



Tutkintotyö

MAALÄMPÖPUMPPULÄMMITYS IKEA-TAVARATALOISSA



Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi amk-tutkinto
Rakentamisen koulutusohjelma

Tekijä	Mika Junkala
Työn nimi	Maalämpöpumppulämmitys IKEA-tavarataloissa
Sivumäärä	86 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	lehtori Pirkko Pihlajamaa
Työn teettäjä	IKEA Real Estate Oy
Tampere	Joulukuu 2009
Hakusanat	Maalämpöpumppu, uusiutuva energia, lämmitysjärjestelmä

TIIVISTELMÄ

IKEA on asettanut kestäväan ilmastokehitykseen tähtäävän IKEA Goes Renewable -projektin, jonka tavoitteena on laskea kaikkien kiinteistöjen (tavaratalot, varastot, tehtaot, toimistot) energian kulutusta. IGR-projektin toisena tavoitteena on siirtyä pitkällä tähtäimellä käyttämään kiinteistöissä pelkästään uusiutuvaa sähkö- ja lämmitysenergiaa. Uusiutuvana lämmitysmuotona Suomen olosuhteissa tulee lähinnä kyseeseen pelletti- ja maalämpöpumppulämmitys.

Tämä tutkimus esittelee maalämpöpumppulämmityksen käyttömahdollisuuksia Suomen IKEA-tavarataloissa.

Työn ensimmäisessä osassa esitellään yleisesti maalämpöpumput, porakaivon käyttö lämmön lähteenä sekä maalämpöjärjestelmien mitoittamiseen liittyvät seikat.

Työn toinen osa sisältää kyselytutkimuksen IKEA:ssa kansainvälisesti jo käytössä olevista maalämpöjärjestelmistä sekä niiden teknisistä ominaisuuksista ja käyttökokemuksista. Toinen osa sisältää lisäksi markkinatutkimuksen lämpöpumppuvalmistajista, jotka voisivat toimittaa IKEA-tavarataloihin soveltuvia maalämpöpumppujärjestelmiä.

Kolmas osa työstä koskee maalämpöjärjestelmien hankesuunnittelussa huomioitavia asioita tavaratalon uudisrakennus-, peruskorjaus- ja laajennushankkeissa.

Neljäs ja viimeinen osa käsittää tutkimuksen tulosten arvioinnin ja jatkotutkimustarpeet. Tämän osan tarkoituksena on pohtia saavutettuja tuloksia sekä nostaa esiin asioita jotka tukisivat jatkossa IGR-projektia ja maalämmön käyttöä IKEA-tavaratalojen lämmitysmuotona Suomessa.



TAMK University of Applied Sciences, Master of Engineering
Construction Technology

Writer Mika Junkala
Thesis Geothermal heating with heat pumps in IKEA stores
Pages 86 + 2 pages
Thesis supervisor Lector Pirkko Pihlajamaa
Thesis orderer IKEA Real Estate Oy
Graduation time December 2009
Keywords Geothermal heating, heat pump, renewable energy

ABSTRACT

IKEA has set up a project, "IKEA Goes Renewable" (IGR), which aims to decrease the total energy consumption of all its properties, including warehouses, stores, factories and offices. However, the IGR project has another major goal, which concentrates on using only renewable energy as a heating and electrical energy in all IKEA properties. For the Finnish market, the type of renewable heating under consideration would be either pellet or geothermal heating with heat pumps.

This study will demonstrate and focus on the geothermal heating with heat pumps and in its user possibilities in IKEA stores in Finland.

The first section will make a general outline of geothermal heat pumps, bore hole as a source of heat and also the issues which determine the dimensioning of the geothermal heat pump.

The second section will include the questionnaire results obtained from the IKEA stores internationally that already use geothermal heat pumps and evaluate the technical details and user experiences. It is in this section that the market research from the manufacturers of geothermal heat pumps and their possible provisions for IKEA will also be discussed.

The following chapter will concentrate on the planning details that need to be considered with geothermal heat pumps when building, expanding or renovating properties.

The final chapter will establish and evaluate the research results, highlighting facts that support the IGR project and the use of geothermal heating as a preferred heating option in the IKEA stores in Finland. Recommendations on issues that require further research will also be offered.



SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	7
1.2 TUTKIMUKSEN RAJAUKSET	7
1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	8
1.4 TUTKIMUKSEN TULOKSET	9
2 MAALÄMPÖPUMPUT	10
2.1 FYSIKAALISET PERUSTEET JA LÄMPÖPUMPUN TOIMINTAPERIAATE	10
2.2 LÄMPÖPUMPUN KIERTOPROSESSI P-H TILAPIIRROKSESSA.....	11
2.3 LÄMPÖKERROIN	14
2.4 MAALÄMPÖPUMPPUTYYPIT	16
2.4.1 Kompressorilämpöpumpun toiminta ja pääosat.....	16
2.5 KOMPRESSORITYYPIT.....	18
2.5.1 Scroll-kompressori.....	19
2.5.2 Mäntäkompressori	20
2.5.3 Ruuvikompressori	22
2.6 KYLMÄAINEET	23
2.7 LÄMMÖNJAKOTAVAT	26
2.8 KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS.....	26
2.9 KÄYTTÖVARMUUS JA RISKIT	29
3 LÄMMÖNLÄHTEET	32
3.1 LÄMMÖNLÄHTEENÄ PORAKAIVO	33
3.2 NORMILÄMPÖKAIVO	36
3.3 PORAUSMENETELMÄT JA TYÖN KESTO	40
3.4 PORAKAIVON LÄMPÖTILAOLOSUHTEET JA LÄMMÖNTUOTTO	41
3.5 LÄMMÖNKERUUPIIRI JA -LIUOS	44
3.6 PORAKAIVON TÄYTTÄMINEN	45
4 MAALÄMPÖJÄRJESTELMIEN MITOITTAMINEN.....	47
4.1 POHJAVESI- JA MAAPERÄOLOSUHTEIDEN SELVITTÄMINEN	47
4.2 MITOITUSTEHON VALINTA TÄYSTEHOILLE TAI OSATEHOILLE	48
4.3 LÄMPÖKAIVOJEN SYVYYS JA MÄÄRÄ	51
5 KYSELYTUTKIMUS MAALÄMPÖJÄRJESTELMISTÄ IKEA- TAVARATALOISSA	53
5.1 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT JA TUTKIMUSMENETELMÄ	53
5.2 YHTEENVETO KÄYTÖSSÄ JA SUUNNITTEILLA OLEVISTA JÄRJESTELMISTÄ.....	54
5.3 KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET.....	61
6 MARKKINATUTKIMUS LÄMPÖPUMPPUVALMISTAJISTA	63



6.1 MARKKINATUTKIMUKSEN TULOKSET	65
7 REUNAEHDOT	66
7.1 MITOITTAMINEN	66
7.2 MAAPERÄN LAATU JA POHJAVESIOLOSUHTEET	68
7.3 LÄMPÖKAIVOJEN SJOITTAMINEN TONTILLE.....	68
7.4 LÄMPÖKAIVOJEN TEKEMISEN VAIKUTUS PROJEKTIN KOKONAISAIKATAULUUN	71
7.5 LÄMMÖNJAKOHUONEEN VAATIMUKSET.....	71
7.6 SUUNNITTELUOSAAMINEN JA HANKINTAMALLI	72
7.7 HENKILÖKUNNAN OSAAMINEN	73
7.8 LÄMMITYSMUODON HUOMIOIMINEN LIIKEPAIKKAA HANKITTAESSA.....	75
8 TULOSTEN TARKASTELU JA ARVIOINTI	76
8.1 KIRJALLISUUSOSIO.....	76
8.2 KYSELYTUTKIMUS	77
8.3 MARKKINATUTKIMUS	78
8.4 REUNAEHDOT	79
9 JATKOTUTKIMISTARPEET	81
9.1 KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS AURINKOKERÄIMELLÄ.....	81
9.2 LATTIALÄMMITYKSEN HYÖDYNTÄMINEN	81
9.3 ILMALÄMPÖPUMPPUJEN HYÖDYNTÄMINEN	82
9.4 MUUT UUSIUTUVAT LÄMMITYSMUODOT.....	83
LÄHTEET	84
LIITTEET	
LIITE 1 KYSELYTUTKIMUKSEN LOMAKE	



1 Johdanto

IKEA on kansainvälinen päivittäistavaraketju joka toimii kodinsisustamisen alalla. Ketjun kasvu on voimakasta sekä Suomessa, että kansainvälisesti. Espoon, Vantaan ja Raision nykyisten tavaratalojen lisäksi Tampereen tavarataloa rakennetaan parhaillaan ja Kuopion tavaratalon rakentamista valmistellaan.

Ympäristöystävällisyys on yksi IKEA:n prioriteeteista ja IKEA on asettanut pitkän tähtäimen tavoitteekseen lopettaa globaalisti muulla kuin uusiutuvalla energialla tuotetun sähkö- ja lämpöenergian käytön. Lisäksi tavoitteena on tehostaa kaikkien kiinteistöjen energiankäyttöä 25 prosenttia. Tavoitteiden täyttymiseksi vuonna 2007 käynnistettiin IGR eli IKEA Goes Renewable -projekti, jonka hoidosta allekirjoittanut vastaa Suomessa.

Suomen tavaratalojen sähköenergiana käytetään Vesisähköä, joka on tuotettu vesivoimalla ja on täysin uusiutuvaa, eli IGR:n tavoitteiden mukaista. Lämmitysenergiana käytetään tällä hetkellä kaikissa tavarataloissa kaukolämpöä jonka uusiutuvuus vaihtelee. Vantaan ja Raision tavaratalojen lämmitysenergia on täysin uusiutumaton, Espoon lämmitysenergiasta uusiutuvan energian osuus on 8 %. IGR:n tavoitteiden saavuttamiseen on siis lämmityksen osalta vielä paljon matkaa.

Tällä hetkellä kiinnostavimpina ratkaisuina uusiutuvan energian käyttöasteen nostamiseksi tavaratalojen lämmityksessä pidetään biomassaa- ja kalliolämpöjärjestelmiä. Uusia tavarataloja suunniteltaessa nämä ratkaisut tullaan ottamaan suunnittelupöydälle niiden kelpoisuuden arvioimiseksi paikallisissa olosuhteissa. Lisäksi lämmitysjärjestelmän muutos tutkitaan aina erikseen olemassa olevien tavaratalojen laajennushankkeissa ja isoissa peruskorjauksissa.

Tämä tutkimus antaa lähtötietoa kalliolämpöjärjestelmistä kun IKEA Oy arvioi, miten niitä voitaisiin hyödyntää uusissa ja nykyisissä tavarataloissa.



1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Päätavoitteena oli lisätä IKEA Oy:n tietoa kalliolämpöjärjestelmistä.

Tutkimus esittelee maalämpöpumppujen fysikaaliset perusteet, yleisimmin käytetyt tekniikat sekä lämpökaivon käyttämisen lämmön lähteenä.

