

Janne Turtinen

**SUORALLA SÄHKÖLÄMMITYKSELLÄ VARUSTETUN VAPAA-
AJAN ASUNNON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN**

SUORALLA SÄHKÖLÄMMITYKSELLÄ VARUSTETUN VAPAA- AJAN ASUNNON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Janne Turtinen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Koulutusohjelma, suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Janne Turtinen

Opinnäytetyön nimi: Suoralla sähkölämmityksellä varustetun vapaa-ajan asunon energiatehokkuuden parantaminen

Työn ohjaaja(t): Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 54

Työn tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti mahdollisuuksia kohderakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen, jos sinne lisättäisiin ilmalämpöpumppu, aurinkolämpö lämpimänkäyttöveden lämmittämiseen sekä aurinkosähköpaneelit. Laskennoilla oli tarkoitus määrittää laitehankintojen kannattavuus.

Ilmalämpöpumpun mitoituksessa arvoitiin rakennuksen lämmitystehotarvetta sähkönkulutuksen mukaan. Työssä verrattiin kahta ilmalämpöpumppua. Ilmalämpöpumpuille piirrettiin anto- ja ottotehokäyrät. Käyrien perusteella voitiin arvioida pumppujen tuottama energiamäärä.

Aurinkolämmönkäytön mitoitus lämpimänkäyttöveden lämmittämisessä tehtiin Aurinko-Opas 2012 mukaan. Työssä tarkasteltiin aurinkolämmön käyttöä toukokuu-syyskuun välisenä aikana. Aurinkolämpöpaneeleiksi valittiin Sundialin valmistamat aurinkolämpöpaneelit.

Aurinkosähkön mitoitus tehtiin Aurinko-Opas 2012 mukaan. Aurinkosähköpaketiksi valittiin Finnwind Oy:n kauppaama aurinkosähköpaketti.

Valitulla ilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa suurin osa tarvittavasta energiamäärästä ja ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on 1,5 vuotta.

Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa lähes koko tarvittava lämpimänkäyttöveden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä valitulla aikavälillä. Aurinkolämpöpaketin investointikustannukset ovat suuret ja tarvittava energiamäärä on suhteellisen pieni, joten takaisinmaksuaika nousee suureksi.

Aurinkosähköpaketilla voidaan tuottaa 2173,8 kWh vuodessa. Aurinkosähköpaketin investointikustannukset ovat suuret ja takaisinmaksuajaksi tuli 18,6 vuotta.

Asiasanat: ilmalämpöpumppu, aurinkolämpö, aurinkosähkö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 JÄRJESTELMÄT	7
2.1 Ilmalämpöpumppu	7
2.1.1 Kiertoprosessi	8
2.1.2 Kompressorit	9
2.1.3 Kylmäaineet	12
2.1.4 Lauhduttimet	13
2.1.5 Höyrystimet	13
2.1.6 Paisuntaventtiilit	13
2.2 Lämpimän käyttöveden tuottaminen aurinkolämmöllä	16
2.2.1 Tasokeräin	17
2.2.2 Pumpputyksikkö	18
2.2.3 Säädin	18
2.3 Aurinkosähkö	19
2.3.1 Aurinkosähkökennon toimintaperiaate	19
2.3.2 Aurinkosähköpaneelit	20
3 KOHTEEN ENERGIANKULUTUKSET JA MAHDOLLISUUDET	21
3.1 Todellinen energiankulutus	21
3.2 Laskennallinen energiankulutus	22
3.2.1 Rakenneosien ominaislämpöhäviöt	22
3.2.2 Kylmäsiilat	23
3.2.3 Vuotoilma	24
3.2.4 Rakennuksen ominaislämpöhäviö	25
3.2.5 Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	26
3.3 Ilmalämpöpumpulla säästettävä energia	28
3.3.1 Mitsubishi MSZ-FH35VEHZ	33

3.3.2 Daikin Nordic Mainstream	35
3.4 Aurinkolämmöllä säästetty energia lämpimässä käyttövedessä	36
3.4.1 Aurinkolämmön tuotto	36
3.4.2 Aurinkolämmön laskennan tulokset	40
3.5 Aurinkosähköpaneelilla tuotettavan sähköenergia	44
4 KANNATTUVUUSLASKELMAT	47
4.1 Käyttökustannukset	47
4.1.1 Ilmalämpöpumput	47
4.1.2 Aurinkolämpö	47
4.1.3 Aurinkosähkö	48
4.2 Investointikustannukset	48
4.2.1 Ilmalämpöpumput	48
4.2.2 Aurinkolämpö	49
4.2.3 Aurinkosähkö	49
4.3 Takaisinmaksuaika	49
4.3.1 Ilmalämpöpumput	49
4.3.2 Aurinkolämpö	50
4.3.3 Aurinkosähkö	50
5 YHTEENVETO	52
LÄHTEET	53

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitetään mahdollisuuksia parantaa energiatehokkuutta suoralla sähkölämmityksellä varustetussa vapaa-ajan asunnossa lisäämällä sinne ilmalämpöpumppu, kesäaikaisen käyttöveden lämmityksen aurinkopaneelit sekä aurinkosähköpaneelit. Työssä arvioidaan laskennallisesti rakennuksen lämmitysenergian kulutus ja verrataan sitä toteutuneeseen sähkön kulutukseen. Työssä lasketaan ilmalämpöpumpulla hyödyksi saatava energia ja selvitetään ilmalämpöpumpun investointikustannukset ja lasketaan toimenpiteen kannattavuus. Työssä arvioidaan käyttöveden kesäaikaiseen lämmitykseen kuluva energia ja selvitetään käyttöveden aurinkolämmityksellä saatava energiamäärä ja aurinkolämmön investointikustannukset. Työssä selvitetään mahdollisuus ja kannattavuus lisätä kiinteistöön aurinkosähköjärjestelmä kesäajan sähkön kulutukseen.

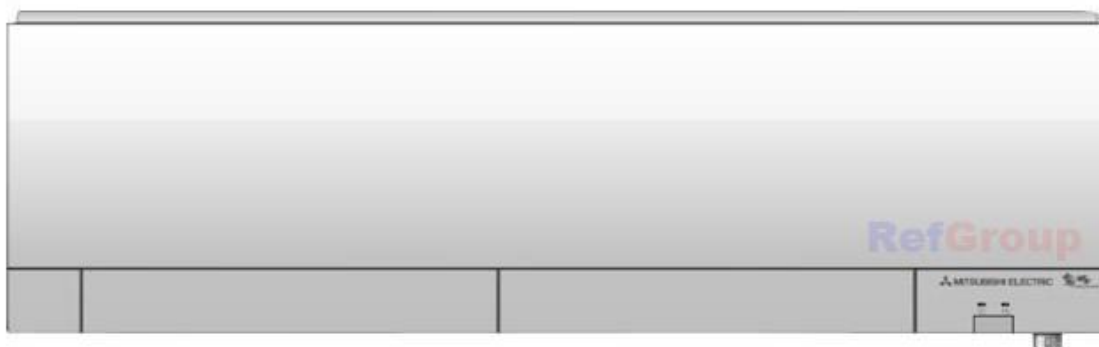
Työn kohdekiinteistö on Orivedellä sijaitseva 1960-luvun alussa rakennettu noin 91 m²:n omakotitalo, jota käytetään nykyisin vapaa-ajan asuntona. Talossa on tupakeittiö ja kaksi makuuhuonetta. Talossa on alun perin ollut puulämmitys. Nykyisin tiloissa on suoran sähkölämmityksen patterit, jotka on uusittu 2000-luvulla. Kylpyhuoneessa on sähköinen lattialämmitys.

2 JÄRJESTELMÄT

2.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpulla siirretään ulkoilman sisältämää lämpöenergiaa rakennuksen sisään kylmäaineen kiertoprosessilla. Ilmalämpöpumpussa on neljä pääkomponenttia: höyrystin (ulkoyksikkö), kompressori, lauhdutin (sisäyksikkö) sekä paisuntaventtiili.

Sisäyksikön sijoituspaikka tulisi olla sellainen, ettei ääni häiritse rakennuksen asukkaita ja että lämmin ilma pääsee vapaasti leviämään muihin tiloihin. Esimerkiksi makuuhuoneeseen sisäyksikköä ei kannata sijoittaa. (1, s. 93.) Kuvassa 1 on nähtävissä esimerkkinä minkä näköinen sisäyksikkö on.



KUVA1 Mitsubishi MSZ-FH35VEHZ -sisäyksikkö (2)

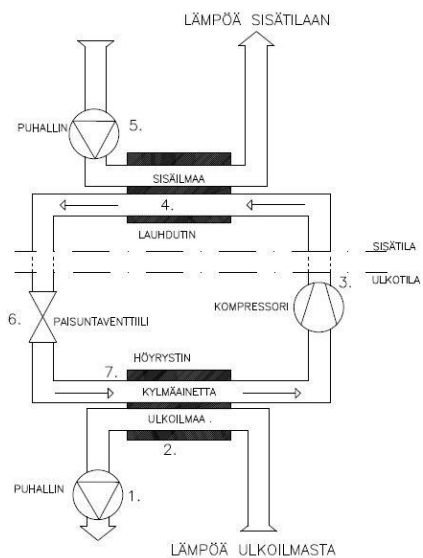
Ulkoyksikkö asennetaan rakennuksen ulkoseinään kiinnitetyn konsoliin ääntä vaimentavien joustimien päälle. Ulkoyksikön ympärille tulee jättää riittävästi tilaa, että ilma pääsee vapaasti vaihtumaan yksikön ympärillä. Asennuskorkeuden tulee olla ylhäällä, ettei ulkoyksikkö haudaudu lumeen. Rakennuksen päätyyn sijoitettuna ei ole vaaraa, että lumet putoaisivat ulkoyksikön päälle. (1, s. 93.) Kuvassa 2 on esimerkkinä Mitsubishin valmistama ulkoyksikkö.



KUVA 2 Mitsubishi MUZ-FH35VEHZ -ulkoyksikkö (2)

2.1.1 Kiertoprosessi

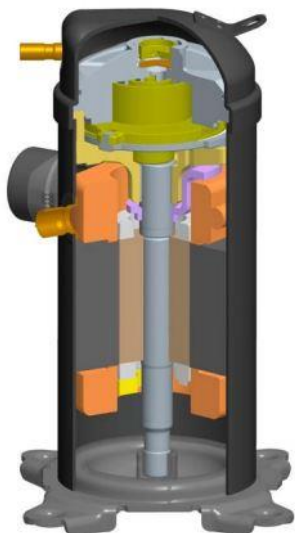
Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon systeemissä. Höyrystimessä kylmä kylmäaine lämpenee ulkoilman ollessa lämpimämpää kuin kylmäaine. Lämmitessään kylmäaine kaasuuntuu. Kompressorilla imee kaasuuntuneen kylmäaineen höyrystimestä. Kompressorilla kaasuuntunut kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen. Samalla kasaan puristetun kylmäaineen lämpötila nousee. Kompressorilla puskee kuumakaasun lauhduttimelle, missä kylmäaine jäähtyy ja muuttuu nesteeksi. Jäähtyessään kylmäaine luovuttaa ulkoa keräämänsä lämmön sisäilman lämmittämiseen. Lauhduttimesta lämpö puhalletaan tuulettimella sisäilmaan. Lauhduttimen jälkeen nestemäinen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille, missä kylmäaineen paine alenee. Kylmäaineen paineen alentuessa, kylmäaineen lämpötila laskee. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine johdetaan takaisin höyrystimelle ja kylmäaine alkaa uudelleen kerätä itseensä lämpöä ja kierto jatkuu. (1, s. 28–29.) Ilmalämpöpumpun kierto on esitettyä kuvassa 3.



KUVA 3 Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (3)

2.1.2 Kompessorit

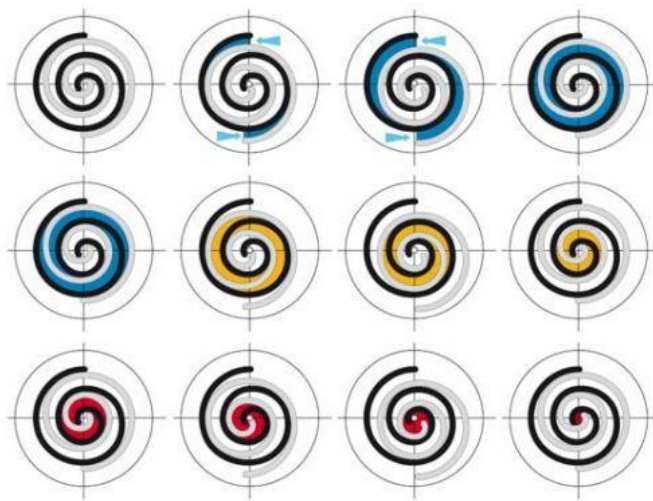
Kompressorin tehtävä on puristaa systeemissä oleva kylmäaine korkeaan paineeseen ennen lauhdutinta. Paineen noustessa lämpötila kasvaa kylmäainella. Kuvassa 4 on esitettyä scroll-kompressorin leikkauskuva.



