

KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSVAIHTOEHDOT OMAKOTITALOSSA

Pynnönen Matias

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Matias Pynnönen	Vuosi	2019
Ohjaaja	Kai Rynnänen		
Toimeksiantaja	Yksityinen omakotitaloasukas		
Työn nimi	Käyttöveden lämmitysvaihtoehdot omakotitalossa		
Sivu- ja liitesivumäärä	26		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia auringosta saatavan lämpöenergian hyödyntämistä omakotitalon kesäajan käyttöveden lämmitykseen. Tavoitteena oli korvata kesäajan puulämmitys aurinkoenergialla ja laskelmin tehdä asukkaan järjestelmän valinta helpommaksi ja löytää ratkaisu, joka olisi teknisiltä ominaisuuksiltaan sopiva kyseiseen omakotitaloon.

Opinnäytetyössä etsittiin tietoja aurinkolämmitysjärjestelmistä ja tutkittiin niiden soveltuvuutta jo olemassa olevan lämmitysjärjestelmän tueksi. Vertailtaviksi järjestelmiksi valittiin aurinkosähkö-, aurinkokeräin- ja tyhjiöputkikeräinjärjestelmät.

Tutkittavana olevaan kohteeseen parhaimman hyödyn ja lyhimmän takaisinmaksuajan saa aurinkokeräinjärjestelmällä. Aurinkokeräimien investointikulut ovat vertailtavista järjestelmistä alhaisimmat ja kokonaiskustannukset kohtuulliset tavoiteltavaan hyötyyn nähden.

Avainsanat

lämmitysjärjestelmä, aurinkosähkö, aurinkolämpö, aurinkokeräin

Technology, Communication
and Transport
Degree Programme
in Civil Engineering

Author	Matias Pynnönen	Year	2019
Supervisor	Kai Rynnänen		
Commissioned by			
Subject of thesis	Hot Water Heating Options		
Number of pages	26		

The purpose of the thesis was to study the use of solar thermal energy to heat the hot water of a detached house. The aim was to replace wood heating with solar energy. In addition, the aim was to help the resident to make easier to find a solution that would be technically suitable for that home.

Information on different heating systems was gathered for the thesis. The suitability of these systems to support the existing heating system was studied. The solar thermal systems were best suited for the purpose in the preliminary study, so a more detailed study was carried out on the following systems solar systems, solar collectors and vacuum tube collector systems. They were compatible with the old system.

The solar collector system is the most beneficial for the house that was studied. It also has the shortest payback period. The investment costs of the solar collectors are the lowest of the system that were compared, and the total cost is reasonable compared to the desired benefit.

Key words

heating system, solar photovoltaic, solar heating

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TARKASTELTAVA RAKENNUS.....	6
3	AURINKOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄT.....	7
	3.1 Aurinkolämpö.....	7
	3.2 Aurinkosähkö.....	9
	3.3 Lämmitysjärjestelmän valintaperusteet.....	9
	3.4 Aurinkoenergia.....	10
4	LÄHTÖTIETOJEN LASKENTA.....	12
	4.1 Käytettävän lämpimän käyttöveden määrä.....	12
	4.2 Lämpöhäviöt lämminvesivaraajassa ja käyttöveden siirrossa.....	12
	4.3 Huonetilan ja lattian lämmitys.....	13
	4.4 Käyttökustannukset nykyisillä lämmitysvaihtoehdoilla.....	17
5	VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT.....	19
	5.1 Auringosta saatava energia.....	19
	5.2 Tyhjiöputkikeräimet.....	19
	5.3 Tasokeräimet.....	20
	5.4 Aurinkosähköjärjestelmä.....	21
	5.5 Yhteenveto.....	23
6	POHDINTA.....	1224
7	LÄHTEIDEN MERKINTÄ.....	255
	LÄHTEET.....	25

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia puulämmityksen korvaajaa kesäajan käyttöveden lämmitykseen. Tarkoituksena on välttää kesäkuukausina suhteellisen työllään puukattilan käyttöä sekä välttää myös pelkän sähkön käyttöä käyttöveden lämmityksessä. Tarkoituksena on löytää aurinkoenergiaa hyödyntävä järjestelmä, joka kustannuksiltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan on käyttökelpoisin tukilämmitysjärjestelmä ja vertailla eri vaihtoehtojen soveltuvuutta käyttöveden lämmitykseen.

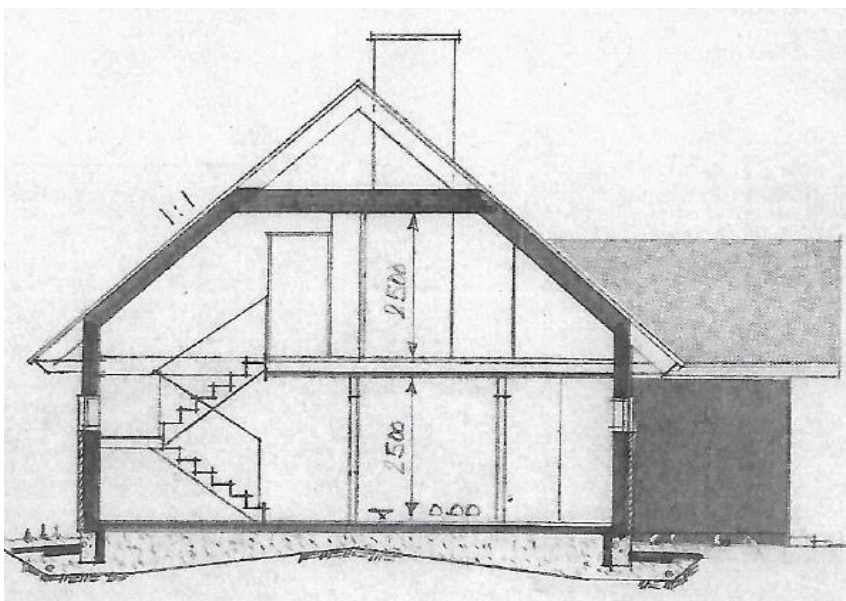
Lämmitysratkaisun pitää olla yhteensopiva 1980-luvun alkupuolella rakennetun omakotitalon puulämmitysjärjestelmän kanssa. Vertailtaviksi lämmitysjärjestelmiksi valittiin investoinneiltaan suhteellisen edulliset järjestelmät sekä järjestelmät, jotka voivat hyödyntää olemassa olevaa lämminvesivaraajaa. Tarkempaan vertailuun valittiin aurinkosähköjärjestelmä ja aurinkokeräimet edellä mainituilla perusteilla.

