

Mika Pahnila

**RIVITALOKOHTEN VAIHTOEHTOISET ENERGIANTUOTANTO-
MUODOT**

RIVITALOKOHTTEEN VAIHTOEHTOISET ENERGIAN TUOTANTO- MUODOT

Mika Pahlila
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Mika Pahnala

Opinnäytetyön nimi: Rivitalokohteen vaihtoehtoiset energiantuotantomuodot

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 39 + 3 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Asunto Oy Limingan Hoikanpirtin toimeksiannosta. Tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja Limingassa sijaitsevaan rivitalokohteeseen korvaamaan sähkölämmitysjärjestelmä. Pääpainona oli tutkia maalämmön ja ilma-vesilämmön kannattavuutta. Lisäksi isännöitsijän pyynnöstä kiinteistön lämpöhäviöt laskettiin.

Ennen työn aloitusta asunto-osakeyhtiön isännöitsijätoimisto oli pyytänyt tarjouksia eri toimijoilta maalämmöstä ja ilma-vesilämmöstä. Kaiken kaikkiaan eri tarjouksia saatiin kahdeksan kappaletta.

Varsinaisen työn aluksi kartoitettiin kiinteistön lämpöenergian tarve. Tämän avulla voitiin arvioida saatuja tarjouksia energiantuotantovaihtoehdoista. Kaikissa ehdotetuissa ratkaisuissa saatiin arvioitua realistiset takaisinmaksuajat.

Kannattavimmaksi vaihtoehdoksi valikoitui lopuksi maalämpö. Vertailussa maalämpö osoittautui kannattavimmaksi vaihtoehdoksi perustuen nopeaan takaisinmaksu-aikaan ja siitä 15 vuoden aikana saatavaan taloudelliseen hyötyyn. Maalämmöllä saadaan katettu kiinteistöjen energiantarve varsin tehokkaasti.

Asiasanat: maalämpö, ilma-vesilämpö, uusiutuva

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme, option

Author: Mika Pahnila

Title of thesis: Alternative methods of energy production at row house

Supervisor: Timo Kiviahde

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018

Pages: 39 + 3 appendices

This thesis was made for the Asuntu ltd Limingan Hoikanpirtti. The aim of the thesis is to find out alternative methods of energy production at a row house situated in Liminka to replace the old electricity heating system. Focus was to examine how profitability is geothermal heat and air-to water heat. Additionally, the heat loses of the house were calculated.

Before job were started the steward asked bids about geothermal heat and air-to water heat systems. Eventually there were total eight bids.

Initially, calculations of the total use of energy properties were made. This allows the inspection of system offers. These proposed methods had realistic repayment of investment.

The geothermal heat was eventually chosen as the most cost-effective method. Geothermal heat can effectively cover the heating energy needs.

Keywords: geothermal heat pump, air-to water heat pump, renewable

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö aloitettiin tammikuussa 2018 ja valmistui huhtikuussa 2018.

Haluan kiittää Isännöinti Asunto Oy Limingan Hoikanpirtin hallitusta tilaisuudesta tehdä opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulusta haluan kiittää työn ohjaajaa Timo Kiviahdetta asiantuvasta ohjauksesta ja Pirjo Partasta avusta kielenhuollollisissa seikoissa.

Oulussa 17.4.2018

Mika Pahnila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 KOHDE	9
2.1 Kiinteistöt	9
2.2 Nykyinen lämmöntuottolaitteisto	9
2.3 Lämmitysenergian tarve	10
2.4 Lämpimän käyttöveden osuus	13
3 ENERGIANTUOTANTOVAIHTOEHDOT	15
3.1 Maalämpö	15
3.1.1 Tehon määrittäminen	15
3.1.2 Lämpökaivot	16
3.1.3 TRT-mittaus	19
3.2 Ilma-vesilämpöpumppu	20
3.2.1 Laitetyypit ja niiden toiminta	20
3.2.2 Tehon määrittäminen	23
3.2.3 Kylmäainetilanne	24
4 LÄMMITYSJÄRJESTELMISTÄ SAADUT TARJOUKSET	25
4.1 Maalämpö	25
4.2 Ilma-vesilämpö	25
5 KUSTANNUKSET	26
5.1 Kannattavuusvertailua	26
5.2 Järjestelmien tarkastelu	28
5.2.1 Maalämpö	28
5.2.2 Ilma-vesilämpö	29
6 LÄMPÖHÄVIÖLASKENTA	30
7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

LIITTEET

Liite 1 Maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia

Liite 2 Ilma-vesilämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia

Liite 3 Lämpöhäviölaskennan perusteet

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on selvittää vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja rivitalokohteeseen ja vertailla eri toimittajilta saatuja tarjouksia. Kiinteistöön oli työn alkaessa saatu viideltä eri laitetoimittajilta tarjoukset koskien maalämpöjärjestelmää. Lisäksi olemassa oli kolme tarjousta koskien ilma-vesilämpöjärjestelmää.

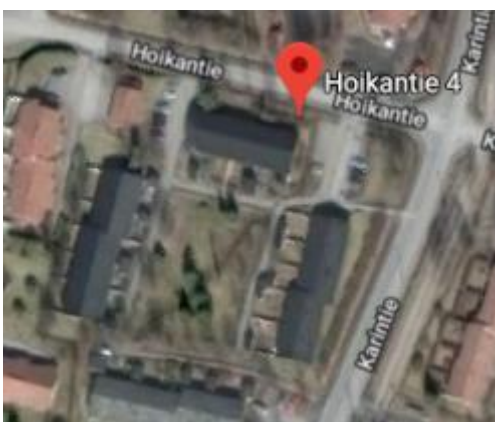
Työn toimeksiantaja on Asunto Oy Limingan Hoikanpirtti, joka sijaitsee Limingassa. Työssä tarkastellaan sähkölämmitysjärjestelmän korvaamista maalämpö tai ilma-vesilämpöjärjestelmällä. Työn perimmäisenä tavoitteena on korvata kohteessa oleva, pian käyttöikänsä päähän tuleva 1990-luvun alkupuolelta oleva sähkölämmitysjärjestelmä. Lisäksi asiakkaan pyynnöstä laskettiin kiinteistön lämpöpölväviöt.

2 KOHDE

Tässä työssä selvitetään uusi lämmitysmuoto Limingassa sijaitsevaan rivitalokohteeseen.

2.1 Kiinteistöt

Kohde koostuu kahdesta rivitalosta, joissa on yhteensä kahdeksan rivitalohuoneistoa. Huoneistojen yhteenlaskettu kerrosala on 656 m². Kohde sijaitsee Limingan Hoikanpirtissä ja sen sijainti on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1 Kohteen sijainti

2.2 Nykyinen lämmöntuottolaitteisto

Kohteessa on vesikiertoinen patterilämmitys ja sähkötoiminen keskuslämmitysvaraaja. Keskuslämmityskattila on peräisin kiinteistön rakentamisajankohdalta 1990-luvun alusta ja teholtaan se on 70 kW. Kattila on merkkiä Jäspi, Kaukora oy. Kuvassa 2 on esitetty kyseinen kattila.



KUVA 2 Kiinteistön nykyinen lämmöntuotantolaitteisto

Kattilan läheisyydessä on lämminvesivarajaa. Kooltaan se on 4 000 litraa, ja sen tehtävänä on varastoida kiinteistön tarvitsemaa lämmitys- sekä käyttövettä.