KUVA 4 Scroll-kompressori (4, s. 1)

Ilmalämpöpumpuissa kompressorit ovat useimmin scroll-kompressoreita. Scroll-kompressorissa on vähän osia, joten se on pitkäikäinen ja luotettava valinta.

”Scroll-kompressori puristaa kylmäaineen kokoon kahden tiiviisti toistensa kanssa kosketuksessa olevan kierukan väliin jäävässä tilassa.” Toinen kierukoista pysyy koko ajan paikallaan. Toinen kierukka tekee koko ajan pientä liikettä kääntymättä lainkaan. Kierukat ovat kosketuksessa toisiinsa joltakin kohtaa koko ajan. ”Kierukoiden väliin jää silloin niiden ulkolaidalta lähtevä ja liikkeen mukana kohti keskustaa etenevä, sivuilta ja molemmista päistä suljettu vapaa tila.” Alussa ulkolaidalta avautuvaan tilaan imeytyy kylmäainetta, joka tilan sulkeuduttua alkaa siirtyä kierukoiden välissä laidalta kohti keskustaa. Laidalta kohti keskustaa etenevä tila supistuu matkalla, ja tilaan jäänyt kylmäaine puristuu samalla kokoon, ja sen paine ja lämpötila nousee. Kierukoiden keskelle päästyään kokoon puristunut kylmäaine purkautuu paineisena ja kuumentuneena lauhduttimelle. (1, s. 42–43.) Kuvassa 5 on esitettyä puristusprosessi.



Puristusprosessi

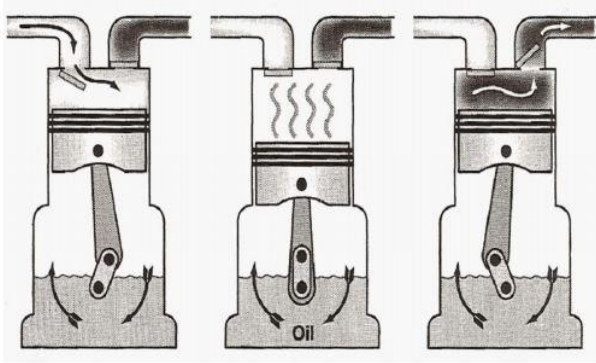
KUVA 5 Puristusprosessi (4, s. 3)

Käynnistystilanteessa kylmäaine on paineetonta ja paine kasvaa kompressorilla pikkuhiljaa. Käynnistymisvastus pienenee ja kompressorin käynnistyminen helpottuu. Tämä tarkoittaa sitä, että kompressorin käyttöikä pitenee rasituksen vähentyessä.(1, s. 43.)

Scroll-kompressorin voitelu tapahtuu kylmäaineessa olevalla öljyllä. Kompressorin jälkeen systeemissä on öljynerotin. Öljynerotin erottaa kylmäaineesta öljyn pois. Öljynerottimesta kylmäaineesta erotettu öljy johdetaan putkella takaisin kompressorin voitelemaan kompressoria.

Mäntäkompressori muistuttaa toimintatavaltaan polttomoottoria. Sähkömoottori pyörittää kampiakselia, joka taas liikuttaa kiertokankea ja mäntää edestakaisin sylinterissä. Toiminta voidaan jakaa 4 eri vaiheeseen. Mäntäkompressorin eri vaiheet on esitettyä kuvassa 6.

Ensimmäisessä vaiheessa mäntä liikkuu alaspäin, jolloin sylinteriin syntyy alipaine. Alipaine imaisee höyryä sylinteriin. Toinen vaihe on puristusvaihe. Imuventtiilit sulkeutuvat ja höyryn tulo lakkaa. Mäntä alkaa liikkua nyt ylöspäin ja puristaa sylinterissä olevaa höyryä kasaan, jolloin paine kasvaa. Kolmannessa vaiheessa paineventtiilit avautuvat paineen kasvettua riittävän paljon yli painekanavassa vallitsevan paineen. Paineventtiilin avauduttua mäntä työntää kasaan puristuneen höyryn painekanavaan. Viimeinen vaihe on jälkipaisunta. Mäntä on saavuttanut yläkuolokohdan ja lähtee liikkumaan takaisin alaspäin. Samalla paineventtiilit sulkeutuvat. Sylinteriin jäänyt höyry paisuu takaisin imupaineeseen. (5, s. 128.)



KUVA 6 Mäntäkompressorin toimintaperiaate (6)

Mäntäkompressorilla voidaan puristaa kylmäainetta enemmän kerralla kuin scroll-kompressorilla, mutta scroll-kompressorit tuottaa useammin paineista kylmäainetta. Tämä tarkoittaa sitä, että kylmäaineen sykkeisyys (käy tasaisemmin) vähenee sekä käyntiääni vähenee. Scroll-kompressorit ei myöskään tärise toisin kuin mäntäkompressorit. (1, s. 43.)

Kompressorit ovat usein hermeettisiä tai puolihhermeettisiä kompressoreita. Hermeettinen kompressorit tarkoittaa sitä, että kompressorit ja moottori on suljettu tiiviiseen suojakuoreen. Näin ulkopuolelta ei pääse likaa eikä pölyä kompressorin. Se huono puolihhermeettisessä kompressorissa on, että sitä ei voida huoltaa suojakuoren takia. Rikkoutunut kompressorit pitää aina vaihtaa uuteen. Puolihhermeettinen kompressorit on suojakuoreessa, mutta se on avattavissa. (1, s. 43.)

2.1.3 Kylmäaineet

Kylmäaineita käytetään väliaineena lämmönsiirtämiseen. Ne ovat nesteytettyjä kaasuja ja niiden toiminta perustuu kykyyn muuttaa olomuotoaan.

Yleisesti kylmäaineena lämpöpumpuissa käytetään synteettisiä fluorihilivetyjä eli HFC-yhdisteitä esimerkiksi R404a. Ne ovat kasvihuonekaasuja, mutta eivät kuitenkaan vahingoita ilmankehän otsonikerrosta. Vaikka HFC-yhdisteet ovatkin

kasvihuonekaasuja, ne eivät kuitenkaan lisää ilmastonmuutosta vaan päinvastoin. Kylmäaineella tuotetaan lämmitysenergiaa, mikä vähentää hiilidioksidipäästöjä. (1, s. 46.)

Lämpöpumpuissa voidaan käyttää myös niin sanottuja luonnollisia kylmäaineita, jotka ovat hiilidioksidi CO₂ ja hiilivedyt, esim. propaani R290. Nekin ovat kasvihuonekaasuja, mutta eivät vahingoita otsonikerrosta lainkaan. (1, s. 46.)

2.1.4 Lauhduttimet

Lauhduttimen tehtävä on luovuttaa lämpöä rakennuksen sisäilmaan. Lauhduttimeen tullut kylmäaine on kuumakaasua. Kylmäaine on rakennuksen sisälämpötilaa lämpimämpää ja näin se luovuttaa lämpöä sisälle ja samalla kylmäaine muuttuu nesteeksi eli lauhtuu. Lauhduttimessa eli sisäyksikössä on tuuletin, joka imee huoneesta ilmaan ja puhalttaa sen yksikön kennon läpi. Lämmin kenno lämmittää sisään puhallettavan ilman.

2.1.5 Höyrystimet

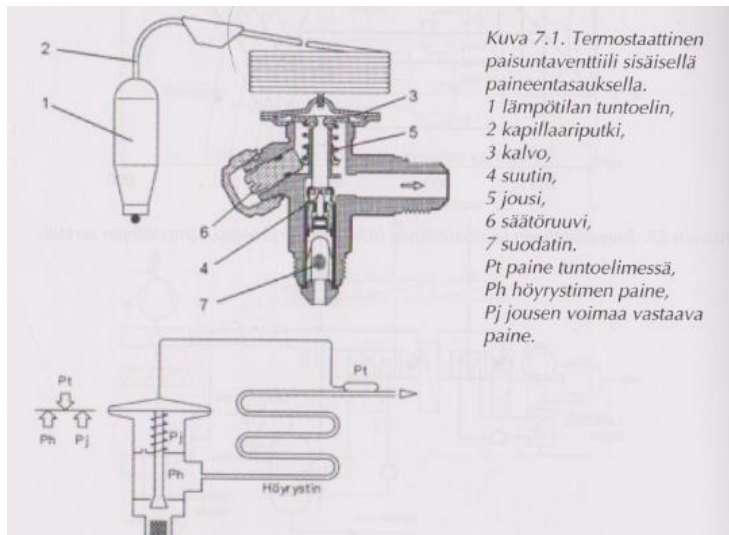
Höyrystimen tehtävä on sitoa ulkoilmasta lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Kylmäaine on ulkoilmaa kylmempää ja näin sitoo lämpöenergiaa ja höyrystyy. Höyrystymisessä eli ulkoyksikössä on tuuletin, jolla puhalletaan ilmaa höyrystimen lamellien välistä. Tämä tehostaa höyrystimen toimintaa.

2.1.6 Paisuntaventtiilit

Termostaattisella paisuntaventtiilillä säädetään kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen. Paisuntaventtiilin toimintaa ohjaa kylmäaineen tulistus. Höyrystimestä lähtevä imuputki lämpenee tulistuksen kasvaessa. Paisuntaventtiilin tuntoelin asennetaan imuputken päälle, joka lämpenee imuputken lämmitessä ja paine samalla paine kasvaa tuntoelimessä. Tuntoelin on kytkettynä paisuntaventtiilin kapillaariputkella. Kapillaariputkella välitetään tuntoelimessä syntyvä paine paisuntaventtiilin yläosassa olevalle kalvolle. Kalvo liikuttaa suuttimessa olevaa

neulaa, mikä säätelee virtaavan kylmäaineen määrää höyrystimelle. Tulistusta vastaava paine-ero määräytyy jousen aiheuttamasta vastavoimasta. Vastavoimaa voidaan säätää ruuvilla. Venttiiliä avaava voima on tuntoelimen aiheuttama paine. Venttiiliä sulkevia voimia ovat tulistuksen säätämiseen käytetyn jousen voima ja höyrystymispaine. (5, s. 214.)

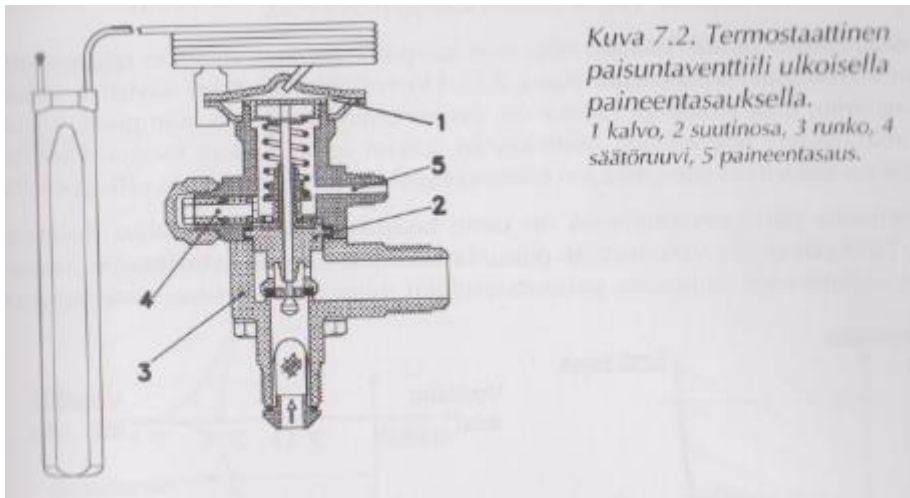
Niin sanotulla sisäisellä paineentasauksella toimivassa paisuntaventtiilissä kalvon alapuolella vallitsee sama paine kuin paisuntaventtiilin sisällä suuttimen jälkeen. Sisäisellä paineentasauksella olevaa paisuntaventtiiliä ei voida käyttää höyrystimessä, jossa on nesteen jakaja ja jakoputket tai suuri painehäviö, koska paine mitataan paisuntaventtiilin sisältä ja lämpötila höyrystimen jälkeen. (5, s. 214–215.) Kuvassa 7 on paisuntaventtiili sisäisellä paineentasauksella.