Valituista lämmitysjärjestelmistä lasketaan teknillinen soveltuvuus käyttötarkoitukseen. Investoinnin kannattavuutta arvioidaan vertailemalla kustannuksia nykyisellä sähkövastuksella tuotettuun energiaan. Kesällä lämmitykseen käytettyä aikaa, eikä olemassa olevien ja vertailtavien vaihtoehtojen ympäristöystävällisyyttä huomioida laskelmissa.

2 TARKASTELTAVA RAKENNUS

Opinnäytetyössä käsiteltävä rakennus sijaitsee Keski-Suomessa lähellä Jyväskylää. Omakotitalo on 1980-luvun alussa rakennettu kaksikerroksinen ajalleen tyypillinen jyrkkäkattoinen rakennus. Rakennuksen alkuperäinen lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen patterilämmitys, poissulkien pesuhuonetilat, jossa on vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennusta lämmitetään puuklapeilla, järjestelmä sisältää 1500 litran lämminvesivaraajan, johon on rakennusvaiheessa jätetty varaus mahdolliselle aurinkolämmitykselle. Lämmitykseen käytettävää puuta ei tarvitse ostaa vaan puiden hankintaan kuluu lähinnä vain aikaa. Nykyinen lämmitysjärjestelmä on alkuperäinen. Järjestelmää on huollettu säännöllisesti ja korjauksissa on vaihdettu venttiileitä ja paisuntasäiliö uuteen. Muilta osin järjestelmän kunto vastaa käyttötarpeita, eikä koko järjestelmää ole tarkoitus vaihtaa lähivuosina uuteen.

Rakennuksen toinen jyrkkä lape sijoittuu lähes suoraan etelään päin ja katto on 45° kaltevuudessa, jolloin katolle sijoitettavat keräimet saadaan sijoitettua lähes parhaaseen energiantuoton antavaan paikkaan suoraan kattolapetta vasten. Teknisen tilan viereisestä vessasta on myös katolle asti valmis kotelo, jota voidaan hyödyntää paneeleiden ja lämminvesivaraajan välille asennettavan putken tai kaapelin reittinä. (Kuvio 1.)

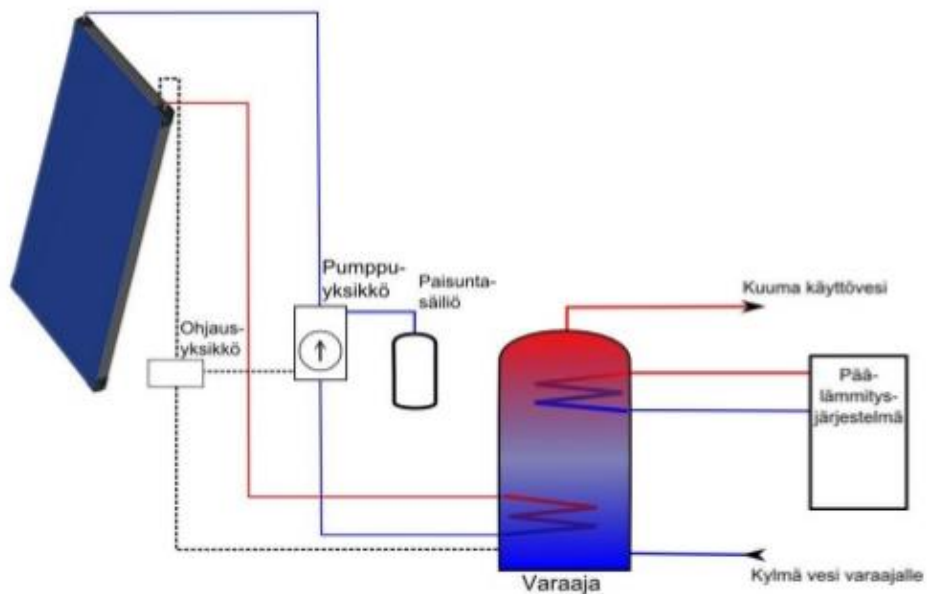


Kuvio 1. Leikkauspiirustus (Sorri 1983)

3 AURINKOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämmitysjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, siirtopumpusta, lämminvesivaraajasta, paisuntasäiliöstä ja ohjainyksiköstä. Lisäksi keräimien ja lämminvesivaraajan välille tarvitaan putkisto, jossa virtaa jäätymätön lämmönsiirtoneste. Aurinkokeräimissä auringon lämpösäteilyn johdosta lämmentyneet paneelit lämmittävät paneeleissa virtaavan lämmönsiirtonesteen, joka luovuttaa lämmönvaihtimen kautta lämmön lämminvesivaraajaan.