2.3 Lämmitysenergian tarve

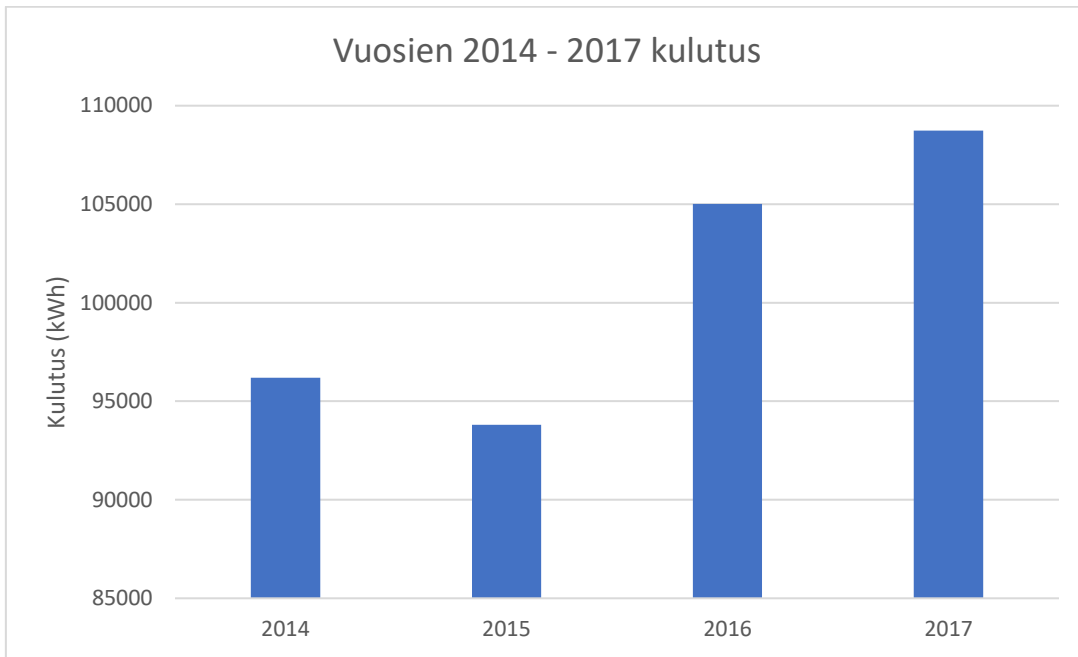
Kiinteistön kulutustiedot saatiin Oulun seudun sähkön online-palvelusta. Tarkasteluun otettiin vuodet 2014 - 2017. Vuosittaisten kuukausikulutusten perusteella laskettiin kuukausittaiset keskiarvot kyseiselle ajanjaksolle. Saadut tulokset ovat kuvassa 3.



KUVA 3 Keskimääräiset kuukausikulutukset vuosina 2014 - 2017

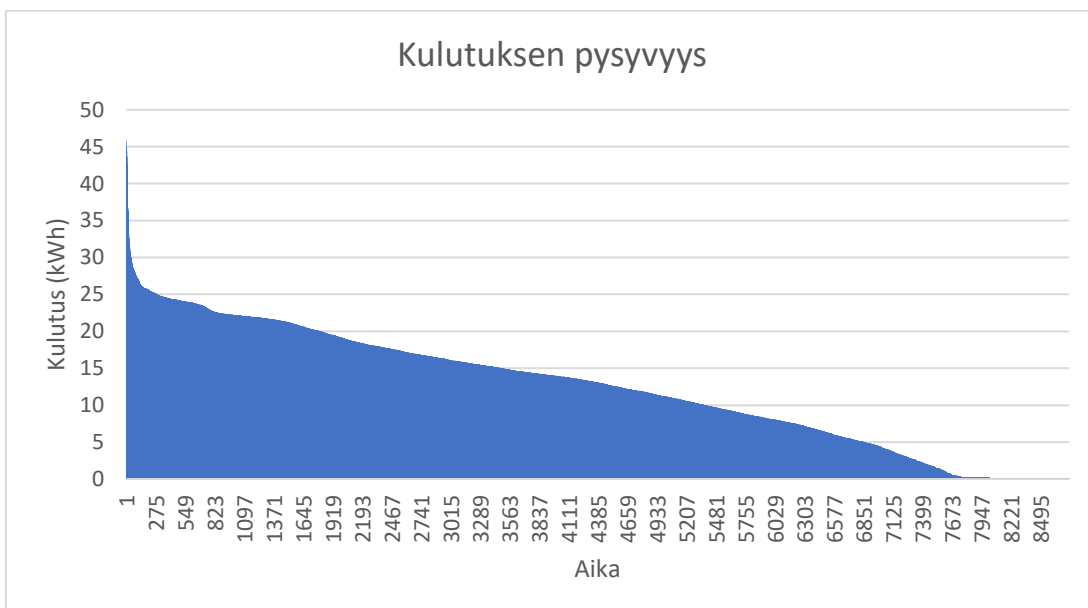
Laskemalla neljän vuoden kuukausittaiset keskiarvot yhteen energian keskimääräiseksi tarpeeksi vuodessa muodostui 100 935 kWh. Lämmittämiseen menevän energian määrän arviointia kuukausitasolla vaikeuttaa se, että saaduissa tiedoissa on mukana muutakin kulutusta kuin vain lämmittämiseen menevä energian osuus. Näihin tietoihin on laskettu mukaan autopaikkojen lämmittämiseen vaadittava energia ja ulkovalaistuksen tarvitsema energia. Vuositasolla edellä mainittujen määräksi voidaan arvioida 10 000 kWh. (1.)

Kuvassa 4 on esitetty vertailun vuoksi vielä erikseen vuosien 2014–2017 kulutukset. Kuten kuvasta huomataan, vuosittainen vaihtelu on melko suurta.



KUVA 4 Vuosien 2014 - 2017 kulutukset

Kiinteistöstä saatiin myös tunnitaiset kulutustiedot. Kun tarkasteltiin vuosien 2016 ja 2017 tunnitaisia kulutuksia, saatiin kyseisten vuosien huippukulutuslu- kemaksi määritettyä 47,4 kWh. Kuvassa 5 on esitetty kulutuksen pysyvyyskäyrä vuodelta 2017.



KUVA 5 Kulutuksen pysyvyyskäyrä

Kuten kuvasta 5 huomataan, vuoden kulutus on melko tasaista. Huipputuntien vastapainoksi on tunteja, jolloin kulutus on minimaalista.

2.4 Lämpimän käyttöveden osuus

Kiinteistöstä saadun toimintakertomuksen perusteella saatiin selville kohteen lämpimän käyttöveden tarve. Lämpimän käyttöveden osuudeksi kokonaiskulutuksesta arvioitiin säädöksen mukainen 40 % Tarkasteluun otettiin vuodet 2012 - 2016. Vuoden 2017 tietoja ei ollut vielä tässä vaiheessa saatavilla. Vuodelta 2011 oli myös saatavilla kulutustiedot, mutta kyseisen vuoden kulutus ei olisi ollut vertailukelpoinen, koska asukasmäärä oli huomattavasti suurempi kuin muina vuosina.

Vuosien 2012 - 2016 keskimääräiseksi kulutukseksi muodostui lämpimän käyttöveden suhteen yhteensä 174 m³ ja veden kokonaiskulutukseksi 434 m³. Taulukossa 1 on esitetty veden kulutus ja lämpimän käyttöveden osuudet vuosilta 2012 - 2016.

TAULUKKO 1 Lämpimän käyttöveden osuudet vuosina 2012 - 2016

Vuosi	Keskiarvo	2016	2015	2014	2013	2012
Vesi yhteensä (m ³)	434	375	465	452	428	451
LKV:n osuus (m ³)	174	150	186	181	171	180

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve pystytään laskemaan käyttämällä kaavaa 1 (2, s. 26).

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600}$$

KAAVA 1

ρ_v = veden tiheys (kg/m³)

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg)

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus (m^3)

T_{lkv} = Lämpimän käyttöveden lämpötila ($^{\circ}C$)

T_{kv} = Kylmän käyttöveden lämpötila ($^{\circ}C$)

3600 kerroin, jolla suoritetaan laatu muunnos kilowattitunneiksi (s/h)

Käyttämällä kaavaa 1 lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarpeeksi vuodessa muodostui 9135 kWh.