KUVA 7 Termostaattinen paisuntaventtiili sisäisellä paineentasauksella (5, s. 214)

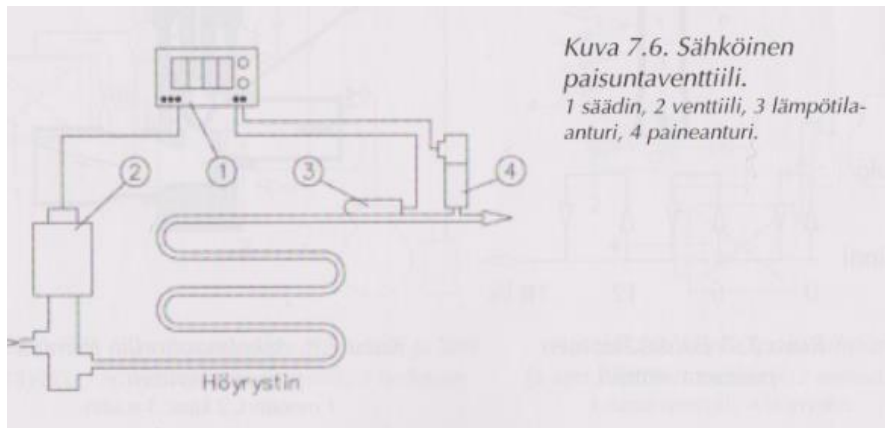
Ulkoisella paineentasauksella varustetussa paisuntaventtiilissä kalvon alapuolella vallitsee höyrystimen jälkeinen paine. Näin höyrystimen sisäinen painehäviö tai paisuntaventtiilin ja höyrystimen välinen painehäviö eivät vaikuta paisuntaventtiilin toimintaan. Ulkoisella paineentasauksella varustettua paisuntaventtiiliä käytetään, kun käytetään nesteen jakajaa ja jakoputkia tai painehäviö on

suurempi kuin 1 °C. (5, s. 215.) Kuvassa 8 on termostaattinen paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella.



KUVA 8 Termostaattinen paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella (5, s. 215)

Elektronisen paisuntaventtiilin pääkomponentit ovat sähköisesti toimiva venttiili, säädin, painelähetin ja lämpötila-anturi. Kuvassa 9 on esitettyä elektronisen paisuntaventtiilin osat. Paisuntaventtiilin toimintaa ohjataan säätimellä sen paine- ja lämpötilamittauksen perusteella määritetyn tulistuksen perusteella. Säädin voi myös määrittää tulistumisen kahden lämpötilamittauksen perusteella. Lämpötila-anturit asennetaan höyrytimen molemmiin puolin. Ennen höyrytintä oleva anturi määrittää höyrytymislämpötilan, ja höyrytimen jälkeen oleva anturi mittaa tulistuneen kylmäaineen lämpötilaa. (5, s. 217 – 218.)

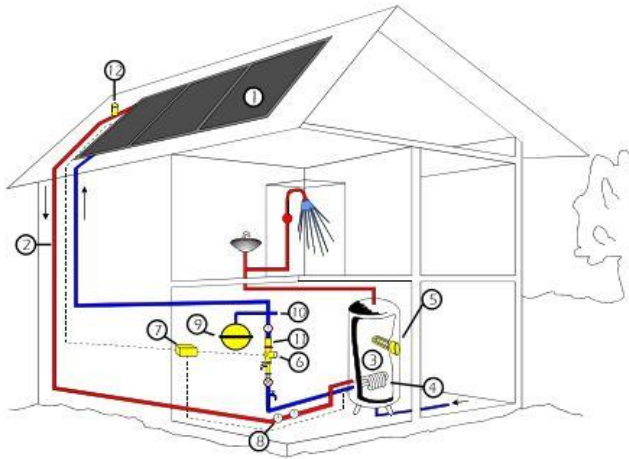


KUVA 9 Elektroninen paisuntaventtiili (5, s. 217)

Elektroninen paisuntaventtiili on joko jatkuva sääteinen tai pulssisäätöinen. Pulssisäätöisellä paisuntaventtiilillä on vakio pituinen toiminta-aika, jolloin se on kerran auki ja kiinni. Jäähdytystarpeen kasvaessa venttiilin aukioloaika pitenee ja kiinnioloaika vastaavasti lyhenee. (5, s. 218.)

2.2 Lämpimän käyttöveden tuottaminen aurinkolämmöllä

Aurinkolämpöjärjestelmällä tuotetaan lämpöä auringon avulla. Lämpimän käyttöveden tuoton järjestelmän keskeisiä komponentteja ovat keräimet, lämminvesivaraaja, pumppuyksikkö ja putkistot. Lämpimän käyttöveden tuoton toimintaperiaate on, että auringon säteily muunnetaan aurinkokeräimessä lämmöksi ja lämpö siirretään putkistossa virtaavan lämmönsiirtonesteen avulla lämminvesivaraajaan, jossa se luovuttaa lämpönsä lämmönvaihtimen kautta käyttöveeteen. Kuvassa 10 on esitettyä aurinkopaneelien käyttö osana lämpimän käyttöveden tuottoa. Lämminvesivaraajassa on myös oltava jokin toinen lämmönlähde esimerkiksi sähkövastus, sillä aurinkolämpö ei kata lämpimän käyttöveden lämmitystehon tarvetta ympärivuoden Suomen sääolosuhteissa. (6, s. 6.)



KUVA 10 Aurinkopaneelit lämpimän käyttöveden tuotossa (6, s. 7)

2.2.1 Tasokeräin

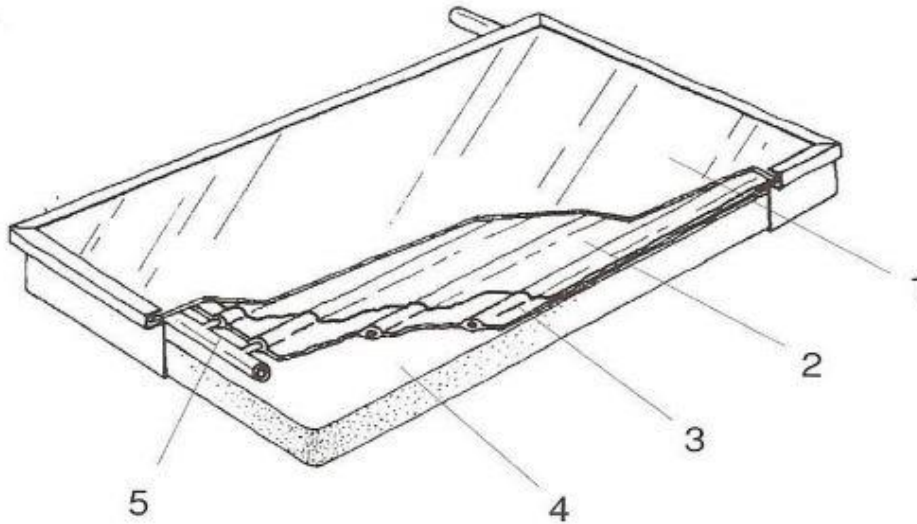
Tasokeräimet ovat yleisimmin käytettyjä kerääjiä. Tasokeräimen toiminta perustuu siihen, että auringon säteet lämmittävät keräimen absorptiolevyä. Absorptiolevyn lämmitettyä se on ympäristöään lämpimämpi. Tämä tarkoittaa sitä, että absorptiolevystä alkaa siirtyä lämpöä ympäröivään ilmaan säteilemällä, johtumalla ja konvektion kautta. Säteilylämpöhäviön vähentämiseksi kerääjään absorptiolevyn pinnassa käytetään selektiivistä pinnoitetta. Johtumalla tapahtuvaa lämpöhukkaa estetään takapinnan lämpöeristyksellä ja konvektiota vähennetään läpinäkyvällä katteella. (7, s. 32)

Absorptiolevyn alla kulkee lämmönkeruuputkisto. Putkistossa kiertää yleensä vesi, mutta jos järjestelmä on ympärivuotisessa käytössä, käytetään vesi-glykoliseosta. Kaikki tämä on pakattu koteloon, joka on valmistettu yleensä alumiinista tai teräksestä. (8, s. 338) Tasokeräimen rakenne on nähtävissä kuvassa 11.

Keräimen osat:

1. selektiivinen kate
2. selektiivinen pinnoite
3. absorptiolevy

4. lämmöneriste
5. putkisto.



KUVA 11 Tasokeräimen rakenne (8, s. 339)

2.2.2 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikön tehtävänä on tehdä järjestelmään sopiva virtaus sekä pitää järjestelmässä paine suunnitellulla tasolla. Yksikön apulaitteilla voidaan seurata järjestelmän toimintaa. Apulaitteina yksikössä ovat painemittari, virtausmittari ja lämpötilamittareita. Yksikössä on myös yksisuuntaventtiili sekä järjestelmän täyttämiseen ja tyhjentämiseen tarvittavat yhteydet. (7, s. 43–45.)

2.2.3 Säädin

Säätimellä säädetään järjestelmän toimintaa. Säädinkokonaisuus koostuu keskusyksiköstä ja lämpötila-antureista. Lämpötila-antureita ovat keräinanturi ja varaaja-anturi. Keräinanturi mittaa kerääjissä virtaavan nesteen lämpötilaa ja varaaja-anturi mittaa varaajan lämpötilaa. Säädin säättää pumpun toimintaa siten,

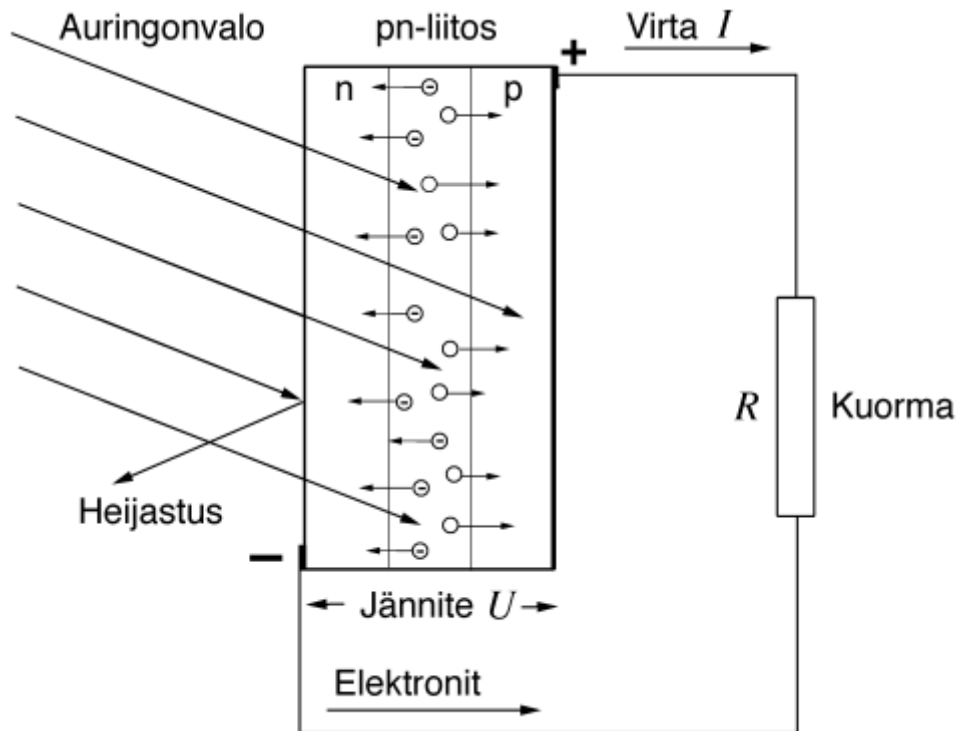
että pumppu käy vain silloin, kun keräin on lämpimämpi kuin varaaja. Lisäantureita voidaan asentaa keskusyksikköön, jos halutaan lisäinformaatiota.(7, s. 46.)

2.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähköllä tarkoitetaan sitä, että aurinkoenergia muutetaan suoraan sähköksi aurinkosähkökennolla.