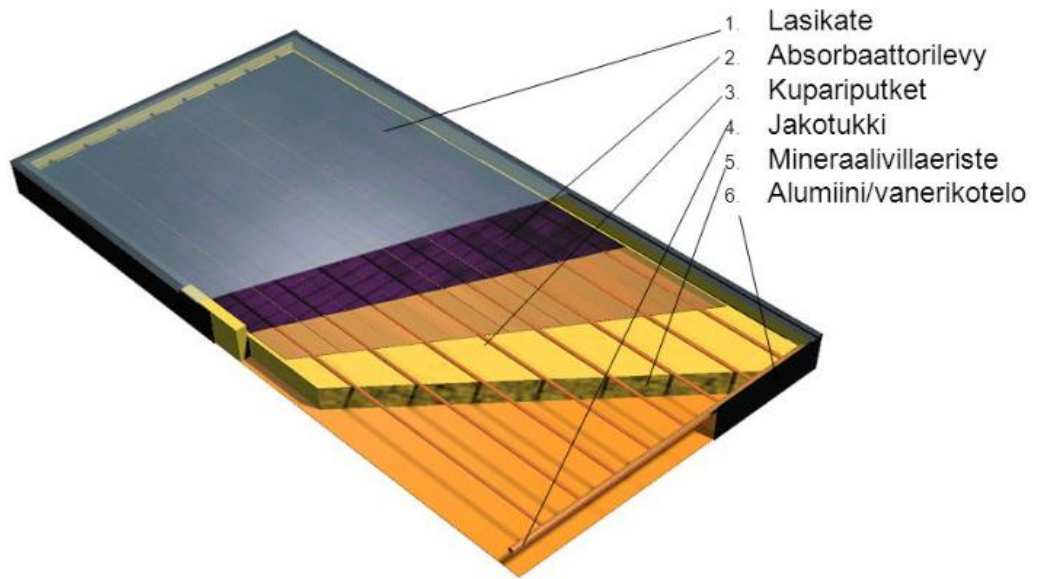


Kuvio 2. Aurinkolämpöjärjestelmä (Savosolar)

Aurinkolämpöjärjestelmät jaotellaan pääosin tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin, joissa toimintaperiaate on kuvion 2 mukainen. Eroavaisuus on keräimien rakenteessa.

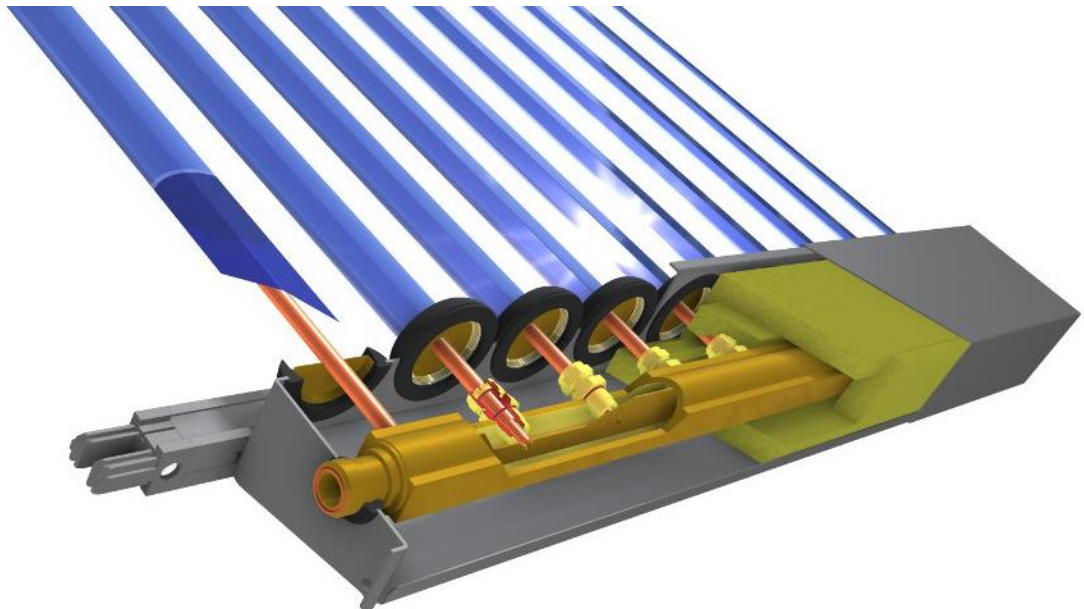
Tasokeräimessä lämmitysputkisto kiertää lämpöeristetyssä kotelossa tasaisen lasikatteen alla. (Kuvio 3.)

Nestekiertoisen aurinkokeräimen rakenne



Kuvio 3. Tasokeräin (VTT)

Tyhjiöputkikeräimessä lämmönsiirtoverkko on sijoitettuna lasiputkessa olevaan tyhjiöön, jossa tyhjiö toimii lämmöneristeenä. (Kuvio 4.)



Kuvio 4. Tyhjiöputkikeräin (Smart AC)

3.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneelista, ohjausyksiköstä, akusta ja invertteristä. Paneelien ja tekniseen tilaan asennettavien muiden laitteiden välille tarvitaan sähkökaapeli sekä lämminvesivaraajaan sähkövastus, jota aurin-gosta saatavalla energialla lämmitetään. (Kuvio 5.)



Kuvio 5. Aurinkosähkö (Areva Solar Oy)

3.3 Lämmitysjärjestelmän valintaperusteet

Puulämmityksen vaihtoehdoksi on tarjolla useita erilaisia ratkaisuja. Teknisen tilan koko ja viereinen varasto mahdollistavat jatkossa lämmitysjärjestelmän uusimisen yhteydessä myös tilaa vaativia järjestelmien valinnan. Nykyinen aurinkolämmityksen tarkastelu ja mahdollinen aurinkoenergiaa hyödyntävän laitteiston asennus mahdollistaa jatkossa aurinkolämmityksen hyödyntämiseen tulevan järjestelmän yhteydessä, kun tämä voidaan ottaa jo lämmitysratkaisun suunnittelun yhteydessä huomioon. Vertailtavat ratkaisut ovat valikoituneet niihin järjestelmiin, joissa voidaan hyödyntää lämpimänkäyttöveden lämmityksessä lämminvesivaraajaa, jota ei olla uusimassa lähitulevaisuudessa.

