

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Joona Jaatinen

AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN MITOITUS, SIMULOINTI JA
JÄRJESTELMÄVERTAILU HALLIRAKENNUKSEEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020



OPINNÄYTETYÖ

Toukokuu 2020

Energia- ja ympäristötekniikankoulutus

Tikkarinne 9

80200 JOENSUU

+358 13 260 600

Tekijät
Joonas Jaatinen

Nimeke
Aurinkoenergiajärjestelmän mitoitus, simulointi ja järjestelmävertailu hallirakennukseen

Toimeksiantaja
Veljekset Nilsen Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä Iloimantsissa sijaitsevaan hallirakennukseen ja selvittää aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta kohteessa. Hallirakennuksen nykyisenä lämmöntuotantojärjestelmänä toimii pellettikattilajärjestelmä, jonka rinnalle aurinkolämpöjärjestelmä olisi mitoitettava.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen käytettiin Aurinko-opas 2012:n laskelmamenetelmiä. Kohteen lämmitystehon tarpeet saatiin talotekniikan koulutuksen opiskelijalta, jonka IDA-ICE-simulointiohjelmiston tuloksia käytettiin mitoitettaessa aurinkolämpöjärjestelmää. SAM-simulointiohjelmistolla selvitettiin sopiva varaajakoko kohteen lattialämmityksen massavirran ja lämpötilaerojen tiedoilla. Kannattavuuslaskumenetelmillä selvitettiin aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta kohteessa.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituslaskelmien perusteella hallirakennukseen ei kannata hankkia aurinkolämpöjärjestelmää. Kohteen kesäaikainen kulutus on liian pieni, jotta voitaisiin hyödyntää aurinkolämpöjärjestelmän kesäajan tuottamaa hyötylämpöä. Kohteen nykyinen pellettikattilajärjestelmä on parempi vaihtoehto lämmittämään toimeksiantajan omistamaa hallirakennusta.

Kieli

suomi

Sivuja

Liitteet

Liitesivumäärä 7

47

1

Asiasanat

aurinkoenergia, aurinkolämmitys, simulointi, kannattavuus



THESIS
May 2020
Degree Programme in Energy and Environmental Technology
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Joonas Jaatinen

Title
Dimensioning, simulation and system comparison of a heating systems for a hall building
Commissioned by
Veljekset Nilsen Oy

Abstract

The purpose of the thesis was to design a solar heating system into a hall building that is located in Ilomantsi, and to find out the profitability of the solar heating system at the site. The current heat production system in the hall building is a pellet boiler system.

The calculation methods in Aurinko-opas 2012 were used to dimension the solar heating system. The heating power needs of hall building were obtained from a building services engineering student whose results from the IDA-ICE simulation software were used to dimension the solar heating system. The SAM simulation software was used to determine the appropriate accumulator size by using the hall buildings data of the floor heating mass flow and temperature differences. Profitability calculation methods were used to determine the profitability of the solar heating system at the site.

The conclusion of the sizing of the solar heating system was that it was not advisable to acquire a solar heating system for the site in question. The summer consumption data would be too low for utilizing the useful heat generated by the solar heating system during summer time. The current pellet boiler system in use serves as a better option to heat the hall building of the commissioner.

Language

Finnish

Pages 47

Appendices 1

Pages of Appendices 7

Keywords

solar energy, solar heating system, simulation, profitability.

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Aurinkoenergia.....	6
3	Hybridilämmitys.....	8
4	Aurinkolämpö.....	8
4.1	Aurinkokeräinjärjestelmät.....	9
4.2	Tasokeräimet.....	9
4.3	Tyhjiöputkikeräimet.....	10
5	Tavoite ja tutkimuskohde.....	12
5.1	Tausta.....	12
5.2	Tutkimuskohde	14
6	Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus	14
6.1	Aurinko-opas 2012:n laskentakaavat.....	15
6.2	Aurinkolämpöjärjestelmän mitoittaminen käyttäen laskelmamenetelmiä.....	19
6.3	Kannattavuuslaskelma.....	27
6.4	Lattialämmityksen simulointi SAM-ohjelmistolla.....	30
7	Pohdinta ja yhteenveto.....	35
8	Johtopäätökset.....	37
	Lähteet.....	38

Kuvat

- Kuva 1. Auringon kokonaissäteily määrän summa 45 asteen kulmassa ja vuotuinen säteily määrä eri kaupungeissa (Motiva 2019).
- Kuva 2. Tasokeräin.
- Kuva 3. Tyhjiöputkikeräin.
- Kuva 4. Tyhjiöputken ja tasokeräimen hyötysuhteet erilaisissa lämpötilaolosuhteissa.
- Kuva 5. Wagner Euro L20 AR järjestelmätiedot.
- Kuva 6. SAM simuloinnin tiedot.
- Kuva 7. Simuloidun vesivaraajan lämpötilat vuoden eri tunteina.
- Kuva 8. Vesivaraajan mitat.
- Kuva 9. Aurinkolämpöjärjestelmä tuotto ja lattialämmityksen lämmitysenergian tarve.
- Kuva 10. Lattialämmityksen lämpöenergian tarve vuoden eri tunteina.
- Kuva 11. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottama lämpöenergi määrä lattialämmitykselle

Kuviot

- Kuvio 1. Aurinkolämmön tuotto 2 tasokeräin määrällä.
- Kuvio 2. Aurinkolämmön tuotto 3 tasokeräin määrällä.
- Kuvio 3. Aurinkolämmön tuotto 4 tasokeräin määrällä.

Taulukot

- Taulukko 1. Hallirakennuksen lämpöenergian tarve.
- Taulukko 2. Säteilyenergi määrä kallistuneelle kulmalle.
- Taulukko 3. Keskimääräinen referenssilämpötila.
- Taulukko 4. X häviöt/tarve suhde ja Y tuotto/tarve suhde.

Taulukko 5. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 2 tasokeräinmäärällä.

Taulukko 6. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 3 tasokeräinmäärällä. (Fin-solar 2016)

Taulukko 7. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 4 tasokeräinmäärällä.

Taulukko 8. Aurinkolämpöjärjestelmän yleiset laitteisto- ja asennuskustannukset.

Taulukko 9. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset eri kokoonpanoilla.

Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman energian kustannushinnat.

Liite 1. Yhteinen osio Joonas Jaatinen ja Vili Ikonen

Lyhenteet

kWh kilowattitunti

SAM System Advisor Model

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamista Ilo-mantsissa sijaitsevaan hallirakennukseen. Hallirakennus sijaitsee toimeksiantajan omistamalla tontilla ja on toimeksiantajan omistaman Veljekset Nilsen Oy nimisen yrityksen käytössä. Hallirakennuksen nykyisenä lämmöntuotantona toimii pellettikattilajärjestelmä, jonka rinnalle olisi tarkoitus mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä. Yleensä aurinkolämpöjärjestelmät mitoitetaan lämmittämään pelkästään lämpimän käyttöveden osuus kesän aikana. Tarkastelukohteen lämpimän käyttöveden kulutus kohteessa on niin matala, että aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen on otettu mukaan tilojen käyttämä lämmitettävä vesi. Tässä opinnäytetyössä aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen käytetään Aurinko-opas 2012 laskelmamenetelmiä ja tarkastellaan SAM simulointiohjelmiston käytettävyyttä sekä vertaillaan aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta nykyiseen lämmitysjärjestelmään. Tässä työssä on käytetty talotekniikan koulutus linjan, Vili Iksen saamia IDE-ICE-simulointiohjelmistosta saamia tilojen- ja käyttöveden kulutustietoja, jotka näkyvät yhteisessä osiossa (Liite 1).

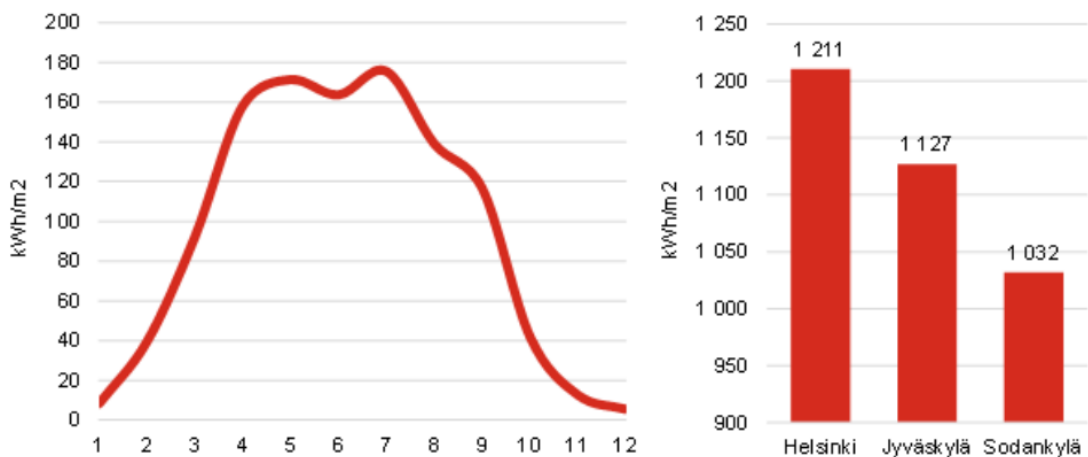
2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on nimensä mukaan auringon tuottamaa energiaa. Aurinko koostuu pääasiassa 75 % vedystä ja 23 % heliumista. Auringossa tapahtuu jatkuvasti fuusioreaktioita, joissa vetyatomien kahdesta protonista ja neutronista muodostuu heliumatomi. Tämän fuusioreaktion seurauksena aurinko tuottaa sähkömagneettista auringonsäteilyä, jonka teho on noin $3,76 \cdot 10^{23}$ kW. Maapallon pinnalle tuleva säteilyteho on noin $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. (Ilmatieteenlaitos 2020.)

Maan pinnalle saapuvaan säteilytehon määrään vaikuttaa mm. vuoden- ja vuorokauden aika, pilvisuus ja ilmansaasteet. (Erat ym. 2008.)

Auringosta tuleva auringonsäteily voidaan lajitella kolmeen luokkaan: Suoraan säteilyyn, hajasäteilyyn sekä heijastuneeseen säteilyyn. Suora säteily on auringosta saapuva säteily, joka ei ole muuttanut suuntaansa matkansa aikana. Hajasäteily on pilvistä, ilman epäpuhtauksista ja muusta vastaavasta heijastunutta säteilyä. Heijastunut säteily on erilaisista kohteista heijastunutta säteilyä kuten vedenpinta, lumi ja rakennukset. (Motiva 2019a.)

Suomeen kohdistuva auringonsäteilyn määrä vaakasuoralle pinnalle on noin 1 000 kWh/m² Etelä-Suomen alueella. Keski-Suomeen säteilyn määrä on noin 900 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa se on 800 kWh/m². Oikein kallistuneilla aurinkokennoilla/paneeleilla voidaan lisätä auringosta saatavan aurinkoenergian määrää huomattavasti. Jos aurinkopaneelit/keräimet suunnataan 45 asteen kulmassa etelää kohti voi aurinkoenergian saanti olla jopa 20–30 prosenttia enemmän vaakasuoraan kallistuskulmaan verrattuna. (Motiva 2019b.)



Kuva 1. Auringon kokonaissäteily määrän summa 45 asteen kulmassa ja vuotuinen säteily määrä eri kaupungeissa (Motiva 2019b).

Suomen pohjoisen sijainnin takia, auringosta tuleva säteily ei ole tasainen eri vuodenaikoina. Auringonsäteily keskittyy Suomessa kesäkuukausille, jolloin aurinko voi paista kesäkuussa Helsingin seudulla jopa 20 tuntia päivässä, kun taas joulukuussa auringon paiste voi olla vain 5 tuntia päivässä. (Ilmatieteen laitos 2019). Etelä-Suomen vuotuinen paistetuntimäärä on kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin Pohjois-Saksassakin, mutta paistetuntien määrä Suomessa vaihtelee paljon vuodenaikojen perusteella. (Motiva 2019b.)

3 Hybridilämmitys

Hybridilämmityksellä tarkoitetaan, että kohteeseen on asennettu kaksi tai useampia lämmitysjärjestelmiä. Hybridikokoonpanoja on monenlaisia ja ne on yleensä asennettu kohteen käytön mukaan, sekä eri vuodenajoille. Hybridijärjestelmässä voidaan vaihtaa lämmitysjärjestelmää riippuen vuoden- ja päivänajasta, jolloin talouden lämmittäminen toisella järjestelmällä on energiatehokkaampaa. (Energiatehokas koti 2020) Esimerkiksi aurinkolämpöjärjestelmä ei pysty tuottamaan tarpeeksi lämpöä talvisaikaan, jolloin toisen lämmitysenergianmuodon, kuten öljy-, sähkö- tai pellettilämmityksen, täytyy kattaa lämmitettävän energian osuus, mutta kesällä aurinkolämpöjärjestelmän tuottama energiamäärän pitäisi olla huipussaan, jolloin toisen lämmitysmuodon tarve vähenee. (Motiva 2020a)

Hybridijärjestelmällä voidaan vähentää myös toisen energiatuotantojärjestelmän huollon tarvetta. Esimerkiksi öljy- ja biokattiloiden ollessa pienellä liekillä keväällä, kesällä ja syksyllä vähäisemmän lämmöntarpeen aikana kattiloiden polttimet voivat aiheuttaa nokeentumista, joka lisää huoltokustannuksia polttokattiloille. Aurinkolämpöjärjestelmän rinnalle kytketyn polttokattilan ei tarvitse olla käynnissä koko aikaa, jolloin niiden huoltoaikakin pienenee. (Finsolar 2016.)