Toisena tavoitteena oli tutkia IKEA-tavarataloissa kansainvälisesti jo käytössä olevien kalliolämpöjärjestelmien ominaisuuksia.

Kolmantena tavoitteena tutkittiin mitä reunaehtoja tulee huomioida IKEA-tavaratalon kokoluokan järjestelmän hankesuunnittelun aikana.

Neljäntenä tavoitteena tutkittiin kuinka monta lämpöpumppuvalmistajaa pystyy tarjoamaan IKEA-tavaratalon kokoluokan lämpöpumppuja Suomeen.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus kattaa yleisellä tasolla lämpöpumpun ja lämpökaivon käyttämisen lämmitys- sekä jäähdytysenergian lähteenä kiinteistössä ja syventyy IKEA-tavarataloihin soveltuviin järjestelmiin. Lämpöpumppujen osalta rajauduttiin kompressorikäyttöisiin järjestelmiin ja lämmönlähteiden osalta lämpökaivoon.

Tutkimuksessa kuvataan lämpöpumpun toiminnan fysikaaliset perusteet, lämpökaivon käyttämisen lämmönlähteenä, edullisimmat lämpötilatasot, lämmönjakotavat ja lämpimän käyttöveden tekemisen sekä lämpökaivon ja -pumpun käyttöön liittyvät riskit. Tutkimus ei kata erillisjärjestelmiä kuten huonetilakohtaisia jäähdytysyksiköitä tai lämmittimiä.



Kyselytutkimuksen avulla selvitettiin IKEA:ssa jo käytössä olevien maalämpöpumppujen tekniset ominaisuudet sekä mahdolliset Suomessa toimintaa harjoittavat lämpöpumpputoimittajat tässä kokoluokassa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Tutkimusosuus jakaantuu kolmeen vaiheeseen:

- kyselytutkimukseen IKEA:n maalämpöjärjestelmistä
- IKEA-tavarataloa koskettavien reunaehtojen määrittämiseen sekä
- markkinatutkimukseen lämpöpumpputoimittajista

Kyselytutkimus IKEA:n maalämpöjärjestelmistä tehtiin kyselylomakkeiden avulla. Kyselytutkimuksen esityönä selvitettiin IGR-projektin yhdyshenkilöiltä missä maissa maalämpöjärjestelmiä on käytössä ja ketkä ovat maiden yhteyshenkilöt. Varsinainen kyselykaavake lähetettiin sähköpostitse suoraan eri maiden yhteyshenkilöille.

Reunaehtojen määrittäminen toteutettiin kyselytutkimuksesta ja kirjallisuudesta tehtyjen havaintojen perusteella. Tarkoituksena oli sovittaa kirjallisuudessa käsitelty kalliolämpöteoria kyselytutkimuksen avulla IKEA-tavaratalon mittakaavaan. Apuna käytettiin mm. Tampereen Teknillisen Yliopiston kylmätekniikan professorin Antero Aittomäen haastattelua.

Markkinatutkimus tehtiin määrittämällä tämän kokoluokan lämpöpumpun tärkeimmät tekniset sekä fyysiset ominaisuudet ja lähettämällä sitomaton tarjouspyyntö mahdollisille valmistajille. Valmistajat joille tarjouspyyntö lähetettiin selvitettiin kirjallisuuden, internetin, alan suunnittelukontaktien, Antero Aittomäen ja Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen avulla.



1.4 Tutkimuksen tulokset

Kirjallisuusosion tuloksena syntyi tämän hetken tietämystä edustava käsi-kirja maalämpöpumpuista ja lämpökaivon käyttämisestä lämmön lähteenä.

Kyselytutkimuksena tulokseksi tuli taulukkomuotoinen esitys tällä hetkellä IKEA:ssa olevista kalliolämpöjärjestelmistä ja niiden tärkeimmistä teknisistä ominaisuuksista.

Reunaehtojen määrittäminen on apuväline jossa avataan IKEA-tavaratalon tontin hankinnassa ja tavaratalon hankesuunnittelussa kalliolämpöjärjestelmän kannalta huomioitavat seikat.

Markkinatutkimuksen tuloksena syntyi valmistajaluettelo yhteystietoineen.



2 Maalämpöpumput

2.1 Fysikaaliset perusteet ja lämpöpumpun toimintaperiaate

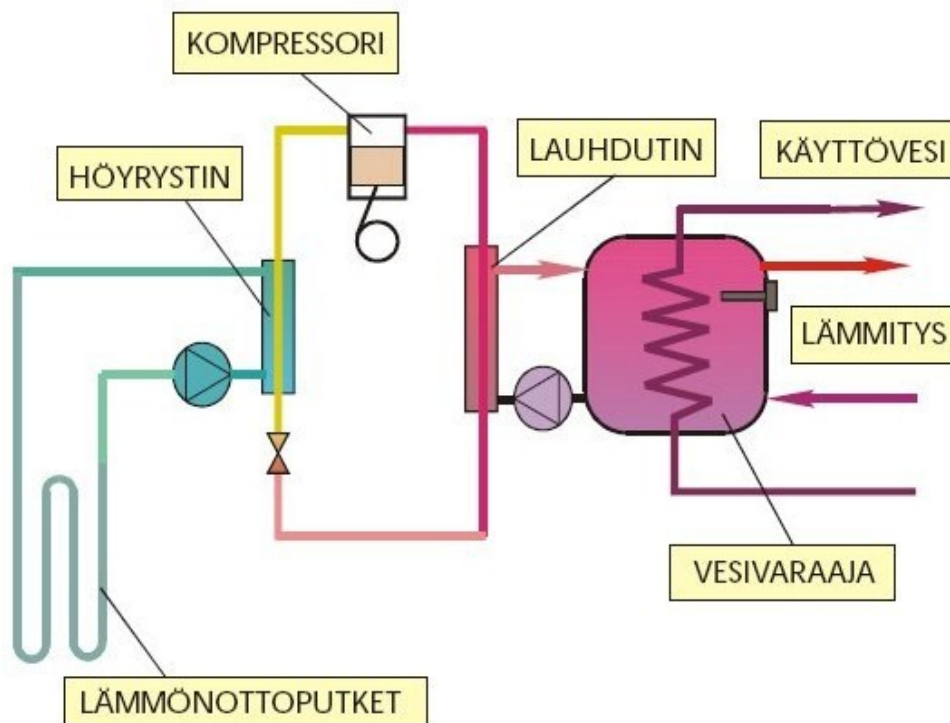
Maalämpöpumput ovat itse asiassa lämmityskäyttöön suunniteltuja kylmä-laitteita. Kun jäähdytyskäyttöön suunnitellun kylmlaitteen tehtävänä on siirtää lämpöä pois kylmätilan sisältä ja siten jäähdyttää tilaa, maalämpöpumpun tehtävänä on siirtää lämpöä pois maaperästä, kalliosta tai vesistöistä ja johtaa se rakennuksen sisätiloihin lämpönä. Kumpaankin käyttöön suunnitellussa kylmlaitteessa kohteesta otetaan lämpöä ja luovutetaan se toisaalle. Lisäksi molempien laitteiden pääosat ja kylmäkierron järjestys ovat samat.

Koska kylmätekniikan tehtävänä yleisesti on ylläpitää ympäristöstä poikkeavia lämpötiloja, tulee kylmätekniikan hallitsemiseksi tietää aiheeseen liittyvä fysikaalinen perusta, termodynamiikka. Termodynamiikan ensimmäisessä pääsäännössä todetaan energian häviämättömyyden sekä lämmön ja työn samanarvoisuuden olevan vain energian eri ilmenemismuotoja. Toisen pääsäännön mukaan lämpö siirtyy aina lämpimämmästä kappaleesta kylmempään kunnes molempien kappaleiden lämpötilat ovat samat.

Kun esimerkiksi jääkaappia halutaan jäähdyttää, sinne ei siirretä kylmää vaan sieltä siirretään pois lämpöä. Koska lämpö pitää siirtää jääkaapin sisälämpötilaa (+6 °C) korkeampaan huonelämpötilaan (+20 °C), siirtotyöhön tarvitaan ulkopuolista energiaa joka saadaan kylmäkompressorista.

Kompressorin tehtävänä on nostaa puristuksen avulla väliaineen lämpötila niin ylös, että lämpö voi termodynamiikan toisen pääsäännön mukaisesti siirtyä lämpimämmästä kappaleesta kylmempään. Väliaineena toimivan kaasun lämpötila pitää siis olla huonelämpötilaa +20 °C ylempi.

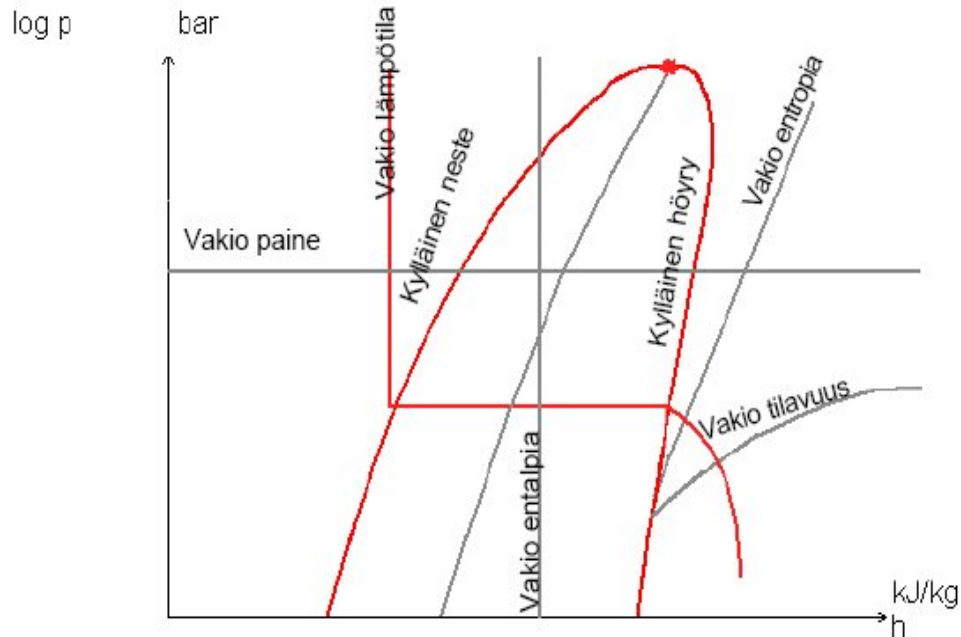
Kylmäteknikka hyödyntää suljetussa kierrossa olevan kylmäaineen olomuodon muutoksia, eli höyrystymistä nesteestä kaasuksi ja lauhtumista takaisin kaasusta nesteeksi. Höyrystymisen tarkoituksena on ottaa kohteesta lämpöenergiaa ja lauhtumisen tarkoituksena luovuttaa kohteeseen lämpöenergiaa. Riippuen siitä kumpaa hyödynnetään, lämmön ottamista vai luovuttamista, puhutaan joko kylmälaitteesta tai lämpöpumpusta.



