

Janne Kolehmainen

OMAKOTITALON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

OMAKOTITALON ENERGIAEHIKOKKUUDEI PARANTAMINEN

Janne Kolehmainen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-suunnittelu

Tekijä: Janne Kolehmainen
Opinnäytetyön nimi: Omakotitalon energiatehokkuuden parantaminen
Työn ohjaaja: Pirjo Kimari
Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 42+11

Tämän työn tavoitteena oli selvittää keinoja parantaa vuonna 2007 rakennetun sähkölämmitteisen omakotitalon energiatehokkuutta. Työn tilaajana toimi Oulun ammattikorkeakoulu. Työn kohteena oli kaksikerroksinen, pinta-alaltaan 163,4 m²:n suuruinen, omakotitalo Oulussa.

Tarkasteltavia parannusvaihtoehtoja oli kolme: ilma-ilmalämpöpumpun lisääminen olemassa olevan sähkölämmityksen rinnalle, olemassa olevan varaavan takan käytön lisääminen sekä aurinkokeräinten hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä. Näiden kolmen lisäksi myös varaavan takan käytön lisäämisen ja ilmalämpöpumpun yhdistelmäkäytön mahdollisuutta tarkasteltiin. Parannusvaihtoehdoille laskettiin investointikustannukset, takaisinmaksuajat ja niiden vaikutusta käyttökustannuksiin arvioitiin.

Ilmalämpöpumpun etuja olivat suhteellisen lyhyt takaisinmaksuaika sekä monipuolinen käytettävyys lämmityskäytöstä jäähdytykseen. Ilmalämpöpumppu käy automaattisesti silloin kun paikalla ei ole ketään, jolloin sisätilojen lämmityksestä ei tarvitse huolehtia. Tämä luo mukavuutta ja helppoutta, koska rakennus lämpiää myös silloin kun asukkaat eivät ole paikalla. Ilmalämpöpumpun suhteellisen lyhyt takaisinmaksuaika ja monipuolinen käytettävyys johtivat parhaaseen tulokseen kohteen asukkaiden kannalta.

Asiasanat: ilmalämpöpumppu, aurinkokeräin, takka, tutkimus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building Services, HVAC-Engineering

Author: Janne Kolehmainen

Title of thesis: Improving energy efficiency of a detached house

Supervisor: Pirjo Kimari

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 42+11

The goal of this thesis was to find ways to improve the energy efficiency of a detached house built in 2007. This thesis was commissioned by the Oulu University of Applied Sciences. The subject of the thesis was a two-storey detached house with an area of 163,4 m² located in Oulu.

There were three improvement options: the addition of an air-source heat pump to the existing electric heating, increasing the usage of heat-storing fireplace as well as the use of solar power for hot water heating. In addition to these three, also a combination use of air-source heat pump and heat-storing fireplace was examined as an option. Investment costs, payback periods and impacts on the operating costs were estimated for all of the improvement options.

The use of air-source heat pump had the greatest benefit with heating in mind. Air-source heat pump turns on automatically in which case residents of the house don't have to worry about heating the house when they are not present. This improvement option had the most versatility and the relatively short payback period of the air-source heat pump led to the best result for the subjects residents.

Keywords: solar collection, air-source heat pump, fireplace

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 KOHTEEN KUVAUS	7
2.1 Kohteen energiankulutus nykyisellään	7
2.2 Parannusvaihtoehdot	9
2.2.1 Ilmalämpöpumppu	10
2.2.2 Takan käytön lisääminen.....	12
2.2.3 Käyttöveden aurinkolämmitysjärjestelmä	13
3 PARANNUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVAIKUTUKSET.....	15
3.1 Ilmalämpöpumppu	15
3.1.1 Investointikustannukset.....	21
3.1.2 Vaikutus käyttökustannuksiin.....	21
3.1.3 Takaisinmaksuaika.....	22
3.2 Takka	22
3.2.1 Investointikustannukset.....	26
3.2.2 Vaikutus käyttökustannuksiin.....	26
3.3 Aurinkojärjestelmä	27
3.3.1 Investointikustannukset.....	34
3.3.2 Vaikutus käyttökustannuksiin.....	34
3.3.3 Takaisinmaksuaika.....	35
4 PARANNUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	36
5 YHTEENVETO.....	40
LÄHTEET	41
LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Tässä työssä tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia parantaa uudehkon, sähkölämmitteisen omakotitalon energiatehokkuutta. Työn tilaajana toimii Oulun ammattikorkeakoulu. Työn kohde on kaksikerroksinen omakotitalo, joka sijaitsee Oulussa. Kohteessa on suora sähkölämmitys lattialämmityksenä sekä ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

Tarkasteltavia parannusvaihtoehtoja on kolme: ilma-ilmalämpöpumpun lisääminen olemassa olevan sähkölämmityksen rinnalle, olemassa olevan varaavan takan käytön lisääminen sekä aurinkokeräinten hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä. Näiden kolmen lisäksi myös varaavan takan käytön lisääminen ja ilmalämpöpumpun yhdistelmäkäyttöä tarkastellaan varteenotettavana vaihtoehtona. Parannusvaihtoehdoille lasketaan investointikustannukset sekä takaisinmaksuajat ja niiden vaikutusta käyttökustannuksiin arvioidaan.

2 KOHTEEN KUVAUS

Työn kohde on vuonna 2007 rakennettu kaksikerroksinen omakotitalo, joka sijaitsee Oulussa. Kohteen kokonaishuoneistopinta-ala on 163,4 m², josta ensimmäisen kerroksen pinta-ala on 123,2 m² ja toisen kerroksen ala on 40,2 m². Kohde sijaitsee säävyöhykkeellä 3, jolloin mitoittava ulkoilman lämpötila on -32 °C ja vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila on 3,2 °C. (1, s. 29–31.)

Kohteen lämmitystapa on suora sähkölämmitys lattialämmityksenä toteutettuna. Kohteessa on myös varaava takkaleivinuuni Kermansavi Jouni V/O. Ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

2.1 Kohteen energiankulutus nykyisellään

Kohteesta ei ole saatavilla tarkkoja lukemia sähkönkulutuksesta, joten ne selvitetään laskemalla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisilla standardikaavoilla. Alla olevat lukemat on otettu RakMk osan D3 luvusta 3.3.1 taulukosta 3 (1, s. 19).

Valaistuksen käyttämä sähkö lasketaan kaavalla 1 (1, s. 25).

$$W = kP \frac{\tau_d t_w}{24 \cdot 7 \cdot 1000} \frac{8760}{1000} = 0,1 * 8 \frac{W}{m^2} * \frac{24h}{24h} * \frac{7d}{7d} * \frac{8760}{1000} = 7,008 kWh/m^2 \quad \text{KAAVA 1}$$

k= käyttöaste eli keskimääräinen valaistuksen käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana = 0,1

P = valaistuksen lämpökuorma = 8 [W/m²]

τ_d = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa = 24 [h]

t_w = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa = 7 [d]

Näin ollen valaistus kuluttaa sähköenergiaa 7,008 kWh/m² vuositason.

Selvitetään laitteiden sähkönkulutus samalla kaavalla 1.

$$W = kP \frac{\tau_d t_w 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000} = 0,6 * 3 \frac{W}{m^2} * \frac{24h}{24h} * \frac{7d}{7d} * \frac{8760}{1000} = 15,768 kWh/m^2 \quad \text{KAAVA 1}$$

k = käyttöaste eli keskimääräinen valaistuksen käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana = 0,6

P = laitteiden lämpökuorma = 3 [W/m²]

τ_d = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa = 24 [h]

t_w = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa = 7 [d]

Laitteiden kuluttama sähköenergian määrä vuodessa on 15,768 kWh/m².

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia selvitetään RakMk:n osan D3 luvusta 3.4.1 taulukosta 5. saaduilla lukemilla. Pientalon käyttöveden lämmitysenergian laskennassa käytetään lukemaa 35 kWh/(m² a) mikäli tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Tästä saadaan laskettua lämmitysenergia vuositasolla.

$$163,4 m^2 * 35 \frac{kWh}{m^2 a} = 5719 kWh/a$$

Edellä laskettuja arvoja käytetään kun lasketaan standardikulutusta rakennuksen lämmitysenergian osuudelle. Kolmen viime vuoden sähkönkulutukset on esitetty alla olevassa taulukossa 1, jossa on myös laskettu standardikulutus vähentämällä mitatusta sähkönkulutuksesta edellä lasketut valaistuksen, laitteiden sekä lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutukset:

$$19500 \frac{kWh}{a} - 163,4 m^2 * (7,008 + 15,768) \frac{kWh}{m^2} - 5719 \frac{kWh}{a} = 10059,40 kWh/a$$

Näin ollen vuonna 2013 olisi standardikulutuksen mukaan käytetty 10 059,40 kWh sähköenergiaa lämmitykseen. Lämmityksen prosenttiosuus vuonna 2013 on 51,6 %. Laskelmia on jatkettu taulukkoon 1 vuosilta 2014 ja 2015.

TAULUKKO 1. Sähköenergian kulutus ja lämmityksen osuus.

Vuosi	Mitattu [kWh/a]	Lämmitys [kWh/a]	%-osuus
2013	19500	10059,40	51,6
2014	18800	9359,40	49,8
2015	20000	10559,40	52,8
	keskiarvo	9992,73	51,4

Seuraavaksi normeerataan lämmitykseen käytetty sähköenergia käyttäen RakMk:n osan D3 taulukon L2.3. arvoa lämmitystarvelukua S17 = 4782 [Kd] säilytykseen 3 (1, s. 32). Normeeraukseen tarvitaan myös vakioarvon lisäksi vertailuarvoksi lämmitystarveluku vuositasolla. Tämä lämmitystarveluku Oululle saadaan ilmatieteenlaitoksen sivuilta käyttäen vuosikohtaista lämmitystarveluvun taulukkoa (2). Nämä arvot on sijoitettu alla olevaan taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Normeerattu energiankulutus sähkölämmitykseen lämmitystarvelukuja käyttäen

Vuosi	Kulutus [kWh]	OULU S17 [Kd]	D3 S17 [Kd]	Normeerattu [kWh]
2013	10059,40	4557	4782	10556,1
2014	9359,40	4513	4782	9917,3
2015	10559,40	4119	4782	12259,1
		keskiarvo		10910,8

Normeeratus tapahtuu kertomalla saatu sähköenergian kulutus vertailtavien lämmitystarvelukujen S17 jakojäännöksellä. Se tapahtuu seuraavasti:

$$10\,059,40 \text{ kWh} * \frac{4782 \text{ Kd}}{4557 \text{ Kd}} = 10\,556,1 \text{ kWh}$$

Tästä saadaan normeerattu lämmitysenergian määrä 10 556,1 kWh vuodelle 2013. Keskiarvo normeeratulle kulutukselle on 10 910,8 kWh/a.

2.2 Parannusvaihtoehdot

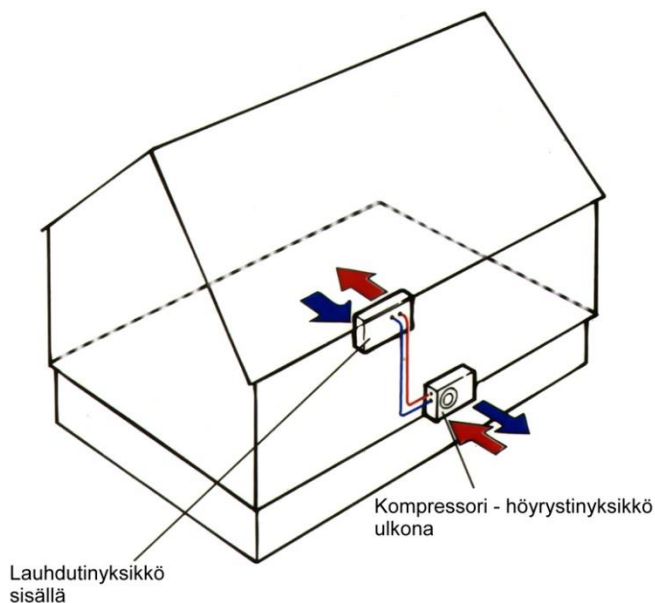
Kohteelle mahdollisia parannusvaihtoehtoja ovat ilma-ilmalämpöpumpun lisäys järjestelmään sekä varaavan takan käytön lisääminen. Edellä mainittujen vaihtoehtojen lisäksi myös aurinkolämmitysjärjestelmä voidaan lisätä käyttöveden lämmitystä varten.

2.2.1 Ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu toimii lämmitysjärjestelmää täydentävänä muotona, joka ottaa lämpöenergiaa ulkoilmasta ja käyttää sitä lämmittämään huoneilmaa. Ilma-ilmalämpöpumppua ei voi käyttää käyttöveden lämmitykseen, eikä sitä voida yhdistää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

Ilma-ilmalämpöpumpulla on mahdollista säästää tilojen lämmityksessä keskimäärin noin 20–30 % riippuen lämpöpumpun mitoituksesta. Tavallisesti ilmalämpöpumput toimivat huonolla hyötysuhteella kun ulkoilman lämpötila laskee alle $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen (3, s. 4).