2.3.1 Aurinkosähkökennon toimintaperiaate

Aurinkosähkökennossa on kaksi p- ja n- tyyppistä puolijohdekerrosta. Näiden liitosta kutsutaan pn-liitokseksi. Auringon valon tullessa paneeliin osa auringonvalohiukkasista läpäisee pintakerroksen ja osa heijastuu pois. Pintakerroksen läpäisseet hiukkaset pääsevät pn-liitokseen ja muodostavat sinne elektroni-aukopareja. Liitoksessa muodostuneissa pareissa elektronit siirtyvät n-puolelle ja aukot siirtyvät p-puolelle. Liitoskohtaan syntyy sähkökenttä elektronien ja aukojen välille. Syntyneen sähkökentän takia elektronit voivat kulkeutua p-puolelle täyttämään aukot vain ulkoisen johtimen kautta. Liitoksen eri puolilla on jatkuvasti erimerkkiset varauksenkuljettajat. Erimerkkisten varauksenkuljettajien takia eri puolille syntyy jännite.(8, s. 1.) Kuvassa 12 on esitettyä aurinkosähköpaneelien toimintaperiaate.



KUVA 12 Aurinkosähköpaneelin toimintaperiaate

2.3.2 Aurinkosähköpaneelit

Aurinkosähköpaneeleita on kolmea eri tyyppiä. Tyypit ovat yksikiteinen, monikiteinen ja amorfina aurinkosähköpaneeli. Paneelien materiaalina käytetään yleensä piitä. Aurinkosähköpaneelit tuottavat tasasähköä. Jos aurinkosähköpaneelit halutaan liittää sähköverkkoon, niin järjestelmässä on oltava verkkoinvertteri. Jos aurinkosähköpaneelit toimivat itsenäisesti, tarvitaan paneelien lisäksi akut. (9, s. 116.)

3 KOHTEEN ENERGIANKULUTUKSET JA MAHDOLLISUUDET

3.1 Todellinen energiankulutus

Kohteessa on alun perin ollut puulämmitys. Nykyisin tiloissa on suoran sähkölämmityksen patterit, jotka on uusittu 2000-luvulla, ja kylpyhuoneessa on sähköinen lattialämmitys. Sähköä kuluu myös lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Kokonaissähkönkulutuksen tiedot vuosilta 2009 - 2013 näkyvät kuvassa 13. Kuva on kohteen sähkönkulutuksen vuosiraportista.



KUVA 13 Sähkönkulutus 2009–2013

Keskimäärin viiden vuoden aikana sähköä on kulunut 11700 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden osuuden voi arvioida kuvan 14 kesäkuukausien sähkönkäytön mukaan, koska kesällä lämmitystä ei ole käytössä.



KUVA 14 Sähkökäyttö kuukausitasolla

Sähkökulutus toukokuussa vuosina 2012 ja 2013 oli noin 440 kWh, kesäkuussa noin 260 kWh, heinäkuussa noin 440 kWh ja elokuussa noin 480 kWh. Keskimäärin sähkökulutus kesäkuukausina on noin 405 kWh.

3.2 Laskennallinen energiankulutus

Laskennallisesti rakennuksen tilannetta lähestytään kahdella eri tavalla. Toinen tavoista on, että määritetään rakennuksen ominaislämpöhäviöitä ja verrataan niitä laskettuihin todellisiin ominaislämpöhäviöihin. Toinen tapa on se, että lasketaan johtumislämpöhäviöt ja verrataan niitä energiankulutukseen.

3.2.1 Rakenneosien ominaislämpöhäviöt

Lämmitykseen kuluvan sähköenergian määrää selvitetään määrittämällä rakennuksen lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot eri rakenneosille. Taulukkoon 1 on kerätty eri rakenneosien u-arvot, alat ja niitä vastaava rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviö.

TAULUKKO 1 Johtumishäviöt

Rakenne	Ala (m ²)	U-arvo (W/m ² K)	Ominaislämpöhäviö W/K
Seinä	94,56	0,47	44,4
Ikkunat	9,96	0,88	8,8
Ovi	1,98	0,9	1,8
Yläpohja	90,9	0,09	8,18
Alapohja	90,9	0,28	25,4
Yhteensä			88,6

Rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 1 (10, s. 12).

$$\sum H_{joht} = \sum(U_{ulkoseinä} * A_{ulkoseinä}) + \sum(U_{yläpohja} * A_{yläpohja}) + \sum(U_{alapohja} * A_{alapohja}) + \sum(U_{ikkuna} * A_{ikkuna}) + \sum(U_{ovi} * A_{ovi}) \quad \text{KAAVA 1}$$

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

A = rakennusosan pinta-ala (m²)

Ikkunat ja ovi ovat Pihla Oy:n valmistamat ja niiden u-arvot löytyvät niiden esitteistä. Seinien, yläpohjan ja alapohjan u-arvoille likimääräiset arvot, jotka vastaavat rakenteeltaan rakennuksen rakennetta, löytyvät valtion teknillisen tutkimuskeskuksen vuonna 1988 julkaisemasta tiedotteesta Korjattavan koulurakennuksen ylläpitokustannusten arviointi. Alat eri rakenneosille saadaan julkisivupii- rustuksista.

3.2.2 Kylmäsillat

Kylmäsiltojen aiheuttamat ominaislämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla 2.

$$\sum H_{kylmäsillat} = l_k * \Psi_k \quad \text{KAAVA 2}$$

l_k = viivamaisen kylmäsillan pituus (m)

Ψ_k = viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi (W/(m K))

Kylmäsilian pituus saadaan laskettua eri rakennusosille mittaamalla julkisivupii-
rustuksesta. Taulukossa 2 on esitettyä eri rakennosien välisten kylmäsiltojen
pituudet, rakennosaa vastaava viivamainen lisäkonduktanssi sekä niistä aiheu-
tavat johtumishäviöt.

TAULUKKO 2 Kylmäsiltojen aiheuttamat johtumislämpöhäviöt

Rakenne	Matka (m)	Lisäkonduktanssi (W/mK)	Johtumislämpöhä- viö W/K
ikk ja ovi	39,6	0,04	1,584
US ja Yp	42,6	0,05	2,13
US ja AP	42,6	0,06	2,556
US	12,5	0,04	0,5
YH- TEENSÄ			6,77

Viivamaisen kylmäsilian lisäkonduktanssin ohjearvot eri rakennosille löytyvät
Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5 (11, s. 17).

3.2.3 Vuotoilma

Vuotoilman ominaislämpöhäviö voidaan laskea kaavalla 3 (10, s. 14).

$$H_{vi} = \rho_i * C_{pi} * q_{v.vuotoilma}$$

KAAVA 3

$$\rho_i = \text{ilman tiheys (1,2 kg/m}^3\text{)}$$

$$C_{pi} = \text{ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 Ws/(kgK))}$$

$$q_{v.vuotoilma} = \text{vuotoilmavirta (m}^3\text{/s)}$$

Vuotoilmavirta saadaan kaavalla 4 (10, s. 23).

$$q_{v.vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 * X} * A_{vaiippa}$$

KAAVA 4

$$q_{50} = \text{rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m}^3 \text{/(h} \cdot \text{m}^2 \text{))}$$

X = kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35

$A_{vaiippa}$ = rakennusvaipan pinta-ala (m^2)

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön.

Laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmavuotolukua $2,0 m^3/(h \cdot m^2)$. Rakennuksen vaipanpinta-ala saadaan laskemalla jokaisen seinän pinta-alat yhteen. Tässä rakennuksessa vaipanala on $288,2 m^2$. Sijoittamalla arvot kaavaan 4 vuotoilmavirraksi saadaan $0,0046 m^3/s$. Kun tarvittavat arvot sijoitetaan kaavaan 3, niin saadaan vuotoilman johtumishäviöksi $5,49 W/K$.

3.2.4 Rakennuksen ominaislämpöhäviö

Kokonaisominaislämpöhäviöksi saadaan laskemalla yhteen rakenneosien läpi johtuva lämpöhäviö, kylmäsilloista aiheutuva ominaislämpöhäviö sekä vuotoilman ominaislämpöhäviö. Näin koko rakennuksen laskennalliseksi kokonaisominaislämpöhäviöksi saadaan $0,1009 kW/^\circ C$.

Taulukossa 3 on seitsemän eri päivän tietoja. Taulukossa on rakennuksen sähkönkulutus, sisälämpötila, ulkolämpötila sekä niiden perusteella laskettu lämpökonduktanssi.

TAULUKKO 3 Rakennuksen ominaislämpöhäviö

Päivämäärä	Q kWh	T _s °C	T _u °C	G kW/°C
30.11.2015	23,26	10,8	2,6	0,118
1.12.2015	24,13	10,8	1,3	0,106
2.12.2015	27,29	10,8	-1,1	0,096
3.12.2015	28,47	10,8	2,4	0,141
4.12.2015	26,55	10,8	2,9	0,140
5.12.2015	25,21	10,8	4,2	0,159
6.12.2015	16,11	10,8	7,4	0,197

Todellinen tilanne taulukon laskennallisten teoreettisten lämpökonduktanssien mukaan vastaa laskennallista ominaislämpöhäviön arvoa $0,1009 kW/^\circ C$. Tämän

perusteella voidaan hyväksyä ja olettaa, että rakennuksen lämpöhäviöt on laskettu riittävällä tarkkuudella oikein.

3.2.5 Johtumislämpöhäviöt ja vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia

Johtumislämpöhäviö rakenneosien läpi voidaan laskea kaavalla 5 (11, s. 16).

$$Q_{rakosa} = \sum U_i * A_i * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 5}$$

Q_{rakosa} = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

A_i = rakennusosan i pinta-ala (m²)

T_s = sisäilman lämpötila (°C)

T_u = ulkoilman lämpötila (°C)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Kohderakennuksen alapohjan lämpöhäviöissä ei tarvitse ottaa huomioon maan eristävyttä, koska alapohja on tuuletettu. Alapohjan lämpöhäviöiden laskennassa käytetään säävyöhykkeen mitoituslämpötilaa.

Johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi lasketaan kaavalla 6 (11, s. 16).

$$Q_{kylmäsiltilat} = \sum l_k * \Psi_k * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 6}$$

$Q_{kylmäsiltilat}$ = johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh)

l_k = viivamaisen kylmäsiltilan pituus (m)

Ψ_k = viivamaisen kylmäsiltilan lisäkonduktanssi (W/(m K))

T_s = sisäilman lämpötila (°C)

T_u = ulkoilman lämpötila (°C)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia voidaan laskea kaavalla 7 (11, s. 19).

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_v.vuotoilma * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 7}$$

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

ρ_i = ilman tiheys (1,2 kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg K))

q_v = vuotoilma vuotoilmavirta (m³/s)

T_s = sisäilman lämpötila (°C)

T_u = ulkoilman lämpötila (°C)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Johtumislämpöhäviöt lasketaan jokaiselle kuukaudelle erikseen. Laskentaan on tässä työssä käytetty Excel-ohjelmaa. Kylmäsiltojen johtumislämpöhäviössä käytetään suoraan kylmäsiltojen yhteen laskettua ominaislämpöhäviötä. Sisälämpötilana käytetään 15 °C:ta. Keskimääräiset ulkolämpötilat jokaiselle kuukaudelle löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3.(10, s. 31). Ajanjakson pituus saadaan jokaiselle kuukaudelle kertomalla kuukauden päivien lukumäärä 24 tunnilla. Taulukossa 5 on esitettyä laskennan tulokset.