Kuvio 1: Lämpöpumpun toiminta

2.2 Lämpöpumpun kiertoprosessi p-h tilapiirroksessa

Kylmäteknikan fysikaaliset perusteet ja kylmäaineen olomuodon muutokset kylmäkierrossa voidaan esittää kylmäteknisten tilapiirrosten avulla. Yleisimmin käytetty on logaritminen p-h (paine-entalpia) tilapiirros johon on piirretty kylmäaineen eri olomuodot.



Kuvio 2: Periaatteellinen p-h tilapiirros

Piirroksessa aineen rajakäyrä jakaa kylmäaineen kolmeen olomuotoon: Kylläisen nesteen rajakäyrän vasemmalla puolella on alijäähtyneen nesteen alue, jossa nesteen lämpötila on alhaisempi kuin kylmäaineen höyrystymislämpötila samassa paineessa

Kylläisen höyryn rajakäyrän oikealla puolella on tulistuneen höyryn alue, jossa höyryn lämpötila on korkeampi kuin kylmäaineen höyrystymislämpötila samassa paineessa.

Rajakäyrien keskellä jää sekoittumisalue / kostean höyryn alue jossa kylmäaine muuttaa asteittain olomuotoaan nesteestä höyryksi. X-käyrä samalla alueella ilmoittaa kuinka monta prosenttia höyryä seos sisältää.

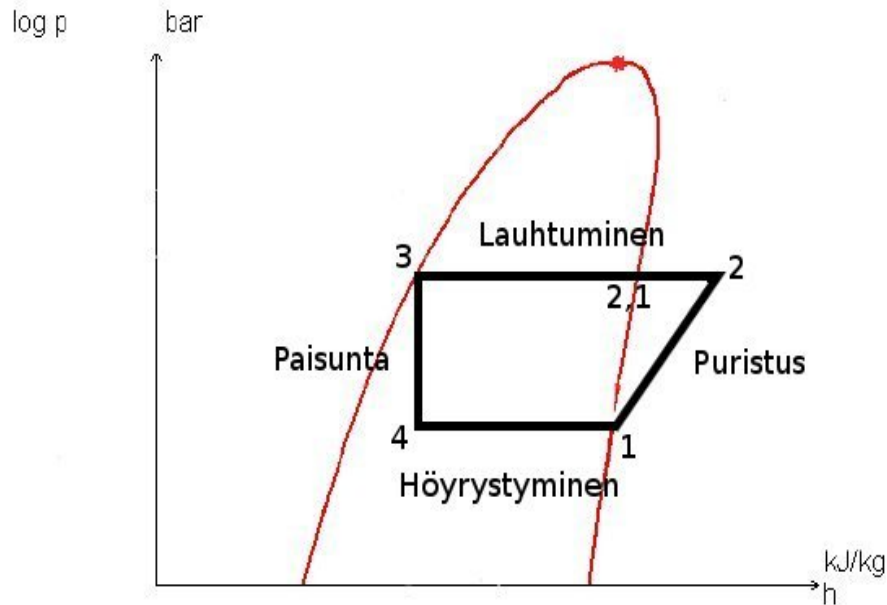
Rajakäyrän huipulla on kriittinen piste. Jos kylmäainekaasun lämpötila on kriittistä pistettä korkeampi, ei kaasu enää tiivisty nesteeksi vaikka paine nousisikin. (Nydal 2002, 63-64)



Lämpöpumpun toiminta perustuu matalalämpövaraston lämpöenergian nostamiseen korkeammalle tasolle mekaanisen työn avulla. Yleisimmin työhön käytetään sähköllä toimivaa kompressoria. Kompressori toimii lämpöpumpun moottorina ja mahdollistaa kylmäainekierron, faasimuutokset ja lämmön siirtymisen.

Kylmäaineen malliprosessi lämpöpumpussa käsittää 4 olomuodon muutosta:

- Höyrystyminen: Höyrystymisen aikana kylmäaineen lämpötila ei muutu ja tilapiste siirtyy kostean höyryn alueelta (4) kylläisen höyryn käyrälle (1). Höyrystymislämpö on h_1-h_4 .
- Puristus: Entropia säilyy puristuksen aikana vakiona joten prosessi tapahtuu pitkin isentrooppia. Puristukseen tarvittava työ on puristusta vastaava entalpian muutos h_2-h_1 .
- Lauhtuminen: Kun höyryä aletaan jäähdyttää, siitä poistuu ensin tulistuslämpö tilapisteen siirtyessä tulistuneen höyryn alueelta (2) kylläisen höyryn rajakäyrälle (2,1). Kostean höyryn alueella tapahtuva lauhtuminen luovuttaa lämmön $h_{2,1}-h_3$.
- Paisunta: Paisunnassa kylmäaineen painetta alennetaan paisuntaventtiilissä tai putkessa. Paineen alentuessa aine ei tee työtä joten entalpia pysyy vakiona ja prosessi on p-h tilapiirroksessa pystysuora.



Kuvio 3: Kylmäaineen kiertoprosessi lämpöpumpussa p-h tilapiirroksessa esitettynä

Carnot-prosessi on kylmäaineen ideaali kiertoprosessi, jossa ei tapahdu häviöitä lainkaan. Todellisuudessa häviöitä syntyy mm. kompressorin ja putkiston lämpöhäviöinä.

2.3 Lämpökerroin

Lämpöpumpun tehon lähtökohtana on luovutettu lämpöteho. Tavallisesti teho määritellään vertailuprosessista (ideaaliprosessi), ilman höyryn tulistusta tai nesteen alijäähtymistä. Käytännössä lasketaan lauhtuttimen luovuttaman lämpötehon suhde kompressorin ottamaan sähkötehoon

$$\text{Lämpökerroin} = \text{tuotettu lämpö (kWh)} / \text{käytetty sähkö (kWh)}$$

Lämpökertoimesta käytetään varsinkin markkinoinnissa myös kansainvälistä lyhennettä COP, joka on lyhennetty sanoista Coefficient Of Performance (The Engineering Toolbox, 2009).



Puhuttaessa lämpökertoimesta tulee varmistaa onko kyseessä pelkästään kompressorin kerroin vai koko lämpöpumpun lämpökerroin ja missä olosuhteissa arvo on ilmoitettu. Myös pumpuissa ja mahdollisissa lämmitysvastuksissa kuluu sähköä kompressorin käyttämän sähkön lisäksi, nämä mukaan ottamalla koko lämpöpumpun lämpökerroin laskee.

Lämpöpumpulla saavutetaan sitä parempi lämpökerroin, mitä pienempi on höyrystyslämmön ja lauhtumislämmön erotus. Lämpökerroin siis paranee mitä matalammassa lämpötilassa lämpöpumppu luovuttaa lämmön, samasta syystä se soveltuu erityisen hyvin matalalämmitysratkaisuihin kuten vesikiertoiseen lattialämmitykseen tai ilmalämmitykseen. (Nydal 2002, 76) (Hakala 2005, 224)

Jotkut lämpöpumppuvalmistajat ilmoittavat varsin korkeitakin, yli 4:n lämpökertoimia laitteilleen. Käytännössä niin korkean lämpökertoimen saavuttaminen on harvinaista ja tyypilliset vuoden keskimääräiset lämpökertoimet eli vuosilämpökertoimet normaaleissa käyttöolosuhteissa ovat hieman 3:n molemmin puolin. (Aittomäki 2001, 7)

Laadukkaasti toteutetuissa kohteissa, kuten pientaloissa joissa lämmitysmuotona toimii lattialämmitys, voi lämpökerroin olla yli 3. Isommissa kohteissa lämpöpumppujen kasvaessa voi lämpökerroin nousta vieläkin ylemmäksi. Pientalon ja ison kohteen lämpökertoimia ei pidäkään verrata keskenään. (Aittomäki 2009)



2.4 Maalämpöpumpputyypit

Kiinteistöjen lämmityskäyttöön soveltuvat lämpöpumpputyypit ovat tyypillisesti suljettuja järjestelmiä jotka voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, mekaanista energiaa tai sähköä voimanlähteenään käyttäviin kompressorilämpöpumppuihin ja lämpöä kylmäkierron ylläpitämiseksi käyttäviin absorptiolämpöpumppuihin.

Absorptiolämpöpumppujen soveltaminen lämmityskäyttöön on vähäistä. Yleisimmin niitä käytetään pientalokohteissa Keski-Euroopassa tai isommissa kohteissa esimerkiksi prosessiteollisuudessa jossa syntyy runsaasti hukkalämpöä. Eräs käyttöesimerkki on Helsingin Energian kaukokylmälaitos (Aittomäki 2009).

Jatkossa tämä tutkimus rajautuu pelkästään kompressorilämpöpumppuihin.

2.4.1 Kompressorilämpöpumpun toiminta ja pääosat

Lämpöpumpun pääosat prosessin kiertojärjestyksessä ovat: höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Laitteistoon kuuluu lisäksi pääosat yhdistävä putkisto, maasta lämmön höyrystimeen kuljettava lämmönottoputkisto, lauhduttimesta lämmön lämmitysjärjestelmään kuljettava lämmitysputkisto, putkiston pumput sekä ohjaus- ja säätölaitteet.