3 ENERGIANTUOTANTOVAIHTOEHDOT

Lämmitysjärjestelmän uusimisessa lähtökohtana oli selvittää maalämmön ja ilma-vesilämpöjärjestelmän kannattavuutta kyseisessä kohteessa.

3.1 Maalämpö

Motivan julkaisussa maalämpöpumppujärjestelmää kuvataan osuvasti ” Maalämpöpumppu kerää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon lämpöä.” Maalämmöstä saadaankin energiaa edullisilla tuotantokustannuksilla. (3.)

Yleisimmin järjestelmää käytetään pientaloissa, mutta järjestelmä on sitä kannattavampi, mitä suurempi kyseessä oleva rakennus ja pinta-ala ovat. Soveltuvia kohteita ovat esimerkiksi eri toimistotilat ja rivitalokohteet. (4, s.3.)

3.1.1 Tehon määrittäminen

Tehon mitoituksessa on käytössä täys- ja osatehomitoitus. Täystehomitoituksessa lämpöpumppu mitoitetaan enimmäisteholle. Tällöin tarvittava energia tuotetaan kokonaan lämpöpumpulla. Tällä tavalla mitoittaessa tarvitaan kuitenkin isompi lämminvesivaraaja kuin osatehomitoituksessa. (4, s. 3.)

Osatehomitoituksessa lämpöpumpun maksimiteho mitoitetaan vastaamaan 50 - 70 % kiinteistön lämmitystehon enimmäistarpeesta. Kuitenkin tällöin lämpöpumppu tuottaa 80–95 % kaikesta kiinteistön vuositasolla tarvitsemasta energiasta. Järjestelmän hyötysuhde on hyvä ja huipputehojen aikaiset kulutuspiikit voidaan kattaa varaajaan asennetulla lisävastuksella. (4, s. 3.)

Ympäristöministerin julkaisussa Lämpöpumppujen energialaskentaopas on määritetty eri mitoitusasteilla katettavat lämpöenergian tarpeet. Esimerkiksi kyseessä olevassa kohteessa voidaan tuottaa pumpulla 98 % energiasta mitoittamalla järjestelmä 90 %:n teholla. Mitoitusperusteen taulukko on liitteessä 1. (5, s. 7.)

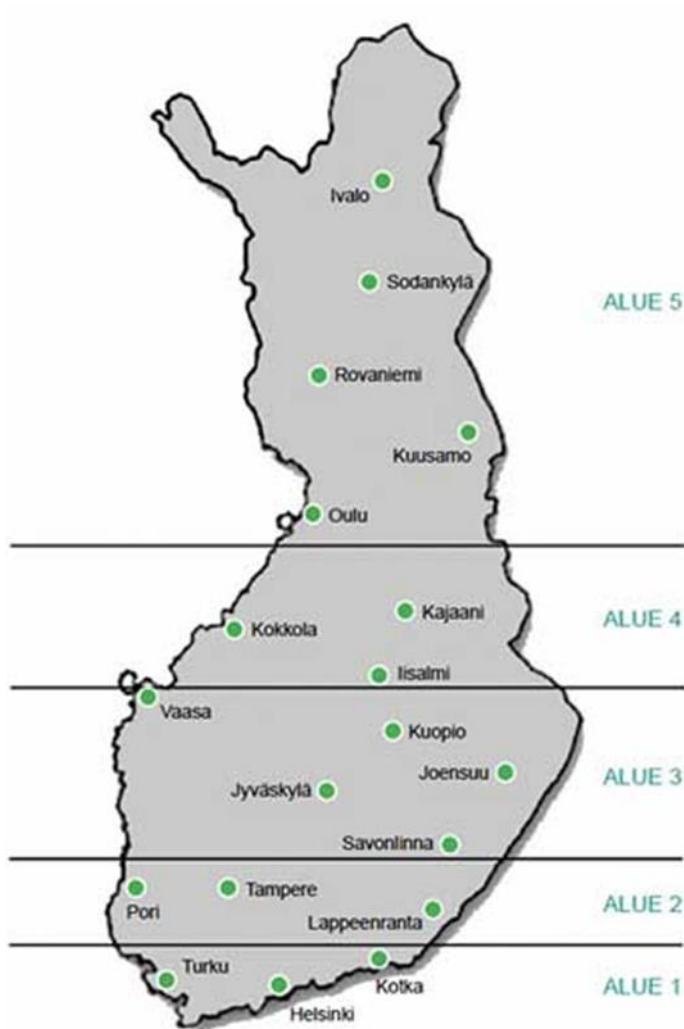
3.1.2 Lämpökaivot

Perustuen ohjeelliseen lämpöpumpun mitoitukseen tulee Oulun korkeuden ja kiinteistön energiankulutuksen perusteella alueella rakentaa vähintään kolme lämpökaivoa, aktiivisyvyyksiltään kukin vähintään 200 metriä. Aktiivisyvyys tarkoittaa syvyyttä, jolta porakaivo kerää lämpöä, eli käytännössä kaivon osaa, joka on kosketuksissa veden kanssa. Mitoitusperuste löytyy taulukosta 2. Kyseisessä taulukossa alueen kohdalla oleva ensimmäinen luku ilmaisee kaivojen määrän ja sen jälkeen tulee kaivon syvyys. (6.)

TAULUKKO 2 Kaivojen määrä ja niiden syvyydet (6)

Lämmityksen ja käyttöveden kulutus (kWh/a)	Lämpöpumpun teho (kW)	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 4	Alue 5
25 000-30 000	8	1 X 150	1 X 165	1 X 185	1 X 200	1 X 200
30 000-35 000	8	1 X 185	1 X 205	2 X 110	2 X 112	2 X 120
35 000-40 000	10	1 X 200	2 X 118	2 X 130	2 X 145	2 X 150
40 000-45 000	10	2 X 118	2 X 133	2 X 145	2 X 163	2 X 170
45 000-50 000	14	2 X 130	2 X 145	2 X 160	2 X 180	2 X 190
50 000-62 000	17	2 X 160	2 X 177	2 X 193	3 X 145	3 X 158
62 000-72 000	17	3 X 120	3 X 135	3 X 148	3 X 167	3 X 175
72 000-80 000	22	3 X 140	3 X 152	3 X 172	3 X 198	3 X 200

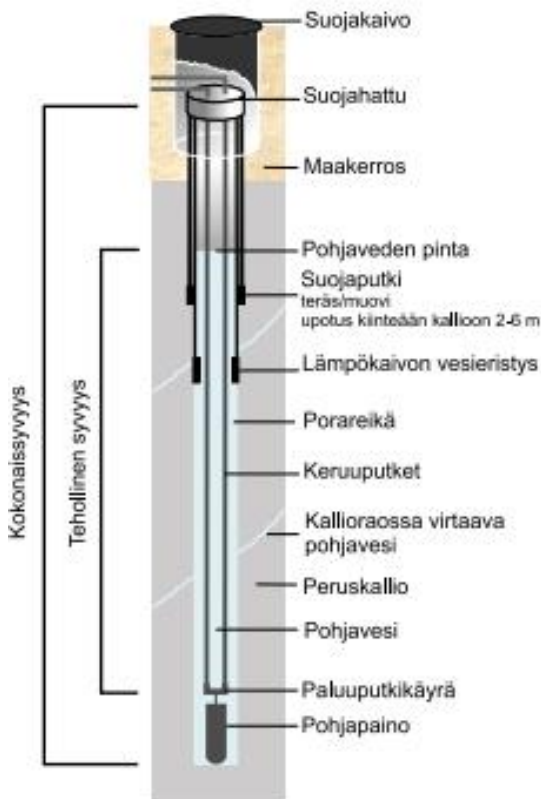
Kuvassa 6 on esitetty taulukon 2 mukaiset alueet. Kuten kuvasta huomataan, Suomi jaetaan 5 eri alueeseen.



