpötilaan. Koko tarkkailuajanjakson aikana oli järjestelmä jaksanut lämmittää varaajan maksimilämpötilaksi 73 °C, tämä tapahtui heinäkuun 28. Lämpötilahuippua edelsi viiden päivän mittainen ajanjakso, jolloin varaajan keskilämpötila nousi tasaisesti. Tästä voidaan päätellä, että auringon paisteeltaan kesän tehokkain ajanjakso oli 23–28.7. Tarkkailuajanjaksona lämpimän käyttöveden kulutus pysyi melko samana, joten varaajan maksimilämpötila ei voi selittyä vähemmällä lämpimän käyttöveden kulutuksella.

Keräimen maksimilämpötila nousee melkein joka päivä toukokuu–syyskuun aikana 80 °C tasolle. Huhtikuun aikana on yhteensä 10 päivää, jolloin maksimilämpötila nousee yli 80 °C. Huhtikuun keräimen maksimilämpötilan keskiarvo on 68 °C. Taas lokakuussa on vain kuusi päivää, jolloin maksimilämpötila nousee yli 80 °C. Lokakuun keräimen maksimilämpötilan keskiarvo on 55 °C. Tästä nähdään konkreettisesti se, että keväisin auringon säteilyteho on voimakkaampaa, kuin syksyisin.

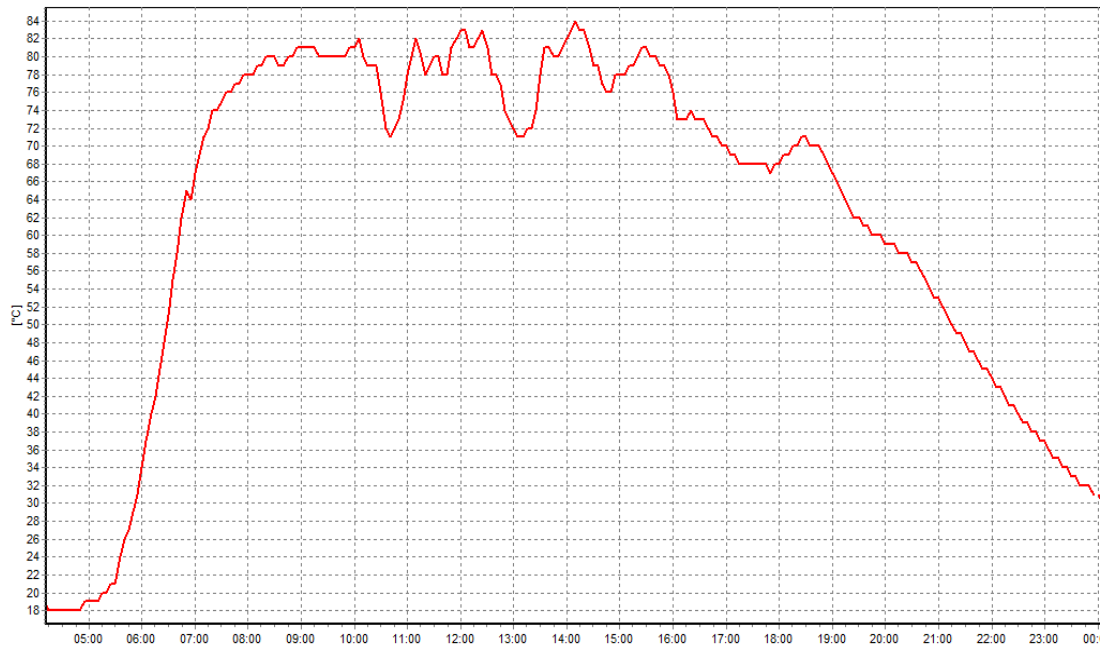


Kuvio 9. Lämpötilat

5.1.3 Päivittäinen lämpötila

Kuviossa 10 on esitetty heinäkuun 4:n keräimen lämpötilan käyttäytyminen yhdessä vuorokaudessa. Käyrästä huomataan, että aurinko nousee 05.00 jälkeen ja lämpötila alkaa nousemaan jyrkästi tämän jälkeen. Klo 09.00 keräimeltä on saatavilla jo 80 °C:sta lämmönsiirtonestettä. Päivän aikana lämpötilakäyrä heittelehtii 70 °C:sta 84 °C:een, tämä selittyy pilvien ajautumisesta auringon eteen.

Klo 16.00 jälkeen alkaa lämpötila pysyvästi laskemaan keräimellä ja jatkaa laskuaan yön aikana aina ulkolämpötilan tasolle. Vaikka aurinko ei vielä laske tuolloin, on auringon täytynyt mennä pilveen. Keskimäärin järjestelmän keräimen lämpötila alkaa laskemaan heinäkuussa klo 18.00 jälkeen. Tuolloin aurinko on jo kiertynyt länteen ja auringonsäteiden osuminen keräimiin on vähäisempää. Kuten kuviossa 7 huomataan, että keräimet ulottuvat harjan yli, voivat ne osittain hyödyntää myös auringonsäteitä lännestä.



Kuvio 10. Yhden päivän lämpötila

Yhden päivän keräimen lämpötiläkäyrä havainnollistaa parhaiten, sen että aurinkoenergia on varsin ailahtelevaa. Jo muutamien pilvien hetkittäinen ajatuminen auringonsäteiden eteen vaikuttaa lämmönsiirtonesteen lämpötilaan. Näin ollen pilvisten päivien aikana aurinkokeräimillä ei voida tuottaa energiaa. Tämä on aurinkoenergia järjestelmien suurin heikkous. Pilvisinä päivinä suuri varajaa pääsee oikeuksiinsa, koska suuri massa pystyy kauemmin sitomaan energiaa itseensä. Näin ollen muutama pilvinen päivä ei välttämättä vaikuta lämpimän käyttöveden saantiin. Lasketaan vertailun vuoksi paljonko on 2400 l:n ja 300 l:n varaajan energiasisällöt.