4 Aurinkolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmät muuttavat auringosta saapuvan auringonsäteilyn keräinteknologioillaan lämmöksi ja siirtävät lämmön joko lämminvesivaraajaan tai suoraan käyttöön. Aurinkolämpöjärjestelmän saama aurinkoenergian määrää riippuu monesta tekijästä kuten maantieteellisestä sijainnista, auringonsäteilyn määrästä, säästä, ympäristöstä, aurinkolämpöjärjestelmän sijoitetusta kulmasta ja suunnasta. (Motiva 2019c.)

Aurinkoenergialla ei pystytä lämmittämään yksin pientalouksia, vaan sen rinnalle lähes aina hankitaan toinen lämmitysjärjestelmä. Aurinkolämpöjärjestelmillä yleensä lämmitetäänkin pelkästään kohteen käyttämää käyttövettä. (Motiva

2019d) Aurinkokeräimet voivat kerätä lämpöä vain, kun aurinko säteilee aurinkoenergiaa keräimien pinnoille. Aurinkolämpöjärjestelmän hyödyntävät auringonsäteilyä parhaiten kesällä, jolloin aurinko on korkealla ja päivät ovat pitkät. Talven aikaan aurinkolämpöjärjestelmät eivät tuota lähes ollenkaan lämpöä auringon ollessa matalalla ja vain murto osa päivästä. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

4.1 Aurinkokeräinjärjestelmät

Aurinkokeräimet muuttavat auringosta tulevan lämpimän säteilyenergian lämmöksi. Auringosta tuleva säteily absorboidaan keräinelementillä, joka siirtää lämmön keräimissä olevaan nesteeseen. Nestekiertoisten aurinkokeräimien lisäksi on myös ilmakiertoisia järjestelmiä, jotka toimivat lähes samalla lailla, mutta nesteen sijaan järjestelmässä lämmitetään ilmaa. (Motiva 2019d.)

Nestekiertoisissa järjestelmissä energiansiirtoaineena toimii vesi tai vesiglykoosiseos. Useimmiten nestekiertoisissa järjestelmissä käytetään vesiglykoosiseosta sen hyvän kiehumis- ja sulamispisteen takia ja glykoosi ei jäädy kovillaakaan pakkisella järjestelmään yhtä helposti kuin vesi. (Energiakauppa 2020b.)

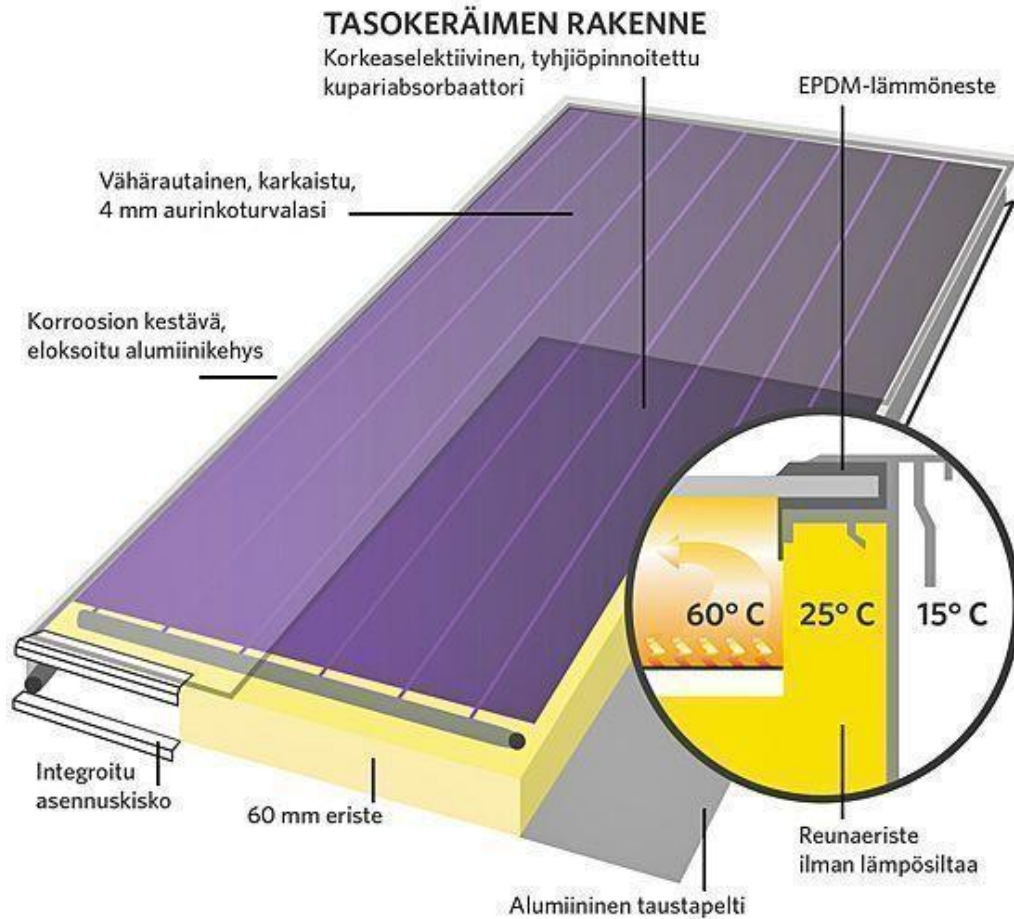
4.2 Tasokeräimet

Tasokeräimisissä aurinkokennoissa aurinkoenergiaa vastaanottavat tummat lämmönsiirtoelementit eli absorberit. Absorberit on tehty kuparisesta levystä, mutta myös muovisia lämpöä kestäviä osia käytetään.

Absorberit tasokeräimissä on sijoitettu keräimen sivulevyille, sekä kupariputkistojen pinnoille, niin että melkein koko keräimen ala pystyy vastaanottamaan auringosäteilyä. (Energiakauppa 2020b). Absorberipinnoite myös estää auringonsäteilyä heijastumasta pois aurinkokennoista. Tasokeräinjärjestelmä ei juurikaan heijasta säteilyä takasin vaan pitää lähes kaiken itsellään. (Motiva 2019e)

Tasokeräimien pinta on tehty ohuesta erikoispinnoitetusta lasista, joka päästää auringon säteilyn mahdollisimman hyvin läpi. Erikoispinnoitetussa lasissa on myös heijastuksen esto, joka maksimoi auringonenergian saannin.

Tasokeräimissä päästään parhaaseen hyötysuhteeseen, kun keräimen ja ympäristön välillä on suhteellisen matala lämpötilaero. (Motiva 2019e.)



Kuva 2. Tasokeräin (Motiva 2019e).

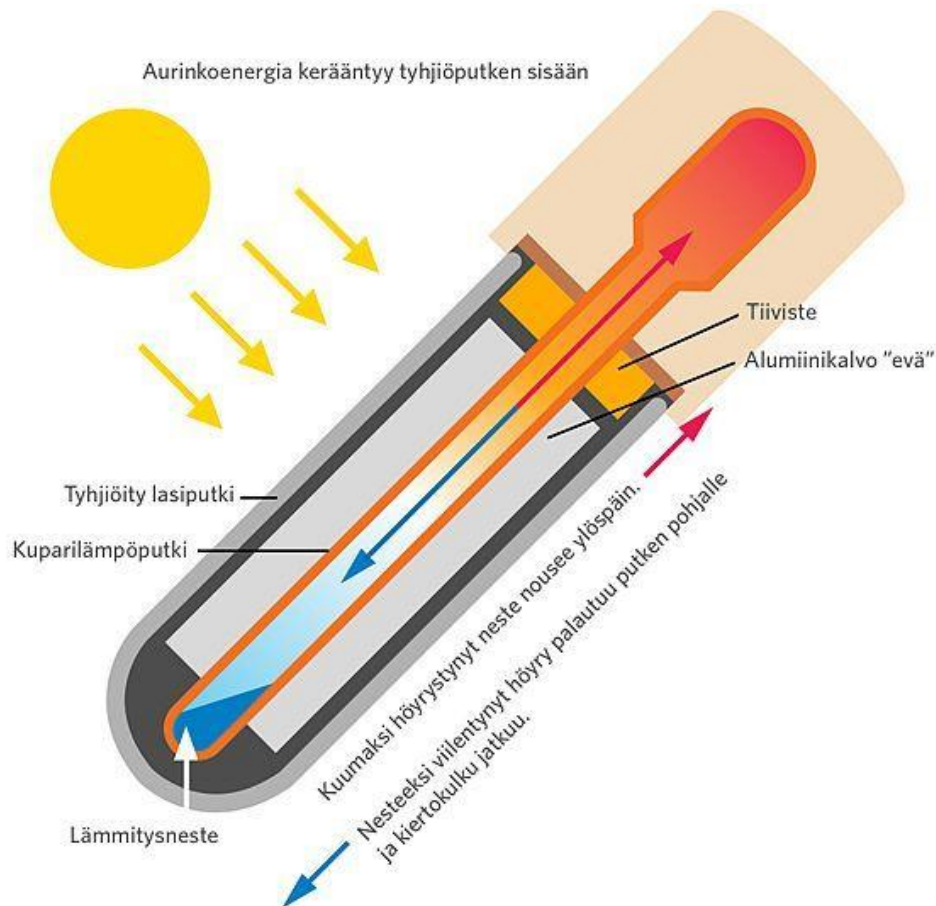
4.3 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimet ovat lähes ilmatiiviitä putkistoja, jotka on lasipinnoitettu. Tyhjiöputken ilmatiiviyys vähentää putken johtumishäviötä merkittävästi ja nostaa sen hyötysuhdetta verrattuna tasokeräimiin. Tyhjiöputken sisällä on kuparinen lämpöputki, jossa on lämmönsiirtonestettä. Lasiputken pinnalle osuva aurinkosäteily lämmittää tyhjiöputken pintaa ja samalla höyrystää kupariputken sisällä olevaa lämmönsiirtonestettä. Lämmönsiirtonesteen höyrystyttyä neste kipuaa kupariputkistoa pitkin tyhjiöputkenpäähän, jossa se luovuttaa lämpönsä käyttöön mene-

välle vedelle. Lämmönsiirtonesteen lauhtuessa neste laskeutuu takaisin tyhjiöputken pohjalle, jossa se odottaa uuden höyrystymissyklin alkua. (Motiva 2019f.)

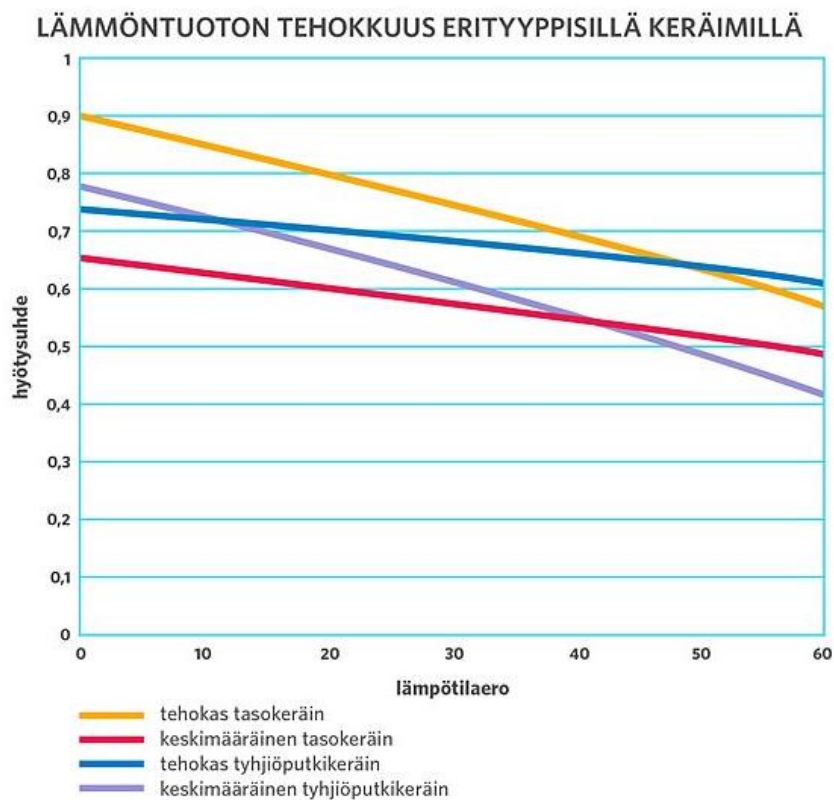
Tyhjiöputkijärjestelmä on tasokeräinjärjestelmään verrattuna kalliimpi, mutta sen energian tuotantokyky on myös 30–50% parempi neliometriä kohden. (Energia-kauppa 2020a) Tyhjiöputkikeräimen tekniikan takia se pystyy myös keräämään auringon hajasäteilyä tasokeräintä paremmin. Tyhjiöputkijärjestelmä pystyy tuottamaan lämpöä pidemmältä ajalta kuin tyhjiökeräinjärjestelmä. Tasokeräimillä lämmöntuotanto rajoittuu huhtikuusta lokakuulle, mutta tyhjiöputkikeräimillä pysytään keräämään lämpösäteilyä helmikuulta marraskuulle. (Motiva 2006, Solpros 2006)

Tyhjiöputkikeräimen hyvän hajasäteilyn määrä riippuu paljon myös sen asennus paikasta. Keräimen ympäristössä oleva esteet kuten puustot ja rakennukset vähentävät tyhjiöputkijärjestelmän keräämää aurinkoenergian määrää.