KUVA 6 Lämpökaivojen mitoitusalueet (6)

Energiakaivojen porareikien halkaisijat vaihtelevat välillä 105–165 mm. Yläosassa sijaitsevaan maakerrokseen asennetaan suojaputki. Suojaputki ulottuu kallioon 6 metrin syvyyteen saakka. Suojaputken lisäksi tulee vesieristys. Vesieristyksellä estetään hule- ja kuivausvesien pääsy porareikään. Keruuputkisto lasketaan porareikään painon avulla. Painon tarkoituksena on pitää putki aloiltaan kaivossa johtuen putkiston keveydestä. (7, s. 33.)

Kuvassa 7 on esitetty tyypillisen energiakaivon rakenne.



KUVA 7 Energiakaivon rakenne (7, s. 35)

Kuvassa 7 on käytetty aikaisemmin esiin tulleen aktiivisyvyyden sijaan tehollista syvyyttä. Käytännössä nämä kaksi käsitettä tarkoittavat kuitenkin samaa.

Kaivon poraamista varten tarvitaan rakennusvirastolta lupa. Virasto tarkastaa, että alueella ei ole louhittu tunneleita yms. eikä suunnitelmia tulevista louhintatöistä ole olemassa. Tiedot kaivoista merkitään rakennusviraston tietojärjestelmään. Kaivon etäisyyttä tontin rajasta voidaan jossakin tapauksissa rajoittaa. (8, s. 66.)

Koska ohjeellisten ja laskennallisten arvojen mukaan esimerkkikohteeseen tulee kolme kaivoa, pitää niiden etäisyyksiin toisistaan kiinnittää huomiota. Kaivojen etäisyyksiksi toisistaan ja myös mahdollisista naapurin kaivoista on määritetty 15 metriä. Etäisyys voi olla pienempikin, jos kaivot asetetaan viistosti toisistaan päin. Kuten kuvasta 8 huomataan, tämä ei ole kohteessa huomioon otettava ratkaisu johtuen tien välittömästä läheisyydestä. (8, s. 67.)



KUVA 8 Lämpökaivojen suunniteltu sijainti

Kuvassa 8 on esitetty kaivojen suunniteltu sijainti kohteessa. Mikäli maalämpöön päädytään, tulee kaivoja olemaan 3 kappaletta.

3.1.3 TRT-mittaus

TRT-mittaus on terminen vastatesti. Sen avulla selvitetään maaperän lämmönjohtavuus. Käytännössä tämä hoidetaan yhden testikaivon poraamisella. Kyseisestä kaivosta mitataan peruskallion lämmönjohtokyky ja keskilämpötila sekä kaivossa esiintyvä vastus. Näiden tietojen perusteella voidaan määrittää taulukon 2 arvoja paremmin kaivojen syvyys sekä niiden määrä. (9.)

Mittauksen tarpeellisuus pitää selvittää tapauskohtaisesti. Pienemmissä kohteissa testin tekeminen ei ole kannattavaa, mutta suuremmissa kohteissa testin suorittaminen tulee kyseeseen. (10.)

3.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun (UVLP) toimintaperiaate on yksinkertainen: lämmitysenergia otetaan ulkoilmasta ja siirretään vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Järjestelmällä pystytään lämmittämään käyttövesi likimain 50 °C:seen, minkä jälkeisiin lämpötiloihin päästäkseen on turvaututtava esimerkiksi sähkövastuksen käyttämiseen. (11.)

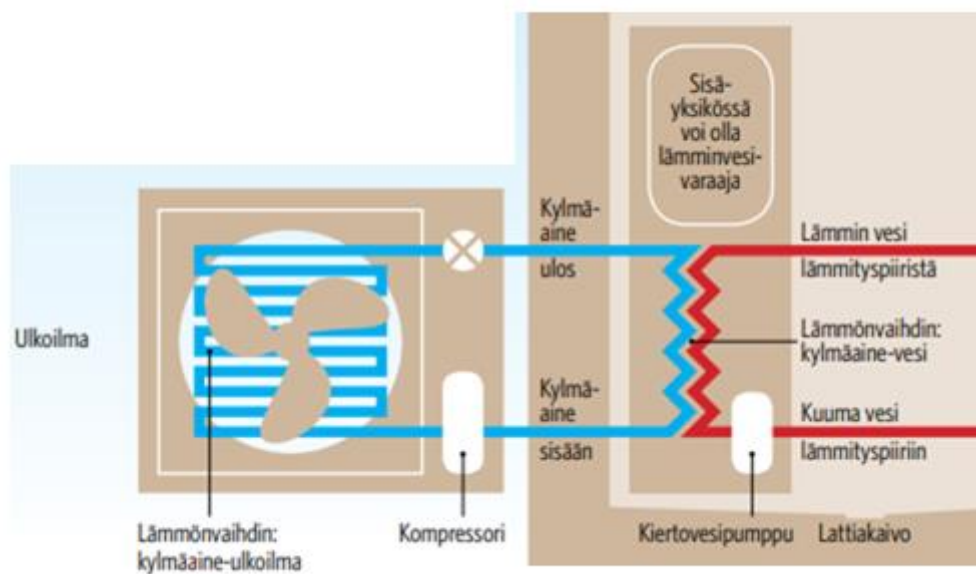
Lämpimän käyttöveden täytyy olla vähintään +55 °C, jotta käyttöveteen ei kerry haitallisia bakteereja. Ilma-vesilämmössä tämä onkin ratkaistu niin, että järjestelmä tuottaa ajoittain kuumempaa vettä käyttövedeksi. (8, s. 74.)

Ilma-vesilämpöpumpun huonona puolena voidaan pitää ulkolämpötilan laskemisesta johtuvaa lämmitysenergian määrän ja hyötysuhteen heikkenemistä. Johtuen edellä mainituista seikoista järjestelmä tarvitsee rinnalleen varalämmitysjärjestelmän. Yleensä tällaisena järjestelmänä toimii pumpun omat sähkövastukset. (11.)

3.2.1 Laitetyypit ja niiden toiminta

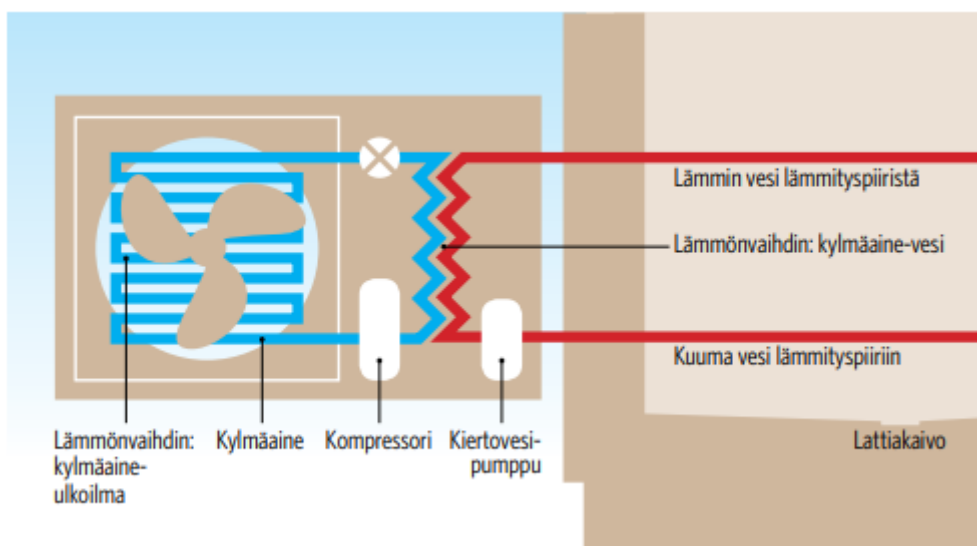
Markkinoilta löytyy kahden tyyppisiä ilma-vesilämpöpumppuja: Split- ja Monoblock-tyyppejä. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty näiden laitetyyppien toimintaperiaate. Merkittävin ero mallien välillä on laitteiston tekniikan asettelussa.