Ilmalämpöpumpun rakenne on tavallisimmin kaksiosainen: sisällä ja ulkona on omat yksikkönsä. Ulkona olevassa yksikössä on ilmasta lämpöä talteen ottava höyrystinpatteri, kompressorin ja automatiikkaa, joka ohjaa prosessia. Sisällä olevassa yksikössä on puhallinpatteri, jonka tarkoitus on kierrättää lämmitettävää ilmaa. Alla olevassa kuvassa 1 havainnollistetaan sisä- ja ulkoilmayksikön toimintaa.

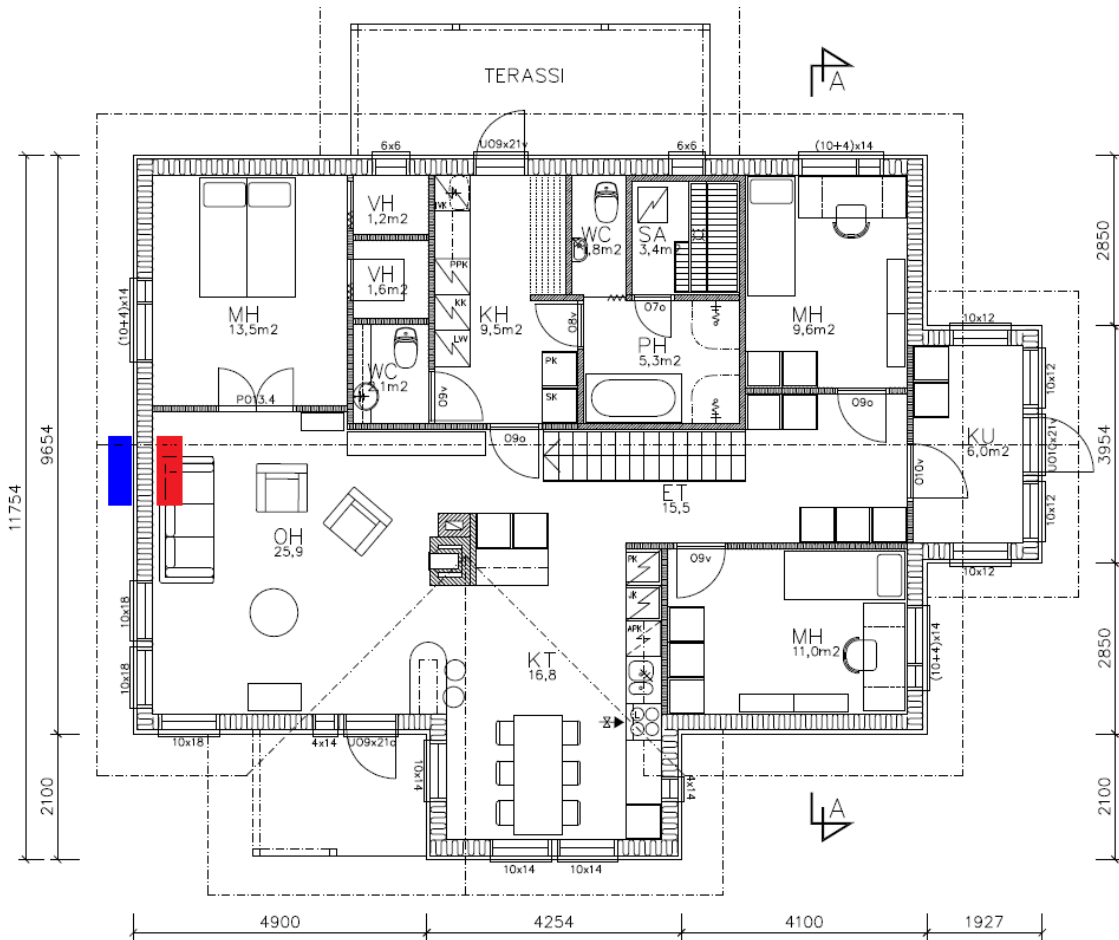


KUVA 1. Ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (4)

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on sijoitettava siten, että lämmin ilma leviää hyvin eri puolille rakennusta. Näin ollen on suositeltavaa sijoittaa ilmalämpöpumppu avoimiin tiloihin (3, s. 3). Kohteessa on varaava takka, jolloin ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on hyvä sijoittaa siten, että

ilmavirta saa levitettyä takan lämmön tasaisesti ympäristöön. Näin ollen sisäyksikkö sijoitetaan olohuoneeseen. Ulkona olevan yksikön sijoituksessa on suositeltavaa, että ilman kierto on vapaata eikä jo kertaalleen laitteessa käynyt ilma kierrä siihen takaisin.

Alla olevassa kuvassa 2 on havainnollistettu suunniteltu ulko- ja sisäilmayksikön sijoitus. Sininen tarkoittaa ulkoyksikköä ja punainen sisäyksikköä. Kyseisellä sisäyksikön asennussijainnilla saadaan olohuoneen varaavan takan lämpöenergia levitettyä myös toiselle puolelle rakennusta.



KUVA 2. Ulkoyksikkö (sininen) ja sisäyksikkö (punainen).

Sopiva ilma-ilmalämpöpumppu kohteen tarpeisiin on Mitsubishi FH35, jonka lämmitysteho on 6,6 kW ja joka toimii $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa (5, s. 7.). Paketti sisältää ulkoyksikön, sisäyksikön sekä tarvittavan kaukosäätimen käyttöä varten.

2.2.2 Takan käytön lisääminen

Kohteen varaava takkaleivinuuni on Kermansavi Jouni V/O, jonka nimellisteho eli takan luovuttama keskimääräinen lämmitysteho ensimmäisten 12 tunnin aikana, on 2,4 kW. Takassa voidaan polttaa maksimissaan 17 kg puuta vuorokauden aikana ja takalla voidaan lämmittää noin 80 m² pinta-alaa (6, s. 42). Kyseisen takan korkeus on 2100 mm ja paino 1820 kg joten se voidaan luetella raskaisiin takkoihin. Raskaammat takat luovuttavat kauemmin ja tasaisemmin lämpöä mutta lämpenevät hitaammin kuin kevyemmät takat.

Tähän mennessä lämmityskaudella on poltettu vaihtelevasti 7–10 kg mäntyhalkoja. Lokakuussa takkaa on käytetty joka toinen päivä lämmittäen kerralla 7kg puuta, marraskuussa joka toinen päivä 10 kg. Joulukuusta helmikuuhun on poltettu 10 kg mäntyhalkoja joka päivä, maaliskuussa 10 kg joka toinen päivä sekä huhtikuussa 7 kg joka toinen päivä.

Mäntyhalkojen ostokustannuksia ei tarvitse työssä huomioida, sillä asukkaat hankkivat puut omasta metsästään vuotuisesti. Alla olevasta taulukosta 3 selviää kohteen takan käyttö lämmityskauden aikana.

TAULUKKO 3. Takassa poltetun puun määrä lämmityskaudella

Kuukausi	määrä [kg]	päivät [d]	yht. [kg]
Lokakuu	7	15	105
Marraskuu	10	15	150
Joulukuu	10	31	310
Tammikuu	10	31	310
Helmikuu	10	31	310
Maaliskuu	10	31	310
Huhtikuu	7	15	105
Yhteensä	64	169	1600

Lasketaan mäntyhaloista saatu energia lämmityskauden aikana, kun männyn lämpöarvo on 4,15 kWh/kg (6, s. 27). Takan hyötysuhteena käytetään lukemaa 80 % (6, s. 16).

$$0,80 * 4,15 \frac{kWh}{kg} * 1600 kg = 5312 kWh$$

Näin ollen lämmityskauden aikana on mäntyhaloista saatu 5312 kWh energiaa noin 170 päivän ajanjaksolla.

2.2.3 Käyttöveden aurinkolämmitysjärjestelmä

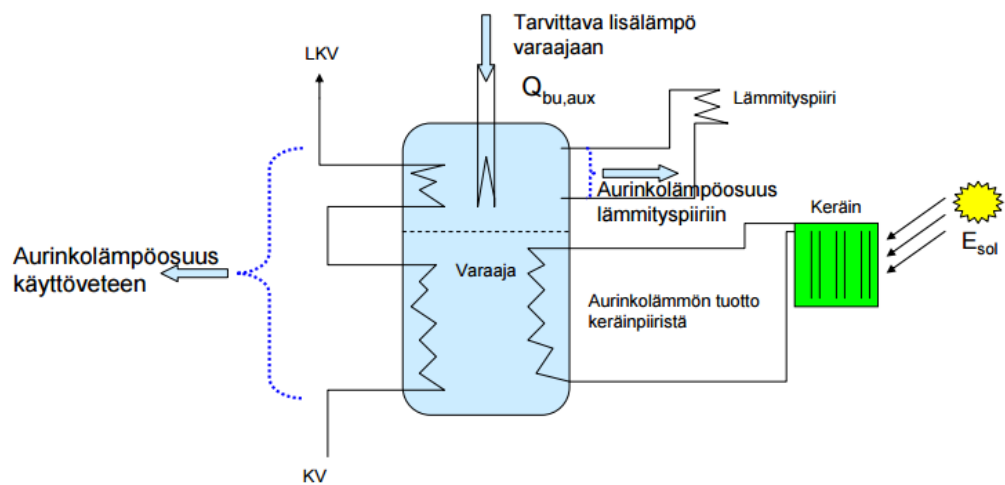
Kohteen lämpimän käyttöveden lämpötila on 60 °C ja kylmän käyttöveden lämpötila 8 °C sekä lämminvesivaraajan tilavuus on 300 litraa. Em. arvoja käytetään kun mitoitetaan aurinkojärjestelmää luvussa 3.3.

Aurinkosähköä käyttäen voidaan tuottaa osa kotitalouden tarvitsemasta sähköstä. Aurinkolämpökeräimiä voidaan käyttää käyttöveden sekä tilojen lämmitykseen tai pelkästään lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Kohteeseen suunnitellaan mahdollinen lämpimän käyttöveden tuottojärjestelmä. Kuvassa 3 on havainnollistettu aurinkolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate.

Aurinkojärjestelmän toimivuus riippuu kotitalouden lämmöntarpeesta. Lämmöntarve on energiamäärä, jota tarvitaan käyttöveden lämmittämiseen. Aurinkojärjestelmä kykenee tuottamaan osan tästä lämmöntarpeesta, ja loput saadaan sähköverkosta kyseisessä kohteessa.

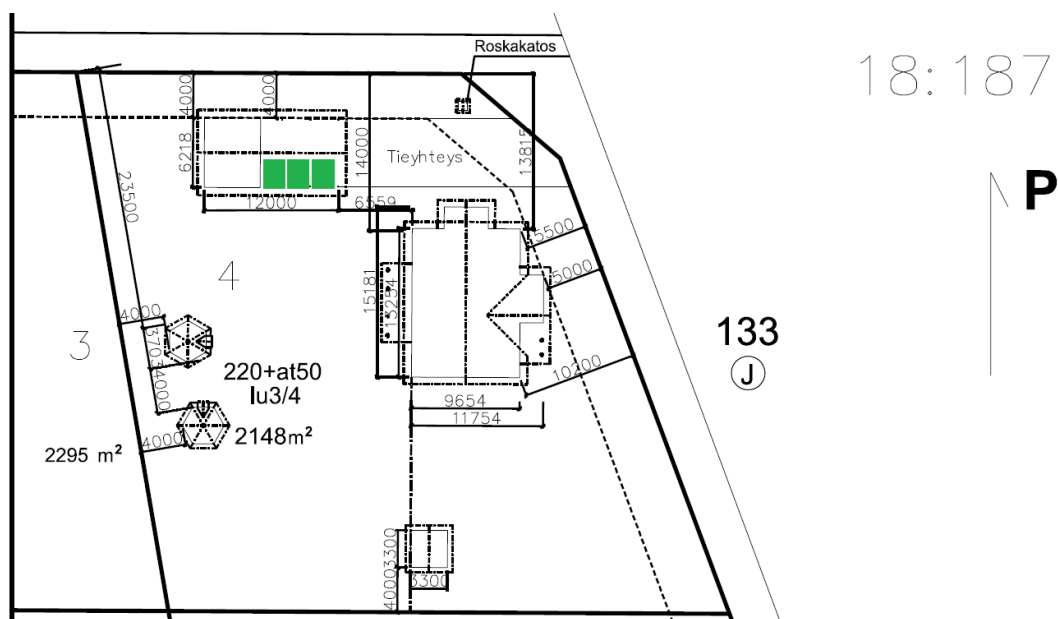
Suurimman hyödyn saavuttamiseksi on hyvä sijoittaa aurinkokeräimet mahdollisimman aurinkoiselle paikalle, kuten talon katolle. Keräimet on hyvä sijoittaa myös siten, etteivät esim. puut tai muu maaston kohouma tai rakennus varjosta keräimiä. Tällä tavalla aurinkoenergiaa saadaan käytettyä mahdollisimman paljon vuodessa. Keräimet tai paneelit on suunnattava mahdollisimman etelään sivusuunnassa. Asennuskulmalla määritellään milloin keräimiä käytetään: jos järjestelmää halutaan käyttää ympäri vuoden, on asennuskulma hyvä asettaa 30–60 asteeseen, kun taas pelkästään kesäkäyttöön tarkoitettuna paras asennuskulma on 14–45 astetta.