Kuva 3. Tyhjiöputkikeräin (Motiva 2019f).

Vertaillen tyhjiöputken ja tasokeräimien vuosittaista energiantuotantoa, tyhjiöputket ovat vain vähän tasokeräimiä tehokkaampia, mutta tyhjiöputkien hinnat ovat kuitenkin 30–50 % korkeammat. Tyhjiöputken ja tasokeräimien välinen lämmöntuotantokyky riippuu myös kohteen vaatimasta lämmitettävän veden lämpötilasta. Kohde, jonka käyttöveden ja lattialämmityksen lämpötilat ovat 30–40 asteen tienoilla, ei tasokeräimien ja tyhjiöputken välillä ole suuria eroja. Jos kohdetta yritetään lämmittää suurilla lämpötiloilla, kuten 60 asteen, on tyhjiöputkikeräin tehokkaampi kuin tasokeräin. (Energiakauppa 2020a.)



Kuva 4. Tyhjiöputken ja tasokeräimen hyötysuhteet erilaisissa lämpötilaolosuhteissa. (Motiva 2019g).

5 Tavoite ja tutkimuskohde

5.1 Tausta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuinka aurinkolämpöjärjestelmä toimisi toimeksiantajan omistamassa hallirakennuksessa. Tavoitteena oli myös

mitoittaa sopivan suuruinen kokonpano kohteen lämmityskulutuksen pohjalta. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, kuinka järkevä hankinta aurinkolämpöjärjestelmä on käyttämällä kannattavuuslasku menetelmiä. Kohteessa on ennestään pellettikattilajärjestelmä, joka pitää ottaa huomioon, kun vertaillaan mitoitettavaa aurinkolämpöjärjestelmää.

Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitukset tehdään yleensä lämmittämään pelkästään lämpimän käyttöveden osuus. Toimeksiantajan hallirakennuksen lämpimän käyttöveden kulutus on kuitenkin todella alhainen, joka vaikeuttaa aurinkolämpöjärjestelmän mitoitamista kohteeseen sekä syytä hankkia aurinkolämpöjärjestelmä, jos lämpimänveden kulutus on hyvin pieni. Siksi työhön otettiin mukaan hallirakennuksen tilojen lämmitykset kuten lattia-, ja patterilämmitys. Ongelmana on myös hallirakennuksen lämpimän käyttöveden sekä tilojen lämmitykseen vaadittavan lämpimän veden määrä kesäkuukausina. Hallirakennuksen lämpöenergian käyttö on todella matala verrattuna normaaliin pienrakennukseen.

Opinnäytetyössä on tehty yhteistyötä talotekniikan opiskelijan kanssa. Kummalakin opiskelijalla on oma opinnäytetyö sekä aihe mutta opinnäytetyö kohde on sama. Opinnäytetöiden tuloksia on käytetty kummankin opinnäytetöissä. Tässä opinnäytetyössä on käytetty talotekniikan opiskelijan IDA-ICE-simulointiohjelmistosta saamia energiankulutus tietoja. Energiankulutustietojen pohjalta on mitoitettu kohteeseen aurinkolämpöjärjestelmä käyttäen Aurinko-opas 2012:n laskentamenetelmiä. Laskelmamenetelmien ja kannattavuuslaskujen pohjalta kohteeseen kannattavin aurinkolämpöjärjestelmän kokoonpano tuloksia on käytetty talotekniikan opiskelijan opinnäytetyössä.

Tässä työssä myös käytetään SAM simulointi ohjelmistoa, joka on suunniteltu uusiutuvien energiamuotojen simulointiin erilaisissa kohteissa. SAM ohjelmisto valittiin, sillä Vili Ikosen opinnäytetyö, joka keskittyy samaan kohteeseen, käyttää IDA-ICE simulointiohjelmistoa, jolla saadaan hallirakennuksen lämmitysenergiantarpeet (liite 1). IDA-ICE ohjelmiston lämmitysenergiantarpeen tuloksia voi käyttää mitoitettaessa aurinkolämpöjärjestelmää SAM simulointiohjelmistolla, sekä mitoitettaessa aurinko-opas 2012 laskelmamenetelmien kanssa.

Työssä aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen käytetään Aurinko-opas 2012 laskentaopasta, jolla voidaan mitoittaa aurinkosähkö- ja lämpöjärjestelmiä käyttäen oppaan laskelmamenetelmiä. Aurinko-opas 2012 avulla voidaan selvittää, minkä kokoinen aurinkolämpöjärjestelmä olisi sopiva kohteen lämpimänveden kulutustietojen pohjalta. Aurinko-opas 2012 laskelmamenetelmässä on myös käytetty Euroopan komission nettisivuilta löytyvästä PVGIS paikkatietojärjestelmästä löytyviä aurinkoenergian säteilymääriä ja säätietaa. PVGIS tietoja on myös käytetty SAM simulointiohjelmistossa.

5.2 Tutkimuskohde

Tutkimuskohde on hallirakennus, joka sijaitsee Ilomantsissa toimeksiantajan omistamalla tontilla. Hallirakennus on myös hänen omistamansa yrityksen käytössä. Toimeksiantajan yritys, Veljekset Nilsen Oy, joka keskittyy maa- ja metsärakentamiseen. Yrityksen käytössä on monia maa- ja metsätalouteen tarkoitettuja ajoneuvoja. Hallirakennus toimii mm. yrityksen tautokupana, varastona sekä ajoneuvojen säilytystilana ja huoltopisteenä.

Hallirakennuksen vieressä sijaitsee lämpörakennus, jossa on pellettikattilajärjestelmä. Pellettikattila on hallirakennuksen nykyinen lämmitysjärjestelmä, joka tuottaa lämmintä vettä lattialämmitykseen, patteristoille sekä lämpimälle käyttövedelle. Hallirakennuksen kerrosala on 380 m² ja tilavuus 2 204 m³. Kohteen lämmönkulutustiedot näkyvä yhteisen osion liitteestä (liite 1).

6 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus kohteeseen lähti toimeksiantajan mielenkiinnosta, kuinka aurinkolämpöjärjestelmä sopisi kohteeseen pellettikattilan rinnalle ja kuinka järjestelmä parantaisi kohteen energiatehokkuutta. Yleensä aurinkolämpöjärjestelmät mitoitetaan pelkästään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Tässä opinnäytetyössä aurinkokeräinjärjestelmää mitoitetaan myös tilojen lämmitykseen, koska kohteessa käytettävä lämpimän veden määrä on hyvin pieni kesäaikaan, jolloin aurinkoenergiasta saatava hyöty jäisi hyvin pieneksi.

6.1 Aurinko-opas 2012:n laskentakaavat

Aurinkolämmöntuottama energiamäärä kuukausitasolla lasketaan tässä opinnäytetyössä Aurinko-opas 2012:n laskentamenetelmien avulla. Laskelmamenetelmien ja kannattavuuslaskujen avulla mitoitettiin kohteeseen erilaisia tasokeräinmalleja, joista sopivin ja kannattavin vaihtoehto kohteeseen oli Wagner Euro L20 AR tasokeräinmalli. Wagner Euro L20 AR tasokeräimen tietoja tarvitaan Aurinko-opas 2012 laskelmamenetelmissä. Käytettyjä keräintietoja on alla olevassa taulukossa

mitat	2151 x 1215 x 110 mm (pituus x leveys x syvyys)
bruttopinta-ala	2,609 m ²
apertuuripinta-ala	2,373 m ²
absorbaattoripinta-ala	2,373 m ²
keräimen hyötysuhde	eta0 = 84,8 % k1 = 3,46 W/m ² K k2 = 0,0165 W/m ² K ²
kulmakorjauskerroin	K (50°) = 95%, k _{diff} =88%
keräimen vuosituotto (virallinen valmistajan antama tieto)	521 kWh/m ² a (ITW 5 m ² (standartimittauspaikkakunta Würzburg Eteläsaksa, kokonaissäteily: 1212 kWh/m ² /a)
keräimen kehys	alumiini reuna- ja 60 mm taustaeristeellä; ominaislämpökapasiteetti 5,3 kJ/(m ² K)
lasikate	4 mm aurinkoturvalasi, sunarc -heijastuksenestopinnoitettu, läpäisy = 96 %
absorbaattori	absorbaattorinpelti alumiini, putkisto kupari, käyttöpaine max. 10 bar
absorbaattorin pinnoite	korkeaselektiivinen tyhjiöpinnoite, a = 95%, e = 5 %
absorbaattorin tilavuus/ lämmonsäilytöneste	1,5 litraa / Tyfocor tai DL20 (propyleniglykoli sis. korroosionesto- aineet)
stagnaatiolämpötila	209 °C (E _e =1000W/m ² ; T _{ulko} 30°C)
keräimenliitin 1/2 UK	rst- haitariputki 1/2"-liitin
anturitasku sisähalkaisija	6 mm
Solar Keymark	Nro. 011-7S481 F
paino	48 kg

Kuva 5. Wagner Euro L20 AR järjestelmätiedot.

Seuraavat kaavat on saatu aurinko-opas 2012 laskentaoppaasta.

$$Q_{tuotto,A} = C_{tyyppi} * (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A}$$

Jossa

$Q_{\text{tuotto,A}}$ on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh).

$Q_{\text{tarve,A}}$ on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (tilojen lämmitys ja käyttövesi tai pelkästään käyttöveden lämmitys) (kWh).

C_{tyyppi} ovat varaajatyypin korjauskerroin. Varaajatyypin korjauskertoimena käytetään oppaan käyttämää arvoa =1.

a, b, c, d, e, f on varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Laskelmamenetelmässä käytetään oppaan käyttämiä arvoja.

$$a = 1,029,$$

$$b = -0,065,$$

$$c = -0,245,$$

$$d = 0,0018,$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0.$$

X, Y, jossa X on häviöt/tarve-suhde ja Y on tuotto/tarve-suhde.

X ja Y arvot voidaan laskea seuraavilla kaavoilla

$$X = \frac{A \cdot U_C \cdot \eta_{\text{kierto}} \cdot \Delta T \cdot t_h \cdot c_{\text{cap}}}{Q_{\text{tarve,A}}}$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_o \cdot \eta_{\text{kierto}} \cdot Q_{\text{keräin}}}{Q_{\text{tarve,A}}}$$

jossa

A on keräinten pinta-ala (m²).

IAM on keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, jolle oletusarvoina käytetään arvoja.

IAM = 1,0 kattamattomalle (lasiton) keräimelle.

IAM = 0,94 lasikatteisille tasokeräimille.

IAM = 0,97 tyhjiöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta.

IAM = 1,0 tyhjiöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta.

U_c keräinpiirin lämpöhäviökerroin; (W/m^2K).

Keräinpiirin lämpöhäviökertoimen voi laskea seuraavalla kaavalla .

$$U_c = a_1 + 40 * a_2 + U_L/A$$

jossa

a_1 : keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975- 2 mukaan -

Mikäli kertoimelle ei ole testattua arvoa, käytetään oletettuja arvoja:

- tyhjiöputkikeräimille =3 $W/m^2 K$
- tasokeräimille =6, $W/m^2 K$
- lasiottamattomille keräimille =20 $W/m^2 K$

a_2 : keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan.

Mikäli kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään oletettua arvoa kaikille keräintyypeille 0 W/m^2K^2 .

U_L on keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K]; jos keräinpiirin putki- ja eristystiedot ovat saatavilla, niin lämpöhäviökerroin voidaan laskea Aurinko-opas 2012 mukaisesti. Jos keräinpiiristä ei ole tietoja saatavilla, U_L voidaan arvioida kaavasta: $U_L = 5 + 0,5 * A[W/K]$

η_{kierto} on keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään $\eta_{kierto} = 0,8$. Jos lämmönvaihtimesta on enemmän tuotetietoa tarjolla, voidaan sen lämpöhäviöt laskea seuraavalla kaavalla

$$\eta_{kierto} = 1 - \Delta\eta$$

Jossa

$$\Delta\eta = \eta_0 * A * a_1 / U_{st},$$

Jossa U_{st} lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin W/K (CEN/TS 12977-2 mukaisesti määritettynä).

η_0 on käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN 12975-2 avulla saatu optinen hyötysuhde (hyötysuhdekäyrän leikkauspiste y-akselin kanssa, kun lämpötilaero on nolla).

t_h on tarkastelujakson pituus (kuukausi), (h).

ΔT on keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero, joka voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (1)$$

Jossa

θ_e on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, (°C)

θ_{ref} on sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila, (°C),

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

, kun lasketaan pelkästään käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta, missä

θ_{hw} on lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään $\theta_{hw} = 40$ °C,

θ_{cw} on kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa $\theta_{cw} = 5$ °C, mikäli kuukausittaista arvoa ei ole käytettävissä. θ_e on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila.

Kun vesivaraajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta ($75 \text{ dm}^3/\text{keräin-m}^2$), niin määritettäessä aurinkojärjestelmän tuottoa on dimensiotonta muuttujaa X korjattava kertoimella C_{cap} , joka ottaa huomioon poikkeavan varaajakapasiteetin. Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavasta (2).

$$C_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (2)$$

Jossa C_{cap} on varaajakapasiteetin korjauskerroin, (-)

V_{tod} on varaajan suunniteltu ominaistilavuus, ($\text{dm}^3/\text{keräinm}^2$)

V_{ref} on referenssitilavuus = $75 \text{ dm}^3/\text{keräinm}^2$

6.2 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoittaminen käyttäen laskelmamenetelmiä

Hallirakennuksen lämpimän käyttöveden kulutus jokaisena kuukautena on noin 90 kWh. Koska lämpimän käyttöveden kulutus kohteessa on hyvin pieni, tämän takia otetaan mitoittamiseen mukaan tilojen käyttämät lämmön kulutukset, jotta aurinkokeräinjärjestelmän tuottama hyötylämpö olisi suurempi.