Kuvassa 9 on esitetty Split-laitteisto. Split-tyylisissä laitteissa pumpun kylmäkoineisto jakaantuu ulko- ja sisäyksikköihin. Yksiköiden välillä kiertää kylmäaine. (12, s. 4.)



KUVA 9 Split-ilma-vesilämpöpumppu (12, s. 4)

Monoblock-laitteistossa kaikki laitteiston tekniikka sijaitsee rakennuksen ulkopuolella. Rakennuksen sisällä on varaaja. Varaajan ja laitteiston välillä kiertää vain vesi. Kuvassa 10 on esitetty tämän tyyppinen ratkaisu. (12, s. 4.)



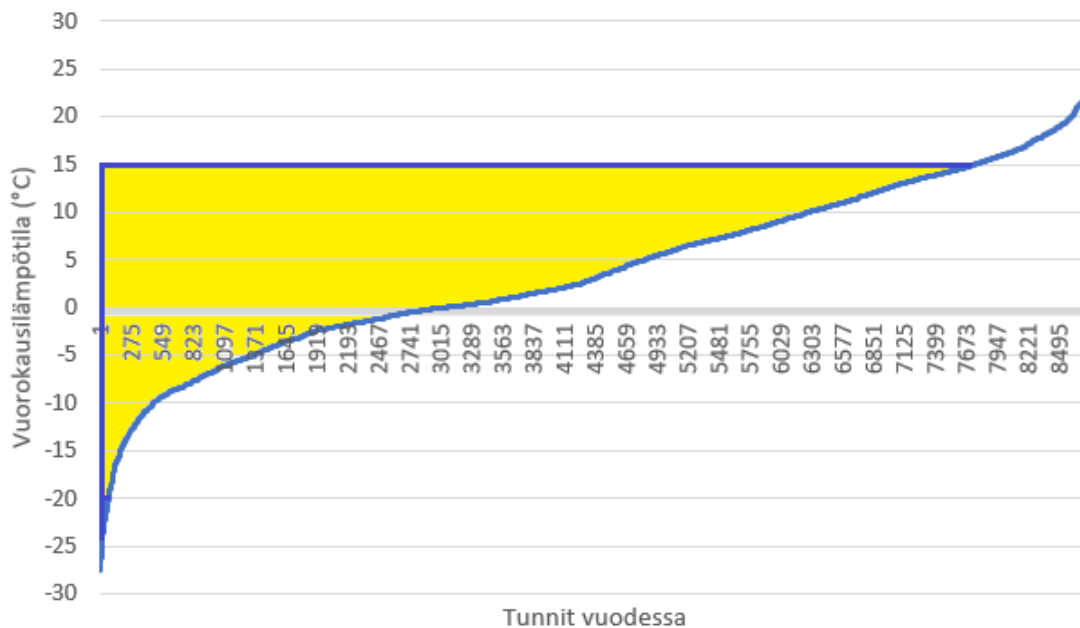
KUVA 10 Monoblock-ilma-vesilämpöpumppu (12, s. 4)

Kuvan 10 mukaisessa laitteistossa kiertovesipumppu sijaitsee talon ulkopuolella. Vertailun vuoksi kuvassa 9 pumppu sijaitsee talon sisäpuolella.

Ilma-vesilämpöjärjestelmällä suurin hyöty saadaan lämpötila-alueella $-15 \dots +10$ °C. Kovien pakkasten ajalle on turha investoida lämpöpumpun tehoa, johtuen kyseisten päivien suhteellisen vähäisestä määrästä vuodessa. (13.)

Kuvassa 11 on esitetty selkeyden vuoksi ilma-vesilämpöpumpun toimintarajat. Tunnittaiset lämpötilatiedot ovat peräisin kiinteistöstä saaduista tunnittaisista mitauksista vuodelta 2017. Lämmitystarverajaksi asetettiin +15 astetta perustuen laitetoimittajilta saatuihin mitoitus tietoihin. Kuvassa oleva keltainen alue ilmaisee ne vuoden tunnit, jolloin pumppu kerää lämpöä. Värin ollessa jokin muu pumppu ei vastaavasti kerää lämpöä.

Pumppu ei voi kerätä lämpöä pakkasen ollessa $-20 \dots -25$ astetta (8, s. 73). Kuvissa 11 ja 12 tämä raja on asetettu -20 asteeseen. Vuoden 2017 tapauksessa näitä tunteja on verrattain vähän (68 h ja 887 h). Kuvan tietojen perusteella pumppu kerää lämpöä vuodessa 7804 tuntia eli noin 325 päivää.



KUVA 11 Pumpun lämmönkeräämis tunnit vuonna 2017

Kuten maalämmöllekin, on ympäristöministeriö julkaissut mitoitusohjeet koskien ilma-vesilämpöä. Suoraan ohjeen mukaisilla taulukkoarvoilla voidaan tuottaa 87 % kiinteistön tarvitsemasta lämmitysenergiasta mitoittamalla järjestelmä 90 %:n teholle. Mitoitusperusteen taulukko on liitteessä 2. (5, s. 8–9.)

3.2.3 Kylmäainetilanne

Ilma-vesilämpöpumppua valittaessa on syytä ottaa huomioon, että säädökset koskien kylmäaineita, erityisesti ilma-vesilämpövaihtoehdossa käytettävää R410A:ta tulevat muuttumaan. Työn toimeksiantajaa kiinnosti, millainen tilanne tulee olemaan lähitulevaisuudessa johtuen ilma-vesilämpöpumpuissa käytettävästä R410A:sta.

Kylmäaineet ovat lyhyesti nestemäisiä kaasuja, jotka toimivat väliaineena lämmön siirtymisessä kylmäkoneistossa. Kylmäaineita käytetään koneistossa, koska ottaessaan lämpöä vastaan ne muuttuvat olomuodoiltaan nesteestä kaasuksi ja luovuttaessaan lämpöä olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi. Edellä mainittua olomuodon muutosta hyödyntäen saadaan suhteellisen pienellä kylmäaineen määrällä siirrettyä suuriakin määriä energiaa. (14, s. 2.)

Käytössä olevan R410A käytölle on asetettu tiettyjä rajoituksia. Tällä hetkellä kyseisen kylmäaineen käyttö on sallittua uusissa laitoksissa ja laitteistoissa. Tällä hetkellä tilanne on se, että R410A:ta tai sen mahdollisesti korvaavia aineita (R452B, R454B ja R455A) saa asetuksien mukaan käyttää vuoteen 2030 asti. (14, s. 5– 8.)

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMISTÄ SAADUT TARJOUKSET

Asuntoyhtiön isännöitsijätoimisto lähetti useille eri Oulun alueen maalämmön ja ilma-vesilämmön järjestelmien toimittajille tarjouspyynnöt laitteistoista. Lopulta maalämmöstä saatiin 5 tarjousta ja ilma-vesilämpöjärjestelmästä 3 eri tarjousta. Koska tarjousten sisältö on luottamuksellista tietoa, ei niiden sisältöä voida tässä esittää yksityiskohtaisesti. Kuitenkin isännöitsijätoimistolle lähetetyssä versiossa on tarkemmin paneuduttu tarjousten eroavaisuuksiin.

4.1 Maalämpö

Maalämmöstä saatiin viideltä eri toimittajalta tarjoukset. Kaikkien tarjousten mitoitustehot olivat samansuuntaisia. Hintaluokaltaan tarjoukset olivat 100 000 euron molemmin puolin. Järjestelmien mitoituserusteisiin tutustuttiin ja todettiin, että kaikki ovat sopivia ja soveltuvia tähän kohteeseen.

4.2 Ilma-vesilämpö

Ilma-vesilämmöstä saatiin kolmelta eri toimittajalta tarjoukset. Mitoitustehoiltaan järjestelmät olivat samansuuntaisia. Hinnoiltaan tarjoukset olivat 50 000 euron luokkaa. Mitoituserusteisiin tutustumisen jälkeen todettiin, että laskelmien lähtökohdat ovat järkeviä.