Lämminvesivaraajan energiasisältö saadaan laskettua kaavalla:

$$Q = m * c * \Delta T \quad (1)$$

missä

Q	on	energiasisältö [MJ]
m	on	massa [kg]
c	on	ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]
ΔT	on	Lämpötilanmuutos [°C]

Lämminvesivaraajan massa saadaan laskettua kaavalla:

$$m = \rho * V \quad (2)$$

missä

m	on	massa [kg]
ρ	on	aineen tiheys [kg/m ³]
V	on	tilavuus [m ³]

Lämminvesivaraajan ylin lämpötila on yleisesti 80 °C, joten käytetään sitä lämpötilaa vastaavaa tiheyttä massan määrittämiseen. Kaavoilla 1 ja 2 on laskettu varaajien energiasisällöt ja ne on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Varaajien energiasisällöt

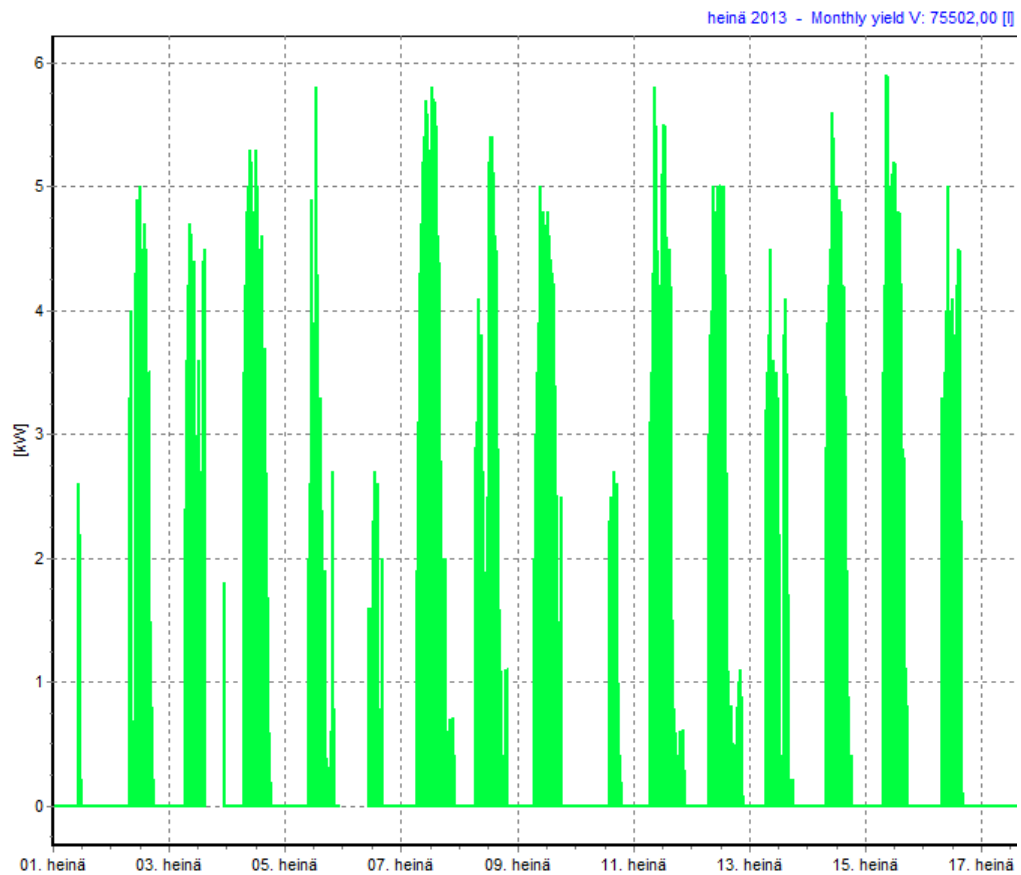
	2400 l varaaja	300 l varaaja
m	2359,7 kg	295 kg
T1	80 °C	80 °C
T2	55 °C	55 °C
c	4,2 kJ/kg*°C	4,2 kJ/kg*°C
Q	247,8 MJ	31 MJ
Q ₂	16,8 MJ/d	6,4 MJ/d

Varaajan lämpötilan alarajana on määritetty 55 °C, tämä lämpötila mahdollistaa lämpimän käyttöveden tuottamisen. Maksimilämpötilaksi on määritetty 80 °C, joten lämpötilaeroksi tulee 25 °C. Taulukosta 2 nähdään, että varaajan energiasisältö on suoraan verrannollinen varaajan tilavuuteen. Q₂ on 100 mm eristyksellä olevan varaajan lämpöhäviö yhden vuorokauden aikana.

Energiasisällöistä nähdään suuremman varaajan etu varastoida energiaa. Suuresta energian varastointikyvystä on etua sellaisina päivinä, kun aurinkosta saadaan vähän energiaa.

5.1.4 Hetkellinen teho

Kuviossa 11 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän hetkellinen teho heinäkuun puoleen väliin asti. Päivittäiset maksimitehot ovat 6 kW ja heikoimillaan tehot ovat vain 1 kW. Kuvioista 11 huomaa parhaiten pilvisten päivien vaikutuksen. Esimerkiksi heinäkuun 7:n päivän maksimitehot ovat olleet 2,5 kW luokkaa, kyseisen koko päivän tuottoakaan ei yltänyt kuin 11,94 kWh:iin. Parhaimillaan koko päivän tuotto ylsi yli 45 kWh:iin.



Kuvio 11. Hetkellinen teho

Taulukossa 3 on esitetty varaajan lämpötila nousu kullakin lämpömäärällä.

Käytetään lämpötilan muutoksen laskemiseen kaavaa:

$$\Delta T = \frac{E}{cm} \quad (3)$$

missä

ΔT	on	Lämpötilanmuutos [°C]
E	on	lämpömäärä [kJ]
c	on	ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg*°C]
m	on	massa [kg]
3600	on	yksikkömuunnoskerroin [kWh→kJ]

Lämminvesivaraajan massa saadaan laskettua kaavalla 2.

Lämminvesivaraajan keskilämpötila on 40 °C, joten käytetään sitä lämpötilaa vastaavaa tiheyttä massan määrittämiseen.

$$m = 992,22 \frac{kg}{m^3} * 2,4m^3$$

$$m = 2381,3 kg$$

Nyt, kun tiedetään varaajan massa, voidaan laskea lämpötilan muutokset kaavalla 3.