Kohteen energiankulutustiedot on saatu talotekniikan opiskelija Vili Iksen IDA-ICE tuloksista (Liite 1).

Tässä esimerkki laskentamenetelmässä käytetään kahta Wagner Euro L20 AR tasokeräintä.

$Q_{tarve,A}$ on tilojen ja lämpimän käyttöveden energiankulutukset kilowattitunteina kuukausitasolla, kun niihin on lisätty putkiston jakeluhäviökerroin. Jakeluhäviökertoimen saa Aurinko-opas 2012 taulukosta 6.3. josta on valittu lähin hallirakennusta kuvaava rakennustyyppi eli erillinen pientalo, perustason eristyksellä, jolloin jakeluhäviökertoimeksi saadaan 0.89.

Jakeluhäviökertoimella kerrotaan tilojen ja lämpimän käyttöveden kuluttama energiamäärä jokaisena kuukautena, jolloin saadaan kohteen kuukausikohtaiset energiankulutus arvot.

Taulukko 1. Hallirakennuksen lämpöenergian tarve

Kuukaudet	Tilojen (kWh)	kulutus	LKV kulu- tus (kWh)	Tilojen ja LKV kulutus (kWh)	Tilojen ja LKV kulutus + jake- luhäviö (kWh)
Tammikuu	7209		90.1	7299.1	8201.2
Helmikuu	6010		81.4	6091.4	6844.3
Maaliskuu	4547		90.1	4637.1	5210.2
Huhtikuu	2362		87.2	2449.2	2751.9
Toukokuu	422.5		90.1	512.6	576.0
Kesäkuu	154.6		87.2	241.8	271.7
Heinäkuu	39.2		90.1	129.3	145.3
Elokuu	137		90.1	227.1	255.2
Syyskuu	700.8		87.2	788	885.4
Lokakuu	2998.4		90.1	3088.5	3470.2
Marraskuu	5179		87.2	5266.2	5917.1
Joulukuu	4810		90.1	4900.1	5505.7
Yhteensä	34569.5		1060.9	35630.4	40034.2

Qkeräin on keskimääräinen auringon säteilyenergianmäärä aurinkokeräinten ta-
sopinnalle tarkastelujaksolla kWh/m²/kk. Keskimääräiset auringonsäteilyarvot
voi saada aurinko-opas 2012 laskentaoppaasta. Ne eivät ole tarkkoja sillä etäi-
syyss lähimmästä paikkakunnasta, josta keskimääräiset säteilyarvot on mitattu, on
271 kilometrin päästä tämän opinnäytetyön tarkastelukohteesta. Siksi tässä opin-
näytetyössä käytetään Euroopan komission nettisivuilta.

saatava säädätaa, josta saadaan myös tarkastelukohteen auringonsäteilytiedot
paikkakohtaisesti.

Taulukko 2. Säteilyenergianmäärä kallistuneelle kulmalle

Tarkastelujakso	Säteilyenergia vaakatasolle (kal- listuskulma 0°) kWh/m ²	Korjaukerroin 55° astetta	Säteilyenergian määrä kallistu- neelle kulmalle kWh/m ² /kk
Tammikuu	6	1.75	10.5
Helmikuu	20.3	2.5	50.75
Maaliskuu	45.8	1.85	84.73
Huhtikuu	80	1.29	103.2
Toukokuu	106.9	1.01	107.9
Kesäkuu	132.3	0.9	119.07

Heinäkuu	126.8	0.93	117.9
Elokuu	96.7	1.05	101.5
Syyskuu	63.8	1.33	84.8
Lokakuu	29.5	1.65	48.6
Marraskuu	9.9	1.5	14.85
Joulukuu	3	0.5	1.5
Koko Vuosi	721	-	845.5

Korjauskulmakertoimeksi on valittu 55° astetta jotta säteilyenergian määrä keskittyy enemmän kevään ja syksyn ajalle, koska kohteen kesäaikainen energiankulutus on vähäistä. Näin saadaan hyödynnettyä enemmän aurinkoenergiaa koko vuoden ajalle.

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin U_C voidaan laskea seuraavalla kaavalla, jossa

$U_L = 5 + 0,5 * 4,75 \text{ m}^2 = 7,37 \text{ W/K}$ on keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin, jonka jälkeen voidaan laskea keräinpiirin lämpöhäviökerroin U_C

$$U_C = 3,46 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} + 40 * 0,0165 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} + \frac{7,37 \frac{\text{W}}{\text{K}}}{4,75 \text{ m}^2} = 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} / \text{K}$$

Keskimääräinen referenssilämpötila ΔT jokaiselle kuukaudelle saadaan laskettua kaavalla (1). Kuukautiset referenssiarvot on laskettu seuraavan taulukkoon.

Taulukko 3. Keskimääräinen referenssilämpötila.

Kuukaudet	θ_e	θ_{ref}	ΔT
Tammikuu	-7.75	88.33	96.08
Helmikuu	-1.93	80.64	82.57
Maaliskuu	-0.71	79.04	79.76
Huhtikuu	2.64	74.62	71.98
Toukokuu	9.19	65.96	56.77
Kesäkuu	14.08	59.52	45.44
Heinäkuu	14.84	58.50	43.66
Elokuu	15.48	57.67	42.18
Syyskuu	11.66	62.71	51.05
Lokakuu	4.23	72.52	68.29
Marraskuu	1.42	76.23	74.81
Joulukuu	-0.90	79.28	80.18

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavalla (2)

$$C_{cap} = \left(\frac{500 \text{ l}}{75 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} * 4,75 \text{ m}^2} \right)^{-0,25} = 0,92$$

Keräinpiirin hyötysuhde n_{kierto} arvona käytetään laskentaoppaan antamaa oletusarvoa 0,8.

IAM kohtauskulmakerroin lukuna käytetään vakiota 0,94, joka on laskentaoppaan antama vakioarvo lasikatteiselle tasokeräimelle.

n_0 keräinpinta-ala vastaava optinen hyötysuhde, joka saatu tasokeräimen tiedoista, joka on 0,848.

Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton tarkasteluun kuukausitasolla tarvitaan suureita X häviöt/tarve -suhde luvut kuukausitasolla, sekä Y tuotto/tarve -suhde luvut kuukausitasolla

Taulukko 4. X häviöt/tarve suhde ja Y tuotto/tarve suhde.

Kuukausi	X häviöt/tarve-suhde	Y tuotto/tarve-suhde
Tammikuu	0.172	0.00387
Helmikuu	0.160	0.02244
Maaliskuu	0.225	0.04922
Huhtikuu	0.373	0.11350
Toukokuu	1.451	0.56735
Kesäkuu	2.383	1.32641
Heinäkuu	4.424	2.45660
Elokuu	2.434	1.20429
Syyskuu	0.821	0.29005
Lokakuu	0.290	0.04245
Marraskuu	0.180	0.00760
Joulukuu	0.214	0.00082

$Q_{\text{tuotto,A}}$ on aurinkolämpöjärjestelmän tuottama lämpöenergia. Seuraavissa tauloissa näkyy, kuinka paljon aurinkolämpöjärjestelmä tuottaisi 2, 3 ja 4 tasokeräimien kokoonpanossa. Aurinkolämpöjärjestelmä pystyy maksimissaan tuottamaan lämpöenergiamäärän, jota hallirakennus tarvitsee lämmittämiseen.

Ylimääräistä lämpöä ei voi käyttää hyödyksi tai myydä eteenpäin. Talvella aurinkonsäteily kohteessa on niin vähäistä, että aurinkolämpöjärjestelmä ei pysty tuottamaan yhtään lämpöenergiaa. Talviajan olematon lämmöntuotanto aurinkolämpöjärjestelmällä ei ole tämän opinnäytetyön kohteesta riippuvainen, vaan ilmiö tapahtuu lähes kaikkialla Suomessa, koska päivät ovat lyhyitä ja aurinko liikkuu matalalla horisontissa.

Taulukko 5. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 2 tasokeräinmäärällä

Kuukaudet	Q tuotto kWh	Aurinkolämpöenergian osuus lämmitysenergiasta %
Tammikuu	0 kWh	0 %
Helmikuu	86.16 kWh	1.26 %
Maaliskuu	184.95 kWh	3.55 %
Huhtikuu	246.82 kWh	8.97 %
Toukokuu	240.95 kWh	41.83 %
Kesäkuu	228.03 kWh	83.93 %
Heinäkuu	145.28 kWh	100 %
Elokuu	197.48 kWh	77.39 %
Syyskuu	200.27 kWh	22.62 %
Lokakuu	85.23 kWh	2.46 %
Marraskuu	0 kWh	0 %
Joulukuu	0 kWh	0 %
Yhteensä	1615.2 kWh	-

Taulukko 6. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 3 tasokeräinmäärällä

Kuukaudet	Q tuotto kWh	Aurinkolämpöenergian osuus lämmitysenergiasta %
Tammikuu	0 kWh	0 %
Helmikuu	124.82 kWh	1.82 %
Maaliskuu	271.20 kWh	5.21 %
Huhtikuu	360.7 kWh	13.11 %
Toukokuu	330.5 kWh	57.38 %
Kesäkuu	271.6 kWh	103.04 %

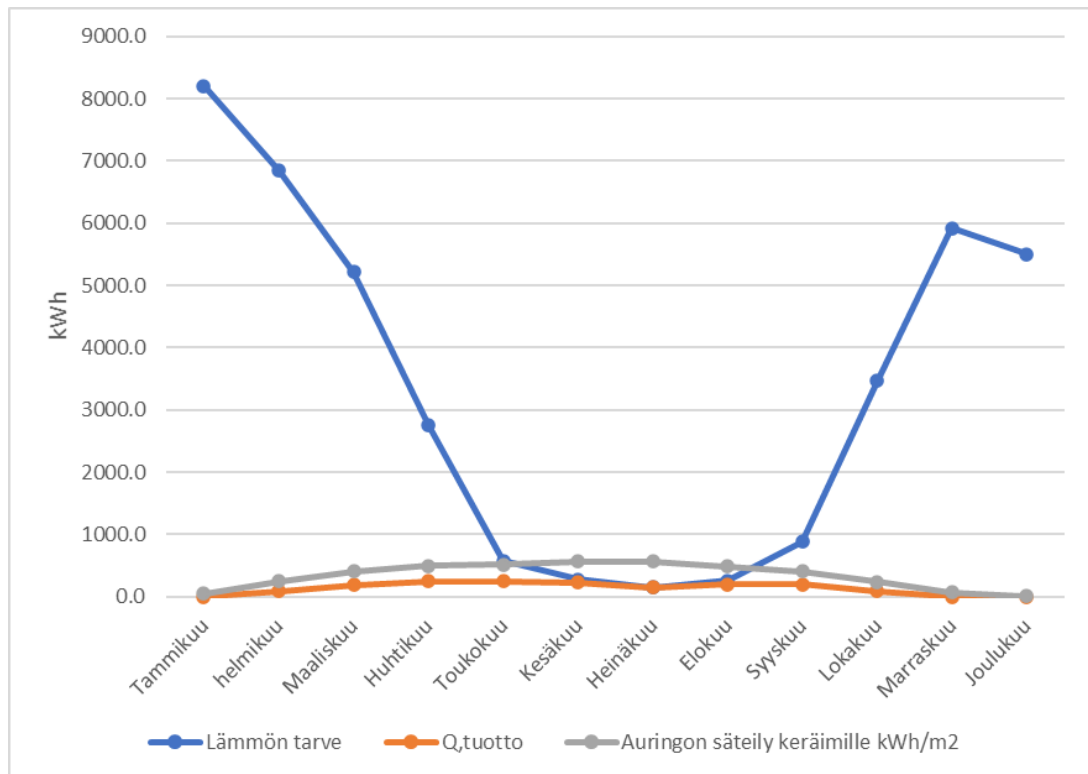
Heinäkuu	145.2 kWh	117.84 %
Elokuu	246.3 kWh	96.56 %
Syyskuu	285.8 kWh	32.29 %
Lokakuu	123.4 kWh	3.56 %
Marraskuu	0 kWh	0 %
Joulukuu	0 kWh	0 %
Yhteensä	2159.9 kWh	-

Taulukko 7. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ja osuus 4 tasokeräinmäärällä