TAULUKKO 4 Laskennallinen johtumislämpöhäviö rakennuksessa

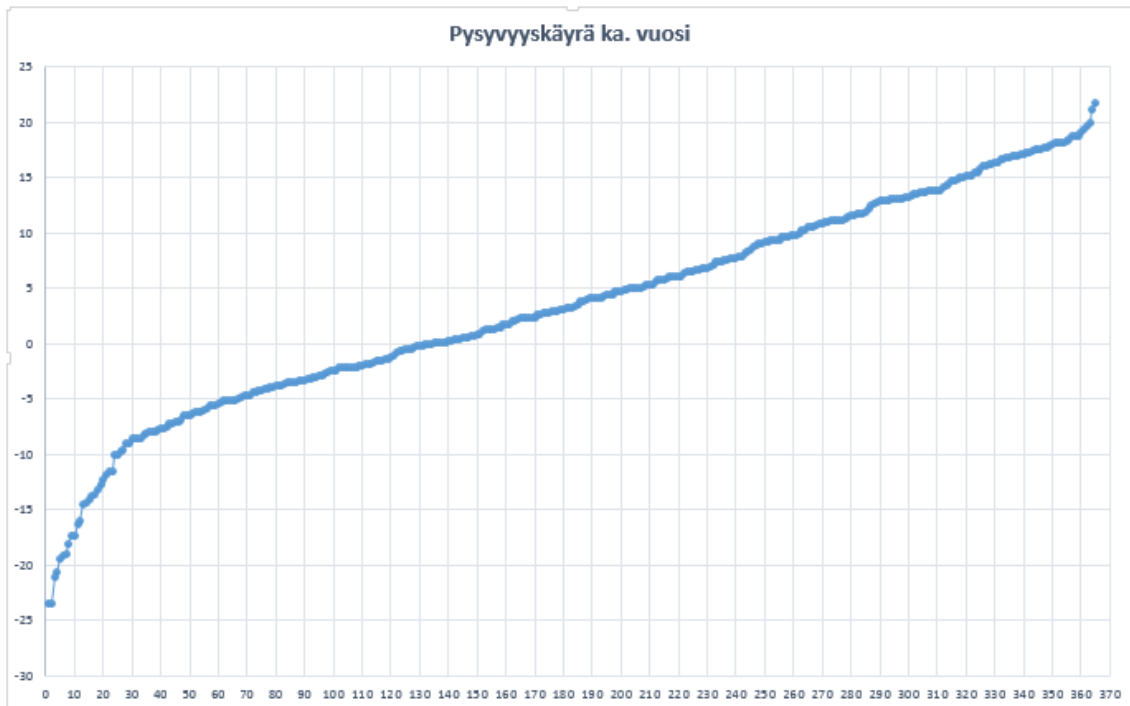
Kuukausi	Q _{rakosa}	Q _{kylmäsil}	Q _{vuotoilma}
	kwh	kwh	kWh
Tammikuu	1562,84	115,85	93,93673
Helmikuu	1356,36	100,54	81,52602
Maaliskuu	1259,10	93,33	75,68033
Huhtikuu	827,23	61,32	49,72191
Toukokuu	418,57	31,03	25,15871
Kesäkuu	105,87	7,85	6,363456
Heinäkuu	0,00	0,00	0
Elokuu	84,26	6,25	5,064415
Syyskuu	382,71	28,37	23,0033
Lokakuu	742,69	55,05	44,64037
Marraskuu	1102,10	81,69	66,24318
Joulukuu	1421,50	105,37	85,44158
Yhteensä	9263,2	686,65	556,78
Kaikki yhteensä			10230,2

3.3 Ilmalämpöpumpulla säästettävä energia

Tässä työssä verrataan kahta eri ilmalämpöpumppua. Toinen ilmalämpöpumppu on Mitsubishi Electric MSZ-FH -mallisarjan ilmalämpöpumppu. Toinen pumpuista on Daikin Nordic Mainstream -mallisarjan ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumppujen kokoa ja tarkempaa mallia tarkastellaan aluksi ilmalämpöpumppuesitteistä. Yleensä ilmalämpöpumppuesitteissä käy ilmi, minkä kokoluokan rakennuksiin kyseinen ilmalämpöpumppu on soveltuva ja sen antamat lämmitystehon minimi- ja maksiarvot. Tässä työssä rakennuksen pinta-ala on noin 91 m² ja Mitsubishi MSZ-FH35VEHZ -pumppua suositellaan kokoluokan 60 - 120 m² rakennuksille.

Energian säästö ilmalämpöpumpulla voidaan laskea Jyväskylän normeerattujen lämpötilojen pysyvyyskäyrälle piirrettyjen pumpun anto- ja ottotehokäyrien mukaan. Ympäristöministeriön sivuilta löytyy Excel-tilukko, jossa on vuoden jo-

kaiselle tunnille lämpötila. Näistä lämpötiloista lasketaan jokaiselle päivälle keskiarvolämpötila. Jokaisen päivän lämpötiloista tehdään pysyvyyskäyrä, kuten kuvassa 15 on nähtävissä. Pystysarakkeessa on lämpötilat ja vaaka sarakkeella on päivät.



KUVA 15 Pysyvyyskäyrä

Pysyvyyskäyrän muuntaminen tehokäyräksi tapahtuu laskemalla kaavasta 8 lämpökonduktanssi G :

$$G = \dot{\phi} / \Delta T$$

KAAVA 8

$\dot{\phi}$ = Lämmitysteho (kW)

G = konduktanssi (kW/°C)

ΔT = Ulkoilman lämpötilan ja sisälämpötilan välinen lämpötilaerotus (°C)

Kohderakennuksessa mitoituslämmitysteho on 4,7 kW. Mitoittava ulkolämpötila Jyväskylän alueella on –32 °C. Sisälämpötilaksi valitaan 15 °C. Nämä arvot si-
joitettuna kaavaan 10 saadaan lämpökonduktanssin arvoksi 0,10 kW/°C.

Konduktanssin avulla voidaan laskea ulkolämpötilaa vastaava lämmitysteho kaavaa 10 pyöräyttämällä muotoon:

$$\phi = 0,100 \frac{kW}{^{\circ}C} * (15^{\circ}C - T_u)$$

Esimerkiksi kun ulkolämpötila on –30 °C, sitä vastaava lämmitysteho on:

$$\phi = 0,100 \frac{kW}{^{\circ}C} * (15^{\circ}C - (-30^{\circ}C)) = 4,5 kW$$

Kohderakennukselle lasketut ulkolämpötiloja vastaavat lämmitystehot ovat näh-
tävissä taulukossa 6.

TAULUKKO 5 Ulkoilmaa vastaava lämmitysteho

T _u (°C)	Q (kW)
-30	4,50
-25	4,00
-20	3,50
-15	3,00
-10	2,50
-5	2,00
0	1,50
5	1,00
10	0,50
15	0,00
20	-0,50

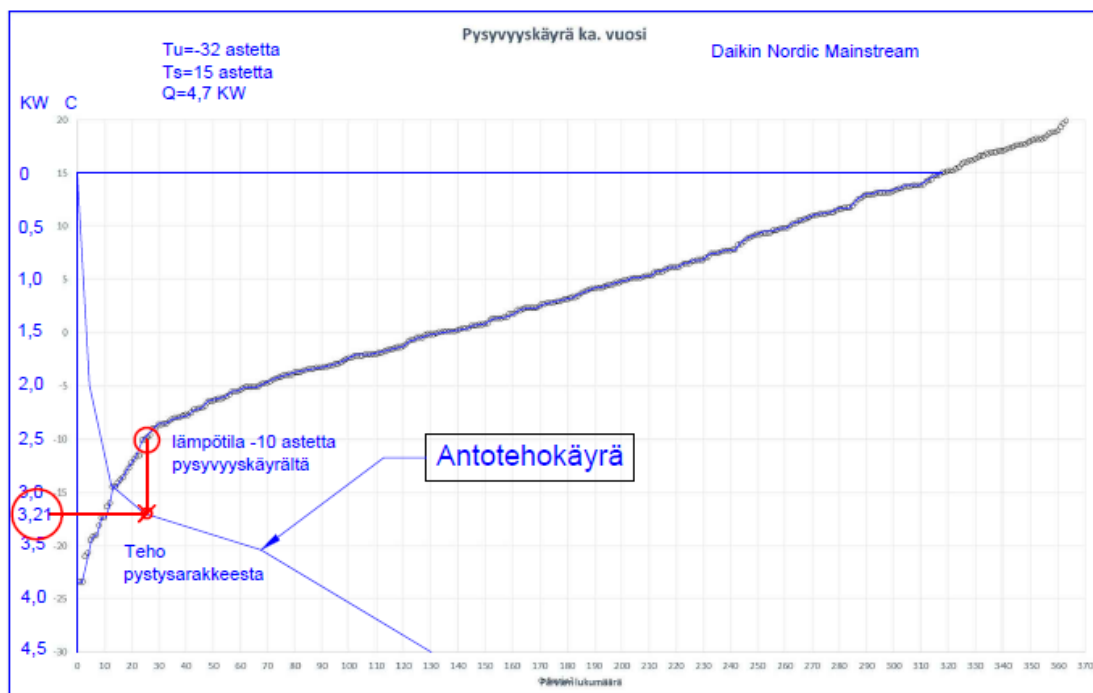
Tehokäyrät piirretään pysyvyyskäyrälle ilmalämpöpumpun esitteistä löytyvän lämmityskapasiteetti taulukon mukaan. Taulukosta löytyy ulkoilman lämpötilaa vastaava pumpun kokonaisteho TC ja pumpun ottoteho TI eri rakennuksen si-
säilman lämpötiloilla. Taulukossa 7 on nähtävissä Daikin Nordic Mainstream -ilmalämpöpumpun lämmityskapasiteettitaulukko.

TAULUKKO 6 Lämmityskapasiteetti taulukko Daikin Nordic Mainstream

Heating (50Hz 230V)

①	④															
	-25		-20		-15		-10		-5		0		6		10	
	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI
15	1.73	0.85	2.07	0.90	2.95	1.12	3.21	1.16	3.55	1.18	4.48	1.24	5.59	1.29	6.77	1.37
20	1.54	0.87	1.88	0.93	2.81	1.15	3.02	1.18	3.26	1.21	4.27	1.26	5.40	1.31	6.65	1.39
22	1.42	0.89	1.78	0.94	2.71	1.15	2.94	1.19	3.29	1.22	4.20	1.27	5.33	1.32	6.57	1.40
24	1.39	0.89	1.73	0.94	2.65	1.16	2.85	1.20	3.22	1.25	4.12	1.29	5.25	1.33	6.50	1.42
25	1.34	0.90	1.68	0.95	2.60	1.16	2.82	1.20	3.17	1.26	4.08	1.31	5.21	1.34	6.46	1.43
27	1.28	0.91	1.62	0.96	2.55	1.17	2.76	1.21	3.10	1.26	4.01	1.31	5.14	1.34	6.39	1.43

Antotehokäyrän pisteet saadaan suoraan taulukon arvoista. Ulkolämpötilaa vastaava kokonaisteho on TC. Lämpötila katsotaan pysyvyyskäyrältä. Esimerkkinä voidaan mainita kohderakennuksen antotehokäyrän pisteen piirtäminen: Daikin pumpun TC on 3,21 kW taulukon 7 mukaan, kun ulkolämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötila $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pisteiden piirto on esitettyä kuvassa 16.



KUVA 16 Antotehokäyrän pisteen piirtoesimerkki

Ottotehokäyrän pisteet piirretään myös lämmityskapasiteettitaulukon mukaan. Esimerkiksi kohderakennuksessa Daikin pumpun kokonaisteho TC on 3,21 kW ja ottoteho PI on 1,16 kW taulukon 7 mukaan, kun ulkolämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötila 15 astetta. Kohderakennuksen lämmitystehon tarve on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa 2,5 kW. Lasketaan hyötysuhde kaavalla 9.

$$\eta = \frac{\phi_{kok}}{\phi_{tarve}}$$

KAAVA 9

ϕ_{kok} = kokonaistehon taulukkoarvo pumpulla (kW)

ϕ_{tarve} = rakennuksen lämmitystehontarve (kW)

Hyötysuhteeksi tässä esimerkissä saadaan 1,28. Todellinen ottoteho ulkolämpötilassa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ saadaan kaavalla 10:

$$\phi_{tod,ottoteho} = \frac{\phi_{taulukko,ottoteho}}{\eta_{-10\text{ }^{\circ}\text{C}}}$$

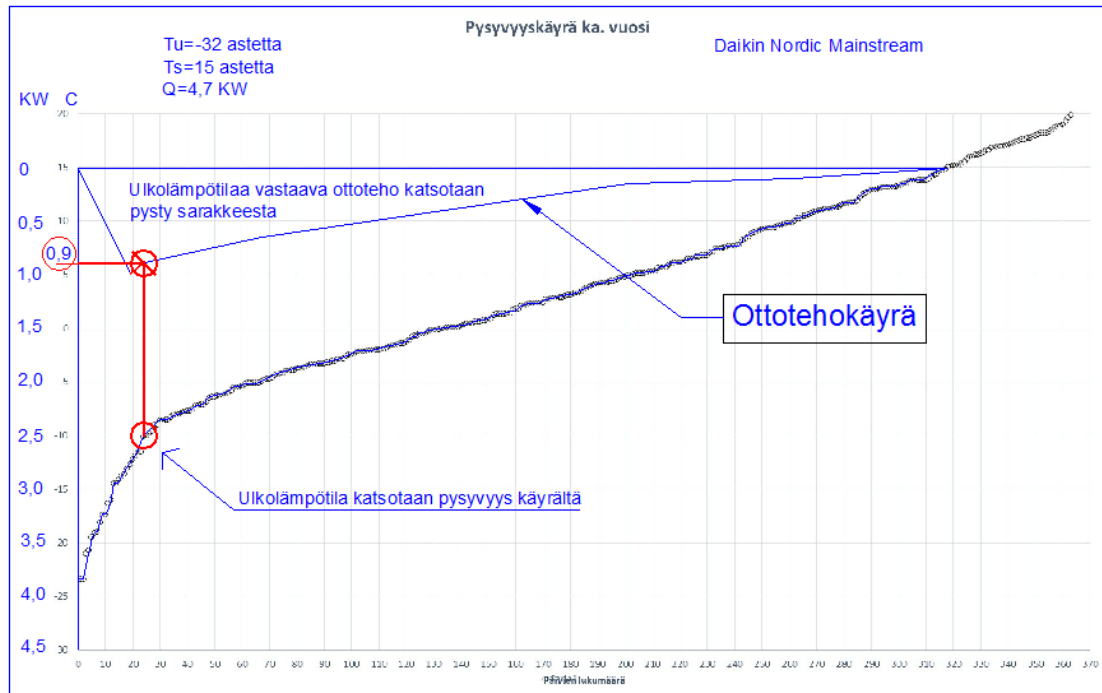
Kaava 10

$\phi_{tod,ottoteho}$ = todellinen ottoteho pumpulla (kW)

$\phi_{taulukko,ottoteho}$ = taulukkoarvo ottoteho pumpulla (kW)

$\eta_{-10\text{ }^{\circ}\text{C}}$ = ottotehon hyötysuhde, kun ulkolämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan todelliseksi ottotehoksi 0,9 kW ulkolämpötilan ollessa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötilan ollessa $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pisteiden piirto on esitettyä kuvassa 16.