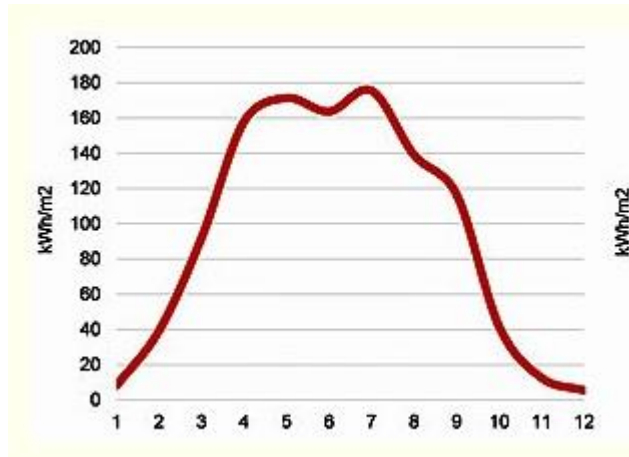
Aurinkokeräinjärjestelmällä saadaan uusiutuvaa energiaa ja pystytään hyödyntämään olemassa olevaa lämminvesivaraaja. Aurinkoenergian haittana on säävaihtelut, jolloin energiaa ei saada tasaisesti eikä järjestelmän varaan voi kokonaan toimintaa mitoittaa.

Aurinkosähköjärjestelmällä saadaan myös uusiutuvaa energiaa, jossa on myös säävaihtelut haittapuolena. Järjestelmän mahdollisena hyötynä voidaan ylimääräinen energia käyttää rakennuksen sähkönkulutuksessa hyväksi.

Vaihtoehtoista tarkempaan vertailuun valitaan aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmät eli aurinkokeräin- ja aurinkosähköjärjestelmät. Valintaperusteena on järjestelmien vastaavuus haluttuun tarpeeseen, eli kesäpäivien lämpimänkäyttöveden lämmitykseen sekä järjestelmät pystyvät hyödyntämään olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää.

3.4 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on päästötön ja uusiutuva energianlähde, jota voidaan hyödyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivien lämmityksen hyödyntäminen tarkoittaa lähinnä arkkitehtuurista suunnittelua auringon energiaa hyväksi käyttäen. Aktiivinen aurinkolämmitys tarkoittaa auringon lämpöenergian talteen ottoa koneellisesti. Passiivista lämmitystä voidaan hyödyntää parhaiten uudisrakennuskohdeissa, kun vanhoissa rakennuksissa helpoin tapa on hyödyntää aurinkoenergiaa aktiivisesti käyttötarkoitukseen sopivalla laitteella. Auringon kokonaissäteily määrä on Keski-Suomessa 890 kWh/m^2 vuodessa, vaakatasoon asennetulla laitteistolla ja 1127 kWh/m^2 45 asteen kulmaan asennetulla laitteistolla. Auringon säteilymäärästä suurin osa saadaan kesäkuukausina. (Motiva 2018.)



Kuvio 6. Auringon säteily määrä kuukausittain (Motiva 2018)

4 LÄHTÖTIETOJEN LASKENTA

4.1 Käytettävän lämpimän käyttöveden määrä

Lämmitysveden tarve on neljälle henkilölle. Peräkkäisten pilvisten tai kylmien jaksosten aikaa ei tarvitse huomioida, koska kyseisten ajanjaksojen lämmitys- ja lämpimän käyttöveden tarve voidaan hoitaa nykyisellä puulämmityksellä.

Lämpimän veden kulutusta ei ole seurattu, jolloin mitoituksessa käytetään lähtötietoina keskimääräistä vedenkulutusta 140 litraa/asukas/vuorokausi. Lämpimän käyttöveden osuus kaikesta kulutetusta vedestä on noin 40 prosenttia. (Motiva 2019.)

Tarvittava lämpimän veden vaativa energia saadaan laskettu kaavalla:

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

missä

Q	on	lämpöenergia [J]
m	on	massa [kg]
c	on	ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg*K]
T	on	lämpötilanmuutos[K]

Tarvittava lämpimän käyttöveden määrä on:

140 l/vrk/asukas * 4 hlö * 40 % saadaan 224 l/vrk.

$$Q = 224 \text{ kg} * 4,19 \text{ kJ/kg*K} * (5-55) \text{ K}$$

$$Q = 46928 \text{ KJ}$$

Kilowattitunneiksi saatu vastaus muutetaan jakamalla tulos 3600 sekunnilla, jolloin saadaan muutettua yksiköt kilowateiksi. $46928 \text{ KJ}/3600 \text{ S} = 13,0 \text{ kW/vrk}$.

4.2 Lämpöhäviöt lämminvesivaraajassa ja käyttöveden siirrossa

Lämminvesivaraajan lämpöhäviön laskenta. Lämminvesivaraajan tilavuus on 1500 litraa ja eristeen paksuus on 100 mm. Lämminvesivaraajan lämmöntarve

saadaan taulukkoarvoista, joka on kyseiselle varaajalle ja eristeelle 1300 kWh/a. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

Vuorokausikohtaiseksi lämmöntarpeeksi saadaan $1300 \text{ kWh}/365\text{vrk} = 3,6 \text{ kWh/vrk}$

Käyttövesiputket on eristetty mineraalivilla alle 1,5 kertaa halkaisijan vahvuudelta, jolloin käytetään käyttöveden siirron hyötysuhteena 89 %. Vuorokautinen lämmöntarve on 13 kWh, josta 89 % hyötysuhteella tarvittava lämmitettävän käyttöveden energiatarve on 14,6 kWh/vrk. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

4.3 Huonetilan ja lattian lämmitys

Pesutiloissa pidetään mukavuuslämpö päällä myös kesällä, jolloin lasketaan lattialämmitykseen kuuluva lämpöenergianmäärä mukaan kokonaiskulutukseen. Pesutilat sijaitsevat osittain ulkoseinää vasten ja yläpuolella on lämmintä asuintilaa. Laskelmissa huomioidaan lämpöhäviöt ulkoseinässä ja maanvaraisessa alapohjassa. Huonetilojen pinta-ala on 12 m^2 ja korkeus 2,4 metriä. Ulkoseinää on kuusi metriä. Alapohjan lämmönläpäisykerrotimeksi käytetään rakennuksen rakentamisen aikaista lämmönläpäisykerrointa $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