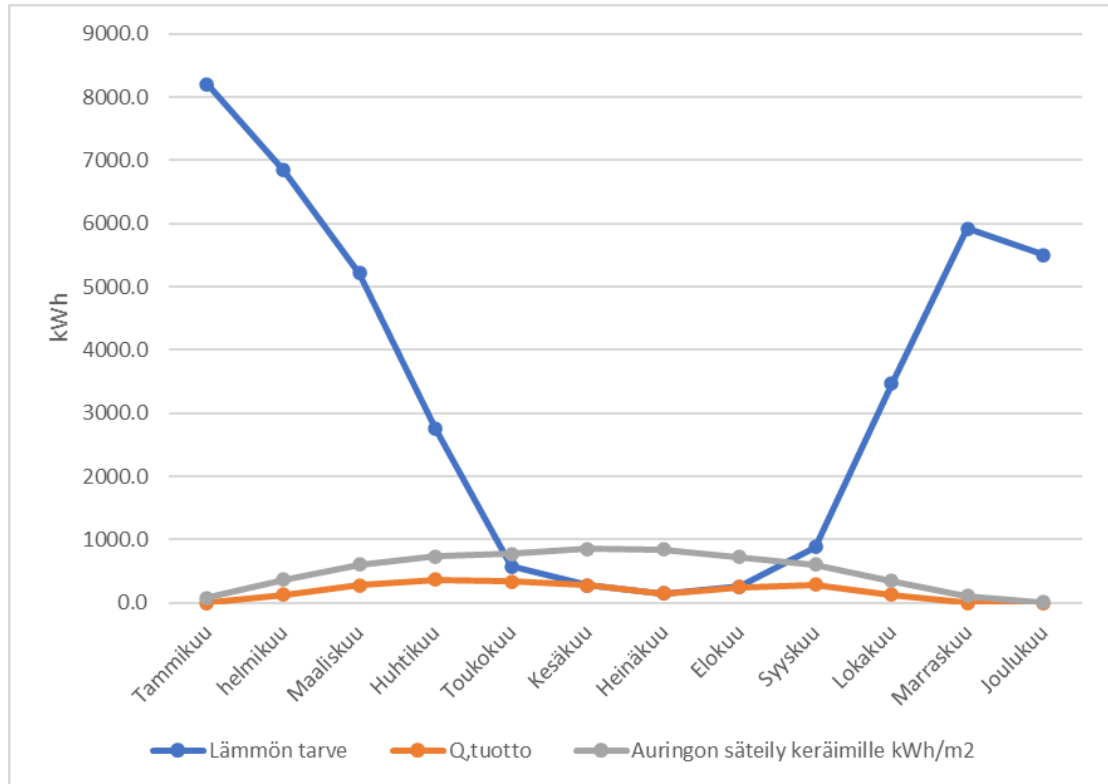
Kuukaudet	Q tuotto kWh	Aurinkolämpöenergian osuus lämmitysenergiasta %
Tammikuu	0 kWh	0 %
Helmikuu	160.24 kWh	2.34 %
Maaliskuu	353.04 kWh	6.78 %
Huhtikuu	468.12 kWh	17.01 %
Toukokuu	401.85 kWh	69.77 %
Kesäkuu	271.69 kWh	112.03 %
Heinäkuu	145.28 kWh	123.50 %
Elokuu	255.17 kWh	106.59 %
Syyskuu	362.24 kWh	40.91 %
Lokakuu	158.53 kWh	4.57 %
Marraskuu	0 kWh	0 %
Joulukuu	0 kWh	0 %
Yhteensä	2576,5 kWh	-

Aurinkolämpöjärjestelmä pystyy lämmittämään kahdella tasokeräinmäärällä noi 4 % hallirakennuksen tilojen- ja lämpimän käyttöveden käyttämästä lämpimästä vedestä. Lisäämällä tasokeräimien määrä, aurinkolämpöjärjestelmän hinta ja energiantuotanto nousee. Tasokeräinten määrään nostaminen aurinkolämpöjärjestelmässä ei ole kannattavaa sillä ylituotanto ja kustannushinnan nousu ei ole kannattavassa suhteessa aurinkolämpöjärjestelmän saatavaan hyötyyn.

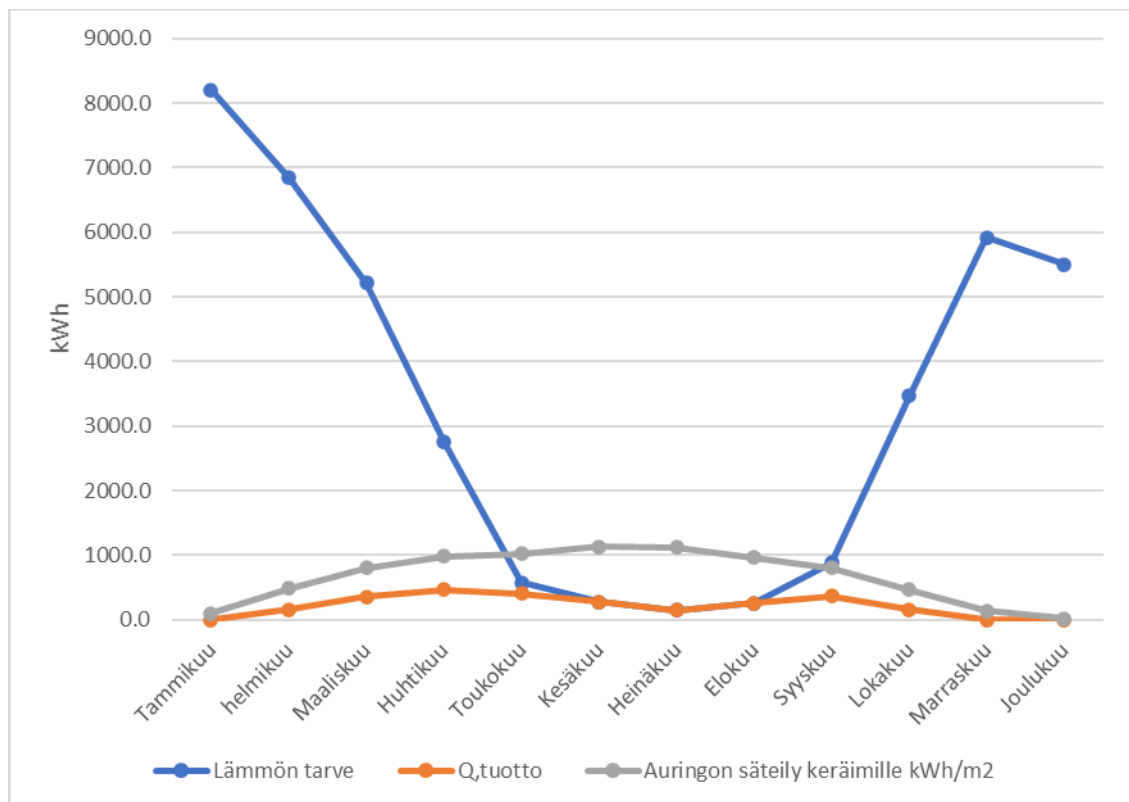
Alla olevasta kuvista näkyy kohteen lämpöenergian tarve, aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman lämpöenergian määrä ja auringonsäteilyn määrä tasokeräimille. Nostamalla tasokeräinten määrää, tuotto nousisi lähemmäs lämmön tarvetta, mutta kesä-, heinä-, elokuunaikaan lämmöntarve on niin pieni, jolloin aurinkolämpöjärjestelmä ei pysty hyödyntämään aurinkoenergiaa, joka laskee aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhdetta.



Kuvio 1. Aurinkolämmön tuotto 2 tasokeräinmäärällä.



Kuvio 2. Aurinkolämmön tuotto 3 tasokeräinmäärällä.



Kuvio 3. Aurinkolämmön tuotto 4 tasokeräinmäärällä.

6.3 Kannattavuuslaskelma

Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta verrattiin nykyiseen pellettikattilajärjestelmään. Pelletin hinta saatiin Vapon sivuilta, jossa tonni pellettiä maksaa 253 € alvin kanssa. Koska kyseessä on yritys, voi pelletin hinnasta vähentää pois alvin määrän, jolloin pelletin tonnin hinnaksi tulee 204 €. Pelletin energiasisältö on 4,75 kWh/kg (bioenergianeuvoja). Pellettikattiloiden hyötysuhteet, jolla pellettikattilat polttavat pellettiä ovat 80–90 % rajoilla. Kohteen pellettikattilan tarkkaa hyötysuhdetta ei ole tiedossa, joten on käytettävä teoreettista hyötysuhdetta pellettikattilalle. Tässä tapauksessa käytetään 75%, joka on suomen rakennusmääräyskokoelman mukaan keskimääräinen hyötysuhde pellettikattilalle. Kohteen lämmitysenergian tarve on vuodessa noin 40034,2 kWh jakeluhäviön kanssa. Kohteen käyttämä pellettimäärä vuodessa saadaan laskettua kohteen lämmitysenergian tarve pelletin energiasisällöllä ja näiden tulos pellettikattilan hyötysuhteella $(40034.2 \text{ kWh} / 4,7 \text{ kWh/kg}) / 75 \% = 11357 \text{ kg}$. Pellettikattilalle joutuu tekemään huoltoa, joten oletetaan että pellettikattilan vuosittainen huoltokustannus on 150 €. Kohteen pellettikattilan vuosikustannukseksi saadaan, kun kerrotaan pellettikattilan käyttämä pelletin määrä pelletin hinnalla ja lisätään näiden tulokseksi pellettikattilan vuosittainen huoltokustannus eli $(11,357 \text{ tonnia} * 204 \text{ €}) + 150 \text{ €} = 6,2 \text{ snt/kWh} = 0,0616 \text{ €/kWh}$. Näiden laskujen pohjalta pellettikattilajärjestelmällä tuotettu lämpö maksaa noin 6,2 senttiä kilowattituntia kohden.

Wagner Euro L20AR tasokeräimien ja tarvikkeiden hinnat on saatu energia-kauppa nettisivustolta laskujen teko aikaan. Hintoihin ei ole lisätty lämminvesivaraajaa.

Tasokeräimien asennustöiden hinnat on saatu Finsolar nettisivulta, josta näkyy tyypilliset hinnat tasokeräimien asennuksille vuosina 2014–2015.

Työ- ja elinkeinoministeriö auttaa yrittäjiä investoimaan puhtaaseen energiaan jakamalla tukia yrityksille. Kannattavuuslaskuihin on lisätty yrityksen mahdollinen yrittäjä tuki aurinkolämpöjärjestelmälle.

Taulukko 8. Aurinkolämpöjärjestelmän yleiset laitteisto- ja asennuskustannukset taulukko. (Finsolar 2016)

Järjestelmän koko keräin-m ²	Laitteiston ja asennuksen hankintahinta €/keräin-m ²	Ylläpitokulut % alkuinvestoinnista /keräin-m ²	Aurinkolämmön tuotantohinta €/MWh, kun tuotto 0,4 MWh/m ²	Aurinkolämmön tuotantohinta €/MWh, kun tuotto 0,5 MWh/m ²
Pienet järjestelmät 4 – 20 keräinliötä	500 – 1000 €/keräinliö	10 %, 50 – 100 €/keräinliö	46 – 92 €/MWh	37 – 73 €/MWh
Keskikokoiset järjestelmät 20 – 100 keräinliötä	500 – 750 €/keräinliö	8 %, 40 – 60 €/keräinliö	45 – 68 €/MWh	36 – 54 €/MWh
Suuret järjestelmät 100 – 1000 keräinliötä	400 – 500 €/keräinliö	5 %, noin 20 – 25 €/keräinliö	35 – 44 €/MWh	28 – 35 €/MWh
Teolliset järjestelmät, 15 000 keräinliötä	280 – 340 €/keräinliö	Noin 20 €/keräinliö	–	20 – 24 €/MWh

Taulukko 9. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset eri kokoonpanoilla.

Keräinten lukumäärä	2	3	4
Keräinten pinta-ala (netto)	4,746 €	7,119 €	9,492 €
Asennustyö	2 373 €	3559,5 €	4746 €
Laitteisto ja tarvikkeet	2 890 €	3 390 €	3 891 €
Kustannukset yhteensä	5 263 €	6 949,5 €	8 637 €
Yrittäjä tuki	578 €	678 €	778 €
Aurinkojärjestelmän hinta (ilman varaajaa asennettuna)	4 685 €	6 271 €	7 858 €

Seuraavassa taulukossa (taulukko 10) on listattu aurinkolämpöjärjestelmän tuottama energiahinta kilowattituntia kohden sekä niiden vuosiannuiteetti korolla ja ilman. Vuosiannuiteetti kertoo, kuinka paljon järjestelmän hinta maksaa, jos järjestelmän kustannushinta on jaettu tasokeräimien käyttöiän jaksolle. Tasokeräimien käyttöikä on yleensä 25–30 vuotta, jolloin niiden toimintakunto putoaa tasolle, jossa ne ei enää kattavasti tai ollenkaan pysty ottamaan aurinkoenergiaa vastaan. Tässä opinnäytetyössä käytettäville tasokeräimille annetaan 25 vuoden käyttöikä. Aurinkolämpöjärjestelmä on iso sijoituskohde, joten sille voidaan laittaa

vuosikorko, jos sijoitetulle rahalle halutaan voittoa. Tässä tapauksessa vuosikorkona käytetään 3 % eli aurinkolämpöjärjestelmän odotetaan tuottavan 3 % voittoa jokaisena vuonna investointihinnasta.

Finsolar taulukosta (taulukko 8) saadaan myös ylläpitokulut aurinkolämpöjärjestelmälle. Ylläpitokulut ovat siis tässä tapauksessa 10 %.

Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman energian kustannushinnat

Aurinkolämpöjärjestelmän tasokeräinten lukumäärä	2	3	4
Aurinkolämpöjärjestelmän tuottama energiamäärä	1 615.2 kWh/a	2 159.9 kWh/a	2 576.2 kWh/a
Investointi	4 685.00 €	6 271.50 €	7 858.80 €
Käyttöaika	25 vuotta	25 vuotta	25 vuotta
Laskentakorko	3 %	3 %	3 %
Vuosiannuiteetti ilman korkoa	187,40 €	250,86 €	314,35 €
Vuosiannuiteetti koron kanssa	269,05 €	360,16 €	451,31 €
Investoinnin ylläpitokulut jokaiselle vuodelle	18,74 €	25,09 €	31,44 €
Aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman energian hinta	0,1782 €/kWh	0,1784 €/kWh	0,244 €/kWh

Kohteeseen mitoitettun aurinkolämpöjärjestelmän kWh hinta olisi huomattavasti enemmän kuin kohteessa ennestään olevan pellettikattilajärjestelmän pelleillä lämmitetty kWh hinta.