KUVA 17 Ottotehokäyrän pisteen piirtoesimerkki

3.3.1 Mitsubishi MSZ-FH35VEHZ

Mitsubishin MSZ-FH35VEHZ -ilmalämpöpumpun lämmityskapasiteettitaulukko on nähtävissä taulukossa 8.

TAULUKKO 7 Mitsubishi MUZ-FH35VEH lämmityskapasiteettitaulukko

MUZ-FH35VE

CAPACITY: 4.0 kW

INPUT: 800 W

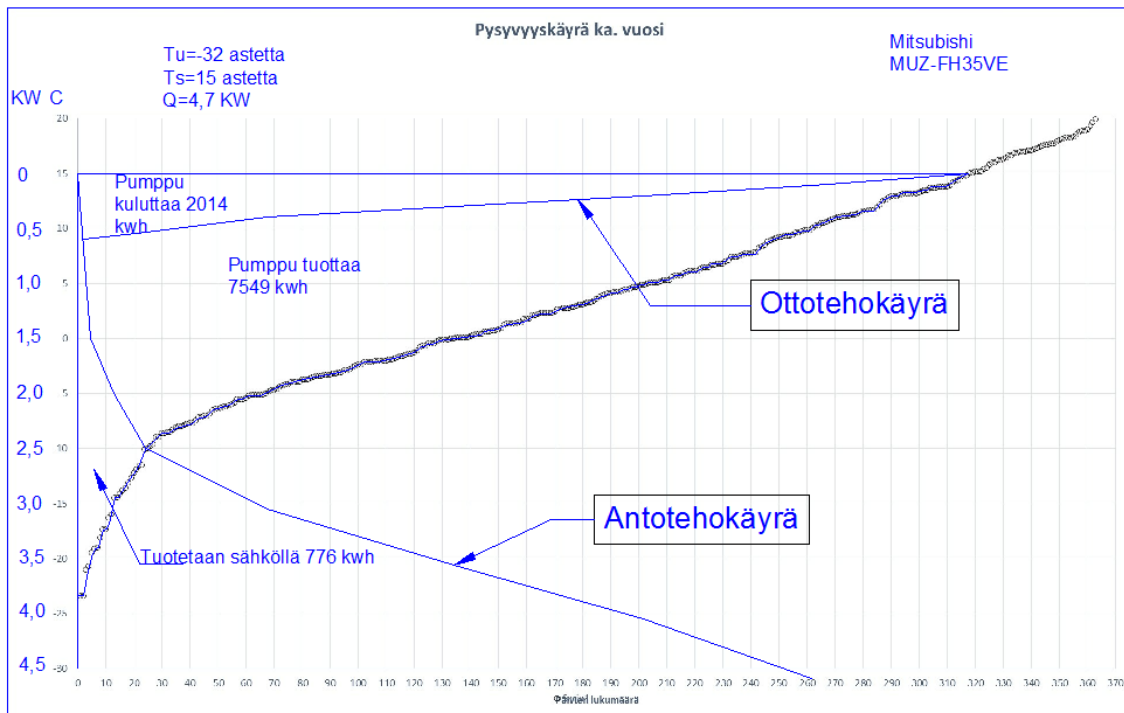
INDOOR DB (°C)	OUTDOOR WB (°C)													
	-10		-5		0		5		10		15		20	
	Q	INPUT	Q	INPUT	Q	INPUT	Q	INPUT	Q	INPUT	Q	INPUT	Q	INPUT
15	2.52	520	3.04	624	3.56	704	4.08	760	4.60	808	5.08	832	5.60	848
21	2.40	560	2.88	664	3.40	736	3.88	792	4.40	832	4.88	856	5.38	888
26	2.16	600	2.68	704	3.16	776	3.68	832	4.20	872	4.68	896	5.20	920

Taulukon arvojen mukaan lasketut todelliset ottotehot näkyvät taulukossa 9.

TAULUKKO 8 Ottotehot eri lämpötiloilla

T_u °C	$\phi_{\text{tehon tarve}}$ kW	$\phi_{\text{taulukko, kokonaisteho}}$ kW	η	$\phi_{\text{taulukko, ottoteho}}$ kW	$\phi_{\text{todellinen, ottoteho}}$ kW
-10	2,5	2,52	1,008	0,52	0,52
-5	2	3,04	1,52	0,625	0,41
0	1,5	3,56	2,373333	0,704	0,30
5	1	4,08	4,08	0,76	0,19
10	0,5	4,6	9,2	0,808	0,09

Ottotehokäyrä piirretään todellisten ottotehojen ja ulkolämpötilan mukaan. Antotehokäyrä piirretään taulukon kokonaistehon ja ulkoilmanlämpötilan mukaan. Käyrien piirrot näkyvät kuvassa 18.



KUVA 18 Mitsubishin otto- ja antotehokäyrät

Kuvassa 18 näkyvien otto- ja antotehokäyrien sekä lämpötilan pysyvyyskäyrän rajaamien alueiden pinta-alat ovat pumpun kuluttama sähköenergia, pumpulla tuotettu lämmitysenergia sekä sähköllä tuotettava lämmitysenergia. Mitsubishin

pumppu tuottaa vuodessa 7549 kWh, pumppu kuluttaa vuodessa 2014 kWh ja sähkölle jää vuodessa 776 kWh tuotettavaksi.

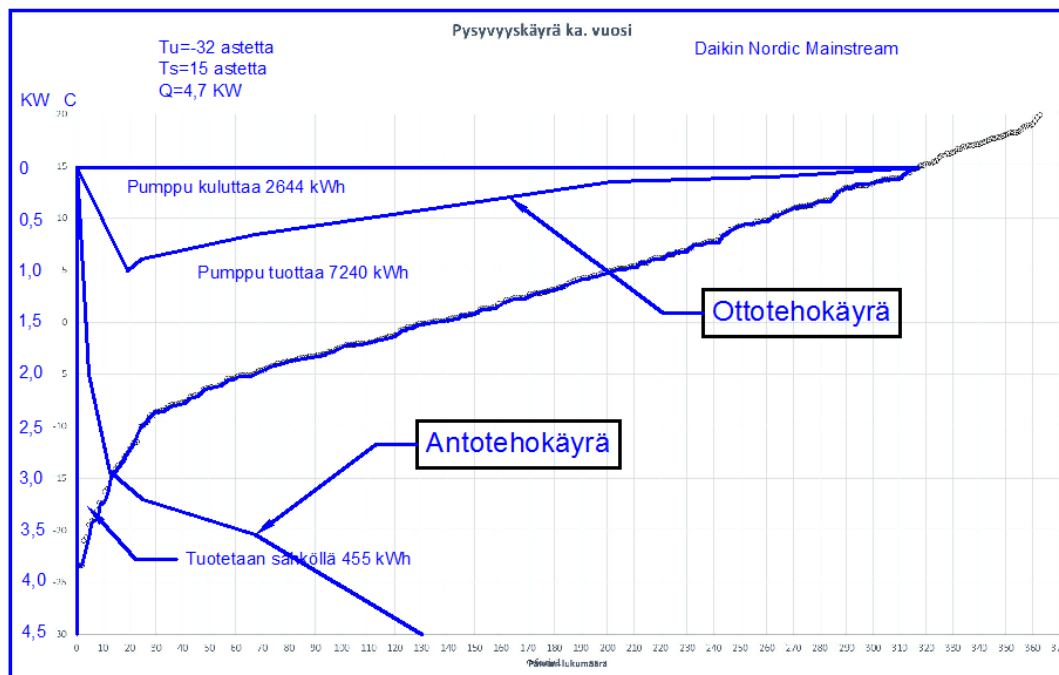
3.3.2 Daikin Nordic Mainstream

Daikin Nordic Mainstream -ilmalämpöpumpun lämmityskapasiteettitaulukko on nähtävissä taulukossa 7. Taulukon mukaan lasketut todelliset ottotehot näkyvät taulukossa 10.

TAULUKKO 9 Daikin Nordic Mainstream ottotehot eri lämpötiloilla

T_u °C	$\Phi_{\text{tehon tarve}}$ kW	$\Phi_{\text{taulukko,kokonaisteho}}$ kW	η	$\Phi_{\text{taulukko,ottoteho}}$ kW	$\Phi_{\text{todellinen,otto-}}teho$ kW
-25	4	1,73	0,43	0,85	1,97
-20	3,5	2,07	0,59	0,9	1,52
-15	3	2,95	0,98	1,12	1,14
-10	2,5	3,21	1,28	1,16	0,90
-5	2	3,55	1,78	1,18	0,66
0	1,5	4,48	2,99	1,24	0,42
6	0,9	5,59	6,21	1,29	0,21
10	0,5	6,77	13,54	1,37	0,10

Ottotehokäyrä piirretään todellisten ottotehojen ja ulkolämpötilan mukaan. Antotehokäyrä piirretään taulukon kokonaistehon ja ulkolämpötilan mukaan. Käyrien piirrot näkyvät kuvassa 19.



KUVA 19 Daikin Nordic Mainstream ilmalämpöpumpun otto- ja antotehokäyrät

Kuvassa 19 näkyvien otto- ja antotehokäyrien sekä lämpötilan pysyvyyskäyrän rajaamien alueiden pinta-alat ovat pumpun kuluttama sähköenergia, pumpulla tuotettu lämmitysenergia sekä sähköllä tuotettava lämmitysenergia. Daikin pumppu tuottaa vuodessa 7240 kWh, pumppu kuluttaa vuodessa 2644 kWh ja sähkölle jää vuodessa 455 kWh tuotettavaksi.

3.4 Aurinkolämmöllä säästetty energia lämpimässä käyttövedessä

Aurinkolämpökerääjien avulla saatavaa käyttöveden lämmityksessä hyödynnettävää energiamäärä lasketaan Ismo Heimosen tekemän Aurinko-Opas 2012 avulla. Tässä työssä on käytetty Excel-laskentaa Aurinko-Opas 2012 kaavojen mukaisesti. Työssä selvitetään toukokuun alusta aina syyskuun loppuun välisenä aikana saatua hyötyä lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

3.4.1 Aurinkolämmön tuotto

Aurinkolämmön tuotto lasketaan kaavalla 11 (12, s.11.).

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi}(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \text{ KAAVA 11}$$

$Q_{tuotto,A}$ = on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)

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

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin. Varaajatyypin korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $c_{tyyppi} = 1$.

a, b, c, d, e, f = myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille $a = 1,029$ $b = -0,065$ $c = -0,245$ $d = 0,0018$ $e = 0,0215$ $f = 0$

$X, Y = X$ on häviö/tarve –suhde ja Y on tuotto/tarve –suhde.

X :n arvo lasketaan kaavalla 12 (12, s. 11)

$$X = \frac{A * U_C * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \text{ KAAVA 12}$$

A = keräin pinta-ala (m^2)

U_C = keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m^2K)

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään $\eta_{kierto} = 0,8$.