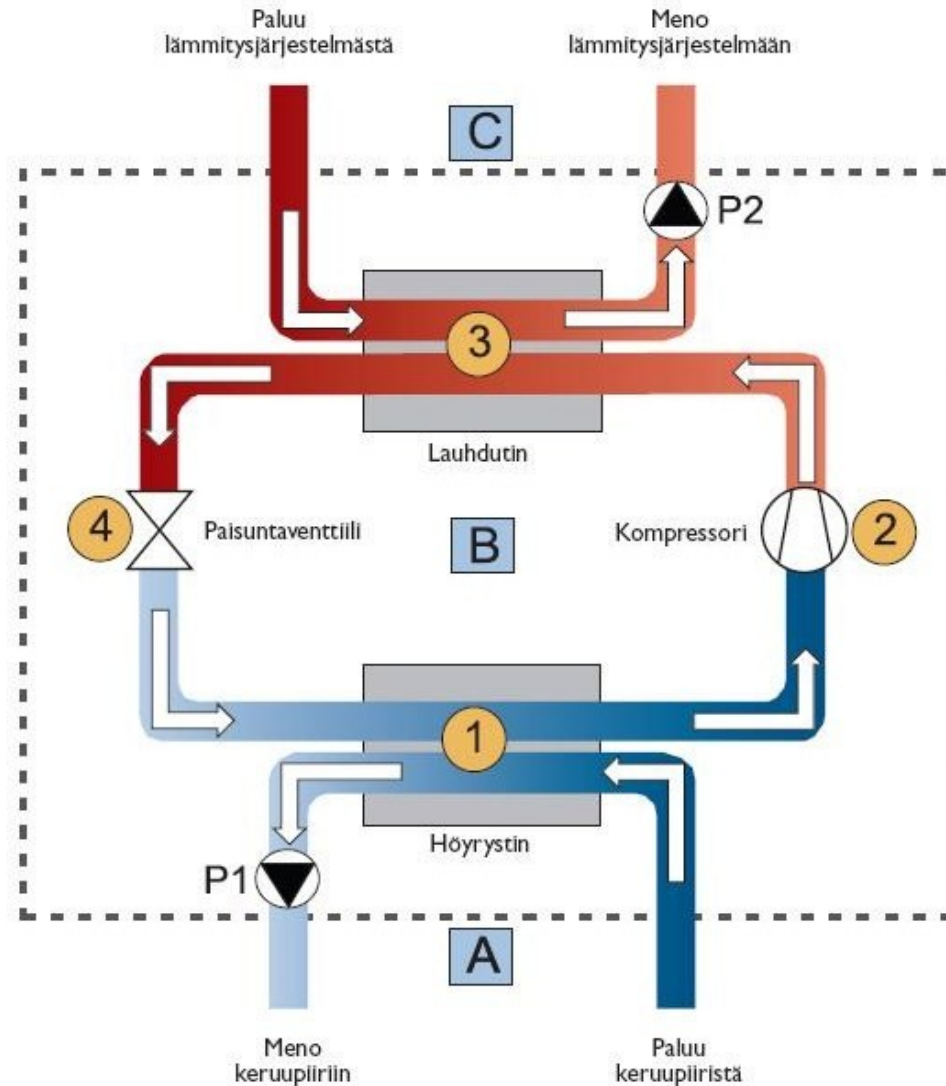
Höyrystimen tehtävänä on siirtää matalalämpövaraston lämpöenergia kylmäaineeseen. Höyrystimessä kylmäaine muuttuu kaasumaiseen olomuotoon sitoen lämpöenergiaa lämmönkeruuputkistosta. Yleisin höyrystinmalli on levylämmönsiirtimen tyyppinen johtuen sen pienestä koosta ja hyvästä hintalaatusuhteesta (Hakala 2005, 226). Höyrystin on alipaineinen ja sijaitsee lämpöpumpun matalapainepuolella.



Kompressori on lämpöpumpun sydän jonka tehtävänä on imeä höyrystimestä tulevaa kylmäainekaasua sekä puristaa kaasu kasaan ja nostaa sen lämpötilaa. Kompressorin eri puolilla vallitseva paine-ero saa kylmäainekaasun liikkumaan putkistossa ja ylläpitämään kiertoprosessia. Kompressori tekee työtä joka vaatii ulkopuolista energiaa, tyypillisesti se saadaan aikaan sähkömoottorilla.

Lauhduttimen tehtävänä on siirtää lämpöenergia lämmitysjärjestelmään. Lauhdutin on lämpöpumpun korkeapainepuolen lämmönsiirrin jossa kuuma kylmäainekaasu tiivistyy nestemäiseen olomuotoon ja luovuttaa lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmän putkistoon. Höyrystimen tavoin ja samoista syistä johtuen lauhdutin on tyypillisesti levylämmönsiirtimen tyyppinen. Lämpöpumpuissa voidaan käyttää myös putkikierukkatyyppistä lauhdutinta joka on asennettu joko lämmitys- tai käyttövesisäiliön sisä- tai ulkopuolelle. Joissain lämpöpumpuissa on lisäksi toinen lauhdutin jonka avulla lämmitetään pelkästään lämmin käyttövesi. Nämä nk. tulistuksen poistovaihtimet hyödyntävät kylmäaineen tulistuslämpöä (kts. Kuvio 3). (Hakala 2005, 225)

Paisuntaventtiilin tehtävänä on laskea kylmäaineen painetta ja samalla alentaa sen lämpötila ympäristön lämpötilaa alhaisemmaksi. Paisuntaventtiilejä on kahta eri tyyppiä, termostaattisia ja elektronisia. Näistä jälkimmäinen on yleinen suuremmissa lämpöpumpuissa koska ne pystyvät paremmin mukautumaan muuttuviin olosuhteisiin (Hakala 2005, 226). Paisuntaventtiiliä säätämällä säädetään myös koko kiertoprosessia.



Kuvio 4: Maalämpöpumpun pääosat

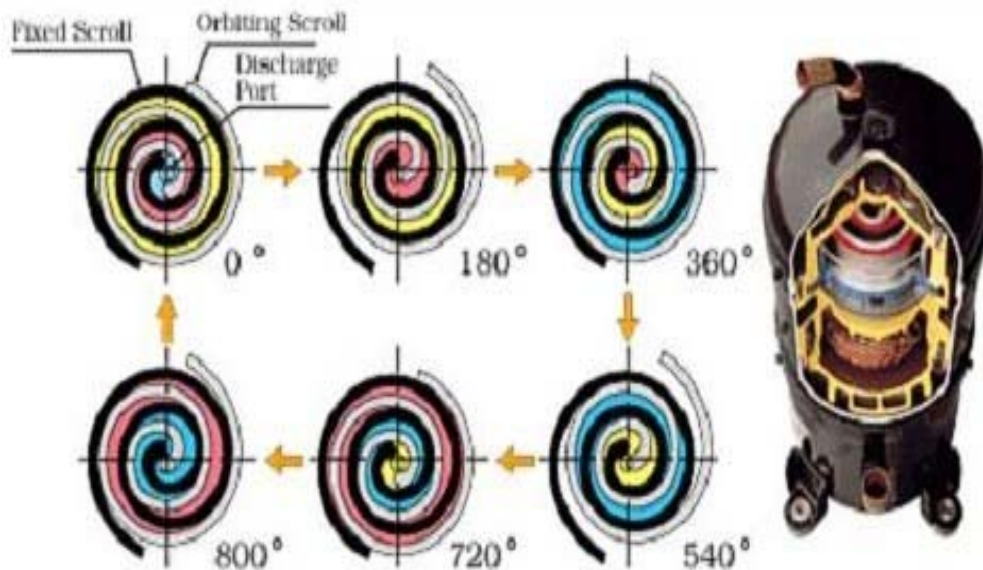
2.5 Kompressorityypit

Lämpöpumpuissa yleisimmin käytetyt kompressorityypit 100 kW:n lämmitystehtöön saakka ovat hermeettiset mäntä- ja scrollkompressorit. Tästä suuremmat kompressorit ovat tyypillisesti puolihhermeettisiä mäntäkompressoreita tai ruuvikompressoreita. (Hakala 2005, 225).

2.5.1 Scroll-kompressori

Scroll-kompressoria kutsutaan usein myös kierukkakompressoriksi. Se on rakenteeltaan yksinkertainen ja siten varmatoiminen sekä pitkäikäinen. Siinä ei ole venttiileitä lainkaan joten sen käyntiääni on usein mäntäkompressoria hiljaisempi. Scroll-kompressorin toiminta perustuu kahden sisäkkäisen kierukan liikkeen aikaansaamaan kylmäaineen puristukseen. Toinen kierukoista pysyy paikoillaan toisen kieppuessa ja siirtäessä kylmäaineakaasua kierukan ulkolaidalta kohti jatkuvasti pienenevää tilaa ja kierukoiden keskustaa. Kierukan keskeltä korkeapaineinen kaasu lopulta poistuu putkea pitkin lauhduttimeen.

Koska scroll-kompressorissa ei ole lainkaan edestakaisin liikkuvia mäntiä on kompressorin käynti tasaista ja värinätöntä, tämä edesauttaa mm. kylmäaineputkien murtumisten suhteen. Tarvitsemansa voitelun kompressori saa kylmäaineen mukana kulkevasta öljystä joka voiteleekin pitkään jos se ei missään vaiheessa pääse kuumenemaan liikaa. (Perälä 2009, 46-48)



Kuvio 5: Scroll-kompressori



2.5.2 Mäntäkompressori

Mäntäkompressorit voidaan toimintaperiaatteensa mukaan jakaa tasavirtauskompressoreihin (uniflow compressor) ja vaihtovirtauskompressoreihin (return flow compressor).

Tasavirtauskompressorin imuventtiili sijaitsee männässä ja paineventtiili sylinterissä. Kylmäainekaasu imetään sylinteriin kampikammion kautta imuventtiilille ja edelleen sylinteriin sekä männän päälle ja paineventtiilille. Venttiililautasessa on vain paineventtiilit estämässä kaasun kulkeutuminen takaisin sylinterin. Ratkaisun huonona puolena on raskas huolto kun männät on irroitettava venttiiliistukoiden uudelleenhiointaa varten vuotojen ilmetessä ja kompressorin tehon laskiessa. (Nydal 2002, 151)

Vaihtovirtauskompressoreissa imu- ja paineventtiilit ovat erillisessä venttiilikannessa kompressorin päällä, tämä helpottaa merkittävästi venttiileiden huoltoa tasavirtauskompressoriin verrattuna. Venttiilit eivät ole mekaanisesti tai hydraulisesti pakko-ohjattuja kuten 4-tahti polttomoottoreissa, vaan ne ovat jousikuormitteisia ja avautuvat riittävän paineeron vallitessa. (Nydal 2002, 151)

Vaihtovirtauskompressorin työvaiheita on 4:

- mäntä liikkuu alaspäin ja imee avoimisesta imuventtiileistä sylinteriin alipaineen avulla kylmäainehöyryä
- höyryn virtaus loppuu ja venttiilit sulkeutuvat, mäntä alkaa puristamaan höyryä
- paine sylinterissä nousee riittävästi yli painekanavan paineen ja paineventtiilit avautuvat päästäten höyryn ulos
- mäntä liikkuu alaspäin, sylinterin paine laskee ja paineventtiilit sulkeutuvat

Ideaalitulanteessa männän ja sylinterikannen väliin jäävä tilavuus $V=0$. Todellisuudessa väliin jää kertaalleen puristettua höyryä joka vähentää sy-

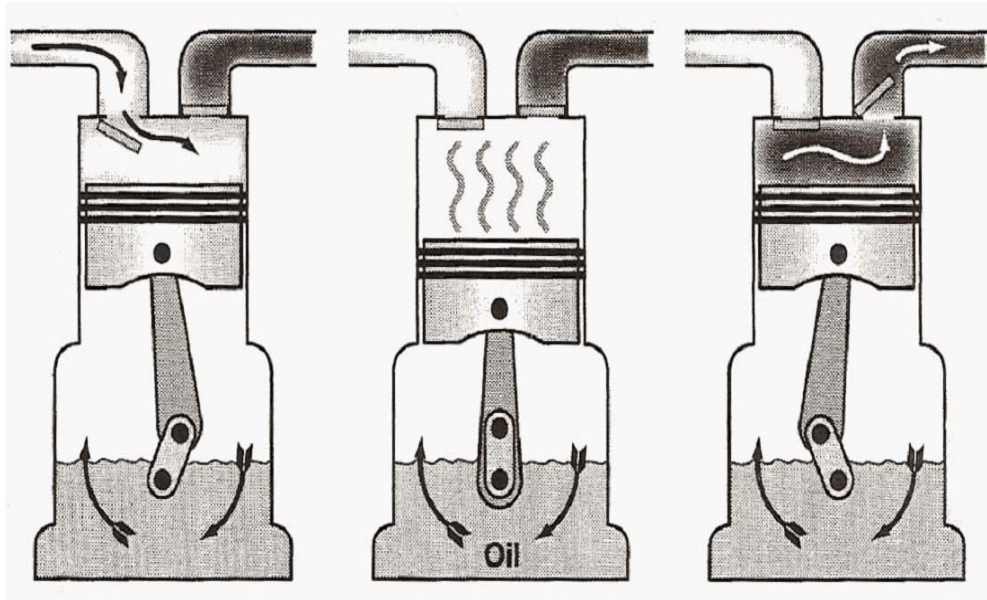


linterin täyttösuhdetta. Täyttösuhde paranee kompressorin kierrosnopeuden kasvaessa. Häviöitä syntyy myös virtaushäviöinä venttiileissä, vuotohäviöinä männän tiivisteissä sekä höyryn turhana lämpenemisenä kun sylinterin osat lämpenevät. Kompressorin tehoa arvioidaan tuottosuhteella joka on laskennallisen tehon ja häviöiden yhteisvaikutus.