Esimerkiksi 20 kWh:lla lämpötilanmuutos on

$$\Delta T = \frac{(20 * 3600)kJ}{4,2 \frac{kJ}{kg} \text{ } ^\circ C * 2381,3kg}$$

$$\Delta T = 7,20 \text{ } ^\circ C$$

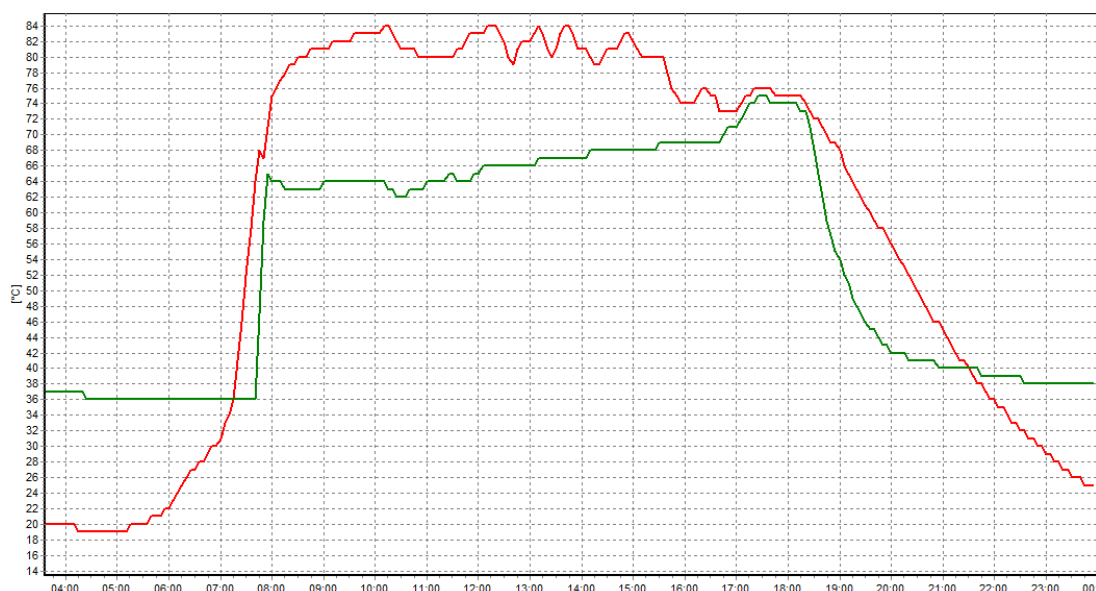
Taulukko 3. Lämpötilan nousu lämpömäärän muuttuessa

E (kWh)	c (kJ/kg*°C)	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	m (kg)	ΔT (°C)
5	4,2	2,4	992,22	2381,3	1,80
10	4,2	2,4	992,22	2381,3	3,60
15	4,2	2,4	992,22	2381,3	5,40
20	4,2	2,4	992,22	2381,3	7,20
30	4,2	2,4	992,22	2381,3	10,80
40	4,2	2,4	992,22	2381,3	14,40
50	4,2	2,4	992,22	2381,3	18,00

Taulukosta 3 nähdään varaajan lämpötilan muutos, kullakin lämpömäärällä. Laskuissa ei ole otettu huomioon varaajan lämpöhäviöitä. Teoriassa kohteen aurinkokeräimet nostavat parhaimillaan varaajan lämpötilaa 18 °C yhden vuorokauden aikana.

5.1.5 Tulo- ja paluulämpötilat

Kuviossa 12 on esitetty keräimen tulo- ja paluupuolen lämmönsiirtonesteen lämpötilat yhden vuorokauden aikana. Punaisella on piirretty tulolämpötila ja vihreällä paluulämpötila. Huomataan, että tulolämpötila alkaa kohota jyrkästi auringon noustessa. Samoin paluulämpötila, kunnes saavutetaan 64 °C raja. Tästä päätellään, että varaajan lämpötila on 60 °C:een tietämissä. Eli ollaan saavutettu asetettu lataukseen edellyttävä raja-arvo ja järjestelmä alkaa lämmittämään varaajan vettä. Tulo- ja paluupuolen lämpötilaero on aamusta suurimmillaan ja iltaa kohden paluulämpötila saavuttaa tulolämpötilaa. Lämpötilakäyrien käyttäytyminen toistuu saman tyyppisenä pitkin tarkkailuajanjaksoa.



Kuvio 12. Tulo- ja paluulämpötilat

Kuvio 12 havainnollistaa parhaiten sen, kuinka lähekkäin tutkimuskohteen tulo- ja paluupuolen lämpötilat ovat. Tutkimuskohteessa asuu vaivastisesti vain yksi henkilö, näin ollen lämpimän käyttöveden kulutus on vähäistä, arviolta 40–50 l vuorokaudessa. Tämän ansiosta suuren lämminvesivaraajan lämpötila ei laske merkittävästi vuorokauden aikana. Tästä seuraa se, että lämmönsiirtoneste palaa kuumana takaisin keräimille. Tarkkailuajanjaksona keräimen tulo- ja paluulämpötilaero oli keskimäärin 20 °C. Siitä lämpötilasta, mitä keräimiltä saadaan tuotettua hyödynnettiin vain 20 °C. Tämä johtuu juuri siitä, että varaajan veden lämpötila on jo valmiiksi niin korkea, ettei keräimiltä saatavaa energiaa ole mahdollista hyödyntää enemmän.

5.2 Järjestelmän kannattavuus

Opinnäytetyössä määritettiin mitä aurinkokeräimillä tuotettu energia vastaisi, jos se olisi hankittu puuta polttamalla tai käyttämällä sähkövastusta. Verrataan näihin kahteen, koska kohteessa ei ole muita energian tuotantotapoja.

5.2.1 Energian hinta

Kohteen puukattilassa poltetaan 500–550 mm pitkää puupilkettä. Pääasiassa poltettava puupilke on sekapuuta, eli kuusi-, mänty- tai haapapilkettä.