Alapohjan vuorokautinen johtumislämpöhäviö saadaan alla olevalla kaavalla. Taulukkoon 1 on laskettu kuukausikohtaiset lämpöhäviöt.

$$Q_{AP} = U \cdot A \cdot (T_S - T_U) \cdot T / 1000 \quad (2)$$

Alapohjan lämmönjohtumislämpöhäviötä laskettaessa kaavan ulkoilman lämpötilaa tarkoittavan T_U sijasta käytetään alapuolisen maan lämpötilaa. Kyseinen lämpötila saadaan laskettua kaavalla 3.

$$T_{\text{maa, vuosi}} = T_{u, \text{vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, vuosi}} \quad (3)$$

jossa

$T_{\text{maa, vuosi}}$	on	alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
$T_{\text{u, vuosi}}$	on	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C
$\Delta T_{\text{maa, vuosi}}$	on	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti arvoa 5 °C.

Alapohjan energian kulutuksen laskennassa tarvittava ulkoilman vuotuinen keskilämpötila on Keski-Suomen alueella +4 astetta (Ilmatieteenlaitos. Vuositulastot).

Alapohjan alapuolisen maaperän kuukausittainen keskilämpötila lasketaan maan vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla.

$$T_{\text{maa, kk}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kk}} \quad (4)$$

jossa

$T_{\text{maa, vuosi}}$	on	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen lämpötila
$\Delta T_{\text{maa, kk}}$	on	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero, °C.

Alapohjan energian kulutuksen laskennassa tarvittava alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen lämpötila, joka saadaan taulukosta 1. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

Taulukko1. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (Ympäristöministeriö)

kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kk, } ^\circ\text{C}}$
huhtikuu	-3
toukokuu	-3
kesäkuu	-2
heinäkuu	0
elokuu	1
syyskuu	2

Alapohjan lämmönjohtumiskaavassa 2 tarvittava T_u :n korvaava $T_{\text{maa, kk}}$ on laskettuna kuukausittain taulukkoon 2.

Taulukko 2. Lämpötila erot kuukausittain (Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet, sivu 20.)

	$\Delta T_{\text{maa, kk, } ^\circ\text{C}}$	$T_{\text{maa, vuosi}}$	$T_{\text{maa, kk}}$
huhtikuu	-3	+9	+6
toukokuu	-3	+9	+6
kesäkuu	-2	+9	+7
heinäkuu	0	+9	+9
elokuu	1	+9	+10
syyskuu	2	+9	+11

Alapohjan lämpöhäviöt ovat laskettuna kaavan 2 mukaisesti taulukkoon 3.

Taulukko 3. Alapohjan lämpöhäviöt (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

kuukausi	Q_{AP} [kWh/vrk]	U [W/m ² K]	A [m ²]	T_s [c]	T_u [c]	T [h]
huhtikuu	1,7	0,40	12	21	6	24
toukokuu	1,7	0,40	12	21	6	24
kesäkuu	1,6	0,40	12	21	7	24
heinäkuu	1,4	0,40	12	21	9	24
elokuu	1,3	0,40	12	21	10	24
syyskuu	1,3	0,40	12	21	10	24

Alapohjan lämmityksen hyötysuhde on 0,8. Jolloin laskennassa saatuihin tuloksiin lisätään häviöistä johtuvat lisät. Toukokuun ja elokuun välisenä aikana lattian lämmittämiseen kuluu lämpöenergiaa keskiarvona 1,3 kWh/vrk. Hyötysuhde huomioiden energiaa tarvitaan 1,6 kWh/vrk. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

Ulkoseinän johtumislämpöhäviö saadaan samalla kaavalla kuin alapohjan johtumislämpöhäviö, poissulkien ulkolämpötilan lähtöarvo, jota käytetään suoraan ulkolämpötilaa taulukosta 5. Ulkoseinän u-arvona käytetään rakentamisaikaista u-arvoa 0,35 W/m²K. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

Taulukko 4. Ulkoseinän lämpöhäviöt (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.)

kuukausi	Q_{us} [kWh/vrk]	U [W/m ² K]	A [m ²]	T_s [c]	T_u [c]	T [h]
huhtikuu	2,3	0,35	15	21	2,5	24
toukokuu	1,5	0,35	15	21	9,3	24
kesäkuu	0,9	0,35	15	21	13,9	24
heinäkuu	0,5	0,35	15	21	16,7	24
elokuu	0,8	0,35	15	21	14,3	24
syyskuu	1,5	0,35	15	21	9,1	24

Toukokuun ja elokuun välisenä aikana huonetilan lämmittämiseen kuluu lämpöenergiaa keskiarvona 0,9 kWh/vrk. Taulukko 4.

Taulukko 5. Lämpötilat kuukausittain (Ilmatieteenlaitos. Kuukausitilastot)

kuukausi	lämpötila [c]	kuukausi	lämpötila [c]
huhtikuu	2,5	heinäkuu	16,7
toukokuu	9,3	elokuu	14,3
kesäkuu	13,9	syyskuu	9,1

Energian tarve yhteensä lasketaan kaikkeen kulutus yhteen. Veden lämmitys-tarve 14,0 kWh/vrk, lämminvesivaraajan lämpöhäviö 3,6 kWh/vrk, käyttöveden siirron lämpöhäviö 1,7 kWh/vrk, lattian lämmittämiseen 1,6 kWh/vrk, huonetilan lämmittämiseen 0,9 kWh/vrk. Kokonaisenergian tarve keskimääräiseen kesäajan lämmitykseen toukokuun alun ja elokuun lopun välillä on 21,8 kWh/vuorokausi.

4.4 Käyttökustannukset nykyisillä lämmitysvaihtoehdoilla

Aurinkolämmitys vaihtoehtona onkin oman työpanoksen säästäminen, on tässä opinnäytetyössä laskettuna sähköllä ja ostetun puun hinnalla laskettu aurinkoenergian kannattavuuden vertailua helpottavat kustannukset.