Kohteeseen aurinkokeräimien sijoituspaikkaa suunniteltaessa mahdolliset paikat ovat rakennuksen länsipuolen katto, jonka kaltevuus on 1:2 eli 33° tai erillisen autokatoksen katto etelän suunnassa jonka kaltevuus on 1:1,5 eli 26°. Autokatoksen katto on parempi vaihtoehto, sillä auringon keskimääräinen säteilyteho siinä on 1214,1 W/m² vuodessa, kun taas rakennuksen länsipuolen katolla se on 1139,7 W/m² vuodessa. Tarkemmat laskentatiedot edellä mainitusta on liitteessä 1.



KUVA 3. Käyttöveden aurinkolämmityksen toimintaperiaate (7, s. 11).

Alla olevassa kuvassa 4 ovat kohteen rakennukset. Kuva löytyy myös liitteestä 3.



KUVA 4. Asemakuva kohteen rakennuksista sekä aurinkokeräimien asennuspaikka vihreällä.

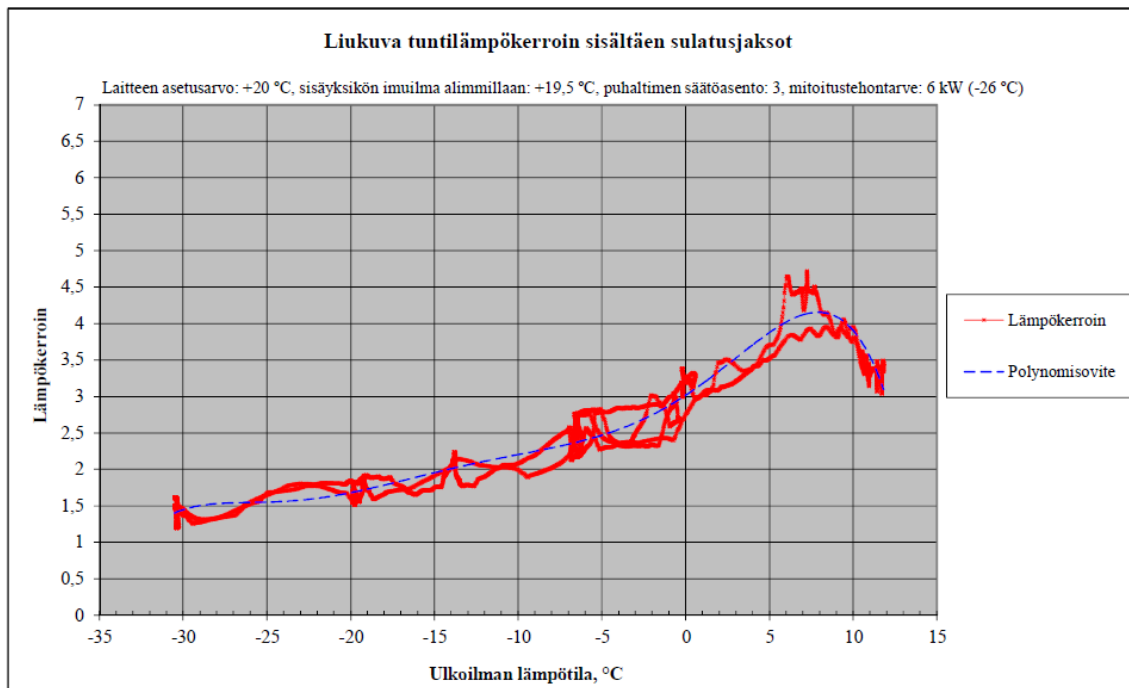
Kohteeseen on valittu 3 kappaleen aurinkokeräimen Savosolar-aurinkokeräinpaketti, jonka kokonaispinta-ala on 6 m². Keräimet asennetaan yllä olevan kuvan mukaisesti. Keräimet ovat tasokeräimiä, joiden hyötysuhde on valmistajan mukaan 92 % (8, s. 2).

3 PARANNUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVAIKUTUKSET

3.1 Ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumpun Mitsubishi FH-35:n lämpökerroin COP on valmistajan mukaan 5,00 (5, s. 7). Käytännössä tätä arvoa ei voida käyttää ilma-ilmalämpöpumppua mitoitettaessa, koska vuoden keskimääräiset ulkoilman lämpötilat vaihtelevat suuresti ja valmistajan ilmoittama COP on todennäköisesti määritetty ideaaleissa olosuhteissa. Tästä johtuen sovelletaan VTT:n tekemää toimintakoetta ja siitä saatuja COP-arvoja tietyillä ulkoilman lämpötiloilla (9, s. 7.).

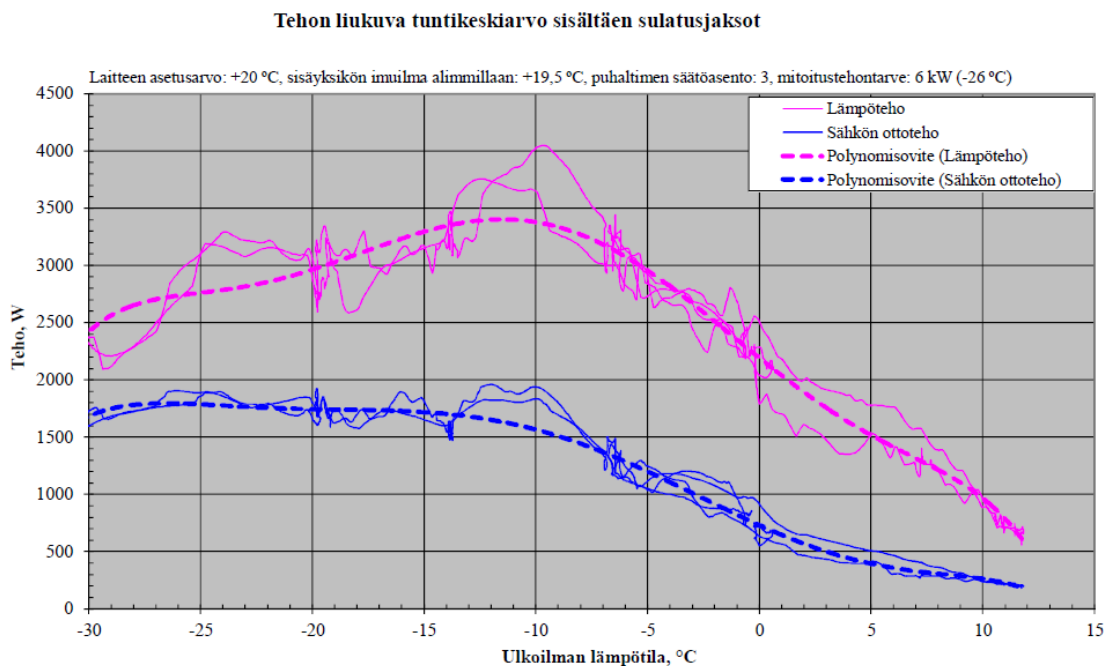
Alla olevan kuvan 5 mukaan lämpökerroin COP vaihtelee selvästi lämpötilan mukaan. Kaaviosta käytetään COP-lukemia eri lämmityskauden kuukausille eri ulkoilman keskimääräisen lämpötilan mukaan laskettuna. Lämmityskausi on tammikuusta toukokuuhun ja syyskuusta aina joulukuuhun saakka. Näin ollen lämmityskausi on 9 kuukautta eli 36 viikkoa. Kuvaa 5 soveltaen arvioidaan lämpökerroin COP ja arvot sijoitetaan taulukkoon 5.



KUVA 5. Mitsubishi FH-35 lämpökerroin COP ulkoilman lämpötilan suhteessa (9, s. 7.).

Jotta saataisiin tarkka kuvaus ilma-ilmalämpöpumpun lämpökertoimesta COP, on hyvä käyttää erilaisia lähteitä ulkoilman lämpötiloista. Laskelmissa käytetään ulkoilman lämpötilojen esiintymistiheyden pysyvyysarvoja säävyöhykkeellä 3 joita sovelletaan ilma-ilmalämpöpumpun mitoituslaskentaan (10, s. 84 taulukko L7.2). Kyseinen taulukko on tähän käyttötarkoitukseen muokattuna myös liitteessä 5. Taulukkoon on laskettu tammi-toukokuun sekä syys-joulukuun väliset tuntimäärät tietyillä lämpötiloilla.

Valmistajan mukaan ilmalämpöpumpun omakäyttöteho on 0,80 kW, mutta käytännössä tätä arvoa ei voida käyttää koska ilmalämpöpumppu ei jatkuvasti käytä tätä nimellistehoä. Tästä syystä käytetään VTT:n tekemästä toimintakokeesta saatuja sähkön ottotehoja jotka löytyvät alla olevasta kuvasta 6. Esimerkiksi ulkoilman lämpötilassa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmalämpöpumppu ottaa sähköä noin 1800 watin verran (9, s. 9). Ulkoilman lämpötilan noustessa sähkön ottoteho pienenee, mutta niin tekee myös saatu lämpöteho. Kuvasta 6 saadut sähkön ottotehot sijoitetaan taulukkoon 5.



KUVA 6. Ilmalämpöpumpun ottama sähköteho ulkoilman lämpötilan suhteessa (9, s. 9).

Esimerkkinä lasketaan ulkolämpötilalle $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ kokonaistuntimäärä vuodessa soveltaen liitteen 5 kaaviota (10, s. 84 taulukko L7.2).

tammikuu

$$(0,0054 - 0,0013) * 744h = 3,05h$$

joulukuu

$$(0,0228 - 0,0188) * 744h = 2,98h$$

Kokonaistuntimäärä

$$3,05h + 2,98h = 6h$$

Kuvasta 5 saadaan lämpötilalle -25 °C lämpökertoimeksi COP noin 1,5. Selvitetään ilmalämpöpumpun käyttämä sähköenergia $Q_{\text{sähkö}}$, kun pumpun ottama sähköteho kuvan 6 mukaan on noin 1800 W.

$$Q_{\text{sähkö}} = P_{\text{otto}} * t_{\text{vuosi}} = 1,8 \text{ kW} * 6h = 10,85 \text{ kWh}$$

Toisinaan ilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa enemmän kuin rakennuksella on lämpöenergialle tarvetta. Tämä huomioidaan selvittämällä rakennuksen konduktanssi G käyttämällä aiemmin luvussa 2.1 taulukkoon 2 laskettua rakennuksen normeeratun kulutuksen keskiarvoa 10 910,8 kWh. Lukema 132151,1 °C, h on otettu taulukosta 5.

$$G = \frac{10\,910,8 \text{ kWh}}{132151,1 \text{ °C, h}} = 0,08256309$$

TAULUKKO 4. Ilmalämpöpumpulla lämmitettävä pinta-ala [m²].

ALAKERTA

PUOLIKSI (A*0,5)		KOKONAAN	
MH	11	OH	25,9
KU	6	KT	16,8
MH	9,6	ET	15,5
WC	2,1	MH	13,5
VH	1,6	yht. m2	71,7
VH	1,2		
KH	9,5		
PH	5,3		
WC	1,8		
SA	3,4		
yht. m2	25,75		

A _{ILP}	97,45	m ²
------------------	-------	----------------

Rakennuksen konduktanssia G käytetään, kun lasketaan lämmitysenergian kulutuksen määrää Q_L , joka voidaan korvata takan käytöllä tai ilmalämpöpumpulla. Energian kulutuksen määrä Q_L selvitetään kertomalla rakennuksen pinta-alojen suhde lämpötilaerolla ja ajalla sekä rakennuksen konduktanssilla G alla olevan kaavan 2 mukaisesti.

$$Q_L = \frac{A_{ILP}}{A_{kok}} * G * (T_s - T_u) * t$$

KAAVA 2

$$Q_L = \frac{97,45 \text{ m}^2}{163,4 \text{ m}^2} * 0,08256309 * (21 - (-25))^\circ\text{C} * 6h = 13,6 \text{ kWh}$$

jossa A_{ILP} = ilmalämpöpumpulla lämmitettävä pinta-ala = 97,45 m²
 A_{kok} = koko rakennuksen pinta-ala = 163,4 m²
 T_s = sisälämpötila 21 °C
 T_u = tarkasteltava ulkolämpötila -25 °C
 t = 6h (tuntimäärä vuodessa, kun ulkoilman lämpötila on -25 °C)
 G = rakennuksen konduktanssi

TAULUKKO 5. Ilmalämpöpumpulla tuotettu energia.