Kompressorin toiminta-alueita rajoittavat:

- korkein sallittu lämpötila, koska vaarana on kiinnileikkautuminen lämpölaajenemisen vuoksi
- suurin sallittu öljyn lämpötila
- suurin sallittu moottorin käämityksen lämpötila
- suurin sallittu painepuolen paine, joka rajoittaa korkeimman mahdollisen lauhtumislämpötilan
- suurin sallittu paine-ero jolle mm. laakerit on mitoitettu
- suurin sallittu imupuolen paine, joka vaikuttaa mm. tiivisteiden kestävyYTEEN

Nykyään yleisimmin on käytössä polttomoottoreistakin tuttu ratkaisu sijoittaa molemmat venttiilit sylinterikanteen. Itse sylinterit voidaan sijoittaa riviin, v-muotoon, w-muotoon tai kaksois v-muotoon. (Aittomäki 1992, 139-152)



Kuvio 6: Mäntäkompressori

2.5.3 Ruuvikompressori

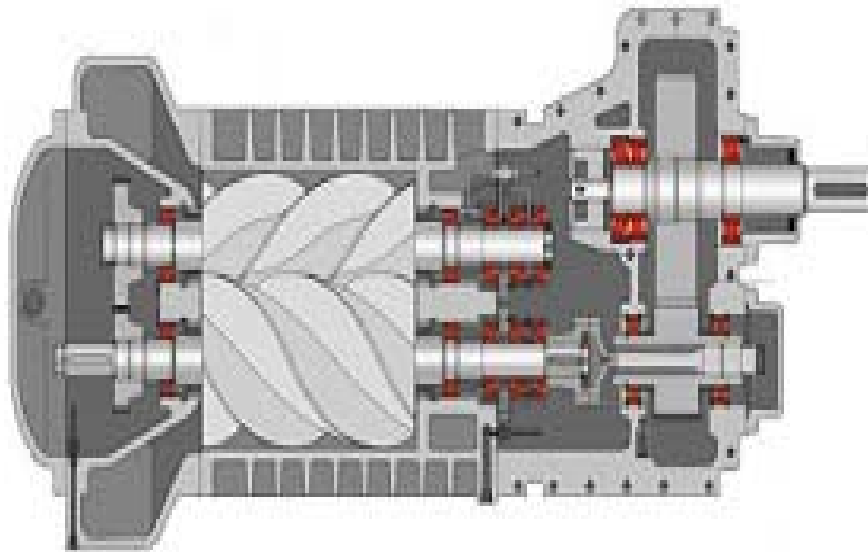
Kaksiroottorisen ruuvikompressorin toiminta perustuu kahden rinnakkain pyörivän ruuvimaisen männän ja kompressorin kuoren väliin jäävään puristustilaan. Ruuvien pyöriessä puristustila liikkuu päästä toiseen samalla pienentyen. Ruuvien harjojen ohitettua imuportin alkaa puristus ja se päättyy työtilan edettyä poistoporttiin.

Jäähdytyskäyttöön suunnitellut kompressorit ovat yleensä öljyruiskutteisia. Öljy toimii ruuvien välissä tiivisteinä, mahdollistaa epätarkemmat työstöt, vähentää kulumista ja pienentää melutasoa. Lisäksi öljy jäähdyttää ruuveja ja puristuksen loppulämpötila laskee, mikä on etu etenkin ammoniakkaa käytettäessä. Ruuvikompressorin haittana voidaankin pitää kylmäaineen mukana tulevaa öljyä. Laitokseen tarvitaan tehokas öljynerotin joka on usein itse kompressoria isompi.

Ruuvikompressorin hyvänä puolena on rakenteen yksinkertaisuus ja kestävyys, huoltoväli saattaa olla jopa 40 000 tuntia. Etuina on myös yksinker-



tainen tehonsäätö ja vaarattomuus nesteen joutumisesta kompressoriin. Ruuvikompressori on kilpailukykyinen mäntäkompressoriin verrattuna alueella 30...100kW ja siitä ylöspäin. (Aittomäki 1992, 168-174)



Kuvio 7: Ruuvikompressori

2.6 Kylmäaineet

Jäähdytys- ja lämpöpumppukoneistoissa käytettyjen höyrystymisprosessin kiertoaineiden suomenkielinen nimitys on kylmäaine. Turvallisuutensa perusteella ne on jaoteltu kolmeen ryhmään:

- palamattomat ja lähes tai täysin myrkyttömät
- palamattomat ja myrkylliset sekä palavat myrkyllisyydestä riippumatta, kun alempi syttymisraja on vähintään 3,5 til.%
- palavat, kun alempi syttymisraja on alle 3,5 til.%

Ideaalin kylmäaineen tärkeimmät fysikaaliset ominaisuudet ovat muunmuassa suuri höyrystymislämpö, suuri tilavuustuotto, pieni viskositeetti, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet höyrystymisessä ja lauhtumisessa, pieni veden liukoisuus ja täydellinen sekoittuminen voiteluöljyjen kanssa. Hyviä



kemiallisia ominaisuuksia ovat palamattomuus, stabiilisuus ja passiivisuus käytettyihin materiaaleihin, ilmaan, kosteuteen ja öljyyn. Fysiologisista ominaisuuksista tärkeimmät ovat myrkyttömyys sekä vähäinen ärsyttävyys limakalvoille ja hengityselimille.

Lisäksi useimmilla kylmäaineilla tulee vesipitoisuuden olla mahdollisimman pieni. Veden vaikutus koneistossa on sitä haitallisempi mitä huommin vesi liukenee kylmäaineeseen. Yleensä vesi jäätyy lämpöpumpun paisuntaventtiilissä. Vesi aiheuttaa ongelmia myös korroosion suhteen koneiston lämpimällä puolella, sillä jotkin kylmäaineet ovat korroosiota edistäviä veden läsnäollessa. Veden poistamiseksi järjestelmään lisätään kuivain.

Usein yksi aine ei pysty täyttämään kaikkia vaatimuksia, vaan aine on valittava kulloistenkin käyttöolosuhteiden mukaan. Tietysti myös hinta vaikuttaa valintaan. (Aittomäki 1992, 114-115)

Liittämällä hiilivetyihin halogeenimolekyylejä saadaan suuri joukko halogeenihiilivetyjä, joista osa on erinomaisia kylmäaineita. Kansainvälinen symboli kylmäteknikassa näille on R (refrigerant) ja numero joka ilmaisee aineen koostumuksen. Rengasyhdisteissä R:n jälkeen merkitään C (cyclic) esim. RC318. Kylmäteknikan ulkopuolella halogeenihiilivetyjä kutsutaan usein CFC-yhdisteiksi.

Alkuainekoostumuksen mukaan halogeenihiilivedyt jaetaan seuraavasti:

- CFC eli klooria ja fluoria sisältäviin (perinteiset kylmäaineet)
- HCFC eli vetyä, klooria ja fluorin sisältäviin (uudet kylmäaineet)
- HFC eli vetyä ja fluoria sisältäviin aineisiin (uudet kylmäaineet)



1930-luvulla kehitetyt CFC-yhdisteet osoittautuivat ensin erinomaisiksi kylmäaineiksi kunnes huomattiin niiden negatiivinen vaikutus ympäristöön. Ilmakehään vapautuneena jotkin halogeenihiilivedyt tuhoavat otsonikerrosta ja lisäksi edistävät kasvuhuoneilmiötä, sillä maan pinnasta lähtevä lämpösäteily absorboituu niihin. Halogeenihilivetyjen käytölle onkin asetettu rajoituksia ja joidenkin käyttö on kielletty kokonaan. Näitä aineita ovat mm. R11, R12, R13, R14, R22, R32, R113 ja R114. (Aittomäki 1992, 113-120)

Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti myös HCFC-yhdisteiden käyttö on ollut kiellettyä uusissa kylmlaitoksissa 31.12.1999 jälkeen. Tällä hetkellä käytetyin kylmäaine uusissa maalämpöpumppukoneistoissa on R407C, lisäksi käytetään jonkin verran aineita R134a, R404A, R507A ja R410A. (Hakala 2005, 226-227)

Näiden yleisimmin käytössä olevien HFC-kylmäaineiden (R407C, R134a, R404A, R507A ja R410A) ilmaston lämpenemisellä haitallisen vaikutuksen vuoksi EU on antanut asetuksen 842/2006 (F-kaasuasetus), jolla pyritään estämään mm. puutteellisesta kunnossapidosta johtuvat kylmäaineiden vuodot ilmakehään. Lämpöpumpun tai vedenjäähdyttimen täytöksestä johtuen on mm. asetettu pakolliset tarkastusvälit ja annettu määräys tarvittavista varolaitteista. Kylmäainetäytöksen ollessa välillä 30...300 kg, pitää kylmäkoneisto tarkistaa pätevyityneen henkilön toimesta vähintään 6 kuukauden välein ja täytöksen ylittäessä 300 kg, pitää kylmäkoneistoon asentaa vuodonilmaisujärjestelmä. (Suomen Kylmäliikkeiden Liitto 2009)

Korvaavia kylmäaineita voivat olla esimerkiksi hiilidioksidi, ammoniakki tai butaani. Lämpöpumpuissa nämä eivät kuitenkaan ole vielä yleistyneet. (Aittomäki 2009)



2.7 Lämmönjakotavat

Koska lämpöpumpun lämpökerroin on riippuvainen höyrystymis- ja lauhtumislämmön tasosta, on järjestelmälle eduksi jos se luovuttaa lämmön mahdollisimman matalassa lämpötilatasossa. Käytännössä paras lämpökerroin saavutetaan matalalämmitysjärjestelmien, lattialämmityksen tai ilmalämmityksen avulla. Esimerkiksi lattialämmitys saadaan riittävän tehokkaaksi jo kun lämmitysputkistossa kiertävän nesteen lämpötila on hieman yli + 30 °C. (Aittomäki 2001, 7) Vertailun vuoksi, radiaattorilämmityksessä lämmitysputkistossa kiertävän nesteen lämpötilan tulee kovien pakasten aikaan olla yli + 50 °C (Perälä 2009, 66). Lauhduttimelta suoraan saatavan lämmitysveden lämpötila on enimmillään noin + 55 °C.