Sähkövastuksella lämminvesivaraaja lämmitettynä päivittäisen energian hinnaksi saadaan $21,8 \text{ kWh/vrk} * 0,15 \text{ €/kWh} = 3,24 \text{ €/vrk}$. Neljän kesäkuukauden osalta

käyttöveden ja pesutilojen lattian lämmitys maksaa $123 \text{ vrk} * 3,24 \text{ €/vrk} = 400$ euroa. Hinnat perustuvat Jyväskylän Energian 28.1.2018 hintoihin. (Jyväskylän Energia 2018.)

Polttopuilla lämmittämiseen puuta kuluu seuraavasti $21,8 \text{ kWh/vrk} / 4,15 \text{ kWh/kg} = 5,3 \text{ kg/vrk}$. Koivun energiasisältö on 1010 kWh/i-m^3 , -paino 243 kg/i-m^3 ja -hintaa 60 €/i-m^3 . Vuorokautiseksi hinnaksi saadaan: $5,3 \text{ kg/vrk} / 243 \text{ kg/i-m}^3 * 60 \text{ €/i-m}^3 = 1,30 \text{ €/vrk}$. Polttopuilla lämmitettäessä neljän kesäkuukauden osalta käyttöveden ja pesutilojen lattian lämmitys maksaa 160 euroa. (Halkoliiteri.)

5 VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT

5.1 Auringosta saatavaa energia

Taulukosta 6 saadaan tyhjiöputkikeräimien ja tasokeräimien kuukausittainen auringon teho. Taulukkoon on laskettu säteily määrä korjauskerrointa käyttäen.

Taulukko 6. Auringonsäteily määrä (Heimonen 2012,15)

kuukaudet	auringonsäteily määrä [kWh/m ² /kk] 0 ⁰	Korjauskerroin 45 ⁰	säteily määrä [kWh/m ² /kk]	säteily teho [W/m ²]
huhtikuu	103	1,30	134	186
toukokuu	171	1,07	183	246
kesäkuu	159	0,99	157	218
heinäkuu	158	1,01	160	215
elokuu	114	1,11	127	171
syyskuu	71	1,33	94	131

5.2 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkien hyötysuhde on 80 %. Tarvittava tyhjiöputkien keräimien pinta-ala saadaan alustavasti lämpimänkäyttöveden vaatimasta tarpeesta jaettuna neljän kesäkuukauden säteily määrän keskiarvolla jaettuna ja hyötysuhteella huomioituna. Vuorokautinen lämmöntarve on 21,8 kWh, laskennassa käytettäviä vuorokausia on 123 kappaletta. Kokonaislämmöntarpeeksi saadaan 21,8 kWh * 123 vrk = 2681 kWh. Auringosta saatava säteily määrä on samalla ajanjaksolla 627 kWh/m². Tarvittava tyhjiöputkien keräin pinta-ala saadaan jakamalla lämmitykseen kuluva energia auringosta saatavalla energialla sekä huomioimalla keräinten hyötysuhde. $2681 \text{ kWh/kk} / 627 \text{ kWh/m}^2/4\text{kk} * 80\% \sim 6 \text{ m}^2$. Valmistajien tuotteista voidaan saadun vastauksen perusteella aloittaa vertailu, pinta-alaltaan noin kuuden neliömetrin kokoisista tyhjiöputkikeräimistä. (Heimonen 2012.)

Järjestelmien hinnat vaihtelivat valmistajien tarjonnan mukaan 2700 euron ja 3100 euron välillä. Laskelmiin valitun tuotteen pinta-ala on 5,7 m². Paneeleiden pinta-alaa vastaava auringon säteily määrä on $5,7 \text{ m}^2 * 627 \text{ kWh/m}^2/4\text{kk} * 80\% =$

2860 kWh. Vertailulaskelma suoritettiin halvimman järjestelmän mukaan. (Nova-future.)

Halvimmillaan kuuden neliön laitteiston investointikulut ovat 2700 euroa, jolloin tuotettua energia saadaan tyhjiöputkikeräimillä vertailussa olevien kesäkuukausien aikana 2860 kWh. Lämpöenergian saanti ylittää 179 kWh kesäajan tarpeen, jolloin takaisinmaksu laskelmassa käytetään tarvittavaa energian määrää. Laitteiston takaisenmaksuajaksi voidaan laskea nykyisellä sähkölämmityksellä kuluvan energian hinnan mukaan $0,15 \text{ €/kWh}$. Kesäajan tuotetun energian hinnaksi saadaan $2681 \text{ kWh} * 0,15 \text{ €/kWh} = 400 \text{ €}$. Laitteiston hankintahinta 2700 euroa jaetaan yhden kesän ajan säästöllä, $2700 \text{ €} / 400 \text{ €} / \text{tarkastelujakso}$ on 7 vuotta. Takaisinmaksuajaksi saadaan 7 vuotta.

5.3 Tasokeräimet

Tasokeräimien hyötysuhde on 83 %. Tarvittava tyhjiöputkien keräimien pinta-ala saadaan alustavasti lämpimänkäyttöveden vaatimasta tarpeesta jaettuna neljän kesäkuukauden säteily määrän keskiarvolla jaettuna ja hyötysuhteella huomioituna. Vuorokautinen lämmöntarve on 21,8 kWh, laskennassa käytettäviä vuorokausia on 123 kappaletta. Kokonaislämmöntarpeeksi saadaan $21,8 \text{ kWh} * 123 \text{ vrk} = 2681 \text{ kWh}$. Auringosta saatava säteily määrä on samalla ajanjaksolla 627 kWh/m^2 . Tarvittava tyhjiöputkien keräin pinta-ala saadaan jakamalla lämmitykseen kuluva energia auringosta saatavalla energialla sekä huomioimalla keräinten hyötysuhde. $2681 \text{ kWh/kk} / 627 \text{ kWh/m}^2/4\text{kk} * 83\% \sim 5,5 \text{ m}^2$. Valmistajien tuotteista voidaan saadun vastauksen perusteella aloittaa vertailu, pinta-alaltaan noin viiden kuuden neliömetrin kokoisista tyhjiöputkikeräimistä. (Heimonen 2012,15.)