Ts	21	[°C]						
Tu [°C]	tunnit/a [h]	arvio COP	Wotto [kW]	Qsähkö [kWh]	(Ts-Tu)*t	QL [kWh]	Qlämmitys [kWh]	Qilmainen [kWh]
-25	6	1,5	1,80	10,85	277,2	13,6	13,6	4,5
-24	14	1,5	1,75	24,61	632,8	31,2	31,2	10,4
-23	14	1,5	1,75	24,35	612,2	30,1	30,1	10,0
-22	12	1,6	1,75	21,08	518,1	25,5	25,5	9,6
-21	15	1,6	1,75	26,22	629,3	31,0	31,0	11,6
-20	43	1,65	1,75	75,26	1763,3	86,8	86,8	34,2
-19	61	1,7	1,75	106,78	2440,7	120,2	120,2	49,5
-18	70	1,7	1,75	122,37	2727,1	134,3	134,3	55,3
-17	38	1,75	1,75	66,61	1446,3	71,2	71,2	30,5
-16	47	1,8	1,75	82,29	1739,8	85,7	85,7	38,1
-15	51	1,9	1,70	86,58	1833,5	90,3	90,3	42,8
-14	32	2	1,70	54,45	1121,1	55,2	55,2	27,6
-13	43	2,1	1,70	73,09	1461,9	72,0	72,0	37,7
-12	35	2,15	1,65	57,79	1155,8	56,9	56,9	30,4
-11	54	2,2	1,65	89,11	1728,2	85,1	85,1	46,4
-10	81	2,25	1,60	129,60	2511,0	123,6	123,6	68,7
-9	135	2,3	1,50	202,31	4046,3	199,2	199,2	112,6
-8	163	2,35	1,40	228,34	4729,9	232,9	232,9	133,8
-7	213	2,4	1,35	287,58	5964,6	293,7	293,7	171,3
-6	218	2,45	1,30	283,40	5885,9	289,8	289,8	171,5
-5	234	2,5	1,20	280,66	6081,1	299,4	299,4	179,7
-4	294	2,5	1,10	323,49	7352,0	362,0	362,0	217,2
-3	325	2,6	1,00	324,94	7798,5	384,0	384,0	236,3
-2	339	2,7	0,90	305,19	7799,3	384,0	384,0	241,8
-1	360	2,9	0,80	288,09	7922,5	390,1	390,1	255,6
0	372	3	0,70	260,33	7809,8	384,6	384,6	256,4
1	438	3,1	0,65	284,80	8763,0	431,5	431,5	292,3
2	333	3,4	0,60	199,57	6319,7	311,2	311,2	219,7
3	261	3,5	0,50	130,29	4690,6	231,0	231,0	165,0
4	276	3,7	0,40	110,42	4692,7	231,1	231,1	168,6
5	231	3,8	0,35	81,01	3703,2	182,3	182,3	134,4
6	303	4	0,30	90,96	4548,2	224,0	224,0	168,0
7	263	4,2	0,30	78,85	3679,5	181,2	181,2	138,0
8	202	4,2	0,30	60,64	2627,8	129,4	129,4	98,6
9	169	4,1	0,30	50,67	2026,8	99,8	99,8	75,5
10	142	3,9	0,25	35,56	1564,6	77,0	77,0	57,3
11	155	3,4	0,20	30,94	1546,9	76,2	76,2	53,8
	6042	2,59				6507,1	6507,1	4054,5

Ilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia $Q_{lämmitys}$ selvitetään kertomalla lämpökerroin COP ilmalämpöpumpun ottamalla sähköteholla $Q_{sähkö}$ kun ulkoilma lämpötila on -25 °C :ssa.

$$Q_{lämmitys} = COP * Q_{sähkö} = 1,5 * 10,85 \text{ kWh} = 16,3 \text{ kWh}$$

Tuotettu lämmitysenergia $Q_{lämmitys}$ on selkeästi suurempi kuin tarvittava lämmitysenergia $Q_L = 13,6 \text{ kWh}$. Ilmalämpöpumpulla saadaan tuotettua enemmän lämpöenergiaa kuin on tarvetta joten käytetään oletusta $Q_{lämmitys} = Q_L$, jolloin ilmalämpöpumppu ei ole käynnissä koko ajan vaan vain silloin kun sitä tarvitaan lämmitykseen. Yllä olevia laskuja on jatkettu taulukkoon 5.

Ilmalämpöpumpulla tuotettu ilmaisenergia $Q_{ilmainen}$ selvitetään edellisistä arvoista vähentämällä tuotetun lämmitysenergian määrästä $Q_{lämmitys}$ sen kuluttama sähköenergia jakamalla $Q_{lämmitys}$ lämpökertoimella COP:

$$Q_{ilmainen} = Q_{lämmitys} - \frac{Q_{lämmitys}}{COP} = 13,6 \text{ kWh} - \frac{13,6 \text{ kWh}}{1,5} = 4,5 \text{ kWh}$$

Näin ollen vuodessa saatu ilmaisenergia ulkolämpötilassa $T_u -25\text{ °C}$ $Q_{ilmainen}$ on $4,5 \text{ kWh}$. Näitä laskuja sovelletaan edelleen ja sijoitetaan taulukkoon 5. Ilmalämpöpumpun kuluttama sähköenergia lasketaan vähentämällä energiatarpeesta sen tuottama ilmaisenergian määrä.

$$6507,1 \text{ kWh} - 4054,5 \text{ kWh} = 2452,6 \text{ kWh}$$

Vuositasolla arvioiden lämpökerroin COP on $2,59$ sekä ilma-ilmalämpöpumpun sähkönkulutus on $2452,6 \text{ kWh}$ ja saatu lämpöenergia on $6507,1 \text{ kWh}$. Ilmaisenergian $Q_{ilmainen}$ määrä vuositasolla on $4054,5 \text{ kWh}$.

Vuodessa ilma-ilmalämpöpumpusta saadaan teoriassa $4054,4 \text{ kWh}$ energiaa lämmitykseen, kun lämpökertoimen COP ja pumpun ottaman sähkötehon todellinen vaihtelu eri ulkoilman lämpötiloissa on otettu huomioon. Laskelmat on esitetty myös liitteessä 4.

3.1.1 Investointikustannukset

Ilmalämpöpumpun hinta on 1595 € sekä siihen lisänä tuleva asennuskustannuksen perushinta 595 €. Näin ollen investointikustannuksen kokonaissummaksi tulee 2190 €. (11; 12.)

3.1.2 Vaikutus käyttökustannuksiin

Ilma-ilmalämpöpumpun asennushinta tarvikkeineen on 2190 €. Luvussa 3.2 selviää, että ilmalämpöpumpulla saadaan 4054,5 kWh ilmaisenergiaa vuodessa. Kohteen energiankulutus on taulukossa 1 luvussa 2.1.

Alla on laskettuna kohteen sähköenergian säästö ilma-ilmalämpöpumpulla vuodessa, kun sitä käytetään rakennuksen lämmitykseen. Sähköenergian hintoina käytetään alla olevan taulukon 6 mukaisia lukemia.

TAULUKKO 6. Sähköenergian keskimääräinen hinta [snt/kWh].

Energian hinta	snt/kWh
Keskihinta siirto	13,58
Keskihinta myynti	13,64
	27,22

Näin ollen ilmaisenergian määrä ilma-ilmalämpöpumpulla on 4054,5 kWh ja energian keskimääräinen hinta on 27,22 snt/kWh eli 0,2722 €/kWh. Näistä saadaan laskettua ilmaisenergian määrä euroina:

$$0,2722 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 4054,5 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 1103,65\text{€}$$

Ilma-ilmalämpöpumpulla säästetään siis 1103,65 €:n edestä sähköenergiaa vuodessa lämmityskäytössä.

3.1.3 Takaisinmaksuaika

Ilmaisenergia ilmalämpöpumpusta on siis 4054,5 kWh/a ja euroina lukema on 1103,65 €. Koska ilma-ilmalämpöpumpun hinta asennuksineen maksaa 2190 €, maksaa ilmalämpöpumppu itsensä takaisin hieman alle kahdessa vuodessa eli noin 24 kuukaudessa.

$$\frac{2190 \text{ €}}{1103,65 \text{ €}} = 1,98a$$

3.2 Takka

Luvussa 3.1 selvitettiin Q_L eli lämmitysenergian kulutus, joka voidaan korvata takan käytöllä tai ilmalämpöpumpulla. Tätä lukemaa käytetään kun lasketaan takasta saatava energiamäärä, joka käytetään lämmitykseen tulevaisuudessa.

Takan lämmittämä pinta-ala on vaihteleva koko rakennusta ajatellen. Sen voidaan ajatella lämmittävän osan alakerran huoneista kokonaan, mutta vain osan noin puoliksi, jolloin huoneiden pinta-ala kerrotaan lukemalla 0,5. Alla olevaan taulukkoon 7 on laskettu havainnollistamaan pinta-ala, jonka takan voidaan olettaa lämmittävän.

TAULUKKO 7. Takan lämmittävä pinta-ala [m^2].

PUOLIKSI (A*0,5)		KOKONAAN	
MH	11	OH	25,9
KU	6	KT	16,8
MH	9,6	ET	15,5
WC	2,1	MH	13,5
VH	1,6	yht. m^2	71,7
VH	1,2		
KH	9,5		
PH	5,3		
WC	1,8		
SA	3,4		
yht. m^2	25,75		

A_{takka}	97,45	m^2
-------------	-------	-------

Taulukossa 8 on esitetty aiemmin mainittu Q_L eli lämmitysenergian kulutus, joka voidaan korvata takan käytöllä tai ilmalämpöpumpulla. Se on tässä tapauksessa laskettu kertomalla aiemmin luvussa 3.1 laskettu rakennuksen konduktanssi G pinta-alojen suhteella (takalla lämmitettävä pinta-ala A_{takka} jaettuna rakennuksen koko pinta-alalla A_{kok}) sekä lämpötilaerolla ja ajalla alla olevan kaavan 3 mukaisesti.

$$Q_L = \frac{A_{takka}}{A_{kok}} * G * (T_s - T_u) * t \quad \text{KAAVA 3}$$

$$Q_L = \frac{97,45 \text{ m}^2}{163,4 \text{ m}^2} * 0,08256309 * 277,2 \text{ °C}, h = 13,6 \text{ kWh}$$

jossa T_s = sisälämpötila 21 °C
 T_u = tarkasteltava ulkolämpötila -25 °C
 t = 6h (tuntimäärä vuodessa, kun ulkoilman lämpötila on -25 °C)
 G = rakennuksen konduktanssi
 A_{takka} = takalla lämmitettävä pinta-ala = 97,45 m²
 A_{kok} = koko rakennuksen pinta-ala = 163,4 m²

TAULUKKO 8. Takan käytön lisäämisellä saatava lämmitysenergia

Ts	21	[°C]			
Tu [°C]	tunnit/a [h]	(Ts-Tu)*t [°C, h]	QL [kWh]	Qtakka [kWh]	mänty [kg]
-25	6	277,2	13,6	9,1	2,7
-24	14	632,8	31,2	21,3	6,4
-23	14	612,2	30,1	21,1	6,3
-22	12	518,1	25,5	18,2	5,5
-21	15	629,3	31,0	22,7	6,8
-20	43	1763,3	86,8	65,1	19,6
-19	61	2440,7	120,2	92,3	27,8
-18	70	2727,1	134,3	105,8	31,9
-17	38	1446,3	71,2	57,6	17,3
-16	47	1739,8	85,7	71,1	21,4
-15	51	1833,5	90,3	77,1	23,2
-14	32	1121,1	55,2	48,5	14,6
-13	43	1461,9	72,0	65,1	19,6
-12	35	1155,8	56,9	53,0	16,0
-11	54	1728,2	85,1	81,7	24,6
-10	81	2511,0	123,6	122,6	36,9
-9	135	4046,3	199,2	199,2	60,0
-8	163	4729,9	232,9	232,9	70,1
-7	213	5964,6	293,7	293,7	88,5
-6	218	5885,9	289,8	289,8	87,3
-5	234	6081,1	299,4	299,4	90,2
-4	294	7352,0	362,0	362,0	109,0
-3	325	7798,5	384,0	384,0	115,7
-2	339	7799,3	384,0	384,0	115,7
-1	360	7922,5	390,1	390,1	117,5
0	372	7809,8	384,6	384,6	115,8
1	438	8763,0	431,5	431,5	130,0
2	333	6319,7	311,2	311,2	93,7
3	261	4690,6	231,0	231,0	69,6
4	276	4692,7	231,1	231,1	69,6
5	231	3703,2	182,3	182,3	54,9
6	303	4548,2	224,0	224,0	67,5
7	263	3679,5	181,2	181,2	54,6
8	202	2627,8	129,4	129,4	39,0
9	169	2026,8	99,8	99,8	30,1
10	142	1564,6	77,0	77,0	23,2
11	155	1546,9	76,2	76,2	22,9
	6042	132151,1	6507,1	6326,5	1905,6
			Lisäys [kWh]	6326,5	
			Lisäys [kg]	1905,6	

Taulukossa 8 oleva Q_{TAKKA} tarkoittaa energiamäärää, joka takalla voidaan tuottaa, kun siinä poltetaan lisämäärä mäntyhalkoja ulkoilman lämpötilassa -25 °C . Takassa on mahdollista polttaa 17 kg mäntyhalkoja, joten lisättävä puiden määrä selvitetään vähentämällä maksimimäärästä 17 kg tähän mennessä käytettyjen mäntyhalkojen määrä 10 kg, joka selvitetiin luvussa 2.2.2. Tällä saadaan laskettua takassa mahdollinen tuotettava lämpöenergian määrä Q_{TAKKA} . Mäntyhalkojen lämpöarvo on $4,15\text{ kWh/kg}$ ja takan hyötysuhde on 80 % (13, s. 16, 27).

$$Q_{TAKKA} = \frac{6\text{ h}}{24\text{ h}} * \frac{(17 - 10)\text{ kg} * 4,15 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}}{0,80} = 9,1\text{ kWh}$$

Takan käytöllä saadaan 9,1 kWh lämmitysenergian lisäys, mikä tarkoittaa puuhalkojen määränä noin 2,7 kg:n lisäystä puun polttomäärään ulkoilman lämpötilan ollessa -25 °C . Puumäärä lasketaan jakamalla todellinen takan tuottama lämmitysenergian määrä 9,1 kWh mäntyhalkojen lämpöarvolla $4,15\text{ kWh/kg}$ ja takan hyötysuhteella 80 % (13, s. 16, 27). Vuositasolla takassa tulisi polttaa noin 1905,6 kg lisää mäntyhalkoja, joista saadaan 6326,5 kWh lämmitysenergiaa, joka löytyy taulukosta 8.

$$\frac{9,1\text{ kWh}}{4,15\text{ kWh/kg}} * \frac{1}{0,80} = 2,7\text{ kg}$$

Taulukosta 8 näkee, että jo lämpötilassa -9 °C takalla voidaan tuottaa tarvittava energiamäärä Q_L . Tästä eteenpäin pelkästään takan käytöllä saadaan rakennus lämmitettyä eikä ostettavaa sähköenergiaa tarvita.