Polttopuun hinnat vaihtelevat Suomessa alueittain, mutta keskimääräisesti Pohjois-Savossa 500 mm sekapuun hinta on 39 €/i-m³, kotiinkuljetus 50 € (Mottinetti 2014.)

Sähkön kokonaishinta muodostuu sähkönsiirtopalveluista ja sähköenergiasta sekä energiaveroista. Kuopion energialla 1.1.2013 voimaan tullut sähkönmyyntihinta on yleissähkölle 7,06 snt/kWh ja sähkönsiirtohintana on yleissiirrolle 2,82 snt/kWh. Yhteensä sähkön hinnaksi muodostuu 9,88 snt/kWh. (Kuopion Energia a 2014; Kuopion Energia b 2014.)

Kaikki yllä olevat hinnat sisältävät alv 24 %.

5.2.2 Järjestelmästä muodostuneet kulut

Aurinkokeräinpakettiin kuului tyhjiöputket, keräinrunko, asennustuet, pump-puryhmä, ohjain, paisuntasäiliö, lämmönsiirtoneste 20 l ja joustoputki 20 m. Tämän paketin yhteishinnaksi muodostui 5500 €.

Lumiesteet maksoi 300 €, joihin keräinrunkojen alapääät asennettiin. Ulkoinen levylämmönvaihdin maksoi 300 €. Varaajan ja lämmönvaihtimen väliin asennettu siirtopumppu maksoi 100 €. Kupariputkiin ja putkivetoihin tarvittaviin putkiosiin kului 300 €.

Asentaminen suoritettiin itse, joten työlle ei lasketa hintaa.

Yhteensä aurinkokeräin järjestelmä maksoi 6500 €, hinnat sis. alv 24 %.

5.2.3 Laskelmat puulle

Tarkkailuajanjaksona auringosta saatu energia on 3703 kWh. Taulukosta 4 luetaan sekahavupuun energiatiheys kosteuden ollessa 20 %, joka vastaa poltettavan puun kosteutta. Sekahavupuun energiatiheys on 1340 kWh/p-m³. Lasketaan puun menekki.

$$\frac{3703 \text{ kWh}}{1340 \frac{\text{kWh}}{\text{p} - \text{m}^3}} = 2,7634 \text{ p} - \text{m}^3$$

Nyt kun tiedetään tarvittava pinokuutio määrä polttopuuta kyseisen energian tuottamiseen, muunnetaan se vastamaan irtokuutio määrää, jotta voidaan laskea polttopuun hinta. Käytetään muunnokseen taulukon 5 arvoa.

$$2,7634 * 1,68 = 4,6425 \text{ i} - \text{m}^3$$

Nyt lasketaan puun määrää vastaava hinta, kun sekapuun hintana käytetään 39 €/i-m³.

$$4,6425 * 39 \text{ €} = 181 \text{ €}$$

Tähän kun lisätään toimituskulut, tekee se yhteensä 181 € + 50 € = 231 €

Taulukko 4. Puulajien energiatiheddet (Motiva 2000)

Puulaji	Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa, kWh/kg	Kosteus %	Energiatiheys	
			kWh/m ³	kWh/p-m ³
Mänty	4,15	20	810	1 360
Kuusi	4,10	20	790	1 320
Koivu	4,15	0	1040	1 750
		10	1030	1 730
		20	1010	1 700
		30	990	1 660
		40	970	1 620
		50	930	1 550
Leppä	4,05	20	740	1 230
Haapa	4,00	20	790	1 330
Sekalehtipuu		0	790	1 330
		10	780	1 310
		20	760	1 280
		30	740	1 250
		40	720	1 200
		50	680	1 140
Sekahavupuu		0	830	1 380
		10	810	1 360
		20	800	1 340
		30	780	1 310
		40	760	1 270
		50	720	1 200

Lehtipuun oletetaan sisältävän leppää ja haapaa molempia 50% ja havupuun mäntyä ja kuusta molempia 50 %.

Taulukko 5. Tilavuuksien muuntokertoimet (Motiva 2000)

Mittayksikkö	Irtto-m ³	Pino-m ³	Kiinto-m ³
Irtokuutiometri, pilke (33 cm)	1	0,60	0,40
Pinokuutiometri, pilke (33 cm)	1,68	1	0,67
Pinokuutiometri, halko (100 cm)	1,55	1	0,62
Kiintokuutiometri	2,50	1,50	1

5.2.4 Laskelmat sähkölle

Tarkkailuajanjaksona auringosta saatu energia on 3703 kWh. Käytetään sähkön hintana jo mainittua 9,88 snt/kWh.

$$3703 \text{ kWh} * 0.0988 \text{ €/kWh} = 365 \text{ €}$$

Aurinkokeräimillä tuotettu energia säästäisi 365 € sähkövastuksen käytön sijaan kyseisen tarkkailuajanjakson aikana.

5.2.5 Laskelmat siirtopumpuille

Aurinkopiirin käyttövesipumpun sähköteho on 33 W ja varaajan käyttövesipumpun sähköteho on 22 W. Yhteensä aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköteho on

$$(33 + 22)W = 55 W$$

Pumppujen tarkkaa käyttöaikaa ei ole mitattu, joten käyttöajaksi arvoidaan 8 h vuorokaudessa. Mittausajanjaksolla pumppujen käyttöaika on

$$8 \frac{h}{d} * 210 d = 1680 h$$

Lasketaan aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus kaavalla 4.

$$W = \sum \frac{P*t}{1000} \quad (4)$$

missä

W	on	pumppujen sähköenergiankulutus [kWh]
P	on	pumppujen teho [W]
t	on	pumppujen käyttöaika [h]

$$W = \frac{55 W * 1680 h}{1000}$$

$$W = 92,4 kWh$$

Aurinkolämpöjärjestelmän pumput kuluttivat tarkkailuajanjakson aikana sähköenergiaa yhteensä 92,4 kWh. Lasketaan pumppuista kertyneet kustannukset, sähkön hinnan ollessa 9,88 snt/kWh.

$$92,4 kWh * 0,0988 \frac{\text{€}}{kWh} = 9,1 \text{ €}$$

5.3 Takaisinmaksuaika

Aurinkolämmitysjärjestelmän takaisinmaksuajan määrittäminen riippuu monesta eri asiasta. Vuosittain auringosta saatava energiamäärä vaihtelee, eikä näin ollen ole vakio. Aurinkolämpöjärjestelmästä saatu energia tuotetaan aurinkosäteilyn määrän perusteella ja näin ollen pilvinen kesä vaikuttaa olennaisesti energian saantiin. Myöskään ei ole tarkkaa kokonaisenergian määrää koko vuodelta saadusta energiasta, alku- ja loppuvuoden kuukausilta muodostunut energia on kuitenkin vähäistä. Joten laskuissa käytetään tarkkailuajanjaksolta saatua energiaa.