Järjestelmien hinnat vaihtelivat valmistajien tarjonnan mukaan 2800 euron ja 3200 euron välillä. Vertailulaskelma suoritettiin halvimman järjestelmän mukaan. Laskelmiin valitun tuotteen keräin pinta-ala on $5,9 \text{ m}^2$. (Huipputuotteet; Ekolämmöx.)

Halvimmillaan vertailukelpoisen laitteiston investointikulut ovat 2800 euroa. Tuotettua energia saadaan tyhjiöputkikeräimillä vertailussa olevien kesäkuukausien

aikana $627 \text{ kWh/m}^2/4\text{kk} * 5,9 \text{ m}^2 * 83\% = 3070 \text{ kWh}$ / tarkastelujakso. Lämpöenergian saanti ylittää 389 kWh kesäajan tarpeen, jolloin takaisinmaksu laskelmassa käytetään tarvittavaa energian määrää. Laitteiston takaisinmaksuajaksi voidaan laskea nykyisellä sähkölämmityksellä kuluvan energian hinnan mukaan $0,15 \text{ €/kWh}$. Kesäajan tuotetun energian hinnaksi saadaan $2681 \text{ kWh} * 0,15 \text{ €/kWh} = 400 \text{ €}$. Laitteiston hankintahinta 2800 euroa jaetaan yhden kesän ajan säästöllä, $2800 \text{ €} / 400 \text{ €} / \text{tarkastelujakso} = 7$ vuotta. Takaisinmaksuajaksi saadaan 7 vuotta.

5.4 Aurinkosähköjärjestelmä

Rakennuksen katon kaltevuus on 45° ja keräimien sijoittamislaite poikkeaa etelän suunnasta vähän kaakkoon päin, jolloin korjauskertoimena käytetään etelän kerrointa. Varjostuksia ei tule kattoon mistään suunnasta. Rakennus sijaitsee vyöhykkeellä 2 / Jyväskylä, jossa säteilyenergiaa saadaan keskimäärin 870 kWh/m^2 , a. (Heimonen 2012, 15.)

Laskuissa käytettävät säteilyenergiat vaakasuoralla pinnalle kWh/m^2 , kk. Saadaan. Taulukosta 6.

Tarvittava sähköteho lasketaan kaavalla. (5)

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}}$$

missä

$E_{s, pv, out}$	on	kennojen tuottama sähköenergia kuukaudessa [kWh]
E_{sol}	on	kuukausittainen säteilyenergia [kWh/m^2]
P_{maks}	on	aurinkosähkökennojen tuottama maksimiteho [kW_p]
$F_{käyttö}$	on	käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]
I_{ref}	on	referenssisäteilytilanne [1 kW/m^2]

Kuukausittainen energiantarve on $21,8 \text{ kWh/vrk} \cdot 31 \text{ vrk} = 650 \text{ kWh}$, joka kaavassa 4 on $E_{s, pv, out}$. Auringon keskimääräinen säteilyteho tarkastelujaksolla toukokuun ja elokuun välisenä aikana on $157 \text{ kW/m}^2 / \text{kk}$. Tästä saadaan laskettua vaadittava aurinkosähkökennojen maksimiteho. Kaavasta 4 laskettava P_{maks} johdetaan seuraavasti. $P_{maks} = (E_{s, pv, out} \cdot I_{ref}) / (E_{sol} \cdot F_{käyttö})$. Laskettuna saadaan aurinkokennojen maksimiteho, $P_{maks} (630 \text{ kWh} \cdot 1 \text{ kW/m}^2) / (157 \text{ kW/m}^2 \cdot 0,75) = 5,4 \text{ kW}_p$.

Aurinkosähkökennojen maksimi teho on $5,4 \text{ kW}_p$, josta saadaan kaavasta 5 laskettu paneelien pinta-ala, kaavassa tarvittava huipputehokerroin saadaan taulukosta 7. Kaavasta on johdettu lause $P_{maks} / K_{maks} = A_{kenno}$. $5,4 \text{ kW}_p / 0,15 = 36 \text{ m}^2$. Lopputuloksena $5,4 \text{ kW}_p$ tehoinen aurinkosähköjärjestelmä vaatii noin 35 neliön määrän aurinkokenno paneeleja. Näistä lähtökohdista voidaan vertailla valmistajien tuotteista sopivia laitteita.

$$P_{maks} = K_{maks} \cdot A_{kenno} \quad (6)$$

P_{maks} on aurinkosähkökennojen tuottama maksimiteho. [kW_p]

K_{maks} on huipputehokerroin [kW/m^2]

A_{kenno} on aurinkosähkökennon pinta-ala. [m^2]

Aurinkopaneelien laskennassa tarvitaan aurinkokenno tyyppien huipputehokerroimia.

Taulukko 7. Huipputehokerroimet (Heimonen 2012, sivu 22)

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{maks} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe_2 kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Paneeleiden hinnat vaihtelivat valmistajien ja sähköyhtiöiden tarjonnan mukaan 7900 euron ja 10000 euron välillä. Paneeleiden pinta-ala ja sähköteho olivat lähes samoja, jolloin vertailulaskelma suoritettiin halvimman järjestelmän mukaan. (Helen; Vattenfall; Oulun Energia.)

Tuotetun energian hinta halvimmallalla järjestelmällä laskettuna. Laitteiston investointikulut ovat 7900 euroa. Tuotettua energia saadaan aurinkokennoilla tarkastelujakson aikana toukokuusta elokuuhun $(183+157+160+127) \text{ kWh/m}^2 * 5,2 \text{ kW}_p * 0,75 / 1 \text{ kW/m}^2 = 2445 \text{ kWh}$. Kesäajan tuotetun energian hinnaksi saadaan $2681 \text{ kWh} * 0,15 \text{ €/kWh} = 400 \text{ €}$. Laitteiston hankintahinta 7900 euroa jaetaan yhden kesän ajan säästöllä, $7900 \text{ €} / 400 \text{ €} / \text{tarkastelujakso} = 20 \text{ vuotta}$. Takaisinmaksuajaksi saadaan 20 vuotta.