Takan käytön lisäämisellä ei saada aivan katettua tarvittavaa lämpöenergian määrää Q_L , jolloin kylmimmillä lämpötiloilla joudutaan käyttämään sähköenergiaa lämmitykseen. Ostettava sähköenergian määrä lasketaan vähentämällä tarvittavasta lämpöenergian määrästä Q_L takalla tuotettu lämpöenergia Q_{TAKKA} .

$$Q_L - Q_{TAKKA} = 6507,1\text{ kWh} - 6326,5\text{ kWh} = 180,6\text{ kWh}$$

3.2.1 Investointikustannukset

Kohteen asukkaat saavat polttopuut omasta metsästään vuotuisesti, joten investointikustannuksia ei oteta luvun 3.2.2 laskennassa huomioon. Myöskään takan huoltokustannuksia ei oteta tässä tapauksessa huomioon.

3.2.2 Vaikutus käyttökustannuksiin

Kohteen asukkaat saavat polttopuut omasta metsästään vuotuisesti, joten hankintakustannuksia ei ole. Sähkön säästö voidaan laskea puusta saadun lisäenergian kautta. Nämä laskelmat on esitetty alla käyttäen tiedossa olevia sähköenergian hintoja kohteessa. Luvussa 3.2 laskettiin että takasta saadaan käytettäväksi 6326,5 kWh ilmaista lämpöenergiaa. Tästä saadaan laskettua ilmaisenergian määrä euroissa alla olevan laskun mukaisesti. Sähköenergian hintoina käytetään alla olevan taulukon 9 mukaisia lukemia.

TAULUKKO 9. Sähköenergian keskimääräinen hinta [snt/kWh].

Energian hinta	snt/kWh
Keskihinta siirto	13,58
Keskihinta myynti	13,64
	27,22

$$6326,5 \text{ kWh} * 27,22 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 172207 \text{ snt} = 1722,07 \text{ €}$$

Näin ollen vuodessa voidaan saada noin 1722,07 € säästö sähkönkulutuksessa, mikäli takassa poltetaan 1905,6 kg lisää mäntyhalkoja.

3.3 Aurinkojärjestelmä

Seuraavat laskelmat on tehty Aurinko-oppaan mukaan (7). Liitteessä 1 olevassa laskennassa on määritetty auringon keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa, kun asennuskulma on 26° ja keräimet ovat suunnattu etelään. Auringon keskimääräinen säteilyteho vuodessa nelimetriä kohden on 1214,1 W. Tätä arvoa käytetään seuraavissa laskelmissa aurinkojärjestelmää mitoittaessa.

Aurinkokeräimien hyötysuhde $\eta_0 = 92\%$ sekä niiden hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1 = 1,8$ W/m²K. Keräimen häviökerroin $a_2 = 0,036$ W/m²K, joka vastaa keräinpinta-alaa.

Selvitetään laskennallisesti kohteen lämpimän käyttöveden häviötön lämmitystarve kuukaudessa, kun lämpimän käyttöveden tarve on 50 l/vrk/henkilö ja asukkaita on kolme. Käyttöveden kokonaistarve vuorokaudessa on siis 150 litraa. Lämmin käyttövesi on lämpötilassa 60 °C ja kylmän veden lämpötila 8 °C. Varaajan tilavuus on 300 litraa. Veden ominaislämpökapasiteetin arvona voidaan pitää arvoa 4,2 kJ/kgK sen tilavuuden ollessa 1 kg/l.

Alla olevasta taulukosta 10 selviää auringon säteilyteho kuukausittain, mikä on esitetty myös liitteessä 1. Näitä lukemia käytetään, kun lasketaan lämpimän käyttöveden kuukausittaista tehontarvetta sekä sen häviöllistä tehoa. Tämän luvun laskut on esitetty myös liitteessä 2.

TAULUKKO 10. Auringon säteilyteho kuukausittain.

	Jkylä	KK	Säteily [kWh/m ² /kk]	päivät/kk [d]	tunnit/kk [h]	keskim. Säteilyteho/kk [W/m ²]	
Tammikuu	5,4	1	5,4	31	744	7,3	
Helmikuu	20,1	1	20,1	28	672	29,9	
Maaliskuu	51,9	1	51,9	31	744	69,8	
Huhtikuu	102,9	1	102,9	30	720	142,9	
Toukokuu	171,4	1	171,4	31	744	230,4	
Kesäkuu	159,1	1	159,1	30	720	221,0	
Heinäkuu	158,2	1	158,2	31	744	212,6	
Elokuu	113,9	1	113,9	31	744	153,1	
Syyskuu	71,1	1	71,1	30	720	98,8	
Lokakuu	25,3	1	25,3	31	744	34,0	
Marraskuu	7,3	1	7,3	30	720	10,1	
Joulukuu	3,2	1	3,2	31	744	4,3	
					Yhteensä	1214,1	W/m ²

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen häviötön lämmityksen tehontarve lasketaan kaavalla 4 (7, s. 29).

$$q_{vrk} * \sigma * t_d * cp_v * \Delta T$$

KAAVA 4

; jossa q_{vrk} = käyttöveden kulutus vuorokautta kohden [l/vrk]

σ = veden tiheys [kg/l]

t_d = vuorokausien lukumäärä kuukaudessa [d]

cp_v = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

ΔT = käyttöveden lämpötilaero [°C]

Käytetään esimerkkinä tammikuuta yllä olevalle kaavalle 4:

$$150 \frac{l}{vrk} * 1 \frac{kg}{l} * 31d * 4,20 \frac{kJ}{kgK} * (60 - 8)^\circ C * \frac{1h}{3600s} = 282,10 kWh/kk$$

Kohteessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertojohtoa ja putkieristykset ovat tavanomaiset. Näin ollen jotta saadaan selvitettyä jakeluhäviöiden suuruus, täytyy edellä oleva tulos kertoa arvolla 1/0,89 (14). Tällä saadaan häviöllinen lämmityksen tarve Q_{tarve} , jotka sijoitetaan alla olevaan taulukkoon 11.

$$Q_{tarve} = 282,10 \frac{kWh}{kk} * \frac{1}{0,89} = 316,97 kWh/kk$$

TAULUKKO 11. Käyttöveden tarve häviöineen kuukausittain.

	päivät/kk d/kk	LVK tarve kWh/kk	Q_{tarve} kWh/kk
Tammikuu	31	282,10	316,97
Helmikuu	28	254,80	286,29
Maaliskuu	31	282,10	316,97
Huhtikuu	30	273,00	306,74
Toukokuu	31	282,10	316,97
Kesäkuu	30	273,00	306,74
Heinäkuu	31	282,10	316,97
Elokuu	31	282,10	316,97
Syyskuu	30	273,00	306,74
Lokakuu	31	282,10	316,97
Marraskuu	30	273,00	306,74
Joulukuu	31	282,10	316,97
	365	3321,50	3732,02

Seuraavaksi selvitetään koko keräinpiirille lämpöhäviökerroin U_C . Jotta se voidaan tehdä, täytyy laskea keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin U_L kaavalla 5 (7, s. 12).

$$U_L = 5 + 0,5 * A$$

KAAVA 5

; jossa $A = 6 \text{ m}^2$ = aurinkokeräinten pinta-ala [m^2]

$$U_L = 5 + 0,5 * 6 \text{ m}^2 = 8 \text{ W/K}$$

Koko keräinpiirin lämpöhäviökertoimen U_C laskenta, kaava 6 (7, s. 12).

$$U_C = a_1 + 40 * a_2 + \frac{U_L}{A}$$

KAAVA 6

; jossa $a_1 = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ = keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan, joka vastaa keräinpinta-alaa [$\text{W/m}^2\text{K}$]

$a_2 = 0,036 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ = keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan, joka vastaa keräinpinta-alaa [$\text{W/m}^2\text{K}$]

Jolloin keräinpiirin lämpöhäviökertoimeksi saadaan.

$$U_C = 1,8 \frac{W}{\text{°Cm}^2} + 40 * 0,036 \frac{W}{\text{°Cm}^2} + \frac{8 \frac{W}{K}}{6m^2} = 4,5733 W/m^2K$$

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin C_{cap} lasketaan kaavasta 7 (7, s. 13).

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

;jossa $V_{tod} = 300l$ = varaajan suunniteltu ominaistilavuus [l]

$V_{ref} = 75 l / \text{keräin-m}^2$ = referenssitilavuus [l/keräin-m²]

$$C_{cap} = \left(\frac{300l}{75l} \right)^{-0,25} = 1,1067$$

Seuraavaksi lasketaan referenssilämpötilaero kaavan 8 mukaisesti (7, s. 13).

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad \text{KAAVA 8}$$

;jossa θ_e = tarkasteltavan ajanjakson keskimääräinen ulkolämpötila kuukausitasolla (1, s. 31.) [°C]

θ_{ref} = vertailulämpötila joka riippuu sovelluksesta ja varastotyypistä [°C]

Jotta referenssilämpötilaero voidaan laskea, täytyy ensin selvittää θ_{ref} kaavalla 9 (7, s. 13).

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad \text{KAAVA 9}$$

; jossa θ_{hw} = lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään tässä arvoa $\theta_{hw} = 40 \text{ °C}$

θ_{cw} = kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa $\theta_{cw} = 8 \text{ °C}$

Yllä olevat lämpötilat lämpötiloille θ_{hw} ja θ_{cw} pätevät, kun lasketaan ainoastaan käyttöveden lämmitystä aurinkokeräimillä, jolloin saadaan vertailulämpötila θ_{ref} laskettua kaavalla 9.

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * 40^{\circ}\text{C} + 3,86 * 8^{\circ}\text{C} - 1,32 * (-8^{\circ}\text{C}) = 100,24^{\circ}\text{C}$$

Laskettu arvo θ_{ref} sijoitetaan referenssilämpötilaeron laskentakaavaan, kun tammikuun keskimääräinen ulkolämpötila on $\theta_e = -8$ [$^{\circ}\text{C}$] (kaava 8).

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e = 100,24^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C}) = 108,24^{\circ}\text{C}$$

Edellä mainituista arvoista saadaan taulukko 12, jossa referenssilämpötilaero lasketaan joka kuukaudelle.

TAULUKKO 12. vertailulämpötilan θ_{ref} ja referenssilämpötilaeron ΔT laskenta kuukausittain

	θ_e	θ_{ref}	ΔT
Tammikuu	-8	100,24	108,24
Helmikuu	-7,1	99,05	106,15
Maaliskuu	-3,53	94,34	97,87
Huhtikuu	2,42	86,49	84,07
Toukokuu	8,84	78,01	69,17
Kesäkuu	13,39	72,01	58,62
Heinäkuu	15,76	68,88	53,12
Elokuu	13,76	71,52	57,76
Syyskuu	9,18	77,56	68,38
Lokakuu	4,07	84,31	80,24
Marraskuu	-1,76	92,00	93,76
Joulukuu	-5,92	97,49	103,41
koko vuosi	3,43	85,15	81,72

Seuraavaksi selvitetään dimensiottomat suureet X (häviöt/tarve – suhde) ja Y (tuotto/tarve – suhde) laskentakaavoista (kaava 10 ja 11) kuukausittain, joita käytetään kaavaan 9, jossa lasketaan aurinkojärjestelmän energiantuotto kuukausitasolla

Dimensiottoman suureen X eli häviöiden ja tarpeen suhteen laskenta kaavalla 10 (7, s. 11).

$$X = \frac{A * U_c * n_{kierto} * \Delta T * t_h * C_{cap}}{Q_{tarve,A}}$$

KAAVA 10

jossa A = aurinkopaneelien pinta-ala [m^2], käytetään arvoa $A = 6 m^2$
 U_c = keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m^2K], käytetään kaavasta 6 saatua arvoa
 $U_c = 4,5733 W/m^2K$
 η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde, käytetään arvoa 0,8
 ΔT = referenssilämpötilaero [$^{\circ}C$], joka saadaan taulukosta 12
 t_h = tarkastelujakson pituus kuukausitasolla [h], tammikuussa $31d * 24h = 744h$
 c_{cap} = varaajan kapasiteetin korjauskerroin = 1,1067 (kaavasta 7)
 $Q_{tarve,A}$ = lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkokeräinjärjestelmään [kWh],
 taulukosta 11

$$X = \frac{6m^2 * 4,5733 \frac{W}{m^2K} * 0,8 * 108,24 ^{\circ}C * 744h * 1,1067}{316,97 kWh} = 6,1723$$

Dimensiottoman suureen Y eli tuoton ja tarpeen suhteen laskenta kaavalla 11 (7, s. 13).