Järjestelmästä muodostuneet kulut on esitetty aikaisemmin. Pääoman koron nousua ei oteta laskuissa huomioon, johtuen pienestä järjestelmän hankintahinnasta. Aurinkolämmitysjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutusta ei huomioida laskuissa, koska niistä muodostuneet kulut eivät vaikuta oleellisesti lopputulokseen. Aurinkolämmitysjärjestelmä on melkein täysin huoltovapaa. Haihtuneen lämmönsiirtonesteen lisäystä vaaditaan pitkällä aikavälillä, mutta siitä muodostuneet kulut ovat vähäiset. Myös tyhjiöputket saattavat rikkoontua, mutta toimituksessa niitä tuli jo 6 kpl ylimääräisiä. Huoltokulut järjestelmälle ovat siis vähäiset, joten niitä laskuissa ei oteta huomioon.

Polttopuun hintaa on vaikea arvioida tulevaisuuteen. Sähkön ja lämmitysöljyn hintojen nousun johdosta perinteinen polttopuulämmitys on pienkiinteistön omistajille yhtä houkuttelevampi ratkaisu. Omatoimiselle polttopuun hankinnalle ei kuitenkaan kaikilla ole aikaa ja mahdollisuutta. Tämä luo kysyntää kaupalliselle polttopuulle, joka vaikuttaa polttopuun hintaan. (Talouselämä 2013.)

Sähköenergian hinnan kuitenkin odotetaan nousevan tulevaisuudessa. Verkko-yhtiöt joutuvat parantamaan sähköjakeluverkkoaan toimintavarmemmaksi kevät- ja syysmyrskytuhojen välttämiseksi. Siksi maakaapelointi tulee nostamaan sähkön siirtohintaa.

Energiateollisuus arvioi sähkön siirtohintojen nousevan investointien seurauksena 20–30 prosenttia seuraavan 15 vuoden aikana. Koska sähköjakelu-

verkon toimintavarmuutta parannetaan lähinnä haja-asutusalueilla. (Ylä-Tuuhonen 2013.)

Energia hintojen määrittäminen tulevaisuuteen on siis hankalaa. Aluksi on laskettu takaisinmaksuajat energioiden nykyhinnoilla. Lopuksi on laskettu takaisinmaksuajat sekä puulle, että sähkölle hintojen muuttuessa. Takaisinmaksuajat energian hintojen noustessa on esitetty taulukossa 6 ja 7.

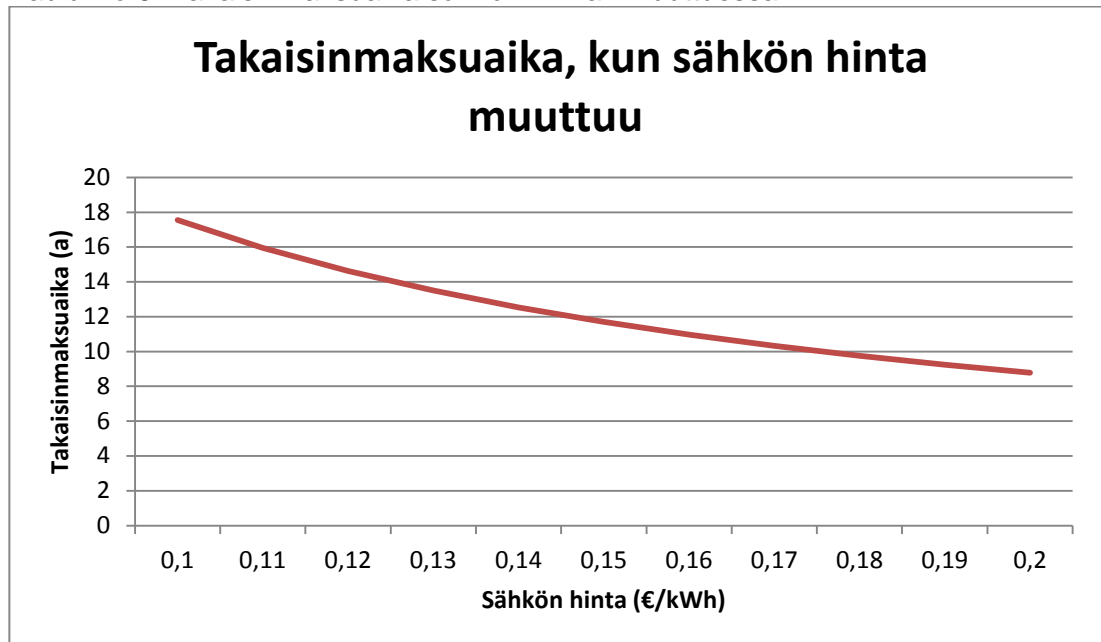
Lasketaan nykyhinnalla takaisinmaksuaika puulle:

$$\frac{6500 \text{ €}}{231 \text{ €/a}} = 28,1 \text{ a}$$

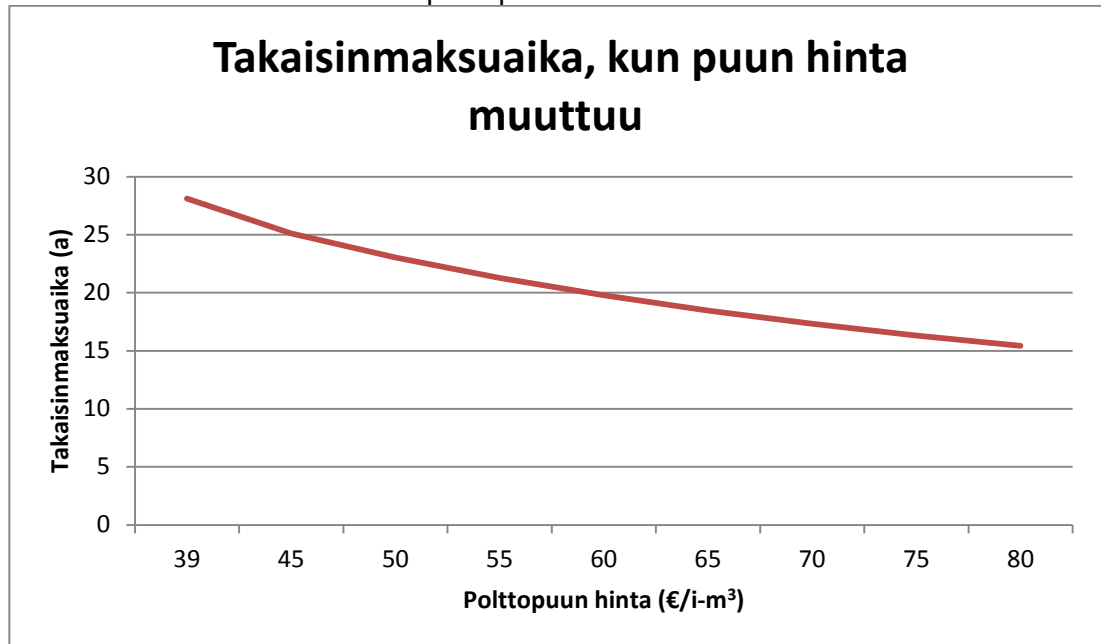
Lasketaan nykyhinnalla takaisinmaksuaika sähkölle:

$$\frac{6500 \text{ €}}{365 \text{ €/a}} = 17,8 \text{ a}$$

Taulukko 6. Takaisinmaksuaika sähkön hinnan muuttuessa



Taulukko 7. Takaisinmaksuaika polttopuun hinnan muuttuessa



Taulukossa 7 on myös huomioitu kuljetuskustannukset polttopuun hinnassa. Kuljetuskustannukset on pidetty vakiona 50 €/kuorma. Taulukossa 6 sähkön hinta on kokonaishinta, eli sisältää sähköenergian ja sähkön siirron.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Päätelmät tutkimuskohteesta

Kohteeseen asennettu aurinkolämpöjärjestelmä on osoittanut toimivaksi järjestelmäksi. Järjestelmä kykenee tuottamaan lämmintä käyttövedtä kesän ajan ja auttaa lämmityskustannuksissa loppusyksystä ja alkukevästä. Järjestelmän kannattavuudesta voidaan olla kahta eri mieltä.

Takaisinmaksuajat ovat kohtuuttoman pitkiä. Etenkin puulle takaisinmaksuaika on melkein 30 vuotta. Polttopuun käyttö saattaa tulevaisuudessa kokea suurenkin muutoksen, ainakin jos on uskomista EU:n pelotteluihin kieltää polttopuun polton pientalouksissa. EU voi myös asettaa päästöveron puunpoltolle, sen kokonaan kieltämisen sijaan. Tämä vaikuttaisi radikaalisesti aurinkolämmitysjärjestelmän takaisinmaksuajaksi. Tällöin aurinkoenergiajärjestelmät tulevat entistä houkuttelevammiksi. Aurinkolämpöjärjestelmästä saadaan riittävästi energiaa käyttöveden lämmittämiseen, niin kesällä ei tarvitse lämmittää puulla. Tämä säästää puukattilaa, koska se on käyttämättömänä ainakin toukokuulta syyskuulle. Tätä myöten myös puukattilan nuohous jää kesän ajalta pois. Tämän hetkisten sähkön hinnan myötä myös takaisinmaksuaika sähkölle jää pitkäksi. Alle kymmenen vuoden takaisinmaksuajaksi päästäisiin vasta, kun sähkön hinta ylittäisi 0,17 €/kWh.

Tutkimuskohteessa oli jo pitkään mietitty millä korvata puun poltto tai sähkövastusten käyttö lämpimän käyttöveden tuottamiseen kesällä. Koska kohteessa oli hiljattain uusittu koko lämmitysjärjestelmä, ei sitä haluttu taas uusia ja siirtyä kokonaan esimerkiksi maalämpöön. Aurinkolämpöjärjestelmä on nyt mahdollistanut lämpimän käyttöveden tuottamisen ja näin ollen täyttänyt sille asetetut odotukset. Toisaalta vaikka takaisinmaksuajat ovat pitkiä, pitäisi järjestelmän eliniän olla niiden verran. Uusiutuvana energian lähteenä aurinkoenergia on tulevaisuutta ja minkä se taloudellisesti häviää, saasteettomuudessa voittaa.

Tutkimuskohteessa olevasta järjestelmästä olisi potentiaalia nopeampaankin takaisinmaksuajaksi. Esteenä tähän on kohteen vähäinen lämpimän käyttöveden kulutus. Mittaustiedoista luettuna varaajan alarajan keskilämpötila ke-

sän aikana oli 55 °C. Jos lämpimän veden kulutus olisi välillä keskellä päivää, mutta etenkin iltaisin suurempaa, laskisi se varaajan lämpötilaa. Näin ollen keräimille palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila olisi matalampi, koska siitä jäisi enemmän lämpöä vaihtimelta varaajaan. Tämä nostaisi vuosituottoa merkittävästi ja kokonaisenergia luku nousisi. Tämä vaikuttaisi takaisinmaksajan pienenemiseen. Levylämmönvaihdin on tarpeeksi tehokas, koska se pystyy ottamaan talteen lämpöä lähelle varaajan lämpötilaa.