ΔT = keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero (K)

t_h = tarkastelujakson pituus (kuukausi), (h)

c_{cap} = varastokapasiteetin korjauskerroin

$Q_{tarve,A}$ = on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (pelkästään käyttöveden lämmitys), (Wh)

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin U_c lasketaan kaavasta 13 (12, s.12).

$$U_c = a_1 + 40 * a_2 + U_L/A \quad \text{KAAVA 13}$$

a_1 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin (W/m²K)

a_2 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin (W/m²K²)

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin U_L saadaan kaavasta 14 (12, s. 12).

$$U_L = 5 + 0,5 * A_{keräin} \quad \text{KAAVA 14}$$

Referenssilämpötilaero lasketaan kaavalla 15 (12, s. 13).

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad \text{KAAVA 15}$$

θ_e = on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila (°C)

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

Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila saadaan kaavalla 16 (12, s. 13.).

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180\theta_{hw} + 3,86\theta_{cw} - 1,32\theta_e \quad \text{KAAVA 16}$$

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

θ_{cw} = on kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa $\theta_{cw} = 5$ °C

Varastokapasiteetin korjauskerroin saadaan laskettua kaavalla 17 (12, s. 13).

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}}\right)^{-0,25} \quad \text{KAAVA 17}$$

c_{cap} = on varaajakapasiteetin korjauskerroin

V_{tod} = on varaajan suunniteltu ominaistilavuus (dm³ /keräin-m²)

Jos varaajassa on lisälämmitys, korjataan tilavuutta V_{tod} kaavalla 18 (12, s. 13.).

$$V_{tod} = V_{nim} * (1 - f_{apu})$$

KAAVA 18

V_{nim} = on varaajan nimellistilavuus

f_{apu} = osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä

Apulämmityksen osuus varaajasta lasketaan kaavalla 19 (12, s. 13.).

$$f_{apu} = x * V_{LL} / V_{nim}$$

KAAVA 19

V_{nim} = on varaajan nimellistilavuus

V_{LL} = on varaajan lisälämmitysosan tilavuus

x = lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin (jatkuvakäyttöinen $x=1$, yökäyttö $x=0.7$, lämmityksen käyttö hätätapauksessa $x=0.3$)

Y :n arvo lasketaan kaavalla 20 (12, s. 12).

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}}$$

KAAVA 20

A = keräinten pinta-ala (m^2)

IAM = keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin (incidence angle modifier), jolle oletusarvoina käytetään $IAM = 1,0$ kattamattomalle (lasiton) keräimelle, $IAM = 0,94$ lasikatteisille tasokeräimille ja $IAM = 0,97$ tyhjöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta $IAM = 1,0$ tyhjöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään $\eta_{kierto} = 0,8$.

η_0 = Käytettävää keräinpinta-alaa vastaava optinen hyötysuhde

$Q_{keräin}$ = on auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla ($Wh/m^2, kk$)

$Q_{tarve,A}$ = on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (pelkääntään käyttöveden lämmitys) (Wh)

3.4.2 Aurinkolämmön laskennan tulokset

Tässä työssä on käytetty laskentaan Excel-ohjelmalla tehtyä laskentapohjaa. Laskennassa tarkastellaan vain kesäkuukausien aikana tapahtuvaa käyttöä (toukokuu–syyskuu). Kuvassa 20 on esitettyinä laskennassa käytettyjä lähtöarvoja. Laskennassa käytetyt paneelit ovat Sundial Finland Oy:n valmistamat.

Lähtötiedot		Säätiedot Jyväskylässä	
Säätiedot			
Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot			
Keräimen koko A	A	4	m ²
Henkilömäärä	hlö	2	kpl
LV-kulutus/hlö	l/hlö/vrk	50	l/hlö/vrk
LV-kulutus	l/vrk	150	l/vrk
keräinpiirin hyötysuhde	$\eta_{kv\text{-siirto}}$	0,89	
keräimen hyötysuhde	η_0	0,92	
keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin	a_1	1,8	W/m ² K
keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin	a_2	0,036	W/m ² K
Keräimen suuntaus korjauskerroin	IAM	0,94	
Keräimen suunta		Etelä	
Keräimen kulma		15	astetta
Lämpimän käyttöveden lämpötila	T_{lv}	55	°C
lämpimän käyttöveden minimilämpötila	θ_{hw}	40	°C
Kylmän käyttöveden lämpötila	T_{kv}	5	°C
varaajan nimellistilavuus	V_{nim}	300	l
varaajan lisälämmitysosan tilavuus	V_{LL}	100	l
lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin	X	0,7	
varaajatyyppin korjauskerroin	C_{tyyppi}	1	
Veden ominaislämpökapasiteetti	C_{pv}	4,19	KJ/KgK
veden tiheys		1	kg/l
Keräinpiirin lämpöhäviökerroin	U_c	4,99	W/m ² K
Apulämmityksen osuus varaajasta	f_{apu}	0,23	
Varaajan suunniteltu ominaistilavuus	V_{tod}	230	l
Varastokapasiteetin korjauskerroin	C_{cap}	10,7	

KUVA 19 Lähtötiedot

Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3 (10, s. 31) saadaan säätietojen taulukosta jokaisen kuukauden keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilyenergiat vaakapinnalle. Säteilyn korjauskerroin kallistetulle pinnalle löytyy aurinko oppaasta. (12, s. 16) Korjauskertoimet on otettu oppaan korjauskertoimien 0 ° ja 30 ° välistä, koska kaltevuudelle 15 ° ei ole arvoja oppaassa. Keskimääräiset ulkolämpötilat, auringon säteilyenergiat ja korjauskertoimet on kerättyinä taulukkoon 11.

TAULUKKO 10 Jyväskylän säätietoja

Kuukausi	$T_{u,keskim}$	$G_{sät,v}$	Korjauskertoimen
			kulma 15
Tammikuu	-8	5,4	1,25
Helmikuu	-7,1	20,1	1,46
Maaliskuu	-3,53	51,9	1,29
Huhtikuu	2,42	102,9	1,13
Toukokuu	8,84	171,4	1,04
Kesäkuu	13,39	159,1	1,01
Heinäkuu	15,76	158,2	1,02
Elokuu	13,76	113,9	1,06
Syyskuu	9,18	71,1	1,14
Lokakuu	4,07	25,3	1,23
Marraskuu	-1,76	7,3	1,16
Joulukuu	-5,92	3,2	1
Vuosi	5,57	975	1,15

Taulukossa 12 on esitetty korjauskertoimen avulla laskettu kuukausittainen säteilyenergia $G_{sät,kallistettupinta}$, keskimääräinen teho keräinpinnalle, lämpimän käyttöveden lämmöntarve sekä lämmöntarve ja siihen lisätyt siirtohäviöt. Siirtohäviöt voidaan laskea Suomen rakennusmääräyskokoelman osasta D5 (11, s. 41) löytyvällä korjauskertoimella 0,89. Järjestelmässä ei ole lämpimän käyttövedenkiertoa ja eristys on perustasoa.

TAULUKKO 11 Säteilyenergia kallistetulle pinnalle sekä LKV-lämmöntarve

Kuukausi	$G_{\text{sät,kallistettu}}$ pinta kwh/m ²	Päi- viä/kk	Tunti/kk	Keskiteho W/m ²	LKV-läm- möntarve kwh/kk	LKV-lämmön- tarve+häviöt Kwh/kk
Tammikuu	9,45	31	744	12,701613	270,60	304,05
Helmikuu	45,63	28	672	67,90	244,42	274,63
Maaliskuu	90,83	31	744	122,08	270,60	304,05
Huhtikuu	133,77	30	720	185,79	261,88	294,24
Toukokuu	183,40	31	744	246,50	270,60	304,05
Kesäkuu	157,51	30	720	218,76	261,88	294,24
Heinäkuu	159,78	31	744	214,76	270,60	304,05
Elokuu	126,43	31	744	169,93	270,60	304,05
Syyskuu	94,56	30	720	131,34	261,88	294,24
Lokakuu	40,99	31	744	55,09	270,60	304,05
Marraskuu	9,71	30	720	13,48	261,88	294,24
Joulukuu	3,20	31	744	4,30	270,60	304,05
Vuosi	1055,25	365	8760	1442,64	3186,15	3579,94

Taulukossa 13 on esitetty Aurinko-Opas 2012 kaavojen mukaisesti laskettu aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla $Q_{\text{tuotto,A}}$ ja sitä kautta todellinen aurinkopaneeleilla tuotettu lämpöenergia $Q_{\text{tuotto,netto}}$.

TAULUKKO 12 Aurinkolämmön säästö

Kuukausi	θ_e	θ_{ref}	ΔT	X	Y	Q_{tuottoA}	$Q_{\text{tuotto,brutto}}$	$Q_{\text{tuotto,netto}}$	Maksettava
									osuus
Tammikuu	-8	88,66	96,66	4,04	0,06	-51,91	0,00	0,00	304,05
Helmikuu	-7,1	87,47	94,57	3,95	0,30	15,05	15,05	15,05	259,57
Maaliskuu	-3,53	82,76	86,29	3,60	0,61	100,36	100,36	100,36	203,69
Huhtikuu	2,42	74,91	72,49	3,03	1,09	200,13	200,13	200,13	94,11
Toukokuu	8,84	66,43	57,59	2,40	1,62	295,08	295,08	295,08	8,97
Kesäkuu	13,39	60,43	47,04	1,96	1,51	279,25	279,25	279,25	14,99
Heinäkuu	15,76	57,30	41,54	1,73	1,47	286,90	286,90	286,90	17,15
Elokuu	13,76	59,94	46,18	1,93	1,10	226,45	226,45	226,45	77,60
Syyskuu	9,18	65,98	56,80	2,37	0,76	149,34	149,34	149,34	144,91
Lokakuu	4,07	72,73	68,66	2,87	0,28	30,63	30,63	30,63	273,42
Marraskuu	-1,76	80,42	82,18	3,43	0,08	-35,74	0	0,00	294,24
Joulukuu	-5,92	85,91	91,83	3,83	0,03	-58,69	0	0,00	304,05
Vuosi	5,57					1436,85	1583,19	1583,19	1996,75

Taulukon 13 mukaan Sundialin paneeleilla ei pystytä tuottamaan lämpimänkäyt-
töveden lämmitystehontarvetta kokonaan minään kuukautena. Lisälämmöllä pi-
tää tuottaa 263,6 kWh.

3.5 Aurinkosähköpaneelilla tuotettavan sähköenergia

Aurinkopaneelilla tuotettavan sähköenergian määrän laskentaan käytetään
Aurinko oppaasta löytyviä kaavoja. Tässä työssä laskentaa on käytetty Excel-
ohjelmaa oppaan kaavojen mukaisesti.

Paneelilla tuotettavan energiamäärän voi laskea kaavalla 21 (12, s. 20).

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} * P_{maks} * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad \text{KAAVA 21}$$

E_{sol} = vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin
(kWh/m²)

P_{maks} = aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto
tuottaa referenssisäteilytilanteessa (kW)

$F_{käyttö}$ = käyttötilanteen toimivuuskerroin

I_{ref} = referenssisäteilytilanne (1 kW/m²)

Käyttötilanteen toimivuuskerroin löytyy aurinko oppaasta (12, s. 22).

Kennoihin kohdistuvan säteilyenergian määrä E_{sol} voidaan laskea kaavalla 22
(12, s. 20).

$$E_{sol} = E_{sol,hor} * F_{asento} \quad \text{KAAVA 22}$$

$E_{sol,hor}$ = rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsä-
teilyn kokonaisenergian määrä vuodessa (kWh/m²)

F_{asento} = aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen kor-
jauskerroin

Korjauskerroin F_{asento} voidaan laskea kaavalla 23 (12, s. 21).

$$F_{asento} = F_1 * F_2$$

KAAVA 23

F_1 = ilmansuunnan mukainen kerroin

F_2 = kallistuksen mukainen kerroin

Kertoimet F_1 ja F_2 löytyvät aurinko oppaasta (12, s. 21).

Kennojen tuottaman maksimi teho P_{max} voidaan laskea kaavalla 24, jos testattua tehoa ei ole käytettävissä (11, s. 21).

$$P_{max} = K_{max} * A$$

KAAVA 24

K_{max} = aurinkosähkönnon tyypistä riippuva huipputehokerroin (kW/m²)

A = aurinkosähkökennon pinta-ala (m²)

Huipputehokerroin K_{max} löytyy aurinko-Oppaasta (12, s. 22).