Investointilaskumenetelmällä voidaan laskea milloin aurinkolämpöjärjestelmä alkaisi tuottaa voittoa. Aurinkolämpöjärjestelmä tuottama netto kahdella keräinmäärällä, kun verrataan nykyiseen pellettikattilajärjestelmään ($0,062 \text{ €/kWh} * 1615,2 \text{ kWh}$) - $18,74 \text{ €} = 80,79 \text{ €}$. Aurinkolämpöjärjestelmä tuottaisi 25 vuoden aikana $2 020 \text{ €}$ ja 3 % odotetun investointikoron kanssa $1 406 \text{ €}$. Kun investointi kustannukset vähennetään, jäisi vielä aurinkolämpöjärjestelmälle maksettavaksi

2 665,35 € ilman korkoa ja odotetun investointikoron kanssa maksettavaa jäisi 3 278,26 €. Aurinkolämpöjärjestelmä ei pysty käyttökänsä aikana maksamaan itseään takaisin edes edullisimman kokoonpanon kanssa. Aurinkolämpöjärjestelmä ei ole järkevä hankinta kohteeseen näiden laskujen perusteella.

6.4 Lattialämmityksen simulointi SAM-ohjelmistolla

SAM (System Advisor Model) on ilmainen simulointiohjelmisto, joka on suunniteltu uusiutuvien energiajärjestelmien simulointiin. SAM- järjestelmällä voidaan valita haluttu uusiutuva energiajärjestelmä ja testata sen teoreettista käyttöä ja kannattavuutta kohteessa.

SAMilla voidaan testata monen kokoluokan järjestelmiä, jotka ovat suunniteltu pientalouksille tai jopa isoille energiantuottajille.

Tässä työssä SAM-ohjelmistolla keskitytään aurinkolämpöjärjestelmän simulointiin pelkästään kohteen lattialämmitykseen. SAM tarvitsee kohteen massavirran ja lämpimän veden lämpötilaerot simuloidakseen aurinkolämpöjärjestelmän tulokset. Kohteesta oli vain mahdollista saada lattialämmityksessä olevien tilojen massavirrat sekä lämpimän veden lämpötilaerot.

SAM tarvitsee paikallisten säätietoja, jotta se voi simuloida uusiutuvia energiajärjestelmiä. SAM ehdottaakin joitain nettisivustoja, joista voisi saada paikallisia säätietoja, mutta nämä ovat keskittyneet USA:n alueelle. Tähän työhön valittiin Euroopan komission nettisivuilta saatava säädata, joka tarjosi kaikki tarvittavat sää- ja säteilytiedot.

Ladattava säädata Euroopan komission sivuilta ladataan epw-muodossa, jotta tiedostomuoto olisi yhteensopiva SAM-ohjelmiston kanssa. Lattialämmityksen tuntikohtaiset massavirrat ja lämpimänveden lämpötilaerot saatiin IDA-ICE ohjelmistossa (liite yhteinen osio). SAM-ohjelmistoon syötettiin Wagner Euro L20AR-tasokeräimen tiedot. Simuloinnissa käytetään kahta tasokeräinmäärää. Tasokeräimien kulmaksi laitettiin 55 astetta, jotta keräimet saisivat enemmän auringonsäteilyä huhti- ja syyskuun aikaan, sillä kesäaikainen lämmöntarve kohteessa on

hyvin pieni. Tasokeräimien suuntaukseksi laitettiin 220 astetta kohteen katon suuntauksen takia.

System

Tilt	55 deg	Azimuth N = 0 W 270 E 90 S 180	Tilt 50° Vert. 0° Horiz.	Diffuse sky model	Isotropic
Azimuth	220 deg			Irradiance inputs	Beam and Diffuse
Total system flow rate	0.091056 kg/s			Albedo	0.2 0.1
Working fluid	Water			Total system collector area	5.218 m ²
Number of collectors	2			Rated system size	3.52737 kW

-Shading

Shading losses

-Curtailment and Availability

Constant loss: 0.0 %
Hourly losses: None
Custom periods: None

Collector

Enter user-defined parameters
 Choose from library

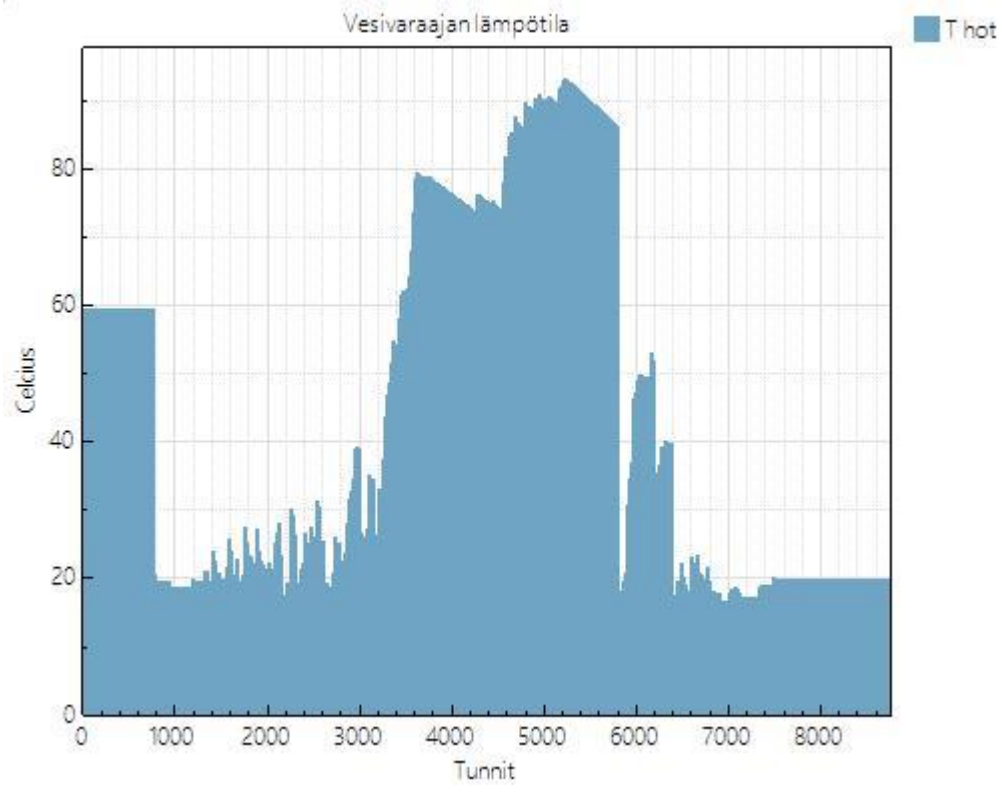
User-defined collector

Collector area	2.609 m ²
FRta	0.85
FRUL	5.8 W/m ² .C
Incidence angle modifier	0.94
Test fluid	Glycol
Test flow	0.045528 kg/s-m ²

Filter: Name:

Kuva 6. SAM simuloinnin tiedot.

Varaajan tilavuudeksi valittiin 1000 litran varaaja, jotta varaajan lämpötila ei nousisi yli sadan asteen. Referenssinä varaajan mallina käytettiin AKVA SOLAR 1000. Pienemmän vesivaraajan valitseminen olisi nostanut varaajan lämpötilaa yli 100 celsius asteeseen. Varaajan lämpötilan nousemisen kiehumispisteen yli voi aiheuttaa varaajalle ongelmia, mutta aurinkolämpötilan menovettä ohjaa ohjauksikkö, joka estää lämpimänveden menoa varaajan, jos lämpimälle vedelle ei ole tarvetta.



Kuva 7. Simuloidun vesivaraajan lämpötilat vuoden eri tunteina.

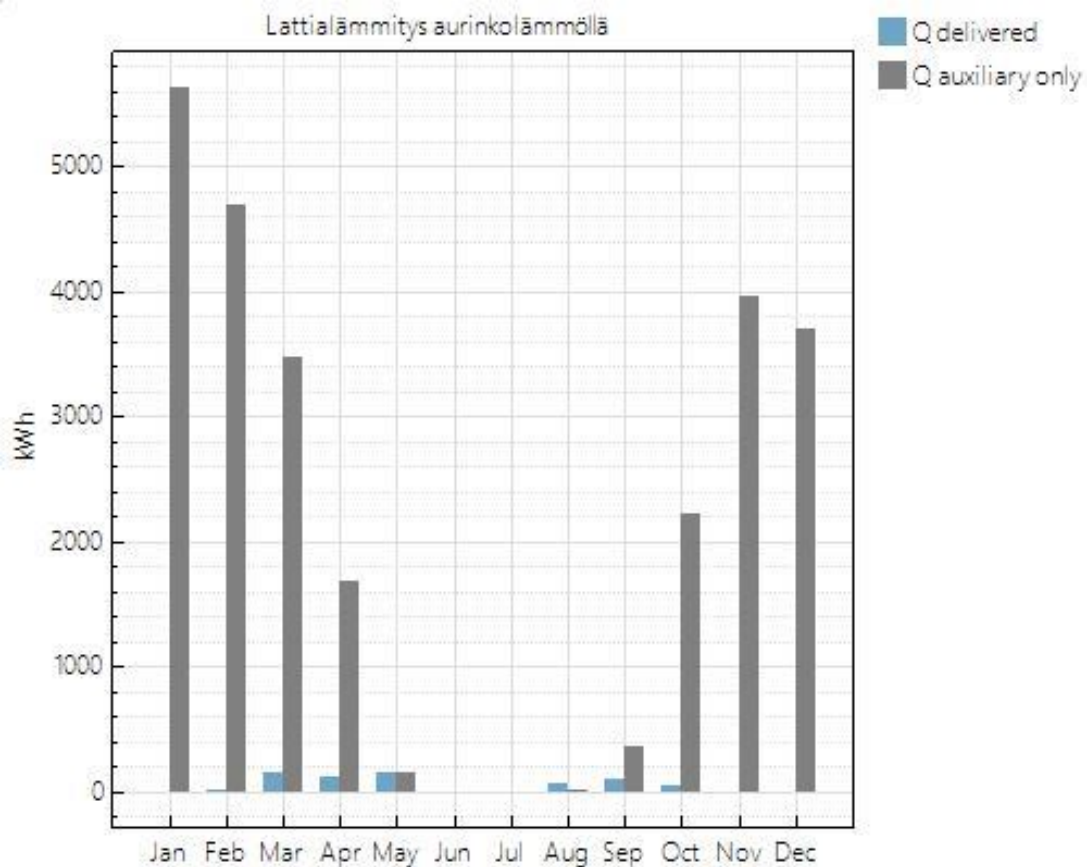
Alla olevassa kuvassa näkyy simuloidun varaajan tiedot. Varaajan maksimaalinen lämpötila ei ole 1000 astetta vaan simuloinnissa nähdään kuinka korkealle varaajan lämpötila voi nousta (kuva 7) jos sen maksimaalinen lämpötila laitetaan todella korkealle.

Solar Tank and Heat Exchanger	
Solar tank volume	<input type="text" value="1"/> m ³
Solar tank height to diameter ratio	<input type="text" value="2.15"/>
Solar tank heat loss coefficient (U value)	<input type="text" value="0.04"/> W/m ² .C
Solar tank maximum water temperature	<input type="text" value="1000"/> C
Heat exchanger effectiveness	<input type="text" value="1"/> 0..1
Outlet set temperature	<input type="text" value="55"/> C
Mechanical room temperature	<input type="text" value="21"/> C

Kuva 8. Vesivaraajan mitat.