Järjestelmää suunnitellessa ja etenkin keräinten pinta-alan valintaan vaikutti eniten varaajan koko. Kohteen suuren varaajan ansiosta päädyttiin keräinala kasvattamaan suureksi. Tyhjiöputkikeräinten tehokkuus osoittautui kohteessa yllätykseksi ja keräinala on ylimitoitettu. Ainakin kesällä pienempi keräinala riittäisi tuottamaan kohteessa tarvittavan lämpimänkäyttöveden. Toisaalta alkukevästä, loppusyksystä ja puolipilvisinä päivinä, jolloin auringonsäteily on vähäisempää, on suurempi keräinala hyödyksi.

Kohteessa olisi voitu lähteä niin sanotusti ”kokeilemaan” sopivaa keräin alaa, nykyisen ylimitoitamisen sijaan. Olisi aloitettu pienemmällä aurinkokeräin määrällä ja katsottu minkälaisiin tuloksiin sillä olisi päästy. Koska keräinrunkojen yhdistäminen sarjaan on helppoa, olisi järjestelmän keräin alan kasvattaminen myöhemmin onnistunut helposti.

Voidaankin ajatella, että pientalossa kustannustehokkain mitoitus olisi sellainen, jossa aurinko-osuus jää kesälläkin alle 100 % (Erat 2008, 93). Tällöin kustannukset olisivat pienemmät, kun keräin ala ei olisi niin suuri. Silloin pilvisinä päivinä voitaisiin lämmin käyttövesi tuottaa sähkövastuksella.

Tutkimuskohteen nykyiseen järjestelmään on turha lähteä tekemään suuria muutoksia. Nykyisellään järjestelmä toteuttaa sille asetetut vaatimukset. Parannuksia voisi tehdä eristämällä tiiviisti kaikki aurinkopiirin putkivedot. Tällä parannuksella hyötysuhde paranisi, josta olisi apua aikana jolloin auringosta on tarjolla vähemmän energiaa. Kesän osalta putkien eristyksellä ei ole niin suurta merkitystä, koska energiaa riittää putkihäviöistä huolimatta. Silti eristäminen kannattaa toteuttaa, jolla vältetään lämmönjakohuoneen turha lämpeneminen.

Kohteeseen voitaisiin miettiä erilaisia lisäratkaisuja, joilla voitaisiin hyödyntää kesällä suurta määrää lämmintä vettä. Aurinkokeräimillä uima-altaan vesi kyetään lämmittämään tai ainakin auttamaan lämmitystä. Uima-allasta tuskin kohteeseen tulee rakennettua, mutta paljut yleistyvät Suomessa paljon. Jos kohteeseen tulee hankittua palju, pystyisi aurinkolämpöä käyttämään hyväksi paljon veden lämmittämiseen. Tämä vaatisi hanan sijoittamisen rakennuksen ulkoseinään, josta olisi helppo ottaa lämmintä vettä. Samaisesti hanasta voitaisiin ottaa esimerkiksi lämmintä pesuvettä autonpesuun. Tällaisilla ratkaisuilla saataisiin energiankulutus kasvamaan ja voitaisiin käyttää reservissä olevaa lämmintä vettä hyväksi. Järjestelmä kyllä toimii ilman tällaisia lisäratkaisuja, mutta ylimitoitettu järjestelmä antaa tällaisiin mahdollisuuden.

6.2 Vaihtoehtoinen järjestelmä samanlaiseen tilanteeseen

Tilanteessa, jossa on suuri lämminvesivaraaja ja lämpimän käyttöveden kulutus on vähäistä, voisi miettiä erilaista sovellusta.

Aurinkolämmitysjärjestelmä toteutettaisiin kahden varaajan avulla. Suuren varaajan rinnalle kytkettäisiin pienempi varaaja (300 l), josta lämminkäyttövesi otetaan. Tällöin pienempi keräinala riittäisi tuottamaan lämpimän käyttöveden. Silloin kun lämmöntuotto on suurta, pystyttäisiin ohjauskeskuksella järjestelmää ohjaamaan, siten että lämpöä jaettaisiin myös suurempaan varaajaan. Tällä estettäisiin pienemmän varaajan lämpötilan nousun liian korkeaksi. Jolloin järjestelmä toimii, eikä aja itseään alas. Tällainen järjestelmä olisi järkevä, koska järjestelmää ei tarvitsisi ylimitoittaa. Pienemmän varaajaan kapasiteetti riittäisi vähäisen lämpimän käyttöveden saantiin. Tällainen järjestelmä ei tosin voisi paljoakaan osallistua lämmitystyön auttamiseen, pienen keräinalan vuoksi. Kahden varaajan järjestelmä saattaisi tulla kannattavammaksi ja kuitenkin puunpoltosta vapauduttaisiin kesänajaksi tälläkin järjestelyllä.

Toinen vaihtoehtoinen järjestelmä olisi, jossa suurta lämminvesivaraajaa ei lämmitettäisi kauttaaltaan. Aurinkolämmön lämmönsiirrin sijoitettaisiin varaajan puoliväliin, alas sijoittamisen sijaan. Tällöin aurinkokeräimillä lämmitettä-

siin vain varaajan yläosaa. Silloin voitaisiin pienemmällä keräinalalla tuottaa riittävä määrä lämpimää käyttövettä. Tällainenkaan järjestelmä, ei paljoa auttaisi lämmitystyössä.

Molemmilla vaihtoehtoisilla järjestelmillä hankintahinta olisi pienempi. Kahden varaajan systeemiin riittäisi vain kaksi keräinyksikköä ja yksi lisävaraaja. Yläosa-lämmitys systeemissä riittäisi kolme keräinyksikköä. Taulukossa 8 on keskihinnosta karkeasti arvioitu hankintahinnat ja verrattu niitä tutkimuskohteen hankintahintaan.

Taulukko 8. Järjestelmien hinnat

Vaihtoehto	Keräinpaketti	Varaaja	Tarvikkeet yms.	Yhteensä (€)
Kaksi varaajaa	2700	700	800	4200
Yläosa-lämmitys	3200	0	500	3700
Tutkimuskohde	5500	0	1000	6500

Vaihtoehto järjestelmien hinnat ovat arvioita, mutta suuntaa antavia. Todennäköisesti, myös näillä järjestelmillä vuosituotto on pienempää kuin kohteessa. Mutta oleellisesti pienempi hankintahinta tekee niistä kannattavampia.