5 KUSTANNUKSET

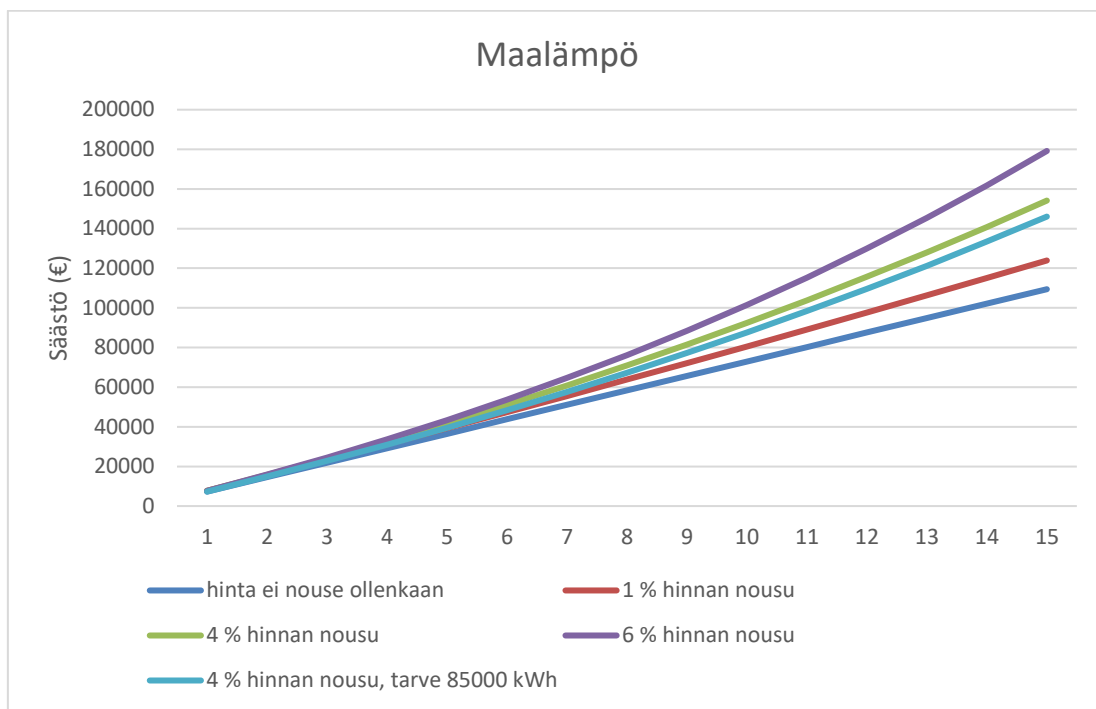
Jokainen saatu tarjous sisälsi myös arvion kustannuksista. Kustannuksiltaan kaikki tarjoukset asettuivat 100 000 euron molemmille puolille.

Järjestelmien kannattavuuksien tarkastelussa kiinnitettiin huomiota laitteiston takaisinmaksuaikaan. Saaduista tarjouksista melkein kaikki asettuivat 4–9 vuoden takaisinmaksuajanjaksolle.

Osa tarjoajista oli valmiiksi laskenut vuotuiset säästöt laitteilleen. Eri laskelmat eivät kuitenkaan olleet vertailukelpoisia keskenään johtuen eri kulutuksien ta-soista joilla laskenta tehtiin. Tämän takia tarjouksien säästölaskelmat piti tehdä uudestaan Excel-pohjaisella laskurilla.

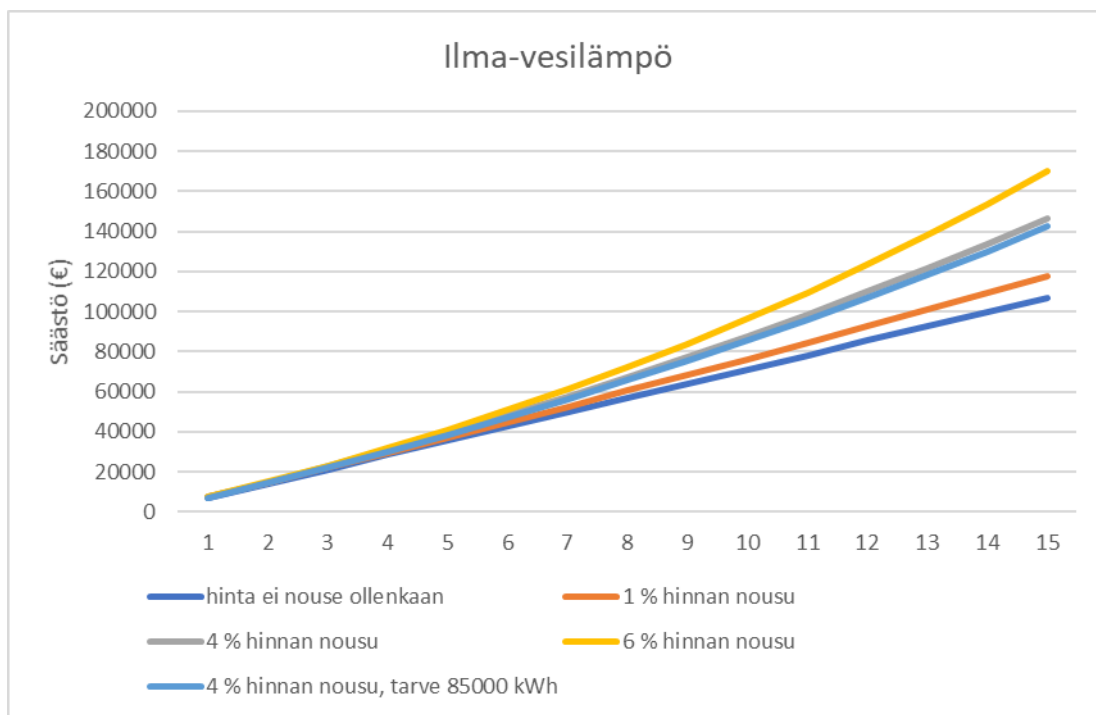
5.1 Kannattavuusvertailua

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty satunnaisesti valittujen maalämpö ja ilma-vesiläm-pöjärjestelmien kokonaissäästöt 15 vuoden aikana. Kuten kuvista huomataan, järjestelmät tuottavat vähiten säästöjä sähkön hinnan nykyisellä tasolla. Ellei tau-lukon seliteosassa ole toisin sanottu, oletuksena on ollut 95 000 kWh:n vuosittai-nen tarve.



KUVA 13 Maalämmön kokonaissästöt

Kuten kuvasta 13 huomataan, suurimmat hyödyt maalämmöstä saadaan, kun sähkön hinnan vuosittaisena nousuna käytetään 6 %. Sen sijaan yllättäen tarpeen väheneminen nykyisestä tasosta ei tarjoa säästöjä verrattuna kulutuksen pysymiseen nykytasolla. Tämä johtuu siitä, että tarpeen pieneminen 10 000 kWh:lla ei vähennä ostoenergian tarvetta samassa suhteessa. Toisin sanoen kulutuksen väheneminen pienentää järjestelmästä vuositason saatavaa energiansäästöä, koska järjestelmät on mitoitettu optimaalisiksi vastaamaan tietyn tehon tarvetta.



KUVA 14 Ilma-vesilämmön kokonaissäästöt

Kuvan 14 mukaan suurin säästö ilma-vesilämpöjärjestelmässä saadaan, kun sähkön hinta nousee vuodessa 6 %. Niin kuin maalämmönkin kohdalla kaikista vähiten säästöjä tulee, jos sähkön hinta pysyy stabiilina seuraavat 15 vuotta. Järjestelmän mitoitusperusteista johtuen kulutuksen tippuminen ei vähennä saatavia hyötyjä niin radikaalisti kuin maalämmön tapauksessa.