Aurinkosähköpaneelien tuoton laskenta

Tässä työssä on käytetty laskentaan Excel-ohjelmalla tehtyä laskentapohjaa. Laskennat tehdään Aurinko-Opas 2012 mukaisilla kaavoilla. Aurinkosähköpaneelit ovat Solarwatin valmistamat. Tarjouksen ja apua oikeanlaisen aurinkosähköpaketin valintaan kysyin Finnwind Oy:stä. Kuvassa 21 on esitettyinä taulukkolaskennan lähtöarvoja.

Lähtötiedot		
Aurinkokeräinten pinta-ala	A	20,4 m ²
Ilman suunnan mukainen kk	F ₁	1
Kallistuskulman mukainen kk	F ₂	1
Huipputehokerroin	K _{max}	0,16
Maksimi sähköteho	P _{max}	3,3 kW
Referenssisäteilytilanne	I _{ref}	1 kW/m ²
Käyttötilanteen toimivuuskerroin	F _{käyttö}	0,75

KUVA 20 Lähtötiedot

Taulukossa 14 on esitettyä Aurinko oppaan mukaisilla kaavoilla kuukausittaiset energian tuotot paneeleilla.

TAULUKKO 13 Paneeleilla tuotettu sähköenergia

Kuukausi	E _{solhor} (kWh/m ² ,kk)	E _{sol}	Tuotto/kk kWh
Tammikuu	5	5	12,24
Helmikuu	20	20	48,96
Maaliskuu	52	52	127,296
Huhtikuu	103	103	252,144
Toukokuu	171	171	418,608
Kesäkuu	159	159	389,232
Heinäkuu	158	158	386,784
Elokuu	114	114	279,072
Syyskuu	71	71	173,808
Lokakuu	25	25	61,2
Marraskuu	7	7	17,136
Joulukuu	3	3	7,344
Vuosi	888	888	2173,824

Taulukon 14 mukaan kohderakennuksessa Solarwatin aurinkosähköpaneeleilla tuottaisi sähköenergiaa 2173,8 kWh vuodessa.

4 KANNATTUVUUSLASKELMAT

4.1 Käyttökustannukset

Käyttökustannukset koostuvat laitteen sähköenergian kulutuksesta sekä sähkölle jäävästä lämmöntuoton osasta.

4.1.1 Ilmalämpöpumput

Tässä työssä verrataan kahta eri ilmalämpöpumppua.

Mitsubishin pumpun käytön sähköenergian kulutus on vuodessa 2014 kWh ja sähkölle jää tuotettavaksi vuodessa 776 kWh tuotettavaksi. Käyttö maksaa vuodessa 468 euroa sähkön keskihinnan ollessa 7,33 snt/kWh ja siirron 9,45 snt/kWh.

Daikin pumpun käytön sähköenergian kulutus on vuodessa 2644 kWh ja sähkölle jää vuodessa 455 kWh tuotettavaksi. Käyttö maksaa vuodessa 520 euroa sähkön keskihinnan ollessa 7,33 snt/kWh ja siirron 9,45 snt/kWh.

4.1.2 Aurinkolämpö

Aurinkolämmön käyttökustannukset lämpimän käyttöveden tuotossa koostuvat järjestelmän pumpun toiminnasta, sekä sähköllä tuotettavaksi jäävän lämmön määrästä. Sähköllä tuotettavaksi jäi elokuu–syyskuu välisenä aikana 120,61 kWh:a. Pumpun sähköenergian kulutus voidaan laskea aurinko oppaasta löytyvällä kaavalla 25 (12, s. 10):

$$W_{aurinko,pumppu} = \sum(P_{pumppu,i} * t_{pumppu,i}) \quad \text{KAAVA 25}$$

$P_{pumppu,i}$ = yksittäisen pumpun i teho (kW)

$t_{pumppu,i}$ = pumpun i käyttöaika (h)

Pumpun teho voidaan arvioida kaavalla 26 (12, s. 10):

$$P_{pumppu,i} = (50 + 5 * A_{aurinkokeräin})/1000$$

KAAVA 26

$A_{aurinkokeräin}$ = piiriin kytkettyjen keräimien pinta-ala (m²)

Pumpun käyttöajaksi voidaan arvioida aurinko oppaan mukaan 2000 h/a. (11, s. 10.) Näin ollen pumpun sähköenergia kulutus kohderakennuksessa on 0,16 kWh/a.

Käyttökustannus olisi vuodessa 2,7 senttiä pumpun osalta ja sähköllä tuotettavan osuus toukokuu - syyskuu välisenä aikana on 44,2 euroa sähköhinnan ollessa keskimäärin 7,33 snt/kWh ja siirron keskimääräisen hinnan ollessa 9,45 snt/kWh.

4.1.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähkössä ei ole käyttökustannuksia. Aurinkosähkön käytössä ei tarvitse käyttää mitään energiaa kuluttavia komponentteja.

4.2 Investointikustannukset

Investointikustannukset koostuvat tuotteen hinnasta ja sen asentamiskustannuksista. Tuotteille kysyttiin tarjouksia LVI-alan ammattilaisilta, joiden toiminta sijoittui kohderakennuksen lähetyville.

4.2.1 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumpuille kysyttiin tarjouksia alueelta Jyväskylä–Tampere. Halvimalla asennuksineen ilmalämpöpumput saadaan yritykseltä Energiamestarit, Mikko Järvenpää Ky:ltä.

Mitsubishi MSZ-FH35VEH -ilmalämpöpumppu maksaa asennettuna 1890 €. Daikin Caldo/Nordic Mainstream 35 ilmalämpöpumppu maksaa asennettuna 1700 €.

4.2.2 Aurinkolämpö

Tässä työssä valittiin aurinkolämpöpaketiksi Sundial SF3 -aurinkolämpöpaketin. Tarjouksen aurinkolämpöpaketille kysyttiin yrityksestä Energiamuutos HT. Tarjous oli 6590 €. Tarjoukseen kuuluu

- 2 kpl Sundial SF3-aurinkolämpökeräintä
- akvaterm solar 300 varaaja
- asennustarvikkeet
- asennus.

4.2.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähköpaketille kysyttiin tarjous Finnwind Oy:stä. Tarjoukseen kuuluu Aurinkosähköpaneelipaketti ja sen asennus. Tarjous oli 6768,32 €. Pakettiin kuuluu

- kolmivaiheinen verkkoinvertteri Fronius Symo Light 3 kW
- 12 kpl aurinkosähköpaneeleja
- kattoasennusjärjestelmä
- asennus
- asennuksen pientarvikkeet
- toimitus.

4.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jossa tuote tuottaa sen hankintaan kuluneet menot.

4.3.1 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika määräytyy siitä, paljonko pumpulla voidaan säästää vuodessa ja mikä on pumpun hinta asennettuna. Pumpun säästö

vuodessa määräytyy pumpulla tuotetun energian määrästä ja sähkön hinnasta. Taulukossa 15 on laskettu Mitsubishin ja Daikin pumpuille takaisinmaksuajat.

TAULUKKO 14 Takaisinmaksuajat ilmalämpöpumpuille

	Mitsubishi MSZ-FH35VEHZ	Daikin Nordic Mainstream 35
sähkön hinta snt	16,78	16,78
Tuotto/vuosi kWh	7549	7240
Säästö/vuosi €	1267	1215
Pumpun hinta €	1890	1700
Takaisin maksuaika	1,5	1,4

Taulukosta 15 nähdään, että Daikin pumpulla on hieman lyhempi takaisinmaksuaika kuin Mitsubishin pumpulla. Mitsubishin pumppu tuottaa lämpöä enemmän kuin Daikin pumppu.

4.3.2 Aurinkolämpö

Aurinkolämmön takaisinmaksuaika koostuu järjestelmän investointikustannuksista ja systeemillä tuotetun energian määrästä toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Järjestelmä maksaa asennettuna 6590 € ja sillä tuottaa toukokuun ja syyskuun välisenä aikana 1237 kWh. Järjestelmällä säästää 207,6 € toukokuun ja syyskuun välisenä aikana sähkönhinnan ollessa keskimäärin 7,33 snt/kWh ja siirron keskimääräisen hinnan ollessa 9,45 snt/kWh. Käyttökustannukset ovat olemattoman pienet joten niitä ei tarvitse ottaa huomioon takaisinmaksuaikaa määrittäessä. Takaisinmaksuaika aurinkolämpöpaketilla on 31,7 vuotta.

4.3.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähkön takaisinmaksuaika koostuu järjestelmän investointikustannuksista ja järjestelmällä vuodessa tuotettavasta energian määrästä. Järjestelmä

maksoi asennettuna 6768,32 € ja sillä voidaan tuottaa 2173,8 kWh vuodessa. Järjestelmällä säästää 364,76 € vuodessa sähkönhinnan ollessa keskimäärin 7,33 snt/kWh ja siirron keskimääräisen hinnan ollessa 9,45 snt/kWh. Takaisinmaksuaika aurinkosähköpaketilla on 18,6 vuotta.

5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli määrittää laskennallisesti mahdollisuutta parantaa energiatehokkuutta kohderakennuksessa, jos rakennukseen asennettaisiin ilmalämpöpumppu, aurinkolämmitys lämpimänkäyttöveden lämmittämiseen ja aurinkosähköpaneelit.

Rakennuksen lämpöhäviöiden määrittämiseen käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ja osan D3 mukaisia kaavoja. Laskennallista tulosta verrattiin rakennuksen todelliseen sähkönkulutukseen. Sähkönkulutuksen ja laskennallisen tilanteen ollessa lähellä toisiaan voitiin päätellä, että rakennuksen lämmönläpäisykertoimet olivat oikeat.

Aurinkolämmön käyttämistä lämpimänkäyttöveden lämmittämässä laskettiin Aurinko-Opas 2012 mukaisilla kaavoilla.

Aurinkosähkön tuoton laskennassa käytettiin Aurinko-opas 2012 mukaisia kaavoja. Sopivan aurinkosähköpaketin valintaan saatiin apua Finnwind Oy:ltä.

Ilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa laskennallisesti suuri osa tarvittavasta ylläpitolämmitysenergiasta vuoden aikana. Ylläpitolämpötilana pidettiin 15 °C:ta. Mitsubishin pumpun käytön sähköenergian kulutus on vuodessa 2014 kWh, ja sähkölle jää tuotettavaksi vuodessa 776 kWh. Pumpulla voidaan tuottaa 7549 kWh. Pumpun takaisinmaksuaika oli 1,5 vuotta.

Työssä mitoitettiin aurinkolämmön käyttöä lämpimänkäyttöveden lämmittämiseen toukokuu-syyskuun välisenä aikana. Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa lähes kokonaan tarvittava energiamäärä. Sähköllä vettä pitää lämmittää toukokuu-syyskuun välisenä aikana 264 kWh:n verran. Lämpimän käyttöveden lämmöntarve toukokuu-syyskuu välisenä aikana lämpöhäviöineen on 1500 kWh. Takaisinmaksuajaksi tuli noin 32 vuotta.

Aurinkosähköpaketilla voidaan tuottaa 2173,8 kWh vuodessa. Aurinkosähköpaketin investointikustannukset ovat suuret ja takaisinmaksuajaksi tuli 18,6 vuotta.

LÄHTEET

1. Perälä, Osmo – Perälä, Rae 2013. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. 3. uudistettu painos. Tallinna: Alfamer/Karisto Oy.
2. Ilmalämpöpumppu. 2016. RefGroup Oy. Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/tuotteet/ilmalampopumput/mitsubishi-electric/seinamallit/msz-fh35ve> Hakupäivä: 12.12.2015
3. Toimintaperiaate.2015. Hengityслиitto. Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/ilmalampopumput> Hakupäivä: 12.12.2015
4. Kylmäsovellusten scroll-kompressorit. 2014. Danfoss Oy. Saatavissa: http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D42A573B-D423-42A4-B366-9B9EF12272C8/0/scroll_textFIN.pdf%20H%C3%A4mtad%2020.3.2014 Hakupäivä 12.12.2015.
5. Aittomäki, Antero 2012. Kylmätekniikka. 4. painos. Helsinki: Bookwell Oy.
6. Aurinkolämmön perusteet, mitoitus ja käyttö.2006 Solpros Ay. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf> Hakupäivä 11.11.2015
7. Erkkilä, Vesa 2003. Aurinkolämpöopas itserakentajille. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
8. Aurinkopaneelit 2010. Suntekno Oy. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf> Hakupäivä: 23.01.2016
9. Hellgren, Matti – Heikkinen, Lauri – Suomalainen, Lauri 1996. Energia ja ympäristö. Helsinki: Hakapaino Oy

10. D3 (2012), 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
11. D5 (2013), 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
12. Aurinko-opas 2012. 2011. Aurinkolämmön ja -sähkön energiatuoton laskennan opas. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.