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_o * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad \text{KAAVA 11}$$

jossa IAM = keräimeen liittyvä kohtauskulmakerroin, lasikatteiselle tasokeräimelle = 0,94
 η_o = keräimen hyötysuhde, tässä 92 % eli käytetään arvoa 0,92
 $Q_{keräin}$ = auringon säteilyenergia keräimen pinnalle tarkasteltavalla ajanjaksolla
 [kWh/m²/kk], käytetään tammikuussa arvoa 5,4 kWh/m²/kk

$$Y = \frac{6m^2 * 0,94 * 0,92 * 0,8 * 5,4 kWh/m^2}{316,94 kWh/kk} = 0,0707$$

Suureita X ja Y käytetään kaavassa 12 kun lasketaan aurinkojärjestelmästä saatava tuotto $Q_{tuotto,A}$ kuukausittain (7, s. 11).

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

jossa c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin. Käytetään arvoa $c_{tyyppi}=1$
a, b, c, d, e ja f ovat myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia:
a= 1,029
b= -0,065
c= -0,245
d= 0,0018
e= 0,0215
f= 0

$$Q_{tuotto,A} = 1 * (1,029 * 0,0707 + (-0,065 * 6,1723) + (-0,245 * 0,0707^2) + 0,0018 * 6,1723^2 + 0,0215 * 0,0707^3 + 0 * 6,1723^3) * 316,97kWh$$

$$= -82,751 kWh$$

Yllä oleva tulos -82,751 kWh laskettuna tammikuun arvoilla tarkoittaa sitä, ettei aurinkokeräinjärjestelmästä saada lainkaan hyötyä, jolloin merkitään tälle kuukaudelle arvoksi 0 kWh. Tällöin keräinjärjestelmää ei käytetä. Laskuja jatketaan muille kuukausille taulukkoon 13.

TAULUKKO 13. Keräinjärjestelmän vuosituotto [kWh/a].

	X	Y	Qtuotto brutto	Qtuotto netto
Tammikuu	6,1723	0,0707	-82,751	0
Helmikuu	6,0532	0,2914	-13,711	0
Maaliskuu	5,5809	0,6797	90,739	90,74
Huhtikuu	4,7937	1,3925	228,720	228,72
Toukokuu	3,9444	2,2447	345,527	316,97
Kesäkuu	3,3425	2,1531	336,556	306,74
Heinäkuu	3,0289	2,0718	345,839	316,97
Elokuu	3,2935	1,4917	274,678	274,68
Syyskuu	3,8994	0,9622	170,646	170,65
Lokakuu	4,5755	0,3313	17,466	17,47
Marraskuu	5,3467	0,0988	-60,366	0
Joulukuu	5,8971	0,0419	-88,123	0
			vuosituotto	1723 kWh/a

Laskennasta saatujen tulosten mukaan keräinjärjestelmää ei ole kannattavaa käyttää tammikuussa, helmikuussa eikä vuoden lopussa marraskuussa ja joulukuussa. Laskettu vuosituotto on näin ollen 1723 kWh/a, jota käytetään hyväksi käyttöveden lämmitykseen.

Seuraavaksi selvitetään aurinkojärjestelmän pumpun sähköenergiankulutus $W_{aurinko,pumput}$ kaavalla 13 (7, s. 14).

$$W_{aurinko,pumput} = \Sigma(P_{pumppu,i} * t_{pumppu,i}) \quad \text{KAAVA 13}$$

jossa $P_{pumppu,i}$ = pumpun teho [kW], joka lasketaan kaavalla 11
 $t_{pumppu,i}$ = pumpun käyttöaika tunteina [h], käytetään arvoa 2000 h/a

Pumpun tehon suunnitteluarvona käytetään kaavasta 14 laskettua tehoa:

$$P_{pumppu} = (50 + 5 * A_{aurinkokeräin})/1000 \quad \text{KAAVA 14}$$

jossa $A_{aurinkokeräin}$ = aurinkokeräinjärjestelmään kytkettyjen keräimien pinta-ala [m²],
tässä käytetään arvoa $A_{aurinkokeräin} = 6 \text{ m}^2$

$$P_{pumppu} = \frac{50+5*6m^2}{1000} = 0,080 \text{ kW}$$

Sijoitetaan kaavasta 14 saatu arvo kaavaan 13, jossa lasketaan aurinkojärjestelmän pumpun sähköenergian kulutus vuositasolla (7, s. 14):

$$W_{aurinko,pumput} = \left(0,080 \text{ kW} * 2000 \frac{\text{h}}{\text{a}}\right) = 0,160 \text{ kWh/a} \quad \text{KAAVA 13}$$

3.3.1 Investointikustannukset

Aurinkokeräinpaketin kustannushinta on 3510 €. Se sisältää tarvittavat tarvikkeet jotta järjestelmä saadaan toimimaan. Hinta sisältää toimituskulut, mutta ei asennuskuluja (15).

3.3.2 Vaikutus käyttökustannuksiin

Aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa siis 1723 kWh ilmaisenergiaa vuodessa, joka selviää luvun 3.3 taulukosta 11. Lukemasta 1723 kWh on vähennetty kaavoilla 10 ja 11 lasketut kiertopumpun energiantarve sekä aurinkojärjestelmän pumpun sähköenergian kulutus. Alla on energian

keskihinta joka kerrotaan ilmaisenergian määrällä. Sähköenergian hintoina käytetään alla olevan taulukon 14 mukaisia lukemia.

TAULUKKO 14. Sähköenergian keskimääräinen hinta [snt/kWh].

Energian hinta	snt/kWh
Keskihinta siirto	13,58
Keskihinta myynti	13,64
	27,22

Ilmaisenergia 1723 kWh/a kerrotaan sähköenergian hinnalla, jonka keskiarvona käytetään lukemaa 27,22 snt/kWh. Näin ollen aurinkojärjestelmän tuottama ilmaisenergian määrä vuodessa on 1723 kWh ja tämä muutettuna euroiksi on 469,00 €.

$$1723 \frac{kWh}{a} * 27,22 \frac{snt}{kWh} = 469,00 \text{ €}$$

3.3.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaikaa selvittäessä käytetään luvussa 3.3.1 ilmoitettua 3510 € investointikustannusta ja luvussa 3.3.2 laskettua ilmaisenergian euromäärää 469,00 €. Näin ollen takaisinmaksuajaksi saadaan 7,48 vuotta eli noin 90 kuukautta.

$$\frac{3510 \text{ €}}{469,00 \text{ €}} = 7,48 a$$

4 PARANNUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Kohteeseen oli alun perin suunniteltu kolme eri ratkaisuvaihtoehtoa: käyttöveden aurinkolämmitysjärjestelmä aurinkokeräimillä, takan käytön lisääminen tai ilma-ilmalämpöpumppu. Jokaisella parannusvaihtoehdolla on positiiviset ja negatiiviset puolensa. Parannusvaihtoehtojen vertailu löytyy myös alkuperäisine kaavoineen liitteestä 6.

Taulukossa 15 on sähköenergian keskimääräinen hinta kilowattituntia kohden, jota käytetään parannusvaihtoehtojen vertailulaskennassa taulukossa 16.

TAULUKKO 15. Sähköenergian keskimääräinen hinta [snt/kWh].

Energian hinta	snt/kWh
Keskihinta siirto	13,58
Keskihinta myynti	13,64
	27,22

TAULUKKO 16. Parannusvaihtoehtojen vertailu.

Parannusvaihtoehto	Ilmaisenergia [kWh/a]	Ilmaisenergia [€]	takaisinmaksuaika [a]
Aurinkojärjestelmä	1723	469,00	7,48
Ilmalämpöpumppu	4054,5	1103,65	1,98
Takka	6326,5	1722,07	-
Takka + ILP	6402,5	1742,76	-

Taulukosta 16 käy ilmi, että aurinkojärjestelmällä saataisiin vuodessa ilmaisenergiaa 469,00 €:n edestä takaisinmaksuajan ollessa 7,48 vuotta. Aurinkokeräinjärjestelmä lämmittää käyttövedtä säästäten sähkönkulutusta, ja sitä voidaan käyttää maaliskuusta lokakuuhun, parhaan käyttöalueen kuitenkin ollessa touko-elokuu. Aurinkojärjestelmän keräimet on tarkoitus asentaa rakennuksen autokatoksen katolle ja sieltä yhdistää rakennuksen käyttövesijärjestelmään. Takaisinmaksuaika on pitkä, mutta järjestelmä on silti suhteellisen hyvä parannusvaihtoehto olemassa olevan sähkölämmityksen rinnalla.

Ilma-ilmalämpöpumppu tarjoaa ilmaisenergiaa 1103,65 €:n edestä hieman alle kahden vuoden takaisinmaksuajalla. Ilma-ilmalämpöpumpun sijoituspaikka on suunniteltu rakennuksen olohuoneeseen, jotta lämmin ilmavirta leviää joka puolelle rakennusta. Ilmalämpöpumpulla ei saada ilmavirtaa levitettyä joka puolelle rakennusta, jolloin on mahdollista käyttää olemassa olevaa sähkökäyttöistä lattialämmitystä, jotta jokainen rakennuksen oleskelutila saadaan lämmitettyä. Näin ollen takaisinmaksuaika on suuntaa antava, mutta silti hyvin varteenotettava vaihtoehto.

Takan käytön lisääminen antaisi 1722,07 € säästön lämmityssähkön kulutuksessa. Takan käytön lisääminen suunniteltiin siten, että päästään tarvittavaan lämmitysenergian kulutuksen lukemaan, jonka rakennus kuluttaa. Tällä tavoin saataisiin 6326,5 kWh ilmaista lämpöenergiaa käytettäväksi lämmitykseen vuoden lämmityskaudella. Takaisinmaksuaikaa ei ole huomioitu, sillä kohteen asukkaat saavat puunsa omasta metsästään ja työlle ei varsinaisesti voi laskea hintaa. Takasta ei saada tarvittavaa lämpöenergiaa jolloin osa joudutaan ostamaan sähköenergiana mikä hieman pudottaa ilmaisenergian määrää.

Yksi lisävaihtoehto on käyttää sekä ilmalämpöpumppua että takkaa yhdistelmänä lämmittämiseen. Luvussa 3.2 laskettiin lämmitysenergian kulutuksen määrä Q_L joka oli 13,6 kWh ulkoilman lämpötilassa -25 °C ja takalla saataisiin lämpöenergiaa $Q_{TAKKA} = 9,1\text{ kWh}$. Tällöin ilmalämpöpumpun käytöllä Q_{ILP} tarvittaisiin lisää lämmitysenergiaa alla olevan laskun mukaisesti.

$$Q_{ILP} = Q_L - Q_{TAKKA} = 13,6\text{ kWh} - 9,1\text{ kWh} = 4,5\text{ kWh}$$

Näin ollen tarvittava määrä mäntyhalkoja ulkolämpötilassa -25 °C lasketaan jakamalla tarvittava energiamäärä 9,1 kWh mäntyhalkojen lämpöarvolla 4,15 kWh/kg (12, s. 27.) ja takan hyötysuhteella 80 % (12, s. 16.).

$$\frac{9,1 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{4,15 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \cdot 0,80 = 2,7\text{ kg}$$

Alla olevaan taulukkoon 17 on laskettu takasta tarvittava energiamäärä Q_{TAKKA} ja mäntyhalkojen määrä kilogrammoina. Vuodessa tulisi polttaa 1905,6 kg lisää mäntyhalkoja ilmalämpöpumpun käytön ohessa, jotta tarvittava sähköenergian kulutus saadaan katettua yhdistelmäkäytöllä.