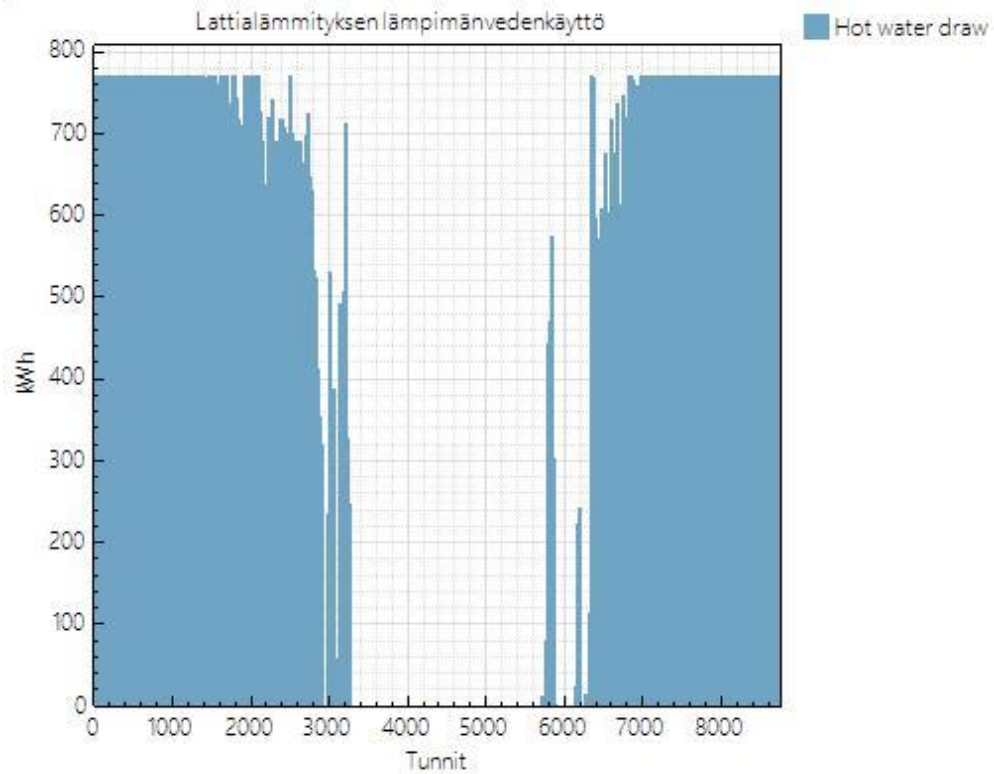
SAM simulointi ohjelmistolla huomattiin, että kuinka kohteen energiankulutus ei ole yhteensopiva aurinkolämpöjärjestelmän kanssa. Harmaalla olevat pylväät näyttävät kohteen lattialämmön tarpeen, ja sinisellä näkyvät kuinka paljon kaksi Wagner Euro L20 AR tasokeräintä pystyy tuottamaan aurinkolämpöä lattialämmitykselle. Kohteen lattialämmityksen lämpimänveden kulutus kesäaikaan on lähes nolla, jolloin aurinkolämpöjärjestelmällä ei saada hyödynnettyä vuodenaikaa, jolloin auringonsäteilyn määrä olisi huipussaan. Kuvassa 10 näkyy harmaassa

pylväessä kohteen lämmitetyn veden energiantarve kilowattitunteina ja sinisellä kuinka paljon lämmintä vettä lattialämmitykselle on aurinkolämpöjärjestelmällä tuotettu.



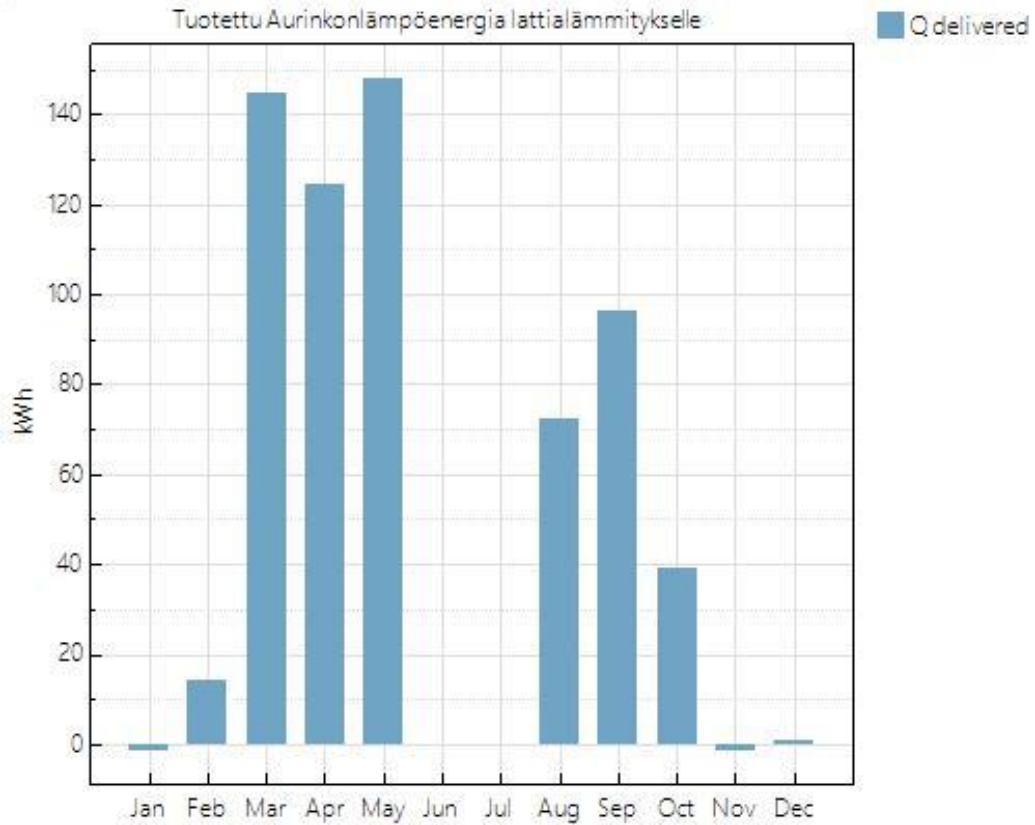
Kuva 9. Aurinkolämpöjärjestelmä tuotto ja lattialämmityksen lämmitysenergian tarve.

Seuraavassa kuvassa (kuva 10) näkyy lattialämmityksen lämpimän veden tarve kilowattitunteina jokaisena tuntina vuoden aikana. Kuumen kesän aikana lämpötilat nousevat niin korkeaksi, että lattialämmitystä ei tarvita ollenkaan, joka merkitsee, että tässä simuloinnissa lattialämmitykselle ei mene ollenkaan aurinkolämpöjärjestelmällä tuotettua lämpöä.



Kuva 10. Lattialämmityksen lämpöenergiatarve vuoden eri tunteina.

Seuraavassa kuvassa näkyy aurinkolämpöjärjestelmän tuottama lämminvesi lattialämmitykselle kuukausitasolla. Kuten aikaisemmasta kuvasta havaittiin, kesän aikana aurinkolämpöjärjestelmä ei voi tuottaa aurinkolämpöä kohteeseen lattialämmitykselle, jos lattialämmitykselle ei ole tarvetta. Muina kuukausina, jolloin aurinkolämpöjärjestelmä on tuottanut lämpöenergiaa kohteeseen, tuotetun veden määrä on vähäinen, koska tasokeräinten määrä järjestelmässä on pieni. Lisäämällä tasokeräinten määrää järjestelmään tämä ei kuitenkaan tuo tarpeeksi hyötyä verrattuna niiden kustannuksiin.



Kuva 11. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottama lämpöenergiamäärä lattialämmitykselle

7 Pohdinta ja yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä kohteeseen, jossa on hyvin matala tilojen ja lämpimän käyttöveden energiantarve. Yleensä aurinkolämpöjärjestelmä mitoituksia tehdään vain lämpimälle käyttövedelle. Aurinko-opas 2012 laskujen lopusta nähtiin, kuinka kohteen matala lämpimänveden energiantarve kesäkuukausina aiheutti ylituotantoa, jos keräinmäärä lisäsi liikaa. Siksi tasokeräinten kulmaa laitettiin 60 asteeseen normaalista 45 asteen kulmasta, jotta tasokeräimet saisivat enemmän auringonsäteilyä kevät ja syksy aikaan ja vähemmän kesäaikaan.

Aurinko-opas 2012 excel laskuista ilmeni myös, että kohteen kokonaisenergian saanti nousi myös koko vuodelle vaihtamalla kulmausta, vaikka yleinen kulma

tasokeräimille on 45 astetta ajatellen kokonaisenergian saantia. Siitä huolimatta aurinkolämpöjärjestelmä pystyi tuottamaan kohteeseen vain 4 % kokonaisenergian tarpeesta.

SAM-simulointiohjelmistolla simuloitiin varaajakoko kohteen lattialämmitykselle, sillä vain lattialämmityksestä oli tarjolla massavirta ja lämpötilaerot. Simulointiohjelmistolla saatiin simuloitua lattialämmitykselle sopiva vesivaraajan koko. Kooksi saatiin 1 000 litran varaaja. Pienemmällä varaajakoolla varaajan lämpötila olisi noussut yli 100 celsiusasteen. Varaajan lämpötilan noustessa 100 asteeseen varaaja voi kiehahtaa, joka voi vahingoittaa varaajaa. Yleensä näin ei käy, sillä aurinkolämpöjärjestelmän ohjausyksikkö estää ylimääräistä lämpöä menemästä varaajaan, jolloin varaajan kiehahtamiselta vältytään.

Silti varaajan koon pitää olla tarpeeksi suuri aurinkolämpöjärjestelmän tuottamalle lämmölle. SAM-sovellus käyttää kaavoja, joita käytetään enemmän Saksassa ja Pohjois-Amerikassa. Ohjelmistoa oli aluksi haastava käyttää, jos halusi tietää, mitä mikäkin kaava tarkoitti. Tietoa oli etsittävä englanninkielisistä lähteistä, jotta kaavojen merkityksen sai selville.

Aurinkolämpöjärjestelmä ei sopinut kohteeseen, sillä takaisinmaksuaika ylitti järjestelmän käyttöiän reilusti parhaimmassakin keräinkokoonpanossa. Aurinkolämpöjärjestelmän tuottama kilowattitunnin hinta ylitti reilusti pelletikattilalla lämmitetyn pelletin kilowattitunnin hinnan. Kannattavuuslaskelmiin ei ole lisätty vesivaraajan hintaa jälkikäteen, millä olisi vielä enemmän lisännyt aurinkolämpöjärjestelmän kilowattituntihintaa ja takaisinmaksuaikaa. Aurinkolämpöjärjestelmän kokoonpanoon olisi silti lisättävä varaajan hinta.

Järjestelmän laitteiston hintoja voisi saada pienennettyä. Varsinkin aurinkolämpöjärjestelmän asennusten hinnat ovat hyvin korkeat verrattuna koko paketin hintaan. Laskemalla asennusten hintaa aurinkolämpöjärjestelmän hankintakustannus laskisi merkittäväällä tasolla. Perehtymällä enemmän asennushintojen kustannuksiin aurinkolämpöjärjestelmälle saataisiin vähän realistisempi hinta, mutta senkään perusteella aurinkolämpöjärjestelmä ei olisi sopiva kohteeseen. Kannattavuuslaskuissa ei ollut myöskään laskettu tasokeräinten hyötysuhteen heikkenemistä, jossa aurinkolämpöjärjestelmän energiatuotantokyky laskee vuo-

sien varrella. Hyötysuhteen laskemista voisi merkitä kertoimella, joka laskisi vuositista aurinkolämpöjärjestelmän energiantuotantokykyä, jolloin saataisiin selville korvattava energiamäärä jokaiselle vuodelle. Kertoimen löytäminen on kuitenkin eri asia, jota ei välttämättä saa helposti selville.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus eri laskentaoppailla ja sovelluksilla voi antaa hieman eri tuloksen aurinkolämpöjärjestelmän hyödyntämisestä kohteeseen. Aurinko-opas 2012:n laskentamenetelmä on vähän vanhentunut verrattuna uusiin laskentaoppaisiin, joita löytyy ympäristöministeriön sivuilta. SAM-simulointiohjelmistolla olisi saatu tarkemmat tiedot aurinkolämpöjärjestelmän energiantuotanto luvuista, jos koko kohteen massavirrat sekä meno- ja paluuvien lämpötilaerot olisi saatu simuloitua. Eri mitoitusmenetelmillä olisi mielestäni päädytty hyvin samanlaisiin johtopäätöksiin, että aurinkolämpöjärjestelmä ei ole järkevä hankinta parantamaan kohteen energiatehokkuutta.

8 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä toimeksiantajan omistamaan hallirakennukseen ja selvittää, kuinka kannattava hankinta aurinkolämpöjärjestelmä olisi, jos se toimisi hybridilämmitysmuotona jo ennestään olevan pellettikattilan kanssa. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen ja kannattavuusvertailuun käytettiin Aurinko-opas 2012 laskelmamenetelmiä, SAM-simulointi ohjelmistoa sekä erilaisia kannattavuuslaskumenetelmiä.

Aikaisemmin mainittujen menetelmien avulla saatiin selville, että aurinkolämpöjärjestelmä ei ole kannattava hankinta kyseiseen kohteeseen, vaan nykyinen pellettikattilajärjestelmä on parempi lämmöntuottaja. Kohteen lämmönkulutustiedot eivät olleet ideaaliset aurinkolämpöjärjestelmän tuotannon kanssa, kun aurinkolämpöjärjestelmän huipputuotanto keskittyy kesäkuukausille, jolloin kohteen lämmön tarve on hyvin pieni. Aurinkolämpöjärjestelmä olisi tuottanut liian paljon ylituotantoa, joka laskisi koko järjestelmän hyötysuhdetta huomattavasti. SAM-

simulointiohjelmistolla saatiin myös selville, kuinka iso lämminvesivaraaja kohteeseen olisi hankittava, kun mitoitettiin kohteen lattialämmitystä. 1 000 litran varaajalla vältettiin varaajan lämpötilaa nousemasta yli 100 celsiusasteen.