5.2 Järjestelmien tarkastelu

Lähempään tarkasteluun otettiin kaksi tarjousta: yksi maalämmöstä ja yksi ilma-vesilämmöstä. Seuraavassa esitetään näiden tarjousten eroja.

5.2.1 Maalämpö

Pumpuiksi valittiin Gebwell T220. Maalämpökaivojen, pumppujen asennukselle ja järjestelmän käyttöönotolle saatiin arvio. Koko järjestelmä tähän kohteeseen maksaisi noin 50 000€.

Järjestelmällä saataisiin katettua kiinteistön koko energiantarve. Energiantarpeesta yli 90 % saadaan kolmesta maalämpökaivosta ja loput, alle 10 % tuotetaan sähkövastuksilla.

Takaisinmaksuajaksi saadaan likimain 5 vuotta. Takaisinmaksuajan oletuksena on, että kiinteistön energian tarve pysyy samana eikä sähkön hinta nouse. Kustannuksissa ei ole huomioitu mahdollisia huoltokuluja.

5.2.2 Ilma-vesilämpö

Ilma-vesilämpöpumpuksi valittiin ratkaisu, jossa pumppuja olisi kaksi kappaletta. Malleiltaan pumput ovat Jäspi Basic Nordic ja Jäspi Inverter Nordic. Kahden pumpun ratkaisuun päädyttiin koska yhden pumpun teho on 16 kW. Tälle järjestelmälle saatiin kustannusarvio, joka oli alle 40 000 euroa.

Laskelmien mukaan järjestelmällä saataisiin tuotettua likimain 90% kiinteistön tarvitsemasta energiasta. Puuttuva 10% tuotettaisiin kiinteistön vanhalla kattilalla.

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuajaksi muodostuisi noin 5 vuotta. Tämä on samaa luokkaa maalämmön kanssa. Laskelmien oletukset ovat samat kuin maalämmön suhteen. Laskelmissa ei ole otettu huomioon mahdollisia huoltotoimenpiteitä tai vanhan sähkökattilan korvaamisesta aiheutuvia mahdollisia lisäkustannuksia.

6 LÄMPÖHÄVIÖLASKENTA

Asiakkaan pyynnöstä laskettiin myös kiinteistön laskennalliset lämpöhäviöt. Lämpöhäviöitä aiheutuu ilmanvaihdon, ikkunoiden, ulko-ovien, ulkoseinien, ala- ja yläpohjan sekä lämpimän käyttöveden kautta. (2, s. 17.)

Rakennusvaipan johtumisesta aiheutuva kokonaislämpöhäviöt saadaan kaavalla 2.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilta}}$$

KAAVA 2

Q_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh)

$Q_{\text{ulkoseinä}}$ = johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi (kWh)

$Q_{\text{yläpohja}}$ = johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi (kWh)

Q_{alapohja} = johtumislämpöhäviö alapohjien läpi (kWh)

Q_{ikkuna} = johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi (kWh)

Q_{ovi} = johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi (kWh)

Q_{muu} = johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, (kWh)

$Q_{\text{kylmäsiltilat}}$ = kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö (kWh)

Kaava 2 voidaan myös esittää yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{rakosa}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsiltilta}}$$

KAAVA 3

Q_{rakosa} = Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 4 (2, s.18).

$$Q_{rakosa} = \frac{\sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

KAAVA 4

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, joilla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Käyttämällä kaavaa 4 saadaan lämpöhäviöiksi tammikuussa 8417,1 kWh.

Kohteessa on kolmilasiset MSK-ikkunat. Koska ikkunoiden U-arvoa ei ole tiedossa käytetään arvona 2,1. (15. s.9.)

Seinien U-arvona voidaan käyttää 0,28 perustuen vuonna 1990 voimassa olleisiin ohjeellisiin arvoihin. Alapohjan U-arvona käytettiin vastaavasti 0,45. (15, s. 9.)

Taulukossa 15 on esitetty selvyyden vuoksi kaikkien rakenteiden osalta käytetyt lämmönläpäisykertoimet.

TAULUKKO 3 Käytetyt lämmönläpäisykertoimet

Rakenteet	U (W/m ² K)
seinät	0,28
ikkunat	2,1
ovet	1
Alapohja	0,45
yläpohja	0,09

Kohteesta ei ollut saatavilla suoraan tietoja ikkunoiden ja ovien pinta-aloista. Tästä johtuen pinta-alat jouduttiin arvioimaan. Arvio ikkunoiden pinta-alasta tehtiin ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti. Ohjeen mukaan ”Rakennuksen yhteenlasketun ikkunapinta-alan vertailuarvo on 15 % rakennuksen kokonaan tai osittain maanpäällisten kerrosalojen summasta”. (16, s. 8.)

Todellisuudessa kuitenkin ikkunoiden pinta-ala poikkeaa tästä. Siitä johtuen myös lämpöhäviöt on todennäköisesti laskettu vähän liian korkeiksi.

Ikkunan pinta-alan laskemiseen käytetään kaavaa 4 (16, s. 8).

$$A_{ikkuna} = A_{kerros} * 0,15$$

KAAVA 5

A_{ikkuna} = Ikkunan pinta-ala

A_{kerros} = Kerrospinta-ala

0,15 = ympäristöministeriön ohjeen mukainen kerroin

Käyttämällä kaavaa 5 saadaan ikkunoiden laskennalliseksi pinta-alaksi 98,4 m².

Ulko-ovien pinta-alan laskenta tehtiin Suomessa yleisimmän käytössä olevan tyyppin mukaan. Kyseisen tyyppin ulkomitat ovat 1 m * 2,1 m = 2,1 m². (17.)

Jotta alapohjan lämpöhäviöt voidaan laskea pitää ensin selvittää alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila. Tähän käytetään kaavaa 6.

Alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila (2, s. 20).

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} \quad \text{KAAVA 6}$$

$T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila (°C)

$T_{maa,vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan keskilämpötila (°C)

$\Delta T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (°C)

Käyttämällä kaavaa 6 saadaan alapohjan alapuolisen maan keskilämpötilaksi tammikuussa 8,4°C.

Nyt kun on selvillä maan keskilämpötila, voidaan laskea alapohjan lämpöhäviöt kaavalla 7 (2, s. 20).

$$Q_{johtmaa} = \frac{\sum U_i A_i (T_s - T_{maa,kuukausi}) \Delta t}{1000} \quad \text{KAAVA 7}$$

$Q_{johtmaa}$ = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin (W/m²K)

A_i = rakennusosan i pinta-ala (m²)

T_s = sisäilman lämpötila (°C)

$T_{maa,kuukausi}$ = maan kuukausittainen keskilämpötila (°C)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, joilla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Käyttämällä kaavaa 7 alapohjan lämpöhäviöiksi tammikuussa saadaan 2760,6 kWh.

Kylmäsiltojen vaikutus lasketaan kaavalla 8 käyttäen ympäristöministeriön ohjeen mukaista yksinkertaistettu laskentatapa (15, s. 9).

$$Q_{\text{kylmäsilto}} = (Q_{\text{rakosa}} + Q_{\text{johtmaa}}) * 0,1 \quad \text{KAAVA 8}$$

Käyttämällä kaavaa 8 kylmäsiltojen vaikutukseksi tammikuussa saadaan 1127,7 kWh.

Jotta vuotoilman lämmittämiseen tarvitsema energia voidaan laskea, pitää tietää vuotoilman määrä. Vuotoilman laskennallinen määrä saadaan käyttämällä kaavaa 9.

Vuotoilmavirta (2, s. 21).

$$q_{v,\text{vuotoilmavirta}} = \frac{q_{50}}{3600 * x} A_{\text{vaiippa}} \quad \text{KAAVA 9}$$

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

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

$A_{\text{vaiippa}} = \text{rakennusvaipan pinta-ala ((alapohja mukaan luettuna) (m}^2))$

$X = \text{kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35}$

Käyttämällä kaavaa 9 vuotoilmavirran määräksi saadaan 0,056 m³/s.