TAULUKKO 17. Ilmalämpöpumpun ja takan käytön yhdistelmä

Ts	21	[°C]					
Tu [°C]	tunnit/a [h]	arvio COP	QL [kWh]	Qtakka [kWh]	mänty [kg]	QILP [kWh]	Qilmainen [kWh]
-25	6	1,5	13,6	9,1	2,7	4,5	1,5
-24	14	1,5	31,2	21,3	6,4	9,9	3,3
-23	14	1,5	30,1	21,1	6,3	9,1	3,0
-22	12	1,6	25,5	18,2	5,5	7,3	2,7
-21	15	1,6	31,0	22,7	6,8	8,3	3,1
-20	43	1,65	86,8	65,1	19,6	21,8	8,6
-19	61	1,7	120,2	92,3	27,8	27,9	11,5
-18	70	1,7	134,3	105,8	31,9	28,5	11,7
-17	38	1,75	71,2	57,6	17,3	13,6	5,8
-16	47	1,8	85,7	71,1	21,4	14,5	6,5
-15	51	1,9	90,3	77,1	23,2	13,2	6,3
-14	32	2	55,2	48,5	14,6	6,7	3,4
-13	43	2,1	72,0	65,1	19,6	6,9	3,6
-12	35	2,15	56,9	53,0	16,0	3,9	2,1
-11	54	2,2	85,1	81,7	24,6	3,4	1,8
-10	81	2,25	123,6	122,6	36,9	1,1	0,6
-9	135	2,3	199,2	199,2	60,0	0,0	0,0
-8	163	2,35	232,9	232,9	70,1	0,0	0,0
-7	213	2,4	293,7	293,7	88,5	0,0	0,0
-6	218	2,45	289,8	289,8	87,3	0,0	0,0
-5	234	2,5	299,4	299,4	90,2	0,0	0,0
-4	294	2,5	362,0	362,0	109,0	0,0	0,0
-3	325	2,6	384,0	384,0	115,7	0,0	0,0
-2	339	2,7	384,0	384,0	115,7	0,0	0,0
-1	360	2,9	390,1	390,1	117,5	0,0	0,0
0	372	3	384,6	384,6	115,8	0,0	0,0
1	438	3,1	431,5	431,5	130,0	0,0	0,0
2	333	3,4	311,2	311,2	93,7	0,0	0,0
3	261	3,5	231,0	231,0	69,6	0,0	0,0
4	276	3,7	231,1	231,1	69,6	0,0	0,0
5	231	3,8	182,3	182,3	54,9	0,0	0,0
6	303	4	224,0	224,0	67,5	0,0	0,0
7	263	4,2	181,2	181,2	54,6	0,0	0,0
8	202	4,2	129,4	129,4	39,0	0,0	0,0
9	169	4,1	99,8	99,8	30,1	0,0	0,0
10	142	3,9	77,0	77,0	23,2	0,0	0,0
11	155	3,4	76,2	76,2	22,9	0,0	0,0
	6042	2,59	6507,1	6326,5	1905,6	180,6	76

Ilmalämpöpumpulla ja takalla tuotetaan yhteensä 6507,1 kWh tarvittava määrä lämpöenergiaa, mikä kattaa rakennuksen lämpöenergian kulutuksen. Verrattaessa takan ja ilmalämpöpumpun yhdistelmää muihin parannusvaihtoehtoihin voidaan huomata, että sillä säästetään teoreettisesti suurin määrä sähköenergiaa koska kohteen asukkaat saavat polttopuut omasta metsästään eikä niille ei tule ostokustannuksia.

Ilmalämpöpumpulla tuotettu ilmaisenergia $Q_{ilmainen}$ selvitetään edellisistä arvoista vähentämällä tuotetun lämmitysenergian määrästä sen kuluttama sähköenergia jakamalla ilmalämpöpumpun lämpökertoimella COP ulkoilman lämpötilassa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{ilmainen} = Q_{ILP} - \frac{Q_{ILP}}{COP} = 4,5 \text{ kWh} - \frac{4,5 \text{ kWh}}{1,5} = 1,5 \text{ kWh}$$

Vuositasolla yhdistelmäkäytössä ilmalämpöpumpulla saadaan 76 kWh ilmaisenergiaa, kun sitä käytetään lisälämmityksenä takan käytön ohessa. Kokonaisuudessaan yhdistelmäkäytöllä saadaan 6402,5 kWh:n verran ilmaisenergiaa. Taulukkoon 16 on merkitty takan ja ilmalämpöpumpun yhdistelmällä (takka + ILP) saatava ilmaisenergia ja lämmityskustannuksissa säästetty euromäärä 1742,76 €.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia parantaa vuonna 2007 rakennetun sähkölämmitteisen omakotitalon energiatehokkuutta. Parannusvaihtoehtoja oli tarjolla alun perin kolme: ilma-ilmalämpöpumpun lisääminen olemassa olevan sähkölämmityksen rinnalle, varaavan takan käytön lisääminen sekä aurinkokeräinten hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä. Näiden kolmen lisäksi myös varaavan takan käytön lisääminen ja ilmalämpöpumpun yhdistelmäkäyttö oli varteenotettava vaihtoehto. Parannusvaihtoehdoille laskettiin investointikustannukset, takaisinmaksuajat ja niiden vaikutusta käyttökustannuksiin arvioitiin.

Aurinkokeräinten hyödyntäminen käyttöveden lämmittämiseen ei osoittautunut kannattavaksi investoinniksi takaisinmaksuajan kannalta. Tämän lisäksi myös käytännön toteutus olisi osoittautunut hankalaksi.

Olemassa olevan varaavan takan käytön lisääminen oli hyvä vaihtoehto. Tuloksia kuitenkin hieman väärästi kohteen asukkaiden omasta metsästään saadut polttopuut. Muussa tapauksessa takan käytöllä ei olisi saatu samanlaista energiamäärää ilmaiseksi, koska polttopuille ei laskettu hankintakustannuksia.

Varaavan takan ja ilmalämpöpumpun yhdistelmäkäyttö ei osoittautunut kannattavaksi vaihtoehdoksi, koska ilmalämpöpumpulla saatava hyöty tässä käyttötarkoituksessa jäi häviävän pieneksi. Ajatuksena oli lämmittää huoneilmaa takalla ja ilmalämpöpumppua käyttäen saataisiin tarvittava lämmitysenergia.

Ilmalämpöpumppu parannusvaihtoehtona osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi asukkaiden kannalta. Ilmalämpöpumpun etuja olivat suhteellisen lyhyt takaisinmaksuaika sekä monipuolinen käytettävyys lämmityskäytöstä jäädytykseen. Ilmalämpöpumppu käy automaattisesti silloin, kun paikalla ei ole ketään, jolloin sisätilojen lämmityksestä ei tarvitse huolehtia henkilökohtaisesti.

LÄHTEET

1. D3 (2012). 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 10.11.2015.
2. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2016. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä 3.1.2016.
3. Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. 2012. Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6794/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf. Hakupäivä 2.11.2015.
4. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaatekuva. 2014. Sulpu ry. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>. Hakupäivä 10.11.2015.
5. Mitsubishi Electric Ilmalämpöpumput, MSZ-FH mallisarja. 2015. Tekninen esite. Scanoffice Oy. Saatavissa: http://www.scanoffice.fi/sites/default/files/liitetiedostot/tuotteet/esite_msz-fh-sarja_0.pdf. Hakupäivä 1.11.2015.
6. Tulikivi Kermansavi –uunien tekniset tiedot. 2007. Tulikivi Oy. Saatavissa: <http://www.tulikivi.com/julkaisut/pr/pdf/2007/es1010.pdf>. Hakupäivä 10.11.2015.
7. Aurinko-opas 2012 – Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750>. Hakupäivä 1.11.2015.
8. Savosolar aurinkokeräin. 2015. Tekninen esite. Energiakauppa. S. 1–2. Saatavissa: <http://www.energiakauppa.com/WebRoot/vilkasfi01/Shops/2014082005/MediaGallery/pdf/Savosolar-SF-100-03-esite-FIN-WEB.pdf>. Hakupäivä 1.11.2015.

9. Ilmalämpöpumpun Mitsubishi MSZ-FH35VE + MUZ-FH35VEHZ toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin. 2013. Testausseloste. VTT Expert Services Oy. Saatavissa: <http://www.scanoffice.fi/sites/default/files/liitetiedostot/tuotteet/vtt-s-01359-13.pdf>. Hakupäivä 1.12.2015.

10. Rakennusten energialaskennan testivuosi ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. 2012. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia53.pdf>. Hakupäivä 1.11.2015.

11. Ilmalämpöpumppu Mitsubishi FH 35 hinta. 2015. Gigantti Oy. Saatavissa: <http://www.gigantti.fi/product/kodin-tuotteet/lammitys/MSZFH35VEE1/mitsubishi-ilmalampopumppu-fh35> Hakupäivä 10.11.2015.

12. Ilmalämpöpumpun asennus, perusasennus hinta. 2015. Gigantti Oy. Saatavissa: http://www.gigantti.fi/cms/20140522_114750/ilmalampopumpun-asennus/. Hakupäivä 10.11.2015.

13. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijälämmitys –polttopuun tuotanto ja käyttö. 2008. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf>. Hakupäivä 10.11.2015.

14. D5 (2012). 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 10.11.2015.

15. Savosolar ympäristöenergia 6m² keräinpaketti. 2015. Energiakauppa. Saatavissa: <http://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/sec6fa59eb53e/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Products/10233>. Hakupäivä 1.11.2015.

SÄTEILYTEHON VERTAILU

LIITE 1/1

Säteilytehon vertailu eri asennuspaikoille kohteessa; Oulun säävyöhyke sama kuin Jyväskylän eli säävyöhykkeenä toimii nro 3 (1, s. 29–31).

RakMk D3 2012

Ulkoilman keskilämpötila, Tu , °C

Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, Gsäteily, vaakapinta , kWh/m²

	Tu	Gsäteily
Tammikuu	-8	5,4
Helmikuu	-7,1	20,1
Maaliskuu	-3,53	51,9
Huhtikuu	2,42	102,9
Toukokuu	8,84	171,4
Kesäkuu	13,39	159,1
Heinäkuu	15,76	158,2
Elokuu	13,76	113,9
Syyskuu	9,18	71,1
Lokakuu	4,07	25,3
Marraskuu	-1,76	7,3
Joulukuu	-5,92	3,2
koko vuosi	3,43	890

Aurinko-opas 2012 s. 16, taulukko 5.

Asennuskulma 33 astetta, Länsi korjauskertoimen kun asennussuunta Länsi: 0,8

	Jkylä	KK	Korjattu	Säteily kWh/m ² /kk	päiviä d/kk	tunteja h/kk	keskim. Säteilyteho/kk W/m ²
Tammikuu	5,4	1,5	1,20	6,5	31	744	8,7
Helmikuu	20,1	1,95	1,56	31,4	28	672	46,7
Maaliskuu	51,9	1,57	1,26	65,2	31	744	87,6
Huhtikuu	102,9	1,25	1,00	102,9	30	720	142,9
Toukokuu	171,4	1,09	0,87	149,5	31	744	200,9
Kesäkuu	159,1	1,03	0,82	131,1	30	720	182,1
Heinäkuu	158,2	1,05	0,84	132,9	31	744	178,6
Elokuu	113,9	1,12	0,90	102,1	31	744	137,2
Syyskuu	71,1	1,28	1,02	72,8	30	720	101,1
Lokakuu	25,3	1,46	1,17	29,6	31	744	39,7
Marraskuu	7,3	1,33	1,06	7,8	30	720	10,8
Joulukuu	3,2	1	0,80	2,6	31	744	3,4
						Yhteensä	1139,7 W/m ²

SÄTEILYTEHON VERTAILU

LIITE 1/2

Asennuskulma 26 astetta, Etelä

	Jkylä	KK	Säteily kWh/m ² /kk	päiviä d/kk	tunteja h/kk	keskim. Säteilyteho/kk W/m ²
Tammikuu	5,4	1	5,4	31	744	7,3
Helmikuu	20,1	1	20,1	28	672	29,9
Maaliskuu	51,9	1	51,9	31	744	69,8
Huhtikuu	102,9	1	102,9	30	720	142,9
Toukokuu	171,4	1	171,4	31	744	230,4
Kesäkuu	159,1	1	159,1	30	720	221,0
Heinäkuu	158,2	1	158,2	31	744	212,6
Elokuu	113,9	1	113,9	31	744	153,1
Syyskuu	71,1	1	71,1	30	720	98,8
Lokakuu	25,3	1	25,3	31	744	34,0
Marraskuu	7,3	1	7,3	30	720	10,1
Joulukuu	3,2	1	3,2	31	744	4,3
					Yhteensä	1214,1 W/m ²

KERÄINTEN LASKENTA

LIITE 2/1

Alla liite aurinkokeräimien mitoituslaskennasta.