Lähteet

- Aurinkovoima. 2020. Aurinkokeräimet usein kysyttyä. <http://aurinkovoima.fi/fi/usein-kysyttya/aurinkokeraimet-usein-kysyttya>. 6.1.2020.
- Bioenergianeuvoja. 2020. Pelletin energiasisältö. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>. 6.1.2020.
- Energiakauppa. 2020a. Kysymykset ja vastaukset. <https://www.energiakauppa.com/Sivu/-/Tuoteryhmae/Kysymykset-ja-vastaukset> 6.1.2020.
- Energiakauppa. 2020b. Aurinkolämpö. https://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe. 6.1.2020.
- Energiatehokaskoti. 2020. Hybridilämmitys. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys. 10.5.2020.
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas-aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry.
- Finsolar. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>. 10.1.2020.
- FinSolar. 2016b. Aurinkoenergianmarkkinat kasvuun Suomessa. <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 10.1.2020.
- Ilmatieteenlaitos. 2020. Auringon rakenne ja elinkaari. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>. 10.1.2020.
- Ilmatieteenlaitos. 2019. Auringonpaistetunnit vaihtelevat vuodessa suuresti. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/auringon-paistetunnit>. 10.1.2020.
- Motiva. 2020a. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat. 10.1.2020.
- Motiva 2019a. Aurinkolämpösanasto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto. 10.1.2020.
- Motiva. 2019b. Auringonsäteilyn määrä Suomessa https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. 10.1.2020.
- Motiva. 2019c. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen. 10.1.2020.
- Motiva. 2019d. Nestekiertoiset keräimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet. 10.1.2020.

- Motiva. 2019e. Tasokeräimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet. 10.1.2020.
- Motiva. 2019f. Tyhjiöputkikeräimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet. 10.1.2020.
- Motiva. 2019g. Aurinkokeräinten hyötysuhteet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet. 10.1.2020.
- Motiva. 2019h. Hinnat ja kannattavuus. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/hinnat_ja_kannattavuus. 10.1.2020.
- Motiva. 2019i. Aurinkolämpöjärjestelmän sijoittelu https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/aurinkolampojarjestelman_sijoittelu. 10.1.2020.
- PVGIS. 2020. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY. 30.6.2019.
- SAM. 2020. System Advisor Model (SAM) <https://sam.nrel.gov/>. 30.6.2019.
- Seuna, S. 2019. näkökulmia lämmitysmuodon vaihtoon tai täydentämiseen. Motiva. https://www.motiva.fi/files/15758/Seuna_Hyvinkaan_lammitysilta_26032019.pdf. 1.2.2020.
- Solpros AY. 2006. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>. 1.2.2020.
- Vapo. 2020. Pelletin hinta. <https://kauppa.vapo.fi/pelletti/>. 6.1.2020.
- Ympäristöministeriö. 2020. Rakentamismääräyskokoelma. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus. 30.6.2019

Liite 1. Yhteinen osio

Joona Jaatinen

Vili Ikonen

1. Rakennuksen perustiedot

Työn kohteena olevan päärakennuksen omistaa Veljekset Nilsen Oy. Yritys tekee maanrakennustöitä, maa-ainesten myyntiä ja toimituksia sekä metsäko-neurakointia. Yritys on perustettu vuonna 1974.

Päärakennus sijaitsee Pohjois-Karjalassa Iломantsissa. Päärakennuksen lisäksi tontilla on varastorakennus polttoaineen säilytystä varten ja erillinen lämmönja-korakennus, jossa on kohteen nykyinen lämmönlähde pellettikattila sekä pelletti-siilo. Päärakennuksen kerrosala on yhteensä 380 m² ja tilavuus 2 204 m³.

Lämmitystehontarvesimuloinnin tulokset

Tässä liitteessä on esitetty rakennuksen lämmitystehontarpeen tulokset, jotka on tuotettu IDA ICE simulointiohjelmalla. Simuloinnin energiatuloksista on luetta-vissa, että koko vuoden tilalämmitysenergia on yhteensä 34569 kWh (Kuva 1). Lämpimän käyttöveden osuus koko vuodelta on 1061 kWh. Tammikuussa tilojen energiantarve on suurin eli 7209 kWh ja heinäkuussa vastaavasti tilojen energi-antarve on pienin eli 39,2 kWh.

		Järjestelmien energia	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	443.9 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	2135.6 m ³
Vastuuhenkilö	Vili Ikonen	Mallin maaperän pinta-ala	385.0 m ²
Sijainti	Joensuu (Ilomantsi)_029190 (ASHRAE 2013) pilvillä	Mallin vaipan ala	1238.2 m ²
Säätiedosto	FIN_ILOMANTSI_029190(IW2)pilvillä	Ikkuna/Vaippa	2.3 %
Tapaus	Halli projekti	Keskimääräinen U-arvo	0.263 W/(m ² K)
Simuloitu	10.2.2020 11.50.46	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.5798 m ² /m ³

Energiankulutus

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	7209.0	0.0	0.0	0.0	90.1
2	6010.0	0.0	0.0	0.0	81.4
3	4547.0	0.0	0.0	0.0	90.1
4	2362.3	0.0	0.0	0.0	87.2
5	422.5	0.0	0.0	0.0	90.1
6	154.6	0.0	0.0	0.0	87.2
7	39.2	0.0	0.0	0.0	90.1
8	137.0	0.0	0.0	0.0	90.1
9	700.8	0.0	0.0	0.0	87.2
10	2998.4	0.0	0.0	0.0	90.1
11	5179.0	0.0	0.0	0.0	87.2
12	4810.0	0.0	0.0	0.0	90.1
Yhteensä	34569.8	0.0	0.0	0.0	1061.3

Kuva 1. Lämmitystehontarvesimuloinnin tulokset.

Lattialämmitystilojen massavirrat ja lämpötilat vuoden ajalta.

Kuvasta 2 on nähtävissä IDA ICE simulointiohjelmalla tuotettu hallirakennuksen meno- ja paluueden lämpötilat sekä massavirrat kuukausittaisena keskiarvona. Arvot ovat tiloista, joissa lattialämmitys hallissa sijaitsee. Näistä arvoista on tehty myös tuntiakohtainen taulukko, jota ei ole tähän liitteeseen lisätty raportin selkeyttämisen vuoksi.

Primäärijärjestelmän meno- ja paluulämpötilat

Indoor Climate and Energy 4.801 Käyttöoikeus: IDA40:ICE40XL:20MAY/14E3V (Koelisenssi)

Objekti: Primäärijärjestelmän lämpötilat

Järjestelmä: C:\Users\viliu\Documents\Opinnäytetyö\Cads projekti halli\Halli projekti.idm

Kuvaus:

Simuloitu: 19.2.2020 13.30.33 [416]

Tallennettu: 21.2.2020 14.50.36

	Muuttujat		
	Lämmityksen menovedenlämpötila vyöhykkeisiin, Deg-C	Paluuveden lämpötila vyöhykkeiden lämmityslaitteilta, Deg-C	MTOT, kg/s
Tammikuu	28.46	19.72	0.2057
Helmikuu	27.95	19.77	0.2026
Maaliskuu	25.76	18.46	0.1484
Huhtikuu	21.91	16.69	0.08444
Toukokuu	18.09	16.36	0.008457
Kesäkuu	19.13	18.75	2.3E-7
Heinäkuu	22.68	22.33	2.3E-7
Elokuu	22.8	22.38	0.001496
Syyskuu	17.26	15.92	0.03465
Lokakuu	21.6	16.95	0.1442
Marraskuu	25.74	18.84	0.1892
Joulukuu	24.75	18.41	0.187
keskiarvo	22.99	18.72	0.09992
keskiarvo*8760.0 h	201404.4	163977.2	875.3
min	17.26	15.92	2.3E-7
maks	28.46	22.38	0.2057

Kuva 2. Lattialämmitystilojen meno- ja paluuveden lämpötila sekä massa-
virta.

Aurinkokeräinten valinta

Tasokeräimet on valittu energiakauppa.com sivulta, jossa on myös mainittu ke-
räimien lähtötietoja, joita tarvitaan Excel laskuissa.

Valituista tasokeräimistä sopivimmaksi saatiin Wagner Euro L20 AR, jolla oli pa-
rempi energiantuotanto- ja energiankulutushinta. keräimissä tuottojen takaisin-
maksuaika jää reilusti aurinkokeräinten käyttöiän yli, joka merkitsee, että kohtee-
seen ei ole järkevää hankkia aurinkokeräinjärjestelmää.

Korjauskulmakertoimeksi on valittu 55° astetta, jotta säteilyenergian määrä keskittyy enemmän huhtikuun ja lokakuun ajalle, koska kohteen kesäaikainen energiankulutus on vähäistä. Näin saadaan hyödynnettyä enemmän aurinkoenergiaa koko vuoden ajalle.

Aurinkokeräinten hyöty näkyy parhaiten kesäkauden aikaan, jolloin auringosta saatava säteilyenergian määrä on huipussaan. Kohteessa on kesäkauden aikaan hyvin pieni lämmönkulutus, jolloin aurinkokeräinjärjestelmästä saatava hyöty jää pieneksi.

Aurinkokeräinjärjestelmät yritetään mitoittaa niin, että mahdollisimman vähän aurinkoenergiaa menisi ylituotantoon, jolloin järjestelmästä saataisiin maksimaalinen hyöty.

Koska kesäkauden aikaan aurinkokeräimistä saatava hyöty on pieni, on kohteeseen valittavien aurinkokeräinten määrä oltava myös pieni ylituotannon välttämiseksi.

Taulukko 1. Wagner L20 AR. 3 Keräinmäärällä.

Kuukausi	Tilojen ja LKV käyttämä energian kulutus (kWh)	Aurinkokeräinten keräämä aurinkoenergiamäärä (kWh)	Aurinkokeräimistä saatava tuotto (kWh)	Ylituotantoon menevä aurinkoenergian määrä (kWh)	Aurinkoenergian määrä tuotusta lämmöstä (%)
Tammikuu	8201.2	0	0	0	0. %
Helmikuu	6844.3	124.820	124.82	0	1.82 %
Maaliskuu	5210.2	271.204	271.20	0	5.21 %
Huhtikuu	2751.9	360.702	360.70	0	13.11 %
Toukokuu	576.0	330.501	330.50	0	57.38 %
Kesäkuu	271.7	279.939	271.69	8.3	100. %
Heinäkuu	145.3	171.201	145.28	25.9	100. %
Elokuu	255.2	246.385	246.39	0	96.56 %
Syyskuu	885.4	285.878	285.88	0	32.29 %

Lokakuu	3470.2	123.456	123.46	0	3.56 %
Marraskuu	5917.1	0	0	0	0. %
Joulukuu	5505.7	0	0	0	0. %
Yht	40034.2	2194.1	2159.9	34.2	-

Taulukko 2. Wagner L20 AR. 2 keräinmäärällä.

Kuukausi	Tilojen ja LKV käyttämä energian kulutus (kWh)	Aurinkokeräinten keräämä aurinkoenergiämäärä (kWh)	Aurinkokeräimistä saatava tuotto (kWh)	Ylituotantoon menevä aurinkoenergian määrä (kWh)	Aurinkoenergian määrä tuotetusta lämmöstä (%)
Tammikuu	8201.2	0	0	0	0. %
Helmikuu	6844.3	86.163	86.16	0	1.26 %
Maaliskuu	5210.2	184.952	184.95	0	3.55 %
Huhtikuu	2751.9	246.823	246.82	0	8.97 %
Toukokuu	576.0	240.946	240.95	0	41.83 %
Kesäkuu	271.7	228.035	228.03	0	83.93 %
Heinäkuu	145.3	162.090	145.28	16.8	100. %
Elokuu	255.2	197.477	197.48	0	77.39 %
Syyskuu	885.4	200.271	200.27	0	22.62 %
Lokakuu	3470.2	85.235	85.23	0	2.46 %
Marraskuu	5917.1	0	0	0	0. %
Joulukuu	5505.7	0	0	0	0. %
Yht	40034.2	1632.0	1615.2	16.8	-

Taulukko 3. Wagner L20AR. 4 keräinmäärällä.

Kuu-	Tilojen	Aurinkokeräinten	Aurinkokeräi-	Ylituotantoon	Aurinkoener-
kausi	ja LKV	keräämä	mistä saatava	menevä au-	gian määrä
	käyt-	aurinkoenergia-	tuotto (kWh)	rinkoener-	tuotetusta
	tämä	määrä (kWh)		gian määrä	lämmöstä
	energian			(kWh)	(%)
	kulutus				
	(kWh)				
Tammi- kuu	8201.2	0	0	0	0.0 %
Helmi- kuu	6844.3	160.243	160.24	0	2.34 %
Maalis- kuu	5210.2	353.037	353.04	0	6.78 %
Huhtikuu	2751.9	468.117	468.12	0	17.01 %
Touko- kuu	576.0	401.852	401.85	0	69.7 %
Kesäkuu	271.7	304.383	271.69	32.7	100. %
Heinä- kuu	145.3	179.423	145.28	34.1	100. %
Elokuu	255.2	271.972	255.17	16.8	100. %
Syyskuu	885.4	362.235	362.24	0	40.91 %
Lokakuu	3470.2	158.533	158.53	0	4.5 %
Marras- kuu	5917.1	0	0	0	0. %
Joulu- kuu	5505.7	0	0	0	0. %
Yht	40034.2	2659.8	2576.2	83.6	-

Taulukko 3. Wagner L20AR. 4 keräinmäärällä.

Energiankulutus

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	7209.0	0.0	0.0	0.0	90.1
2	6010.0	0.0	0.0	0.0	81.4
3	4547.0	0.0	0.0	0.0	90.1
4	2362.3	0.0	0.0	0.0	87.2
5	422.5	0.0	0.0	0.0	90.1
6	154.6	0.0	0.0	0.0	87.2
7	39.2	0.0	0.0	0.0	90.1
8	137.0	0.0	0.0	0.0	90.1
9	700.8	0.0	0.0	0.0	87.2
10	2998.4	0.0	0.0	0.0	90.1
11	5179.0	0.0	0.0	0.0	87.2
12	4810.0	0.0	0.0	0.0	90.1
Yhteensä	34569.8	0.0	0.0	0.0	1061.3