Kun vuotoilmavirran tarve tiedetään, voidaan kaavaan 10 mukaan laskea vuotoilman lämpenemiseen tarvitsema energia.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 10 (2, s. 21).

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \frac{\rho_t c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad \text{KAAVA 10}$$

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

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)

Käyttämällä kaavaa 10 vuotoilmavirran lämpenemiseen meneväksi energiaksi tammikuussa saadaan 1444,7 kWh.

Ilmanvaihdon tuloilman lämpenemiseen tarvittava lämmitysenergian määrä saadaan kaavalla 11 (2, s.25).

$$Q_{iv,tuloilma} = \frac{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta T}{1000}$$

KAAVA 11

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

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

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s)

T_s = sisälämpötila (°C)

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila (°C)

Δt = ajanjaksonpituus (h)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Käyttämällä kaavaa 11 tuloilman lämmitysenergian tarpeeksi tammikuussa muodostuu 937,1 kWh.

Kaavan 12 avulla laskettuna tammikuun kokonaislämpöhäviöiksi muodostuu 14677,4 kWh (2, s. 17). Koko vuoden osalta laskentaperusteen taulukko on liitteessä 3.

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv.tulo} + Q_{iv,korvausilma} \quad \text{KAAVA 12}$$

Kuten liitteestä 3 huomataan, niin lämpöhäviöt ovat isompia, kuin kiinteistön lämmitysenergian kulus. Siksi että laskennassa ei alettu selvittämään kiinteistön valaistuksesta, ihmisistä, yms. lähteistä hyödyksi saatavia energioiden määriä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja vertailla eri energiantuotannon vaihtoehtoja Limingassa sijaitsevaan rivitalokohteeseen. Lisäksi lämpöhäviöt laskettiin. Työn tilasi asunto OY Limingan Hoikanpirtti. Työtä varten saatiin kattavat tiedot kiinteistöstä. Niiltä osin kuin tietoja ei ollut saatavilla, käytettiin standardiarvoja.

Kaiken kaikkiaan maalämmöstä saatiin 5 tarjousta ja ilmavesilämmöstä 3 tarjousta joiden kannattavuutta sitten vertailtiin. Tarjousten takaisinmaksuajat todettiin kohtuulliseksi.

Kaikista kannattavammiksi ratkaisuksi osoittautui maalämpö. Maalämmön valintaa kohteeseen puoltavat järjestelmän nopea takaisinmaksuaika ja siitä 15 vuoden aikana saatava rahallinen hyöty.

Isännöitsijälle toimitettiin laskelmat ja vertailut eri järjestelmistä, joiden perusteella hän tekee lopullisen valinnan kohteeseen tulevasta lämmitysmuodosta ja laitettoimittajasta.

Lämpöhäviölaskennan tulos todettiin oikeansuuntaiseksi. Lukemat tarkentuvat tulevaisuudessa, kunhan kohteesta on saatavilla tarkemmat tiedot.

LÄHTEET

1. Ahola, Pasi 2018, isännöitsijä, Isännöinti Vuorma OY. Haastattelu 18.1.2018.
2. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta ohjeet, 2018. Saatavissa: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehon_tarpeen_laskenta_20-12-2017.pdf. Hakupäivä 22.2.2018.
3. Maalämpöpumppu. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu. Hakupäivä 28.1.2018
4. RT 50-10755. 2001. Maalämmitys. Rakennustieto OY. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/106522.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 22.2.2018.
5. Eskola, Lari – Jokisalo, Juha – Siren Kari. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/none/name/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>. Hakupäivä 21.2.2018.
6. Maalämpökaivon ja porakaivon mitoitus. 2018. Nilan. Saatavissa: <http://www.maalampo.fi/artikkelit/maalampopumpun-ja-porakaivon-mitoitus/>. Hakupäivä 21.3.2018.
7. Ympäristöopas. 2013. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4. Hakupäivä 22.3.2018.
8. Perälä, Rae – Perälä, Osmo. 2013. Lämpöpumput. 3. uudistettu painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
9. TRT-mittaus. 2018. Rototec Oy. Saatavissa: <https://www.geodrill.fi/trt-mittaus/>. Hakupäivä 22.3.2018.

10. TRT-mittaus. 2018. Lapon Oy. Saatavissa: <https://www.lapon.fi/trt-mittaus>. Hakupäivä 22.3.2018.
11. Ilma-vesilämpöpumppu. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp. Hakupäivä 28.1.2018.
12. Hanki hallitusti ilma-vesilämpöpumppu. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/4765/Hanki_hallitusti_ilma-vesilampopumppu.pdf. Hakupäivä 14.3.2018.
13. Määttä, Henrik 2018. Ilma-vesilämpöpumppu. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Pasi Ahola.
14. Kylmäainetilanne. 2017. Suomen Kylmäyhdistys ry. Saatavissa: <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=175>. Hakupäivä 1.2.2018.
15. 1048/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Suomen säädöskokoelma. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171048.pdf>. Hakupäivä 22.2.2018.
16. C3 2008. 2010. Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksestä. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/name/%7B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%7D/102966>. Hakupäivä 23.2.2018.
17. Oven mitoitus. 2018. JELD-WEN Suomi Oy. Saatavissa: <https://www.jeld-wen.fi/ohjeet/mitoitus/>. Hakupäivä 23.2.2018.

ϕ_{pnp}/ϕ_{tia}	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/$ $Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

ϕ_{pnp}/ϕ_{sta}	$Q_{\text{lammitys,tilat}}/Q_{\text{lammitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74

0,9	0,5	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,0	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

Tilojen lämpöhäviöt						
Kuukausi	T_u (°C)	t (h)	Q_{ohessa} (kWh)	$Q_{\text{ylmäsiilat}}$ (kWh)	dT_{maakk} (K)	T_{maakk} (°C)
tammikuu	-8	744	8417,1	1117,8	0	8,4
helmikuu	-7,1	672	7366,6	1005,9	-1	7,4
maaliskuu	-3,53	744	7119,7	1032,0	-2	6,4
huhtikuu	2,42	720	5218,8	852,8	-3	5,4
toukokuu	8,84	744	3529,4	694,9	-3	5,4
kesäkuu	13,39	720	2137,5	523,4	-2	6,4
heinäkuu	15,76	744	1520,9	428,2	0	8,4
elokuu	13,76	744	2101,4	464,2	1	9,4
syyskuu	9,18	720	3320,0	556,7	2	10,4
lokakuu	4,07	744	4913,9	701,6	3	11,4
marraskuu	-1,76	720	6392,9	842,7	3	11,4
joulukuu	-5,92	744	7813,4	1013,5	2	10,4
	3,43	8760	59851,8	9233,6	0	8,4

Ts-Tmaakk	$Q_{\text{chämaa}}$ (kWh)	$Q_{\text{vettä}}$ (kWh)	Q_{vaale} (kWh)	$Q_{\text{ilä}}$ (kWh)
12,6	2760,7	1444,7	937,1	14677,4
13,6	2691,9	1264,4	846,4	13175,2
14,6	3200,0	1222,0	937,1	13510,8
15,6	3309,3	895,7	906,9	11183,5
15,6	3419,6	605,8	937,1	9186,8
14,6	3096,8	366,9	906,9	7031,4
12,6	2760,7	261,0	1110,4	6081,3
11,6	2541,1	360,7	1579,0	7046,4
10,6	2246,6	569,8	906,9	7600,0
9,6	2101,8	843,4	937,1	9497,8
9,6	2034,0	1097,2	906,9	11273,7
10,6	2321,5	1341,0	937,1	13426,5
12,6	32484,2	10272,5	11848,7	123690,7