7 YHTEENVETO

Aurinkolämpö on ekologinen valinta ja Suomen olosuhteissa soveltuu lähinnä lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Tutkimuskohteeseen toteutettu järjestelmä on osoittanut hyvin toimivaksi järjestelmäksi. Kohtuuttoman pitkä takaisinmaksuaika yllätti ja latisti muuten positiivisia tuntemuksia järjestelmää kohtaan. Kohteen aurinkolämmitysjärjestelmän toteuttamisessa suurin virhe tehtiin sen vähäisessä suunnitteleamattomuudessa. Toisaalta kohteen tilanne on haastava suunniteltavana. Suuri varaaja yhdistettynä vähäiseen veden kulutukseen luo haasteita suunnitteluun.

Näen, että aurinkolämmöllä olisi potentiaalia Suomessa. Vielä aurinkokereäimiä näkee vähän omakotitalojen katoilla. Miksi aurinkolämmitysjärjestelmät eivät ole yleistyneet Suomessa, toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa tai Saksassa? Yksi syy varmasti on Suomen tukipolitiikassa. Ihmettelenkin, miksi Suomessa ei aurinkoenergiaa tueta, vaikka ollaan sitouduttu hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Mahdollisesti myös ihmisten tietämättömyys aurinkoenergian mahdollisuuksia kohtaan on vähäistä. Hyvin toteutettuna ja suunniteltuna ratkaisuna aurinkolämmitysjärjestelmä palvelee asiakastaan. Aurinkolämmitys on mahdollista asentaa kaikentyyppisten vesikiertoisten päälämmitysjärjestelmien rinnalle. Uutta taloa suunnitellessa, vanhaa saneerataan tai lämminvesivaraaja uusitaan, kannattaa aurinkoenergiajärjestelmän asentamista miettiä. Toivottavasti aurinkolämpöjärjestelmien hankintahinnat halpenevat tulevaisuudessa ja näin ollen mielenkiinto niitä kohtaan lisääntyy.

Voidaankin sanoa, että ei ole yksiselitteistä ja yhtä oikeaa ratkaisua aurinkolämpöjärjestelmän toteuttamiseen. Järjestelmä vaihtoehtoja on monia ja riippuen mitä käyttäjä aurinkolämmöltä haluaa. Riippuen tilanteesta, ympäristöstä ja sijainnista onko aurinkolämpöön kannattavaa panostaa. Aurinkolämmöllä tuotettu energia on kuitenkin puhdas, uusiutuva ja nykyaikainen vaihtoehto perinteisiin tuotantomenetelmiin verrattuna.

LÄHTEET

- Aurinkolämpö 1.2008. Aurinkokeräimet 1.-esite. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- Energia-auringosta Oy. Tuotteet. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Osoitteessa <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>. 10.2.2014.
- Energiatehokas koti 2013. Käyttöveden suunnittelu. Osoitteessa http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/kayttovesi. 18.2.2013.
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- Kuopion Energia a. Sähkökauppa. Sähkön siirtohinasto, 2014. Osoitteessa <http://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/sahkohinnastot/siirto>. 1.1.2014.
- Kuopion Energia b. Sähkökauppa. Sähköenergian hinnasto, 2013. Osoitteessa <http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/myynti>. 1.1.2013.
- Motiva 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, 72–73. Osoitteessa <http://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>. 12.1.2014.
- Mottinetti. Polttopuun hinnasto 2014. Haku. Osoitteessa <http://www.mottinetti.fi/haku/lisatiedot-ja-tilaus/?id=12112322004491D0>. 15.2.2014.
- Napapiirin vesi 2014. Veden ja jäteveden käyttömaksut. Osoitteessa <http://www.napapiirinvesi.fi/Suomeksi/Taksa-ja-palvelumaksuhinnasto>. 22.2.2014.
- Sepratec 2008. Kauppa. Pumppuryhmät. Osoitteessa <http://www.sepratec.fi/kauppa/-p-545.html>. 28.1.2014.
- Steca Electronics. Solar electronics. Solar controllers, 27. Osoitteessa http://www.steca.com/index.php?Steca_TR_0603mc_en&repcode=b@wdownloadhinweis|2&dh=33/3356_0x0_Steca_TR_0603mc_instruction_EN.pdf. 31.1.2014.
- Taulukot.com. Veden tiheys lämpötiloissa 0°C–100°C. Osoitteessa http://www.taulukot.com/index2.php?search_id=mekaniikka_terminodynamiikka&lng=fi. 25.2.2014.
- Talouselämä 2013. Sähkö ja öljy kallistuvat ja nostavat polttopuun hintaa. Osoitteessa <http://www.talouselama.fi/uutiset/sahko+ja+oljy+kallistuivat++ny>

t+omakotiasujilta+uhkaavat+loppua+polttopuut/a2173300.
15.1.2014.

Ylä-Tuuhonen, M. 2013. Maakaapelointi nostamassa sähkön siirtohintaa
kymmeniä prosentteja. Osoitteessa
<http://www.hs.fi/talous/a1379664130915>. 21.9.2013.

Wikimedia Commons. Wiki. Location of Siilinjärvi in Finland. Osoitteessa
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Location_of_Siilinj%C3%A4rvi_in_Finland.png. 26.1.2014.

LIITTEET

LIITE 1

1(1)

Veden tiheys eri lämpötiloissa.

Veden tiheys lämpötiloissa 0°C - 100°C			
Lämpötila °C	Tiheys g/cm ³	Lämpötila °C	Tiheys g/cm ³
0	0,99984	20	0,99820
1	0,99990		
2	0,99994	22	0,99778
3	0,99996		
4	0,999973	24	0,99730
5	0,99996		
6	0,99994	26	0,99679
7	0,99990		
8	0,99985	28	0,99624
9	0,99978		
10	0,99970	30	0,99565
11	0,99960	35	0,99404
12	0,99950	40	0,99222
13	0,99938	45	0,99022
14	0,99924	50	0,98805
15	0,99910	60	0,98322
16	0,99894	70	0,97779
17	0,99877	80	0,97181
18	0,99860	90	0,96532
19	0,99841	100	0,95836

Lähde: Taulukot.com