Seuraavassa on esitetty erään lämpöpumpun lämpökerroin kun kylmäaineena on R407C, höyrystymislämpötilan ollessa -5 °C ja lauhtumislämpötilan vaihdellessa + 40...60 °C välillä. (Hakala 2005, 225)

Olosuhteet	Lämpökerroin
-5 / 40 °C	3,7
-5 / 45 °C	3,3
-5 / 50 °C	3,0
-5 / 55 °C	2,7
-5 / 60 °C	2,4

2.8 Käyttöveden lämmitys

Lämpöpumppu luovuttaa lämmön vesivaraajaan josta sitä käytetään joko rakennuksen lämmittämiseen tai lämpimänä käyttövetenä. Yleisimmät varajamallit ovat vaippavaraaja ja kierukkavaraaja. (Perälä 2009, 70)

Vaippavaraajassa lämpöpumppu luovuttaa lämmön kaksiosaisen vaipan ulompaan osaan, josta lämpö siirtyy varaajan sisempään vaippaosaan.



Lämmin käyttövesi otetaan varaajan sisäosan yläosista, viileämmän ja ulomman vaippaosan vettä käytetään lämmitysvetenä. (Perälä 2009, 70)

Kierukkavaraaja on pystymallinen ja yksiosainen. Lämpöpumpulta tuleva lämmin vesi kerrostuu varaajaan siten, että lämmin vesi on varaajan yläosissa ja hiukan viileämpi vesi varaajan alaosissa. Lämmin käyttövesi tehdään varaajan yläosassa olevan kierukan avulla. (Perälä 2009, 70)

Lämpimän käyttöveden tekemisen maalämpöpumpulla tekee hankalaksi se, että lämmitysverkoston menoveden lämpötilatason tulisi hyvän lämpökertoimen takia olla mahdollisimman alhainen. Toisaalta bakteerien lisääntymisvaaran vuoksi käyttöveden lämpötilan tulee olla yli + 55 °C. Ongelman ratkaisemiseksi on olemassa ainakin kolme eri vaihtoehtoa (Perälä 2009, 71-72):

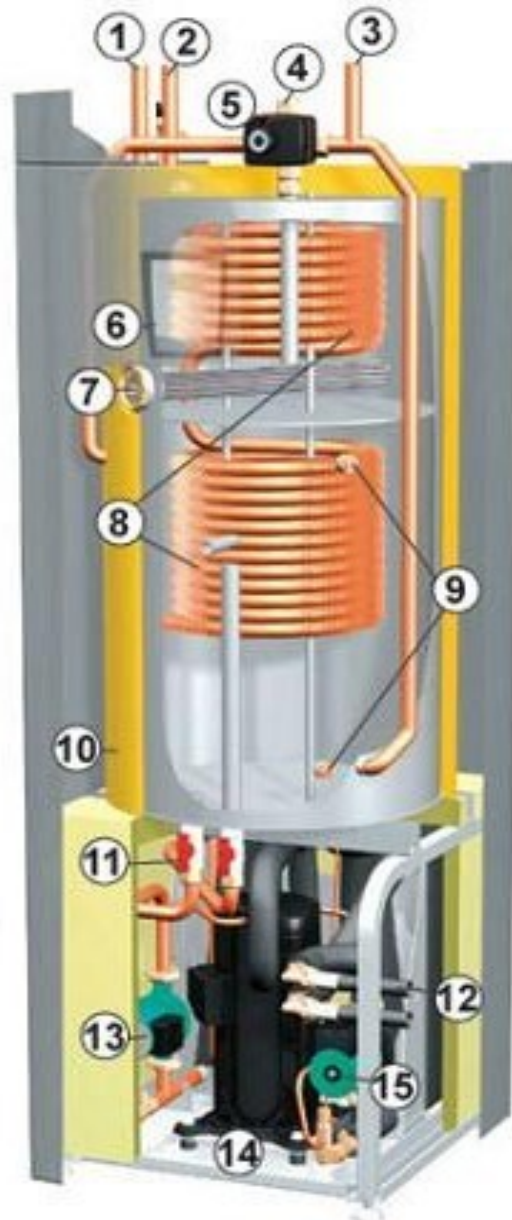
Tulistinpiiriratkaisussa käyttövesi ensin esilämmitetään lämmitysvaraajassa. Käyttöveden lämpötila nostetaan lopulliseen lämpötilaansa tulistinpiirissä, joka on käytännössä kompressorilta tulevaa tulistuslämpöä hyödyntävä lämmönvaihdin.

Vaihtuvassa lauhtuksessa lämpöpumppu toimii kahdella eri lauhtumislämpötilalla. Ylempää lauhtumislämpötilaa käytetään käyttöveden lämmittämiseen ja alempaa lämpötilaa lämmitysveden tekemiseen. Käyttöveden tekemisen aikana rakennuksen lämmitys katkeaa hetkeksi, mutta käytännössä näin lyhyellä katkoksella ei ole juuri merkitystä. Tätä mallia kutsutaan ruotsalaiseksi lämpöpumppumalliksi.

Sähkövastusta käytettäessä lämmin käyttövesi ensin esilämmitetään vesivaraajaan sijoitetussa käyttövesikierukassa. Kierukan jälkeen vesi johdetaan sähkövastukseen, jossa sen lämpötila nostetaan lopulliselle tasolle. Samoilla vastuksilla voidaan myös tuottaa lisälämpöä kovien pakkasten aikana.



1. Kylmä käyttövesi Ø22 Cu
2. Lämmin käyttövesi Ø22 Cu
3. Paluu, lämmitysverkosto Ø22 Cu
4. Meno, lämmitysverkosto 22 pl
5. Automaattinen sekoitusventtiili
6. Ohjauspaneeli
7. Sähkövastus max 9kW
8. 2-osainen lämmönvaihdin
9. Liitäntä ulkoiselle järjestelmälle (esim. aurinkolämmitys)
10. Eriste, polyuretaankumia
11. Sulkuventtiilit
12. Liitännät kalliosta/kallioon tai maasta/maahan, vas. tai oik. puolelta
13. Latauspumppu
14. Kompressori
15. Liuospumppu



Kuvio 8: Pientalon lämpöpumpun poikkileikkaus



2.9 Käyttövarmuus ja riskit

Maalämpöjärjestelmien yleisimmät toimintakatkokset johtuvat kierto-vesipumpun ja kompressorin vioista. Usein ongelmat johtuvat käyttäjän puutteellisesta ammattitaidosta ja kokemuksesta laitteiden ohjauselektronikan kanssa. (Perälä 2009, 73)

Oulun yliopiston vuonna 1998 suorittaman tutkimuksen mukaan yksityisillä lämpöpumppulaitteistojen käyttäjillä on seuraavia kokemuksia laitteistoista (SULPU 2009):

- Vuoden 1989 jälkeen asennetuissa laitteissa (21/39 kpl) vikoja oli ainoastaan kahdessa pumpussa. Molemmissa tapauksissa maaliuospumppu uusittiin
- Toimintaan tyytyväisiä oli 85 %, melko tyytyväisiä 12 %, loput 3 % tyytymättömiä
- Helppoon käyttöön tyytyväisiä oli 92 %, loput 8 % olivat melko tyytyväisiä
- Kokonaisuuteen oli tyytyväisiä 89 %, melko tyytyväisiä 8 %, loput 3 % tyytymättömiä
- Omistajista 36/39 ilmoitti valitsevansa maalämmön jos olisi uudelleen valintatilanteessa 2:n ollessa epävarma ja 1:n valitessa suoran sähkölämmityksen
- Haastatelluista 90 % oli tyytyväisiä maalämmitykseensä ja tyytymättömiä oli yhteensä 3 %

Juvosen (2009, 20) mukaan ongelmat toimivuudessa ovat useimmiten virheellisen mitoittamisen ansiota. Mikäli lämpökaivo on alimitoitettu, sen teho ei riitä rakennuksen lämmittämiseen ja järjestelmän hyötysuhde jää pieneksi. Vaihtoehtona silloin on kaivon syventäminen tai uusien kaivojen tekeminen. Myös liian lähelle toisiaan poratut lämpökaivot voivat aiheut-



taa ongelmia, jos niiden yhteisvaikutusta ympäröivän kallion kanssa ei ole otettu huomioon.

Niukka lämpökaivon mitoittaminen voi johtaa talvella kaivon jäätymiseen. Laajeneva jää voi painaa keruuputket kasaan ja liuoksen kierto saattaa hidastua tai jopa pysähtyä. Tällöin kaivo menettää tehonsa kokonaan. Lisäksi ruhjeisessa kallioperässä ja etenkin vinoreikien yhteydessä piilee lämpökaivon sortumisvaara. (Juvonen 2009, 20)

Rosen (2001, 183-186) mukaan maalämpöjärjestelmien riskit koskevat yleisimmin käyttöveden liian alhaista lämpötilaa ja sen bakteeripitoisuuden kasvua, huipputehon tuottamista kovilla pakkasilla, ilmaa keruuputkistossa, maaperän jäätymistä pysyvästi, järjestelmän väärää mitoitusta, kompressorin melutasoa sekä lämpöpumpulla tehtävän energian hintaa.