5.5 Yhteenveto

Aurinkosähkökennojärjestelmä, laitteiston investointikulut 7900 euroa. Takaisinmaksuaika verrattuna nykyiseen sähkölämmitykseen on $7900 \text{ €} / 400 \text{ €/kk}$ on 20 vuotta.

Tyhjiöputkikeräin, laitteiston investointikulut ovat 2700 euroa. Takaisinmaksuaika verrattuna nykyiseen sähkölämmitykseen on $2700 \text{ €} / 400 \text{ €/kk}$ on 7 vuotta.

Tasokeräin, laitteiston investointikulut ovat 2800 euroa. Takaisinmaksuaika verrattuna nykyiseen sähkölämmitykseen on $2800 \text{ €} / 400 \text{ €/kk}$ on 7 vuotta.

Tyhjiöputki- ja tasokeräimen investointikulut on vertaillussa lähes samanhintaiset ja takaisinmaksu ajat ovat myös saman suuruiset. Molemmilla aurinkokeräimellä saadaan tuotettua tarvittava energia, molemmilla vaihtoehdoilla jopa enemmän kuin laskennallinen tarve. Hankintahinnan ja energian hankinnan suhteen erot ovat aurinkokeräimissä marginaaliset, joten suositeltavaksi vaihtoehdoksi tulisi aurinkokeräin joko tasokeräin- tai tyhjiöputkikeräin.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli omakotitalon käyttöveden kesäajan lämmityksen helpottaminen ja tutkia auringosta saatavan energian hyödyntämistä käyttöveden lämmityksessä.

Lämmitysjärjestelmien vertailun lähtötietoina käytettävää lämpimän käyttöveden kulutusta ei ollut saatavana, joten energiankulutuksen teoreettisessa laskennassa käytettiin kahta erilaista energiankulutuksen määrän laskentatapaa, jolla päästiin lähes samoihin lukuihin, jolloin saatua energiankulutusta voidaan pitää totuuden mukaisena.

Lämmitysjärjestelmiksi valikoitui aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmät, koska omakotitalossa on asennuksen kannalta optimaalinen jyrkkä lape lähes suoraan etelään päin ja teknisestä tilasta on valmis kotelo suoraan katolle.

Lämmitysjärjestelmän valinta perustuu lähinnä käyttäjän käyttömukavuuden ja investointikustannuksien perusteella, koska vaihtoehtoina ei ole merkittävästi os-toenergiaa käyttävää järjestelmää, jonka hinnanmuutos pitäisi huomioida laskelmissa.

7 LÄHTEET

Areva Solar Oy. Aurinkopaneelit omakotitaloon. Viitattu 25.3.2019 <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6-varavoimana>.

Ekolämmöx Oy. Etusivu. Viitattu 23.1.2019 <https://www.ekolammox.fi/tuote/en-sol-aurinkokerain>.

Elenia. Siirtotuotteet ja -hinnat. Viitattu 20.11.2018 <http://www.elenia.fi/sahko/siirtotuotteet>.

Halkoliiteri 2019. Haku. Viitattu 22.12.2018 <http://www.halkoliiteri.com/haku>.

Heimonen, I. 2012. Aurinko-opas. Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuotannon laskennan opas. Viitattu 15.2.2019 <http://www.ym.fi/download/no-name/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750>.

Helen. Aurinkopaneelit. Viitattu 23.1.2019 <https://www.helen.fi/aurinko/kodit/aurinkopaneelipaketit>.

Huipputuotteet 2019. Aurinkokeräimet. Viitattu 23.1.2019 <http://www.huipputuotteet.fi/tuotteet/aurinkokeraimet-2/aurinkokeraimet-4-5-henkilolle>.

Ilmatieteenlaitos. Kuukausitilastot. Viitattu 20.11.2018 <https://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>.

Ilmatieteenlaitos. Vuositilastot. Viitattu 22.1.2018 <https://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>.

JYVÄSKYLÄN ENERGIA -YHTIÖT. Onko sähkösopimuksen kilpailuttaminen ajankohtaista? Viitattu 20.11.2018 <https://www.jyvaskylanenergia.fi/sahko/sahkosopimuksen-kilpailuttajalle>.

Motiva Oy 2018. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 18.2.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa.

Motiva Oy 2019. Vedenkulutus. Viitattu 18.2.2019 https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus.

Novafuture. Tuotteet. Viitattu 23.1.2019 <http://novafuture.fi/tuotteet.html>.

Oulun energia. Aurinkopaneelit kotiin. Viitattu 23.1.2019 <https://www.ouluenergia.fi/aurinko/kotitaloudet/aurinkopaneelit-kotiin>.

Savosolar. Aurinkolämpöratkaisut. Viitattu 24.1.2019 <https://bit.ly/2WdV1NR>.

Smart AC. Aurinkokeräimet. Viitattu 25.3.2019 <http://smartac.eu/fin/aurinkokeräimet>.

Sorri H. 1983. Kohteen rakennuspiirustus.

Tulituote. Tuotteet. Viitattu 23.1.2019 https://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeräimet/heatpipe____tyhjioputkikeräimet.

Vattenfall. Aurinkopaneelit. Viitattu 23.1.2019 <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/aurinkopaneelit-taloon>.

VTT. Aurinkoista energiaa. Viitattu 25.3.2019 <https://bit.ly/2TUq5Wc>.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 27.2.2013/176. Viitattu 20.11.2018 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130176>.

Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet. Viitattu 18.2.2019 <http://www.ym.fi/download/no-name/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>.

Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet. Viitattu 25.3.2019 <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>