Henkilöiden lkm	3	kpl
Keräin pinta-ala	6	m ²
LKV kulutus	50	l/hlö/vrk
LKV kulutus	150	l/vrk
LKV lämmin	60	°C
LKV kylmä	8	°C
Veden tiheys	1	kg/litra
Veden om.lämpökap.	4,2	kJ/kgK
$\eta_{\text{kv-siirto}}$ (1/0,89)	1,1235955	(D5 taulukko 6.3)
Varaajan koko	300	litraa
	75	l/m ²
η_{kierto}	0,8	
η_0	0,92	
a1	1,8	W/°Cm ²
a2	0,036	W/°Cm ²
IAM	0,94	

	Qkeräin kWh/m ² /kk	Tu °C
Tammikuu	5,4	-8
Helmikuu	20,1	-7,1
Maaliskuu	51,9	-3,53
Huhtikuu	102,9	2,42
Toukokuu	171,4	8,84
Kesäkuu	159,1	13,39
Heinäkuu	158,2	15,76
Elokuu	113,9	13,76
Syyskuu	71,1	9,18
Lokakuu	25,3	4,07
Marraskuu	7,3	-1,76
Joulukuu	3,2	-5,92

	päivät/kk d/kk	LVK tarve kWh/kk	LKV + häviöt kWh/kk
Tammikuu	31	282,10	316,97
Helmikuu	28	254,80	286,29
Maaliskuu	31	282,10	316,97
Huhtikuu	30	273,00	306,74
Toukokuu	31	282,10	316,97
Kesäkuu	30	273,00	306,74
Heinäkuu	31	282,10	316,97
Elokuu	31	282,10	316,97
Syyskuu	30	273,00	306,74
Lokakuu	31	282,10	316,97
Marraskuu	30	273,00	306,74
Joulukuu	31	282,10	316,97
	365	3321,50	3732,02

	Tu
Tammikuu	-8
Helmikuu	-7,1
Maaliskuu	-3,53
Huhtikuu	2,42
Toukokuu	8,84
Kesäkuu	13,39
Heinäkuu	15,76
Elokuu	13,76
Syyskuu	9,18
Lokakuu	4,07
Marraskuu	-1,76
Joulukuu	-5,92
koko vuosi	3,43

KERÄINTEN LASKENTA

LIITE 2/2

Putkiston lämpöhäviölaskenta UL (W/K)

$$UL = 5 + 0,5 * A = 8 \text{ W/K}$$

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin U_c

$$U_c = a_1 + 40 * a_2 + (UL/A) = 4,573333 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin C_{cap}

$$C_{cap} = 1,1067$$

Referenssilämpötila kuukausittain

$$\theta_{hw} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_{cw} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

	θ_e	θ_{ref}	ΔT
Tammikuu	-8	100,24	108,24
Helmikuu	-7,1	99,05	106,15
Maaliskuu	-3,53	94,34	97,87
Huhtikuu	2,42	86,49	84,07
Toukokuu	8,84	78,01	69,17
Kesäkuu	13,39	72,01	58,62
Heinäkuu	15,76	68,88	53,12
Elokuu	13,76	71,52	57,76
Syyskuu	9,18	77,56	68,38
Lokakuu	4,07	84,31	80,24
Marraskuu	-1,76	92,00	93,76
Joulukuu	-5,92	97,49	103,41
koko vuosi	3,43	85,15	81,72

KERÄINTEN LASKENTA

LIITE 2/3

Dimensiottomat suureet X ja Y kuukausittain

	X	Y	Qtuotto brutto	Qtuotto netto
Tammikuu	6,1723	0,0707	-82,751	0
Helmikuu	6,0532	0,2914	-13,711	0
Maaliskuu	5,5809	0,6797	90,739	90,74
Huhtikuu	4,7937	1,3925	228,720	228,72
Toukokuu	3,9444	2,2447	345,527	316,97
Kesäkuu	3,3425	2,1531	336,556	306,74
Heinäkuu	3,0289	2,0718	345,839	316,97
Elokuu	3,2935	1,4917	274,678	274,68
Syyskuu	3,8994	0,9622	170,646	170,65
Lokakuu	4,5755	0,3313	17,466	17,47
Marraskuu	5,3467	0,0988	-60,366	0
Joulukuu	5,8971	0,0419	-88,123	0
			vuosituotto	1723 kWh/a

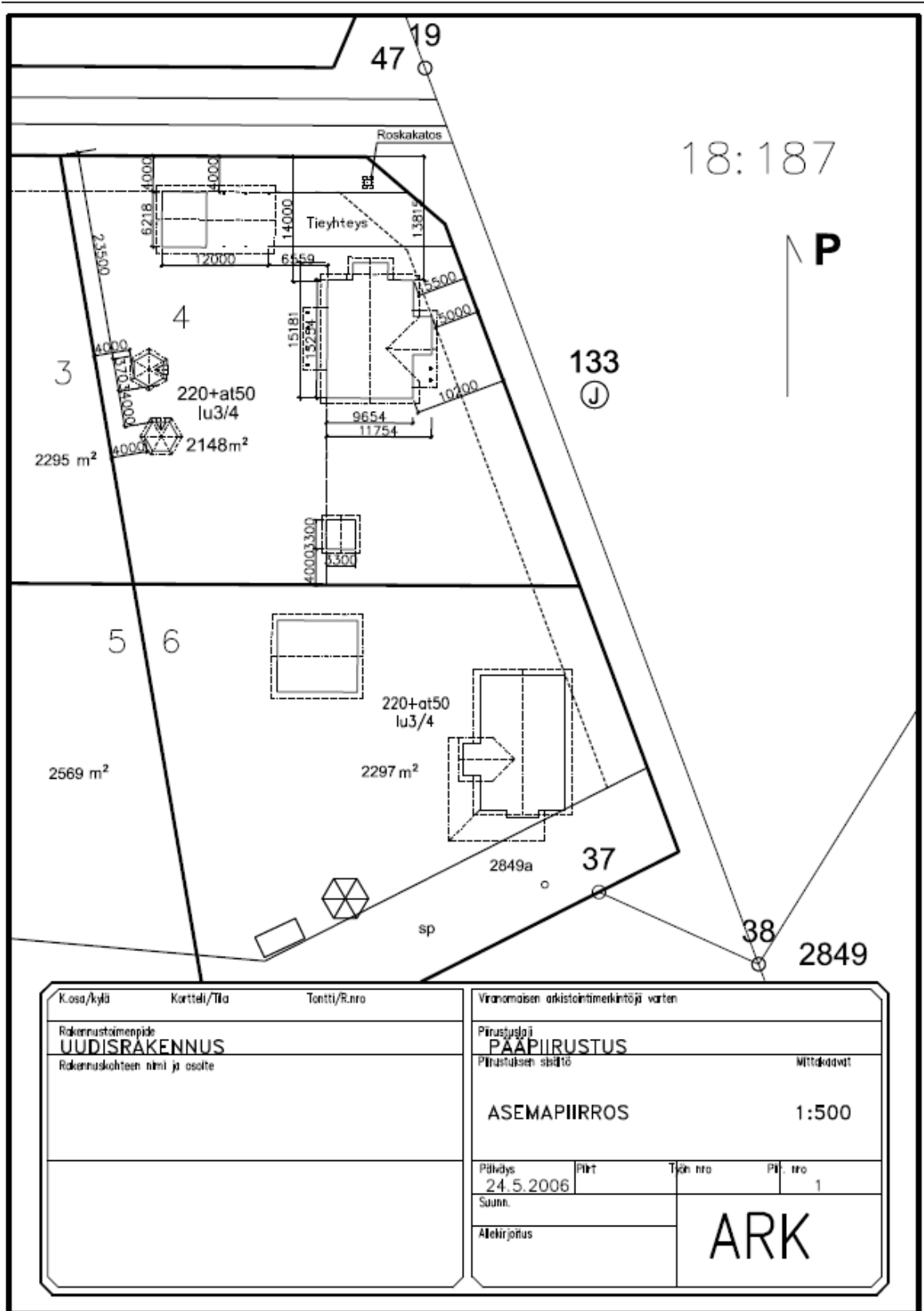
C _{tyyppi}	1
a	1,029
b	-0,065
c	-0,245
d	0,0018
e	0,0215
f	0

Kiertopumpun energiantarve

P_{pumppu} 0,080 kW

Tehontarve

W_{aurinkopumput} 0,160 kWh/a



K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/R.nro	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten	
Rakennustoiminnoiden UUDISRAKENNUS			Pirustuslaji PAAPIIRUSTUS	
Rakennuskohteen nimi ja osoite			Pirustuksen sisältö	Mittakaavat
			ASEMAPIIRROS	1:500
Päiväys 24.5.2006		Piir.	Tek. nro	Piir. nro 1
Suunn.		ARK		
Allekirjoitus				

ILMA-ILMALÄMPÖPUMPULLA TUOTETTU ENERGIA

LIITE 4

Ts	21	[°C]						
Tu [°C]	tunnit/a [h]	arvio COP	Wotto [kW]	Qsähkö [kWh]	(Ts-Tu)*t	QL [kWh]	Qlämmitys [kWh]	Qilmainen [kWh]
-25	6	1,5	1,80	10,85	277,2	13,6	13,6	4,5
-24	14	1,5	1,75	24,61	632,8	31,2	31,2	10,4
-23	14	1,5	1,75	24,35	612,2	30,1	30,1	10,0
-22	12	1,6	1,75	21,08	518,1	25,5	25,5	9,6
-21	15	1,6	1,75	26,22	629,3	31,0	31,0	11,6
-20	43	1,65	1,75	75,26	1763,3	86,8	86,8	34,2
-19	61	1,7	1,75	106,78	2440,7	120,2	120,2	49,5
-18	70	1,7	1,75	122,37	2727,1	134,3	134,3	55,3
-17	38	1,75	1,75	66,61	1446,3	71,2	71,2	30,5
-16	47	1,8	1,75	82,29	1739,8	85,7	85,7	38,1
-15	51	1,9	1,70	86,58	1833,5	90,3	90,3	42,8
-14	32	2	1,70	54,45	1121,1	55,2	55,2	27,6
-13	43	2,1	1,70	73,09	1461,9	72,0	72,0	37,7
-12	35	2,15	1,65	57,79	1155,8	56,9	56,9	30,4
-11	54	2,2	1,65	89,11	1728,2	85,1	85,1	46,4
-10	81	2,25	1,60	129,60	2511,0	123,6	123,6	68,7
-9	135	2,3	1,50	202,31	4046,3	199,2	199,2	112,6
-8	163	2,35	1,40	228,34	4729,9	232,9	232,9	133,8
-7	213	2,4	1,35	287,58	5964,6	293,7	293,7	171,3
-6	218	2,45	1,30	283,40	5885,9	289,8	289,8	171,5
-5	234	2,5	1,20	280,66	6081,1	299,4	299,4	179,7
-4	294	2,5	1,10	323,49	7352,0	362,0	362,0	217,2
-3	325	2,6	1,00	324,94	7798,5	384,0	384,0	236,3
-2	339	2,7	0,90	305,19	7799,3	384,0	384,0	241,8
-1	360	2,9	0,80	288,09	7922,5	390,1	390,1	255,6
0	372	3	0,70	260,33	7809,8	384,6	384,6	256,4
1	438	3,1	0,65	284,80	8763,0	431,5	431,5	292,3
2	333	3,4	0,60	199,57	6319,7	311,2	311,2	219,7
3	261	3,5	0,50	130,29	4690,6	231,0	231,0	165,0
4	276	3,7	0,40	110,42	4692,7	231,1	231,1	168,6
5	231	3,8	0,35	81,01	3703,2	182,3	182,3	134,4
6	303	4	0,30	90,96	4548,2	224,0	224,0	168,0
7	263	4,2	0,30	78,85	3679,5	181,2	181,2	138,0
8	202	4,2	0,30	60,64	2627,8	129,4	129,4	98,6
9	169	4,1	0,30	50,67	2026,8	99,8	99,8	75,5
10	142	3,9	0,25	35,56	1564,6	77,0	77,0	57,3
11	155	3,4	0,20	30,94	1546,9	76,2	76,2	53,8
	6042	2,59		4989,1	132151,1	6507,1	6507,1	4054,547

Energian hinta

Energian hinta	snt/kWh
Keskihinta siirto	13,58
Keskihinta myynti	13,64
	27,22

AURINKOJÄRJESTELMÄ

ILMA-ILMALÄMPÖPUMPPU

TAKKA

Ilmaisenergia kWh/a

Ilmaisenergia kWh/a

Ilmaisenergia kWh/a

1723 kWh/a

4054,5 kWh/a

6326,5 kWh/a

Ilmaisenergia euroina
vuodessa

Ilmaisenergia euroina
vuodessa

Ilmaisenergia euroina vuodessa

46900 snt

110365 snt

172207 snt

469,00 €

1103,65 €

1722,07 €

Investointikustannukset

Investointikustannukset

3510 €

2190 €

takaisinmaksuaika

takaisinmaksuaika

7,48 a

1,98 a

90 kk

24 kk

TAKKA + ILP

Ilmaisenergia kWh/a

6402,5 kWh/a

PARANNUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

LIITE 6/2

Ilmaisenergia euroina vuodessa

174276 snt

1742,76 €

Parannusvaihtoehto	Ilmaisenergia [kWh/a]	Ilmaisenergia [€]	Takaisinmaksuaika [a]
Aurinkojärjestelmä	1723	469,00	7,48
Ilmalämpöpumppu	4054,5	1103,65	1,98
Takka	6326,5	1722,07	-
Takka + ILP	6402,5	1742,76	-