Lämpökaivojen ympäristölle aiheuttamat riskit liittyvät pohjaveden vahingoittumiseen joko:

- pintavesien sekoituessa pohjaveteen puutteellisten tiivistysten takia
- kalliopohjaveden eri kerrosten sekoittumiseen tai
- keruupiirin lämmönsiirtoaineen vuotoon

Lisäksi pohjaveden virtausolosuhteet voivat muuttua ja pahimmillaan lähellä sijaitsevat kaivot saattavat kuivua. Yleensä lämpökaivojen tekeminen on kuitenkin vain hyväksi lähikaivoille koska vesi saa uusia kulkureittejä. Myös radonpitoisen ilman kulkeutuminen erityisesti graniittisessa kallioperässä lämpökaivosta asuintiloihin on ongelmallista ja kulku tulee estää tiivistämällä läpiviennit sopivalla elastisella tiivistysaineella. (Juvonen 2009, 19-20)

Oikein suunniteltu ja mitoitettu maalämpöjärjestelmä ei vaadi mittavia ylläpitotoimenpiteitä. Keruuputkien ja lämpökaivojen käyttöikä on noin 100



TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi AMK-tutkinto
Rakentamisen koulutusohjelma
Mika Junkala

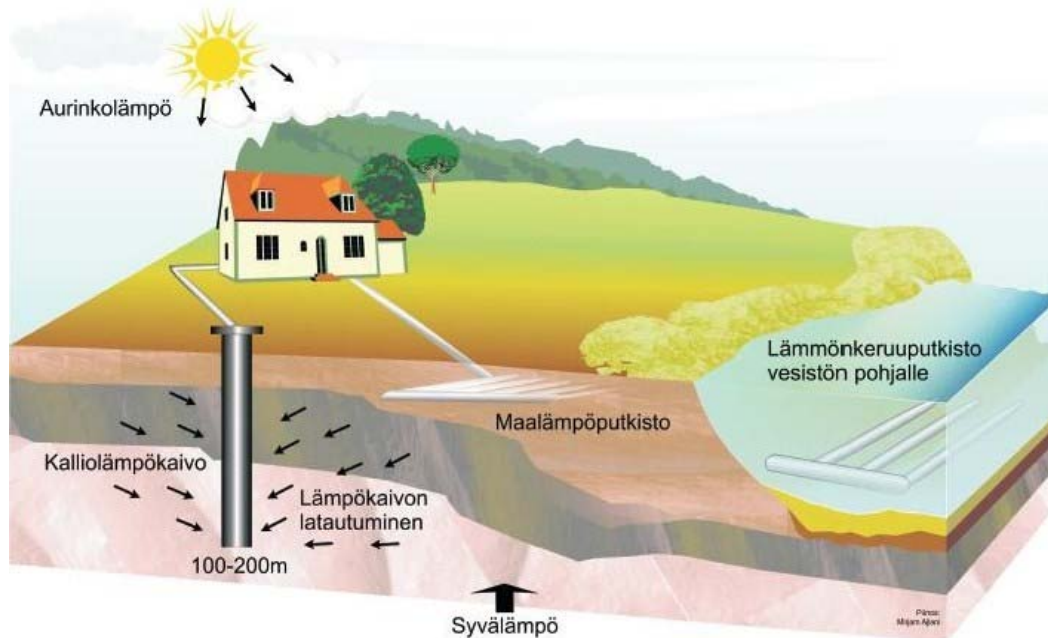
31 (86)

vuotta, lämpöpumpun kompressori tulee peruskorjata tai uusia suunnilleen
15-20 vuoden välein. (Rosen 2001, 186)

3 Lämmönlähteet

Lämpöpumpun rakenne ja toiminta riippuvat käytettävästä lämmönlähteestä sekä lämmönjakotavasta. Lämmönlähteestä lämpö siirtyy lämpöpumpulle lämmönkeruuputkiston ja siinä kiertävän veden sekä jäätymispistettä alentavan aineen seoksella. Lämmönkeruuputkisto sijoitetaan suoraan lämmönlähteeseen.

Maalämpöpumpun lämmönlähteenä voi toimia maaperä, porakaivo, teollisuuden jätevedet, yhdyskuntien jätevedet, pohjavesi sekä pintavesi. Maaperään ja kallioon 0...200 metrin syvyyteen pystysuuntaan asennettu lämmönkeruuputkisto hyödyntää aurinkoenergiaa sekä geotermistä lämpöä ja pintamaahan 0,7...1,2 metrin syvyyteen asennettu lämmönkeruuputkisto pelkäästään aurinkoenergiaa.



Kuvio 9: Lämmönlähteet

Aiemmin vaakasuoraan pintamaahan asennettu putkisto oli tavallinen ratkaisu maalämpöpumpuissa, mutta maaperän laadun ja käytettävän pinta-



alan asettaessa rajoituksia, on pystysuoraan kallioon tehty porakaivo yleistynyt nopeasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Porakaivoa käytettäessä maalämmöstä käytetään nimitystä kalliolämpö. Maaperästä ja porakaivosta tulevan liuoksen lämpötila on alimmillaan talvellakin vain hieman alle 0 °C:sta ja maalämpöpumppu toimii ilmalämpöpumppuihin verrattuna edullisissa olosuhteissa. Maaperään tai kallioon asennetun putkiston tavoin toimii myös vesistöön (lampi, järvi, meri) asennettu lämmönkeruupiiri. Vesistön pohjan sedimenttiin sijoitettu putkisto siirtää lämmön putkistossa kiertävään nesteeseen ja edelleen lämpöpumppuun. (Aittomäki 2001, 9) (SULPU 2009)

Kaikki maalämpöjärjestelmät voidaan mitoittaa rakennuksen koko lämmöntarpeelle ja lämpimän käyttöveden tarpeelle myös huippupakkasia varten, oli sitten lämmönlähteenä vesistö, maaperä tai porakaivo. Tehokkaimmat lämmönjakotavat käytettäessä maalämpöä ovat vesikiertoinen lattialämmitys ja ilmalämmitys. Lisäksi maalämpöjärjestelmiä on mahdollista käyttää rakennuksen jäädyttämiseen kesäaikana. (SULPU 2009)

Tämä tutkimus rajoittuu lämmönlähteiden osalta ainoastaan porakaivoon.

3.1 Lämmönlähteenä porakaivo

Viime vuosina yleistynyt lämmönlähde on kallioon rakennuksen viereen tehty porakaivo. Lämpö kaivosta otetaan maaperän tapaan kallioon sijoitetulla suljetulla muoviputkistolla jossa kiertää pakkasen kestävä lämmönkeruuliuos. Keruuputkisto lasketaan porakaivoon painojen avulla, sillä vettä kevyempinä putkisto pyrkii nousemaan veden täyttämästä kaivosta ylös.



Porakaivomenetelmän etuja ovat:

- energiansaanti noin kaksinkertainen putkimetriä kohden maaperään verrattuna
- välttyään tontin kaivuutöiltä
- mahtuu pienellekin tontille
- pitkäikäinen
- toimintavarma
- routimaton
- helposti ilmattava järjestelmä

Porakaivon huonona puolena voidaan pitää muihin maalämpöjärjestelmiin verrattuna merkittävästi korkeampaa hintaa.

Suuriksi nousevien pumppaustehojen ja -kustannusten vuoksi suurissa järjestelmissä kaivoja ei käytännössä porata 200 metriä syvempään, vaan niitä porataan tarpeen mukaan useampia vähintään 10...20 metrin välein toisistaan. Kaivot voidaan sijoittaa myös lähemmäksi toisiaan jos kaivot porataan viistoon toisistaan pois päin. (SULPU 2009)

Joissain kunnissa kaivon poraamiseen tarvitaan lupa. Kunnan rakennusvirasto tarkistaa, ettei alueella ole ennestään rakenteita kuten väestönsuojia tai suunnitelmia niiden rakentamiseen. (Perälä 2009, 67-69) Lisäksi lämpökaivon tekeminen on joissain kunnissa kokonaan kiellettyä pohjavesialueella. Myös puhdistetun tai puhdistamattoman pilaantuneen maan tai kaatopaikan välittömässä läheisyydessä lämpökaivon sijoittaminen on syytä sopia kunnan tai alueellisen ympäristökeskuksen kanssa. Sijoittamisessa on huomioitava myös porauskaluston pääseminen työkohteeseen. (Juvonen 2009, 21)

Porausvaiheessa kallion päällä mahdollisesti oleva irtomaan osuus varustetaan suojaputkella joka estää pintavesien ja irtonaisen maa-aineksen valumisen kaivoon. Tyypillinen porareian halkaisija on 130...160 mm ja kai-



von syvyys 100...200 metriä. (Aittomäki 2001, 17-18) Energiatehokkuuden kannalta porareian halkaisijalle ei ole isoa merkitystä (Aittomäki 2009).

Tarvittava porareikien pituus ja määrä riippuu lämmöntarpeen lisäksi myös pohjaveden korkeudesta ja sen virtauksesta porareissä. Veden virtaus kalliolla on riippuvainen kallion rakoilusta, lähekkäinkin sijaitsevista kaivoista toinen voi olla lähes kuiva toisessa veden virratessa runsaasti. Vasta porauksen jälkeen tehtävällä koepumppauksella on mahdollista selvittää veden todellinen virtaus/vaihtuvuus kaivossa. (Aittomäki 2001, 17-18) Porakaivon teholliseksi syvyydeksi lasketaan porakaivosta vain vedellä täyttyneen osuus (SULPU 2009). Talousvesikaivona lämpökaivoa ei tule käyttää sillä siihen sisältyy riski kaivon jäätymisestä (Aittomäki 2001, 17-18).

Pohjavesialueella lämpökaivosta on otettava vesinäyte joka dokumentoidaan, lisäksi vesipinnan korkeus kirjataan porausraporttiin. Kaivon yläpää tulpataan suojahatulla, mikä estää irtoaineksen ja pintavesien valumisen kaivoon sekä estää paineellisen pohjaveden purkautumisen ulos. Mikäli pohjaveden paine on suuri, sitä on ehkä tarpeen purkaa kaivosta soveltuvaan paikkaan ylijuoksutuksella. Mikäli on tarpeen estää eri pohjavesikerrosten sekoittuminen, voidaan kaivo tulpata vaaditulta syvyydeltä. (Juvonen 2009, 25)

Runsasvetisestä kaivosta olisi periaatteessa mahdollista ottaa pohjaveden lämpöenergiaa myös avoimella järjestelmällä, jossa kaivovesi pumpattaisiin suoraan lämpöpumpun höyrystimeen ja siitä takaisin toiseen kaivoon. Järjestelmään liittyvien epävarmuustekijöiden takia tätä ei kuitenkaan suositella tehtäväksi. (Aittomäki 2001, 18)

Keruuputkia voi yhdessä kaivossa olla kahdesta neljään. 2-putkijärjestelmässä neste menee toista putkea pitkin alas ja toista ylös. 3-putkijärjestelmässä kahta rinnakkaista putkea pitkin alas ja kolmatta ylös.



4-putkijärjestelmä taas koostuu kahdesta rinnan kytketystä putkisilmukasta. Kaivojen keruuputkistot kytketään rinnan toisiinsa erillisessä kytkentäkaivossa. Yhden kaivon sisällä olevat keruuputket liitetään toisiinsa messinkisellä U-kappaleella johon myös paino kiinnitetään. Porakaivolle vievät putket tulee eristää ainakin huoltokaivoon saakka, mielellään kalliin/maan sisään routarajaan asti. (SULPU 2009)

3.2 Normilämpökaivo

Suomen Kaivonporausurakoitsijat Ry on määritellyt minimivaatimukset normilämpökaivolle. Vaatimukset ovat seuraavat:

1. Mikä on normilämpökaivo

- Normilämpökaivolla määritetään minimitaso/-määreet, joilla kaivo tehdään.

2. Normilämpökaivon sijoitus

- Sijoitetaan rakennuksen ulkopuolelle siten, että myöhempi huolto on mahdollinen

3. Normilämpökaivon mitoitus

- Mitoitusvastuu on yksiselitteisesti lämpöpumpun toimittajalla
- Mitoituksessa on huomioitava paikalliset olosuhteet; pohjavesiolosuhteet ja maakerrokset
- Mitoituksessa on huomioitava kokonaissyvyys ja aktiivisyvyys eli se osa, jossa kerääjäputket ovat vedessä
- Aktiivireiän syvyys ylitetään aina vähintään 10 metrillä ja yli-pitkä maaosuus huomioidaan aina



4. Normilämpökaivon halkaisija

- Normilämpökaivo on halkaisijaltaan vähintään 130 mm

5. Normilämpökaivon suojaputki

- Suojaputkea käytetään estämään maavesien ja irtoaineksen pääsy kaivoon, upotus kiinteään kallioon 1-6 m

5.1. Muovinen suojaputki

- Muovista suojaputkea käytetään, jos maata on enintään 3 m
- Seinämävahvuuden on oltava vähintään 6,2 mm, jolloin ulkoisen rasituksen kesto on riittävä
- Materiaalina on polyeteeni

5.2. Muovisen suojaputken tiivistys / vaihtoehtoiset menetelmät

- Tiivistys tehdään joko betonoimalla, kiristämällä kallioon tai laajenevilla tiivistysaineilla

5.3. Teräksinen suojaputki

- Käytetään aina, jos maakerros on yli 3m, maakerroksen ja mahdollisesti rikkonaisen pintakallion putkitukseen
- Teräsputken luokitusvaatimus on vähintään Fe 37, seinämävahvuus vähintään 4,5 mm

5.4. Teräksisen suojaputken tiivistys / vaihtoehtoiset menetelmät

- Tiivistys tehdään joko betonoimalla, manklaamalla, kiristämällä kallioon tai laajenevilla tiivistysaineilla

5.5. Lämpökaivon vesieristäminen

- Lämpökaivo vesieristetään vähintään 6m ja erillisen veloituksen mukaan pidemmällekin, tarpeen vaatiessa



- Muovisen eristysputken seinämävahvuuden on oltava vähintään 5mm tai paineluokan on oltava 6 bar

6. Lämmönkeruuputkistot

- Polyeteeniputkea, halkaisija 32 tai 40 mm, luokka vähintään PEM 6,3, kallioperään
- SFS-standardilla tai vastaavasti tuotettu ja valvottu putki
- Koeponnistettava 1h/3bar nestetäyteenä ennen asennusta

7. Lämmönkeruuliuos

- On noudatettava kuljetus- ja liuosmääräyksiä
- Liuoksen on siedettävä - 17 astetta jäätyttä
- Liuoksen tulee olla ympäristöhallinnon vaatimusten mukaista

8. Liittimet

- Liittiminä käytetään hyväksytyjä muoviliittimiä tai sinkkikaidon kestäviä messinkiliittimiä.

9. Veden käyttö

- Normilämpökaivon vettä ei tule käyttää talousvetenä

10. Useampi kuin yksi reikä

- Jos normilämpökaivossa veden tulo tai ruhje vaikeuttaa porausta, niin suositellaan tehtäväksi kaksi reikää, jotta saavutetaan aktiivireiän kokonaissyvyys.
- Reikien välisen etäisyyden tulee olla vähintään 15 m, jollei kysymyksessä ole vinoreikä

11. Vinoreikä

- Vinoreikien keskinäinen asteitus on 25-30 astetta silloin, kun poraus aloitetaan samasta paikasta
- Jos kaivot ovat etäämpänä toisistaan voi asteitus olla pienempi



12. Porareiän täytyminen

- Mikäli lämpökaivo ei täyty vedellä, niin se täytetään

13. Porauskaluston vaatimukset

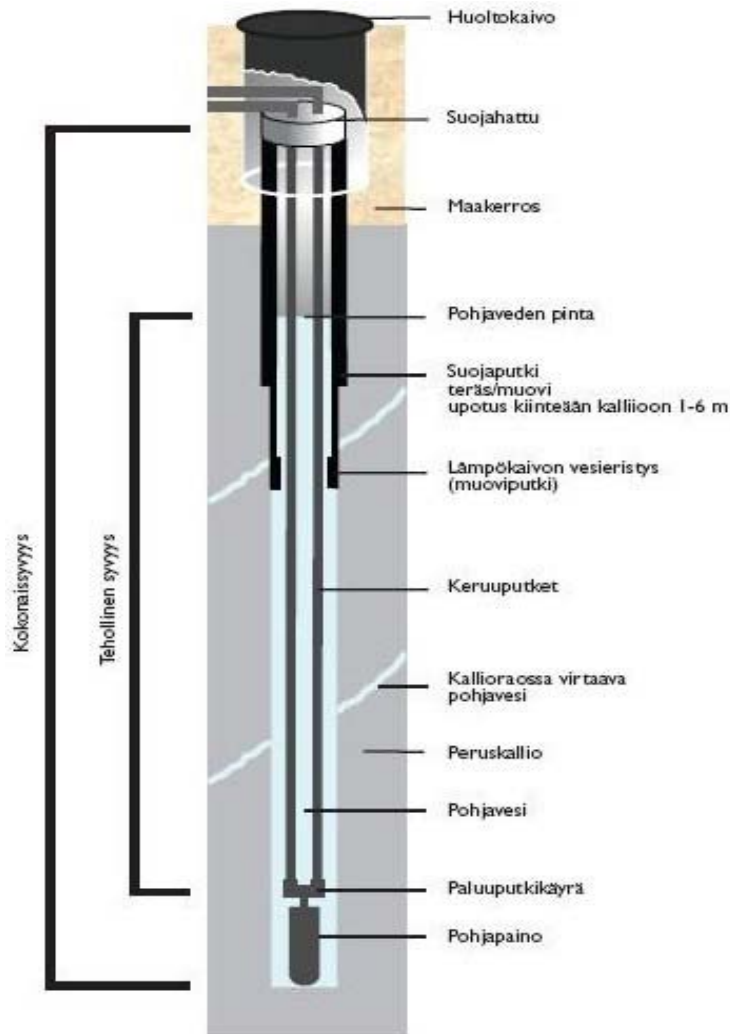
- Porauskaluston on oltava tarkoitukseen soveltuva
- Kompressorin on oltava tyyppi hyväksytty ja painelaitemääräysten mukainen
- On käytettävä ympäristöystävällisiä ja myrkyttömiä ilmatyökaluöljyjä
- Porauskaluston ja paineilmaletkujen on kestettävä kompressorin maksimaalinen työpaine

14. Dokumentointi ja arkistointi

- Lämpökaivon tekijän tulee arkistoida lämpökaivo seuraavin tiedoin: porauspaikan osoite, kaivon/kaivojen syvyys, vino-reikä ja sen suuntaus (mikäli porattu vinoon), lämmönkeruuliuksen merkki ja pakkaskesto, koeponnistusraportti kuittausineen, valmistuspäivä, yrityksen ja kaivontekijän kuittaus
- Jokaiselle normilämpökaivoasiakkaalle lähetetään yhtenäinen raportti, joka myös sisältää em. tiedot
- Kohteiden ja reikien määrän osalta normilämpökaivot arkistoidaan myös Poratekin toimistoon

15. Takuu

- Normilämpökaivoille annetaan 5 vuoden materiaali ja toimintatakuu. Takuu ei koske normilämpökaivon mitoitusta. Edellä mainitut lämpökaivonormit ovat Suomen Kaivonporausurakoitsijat r.y. Poratekin jäsenkokouksessa hyväksytyt ja niitä ryhtyvät kaikki jäsenyritykset noudattamaan siirtymäajan puitteissa.



Kuvio 10: Normilämpökaivo

3.3 Porausmenetelmät ja työn kesto

Yleisimmin käytetty porausmenetelmä on paineilmaporaus. Porareikä syntyy pyörivän ja noin 1000 kertaa minuutissa iskevän porakruunun vaikutuksella. Tarvittava työskentelypaine on noin 200 baria. Tällä paineella reiän maksimisyvyydeksi saadaan rakoilevassa ja runsasvetisessä kalliossa noin 150 metriä, ehjässä kalliossa päästään syvemmällekin. (Rosen 2001, 236)

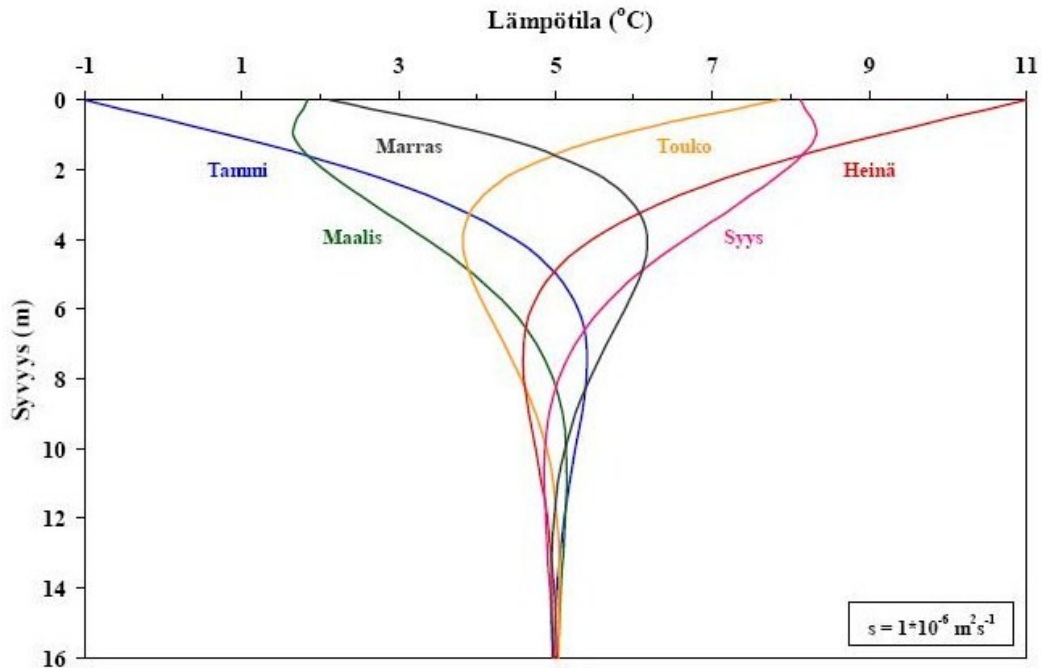


Porauksessa syntyvä kivipöly voidaan johtaa suljetussa putkessa metalli-konttiin eikä pöly juurikaan likaa ympäristöä, porauksen lopuksi porareikä huuhdellaan vedellä. Yksi 200 metrin syvyinen lämpökaivo syntyy helpos-ti yhden työpäivän aikana sisältäen myös laitteiston kuljetuksen työkohteeseen. (Perälä 2009, 69)

Isommissa työkohteissa voidaan käyttää useampaa poravaunua, esimerkik-si 60 lämpökaivoa syntyy kolmen poravaunun voimin noin kolmessa vii-kossa (Suomen Porauspalvelu 2009).

3.4 Porakaivon lämpötilaolosuhteet ja lämmöntuotto

Maaperään ja kallioon 0...200 metrin syvyyteen pystysuuntaan asennettu lämmönkeruuputkisto hyödyntää aurinkoenergiaa sekä maan sisäosan geo-termistä lämpöä. Maaperän pinta-osien lämpötila vaihtelee vuodenaikojen ja ulkolämpötilan mukaan, mutta noin 15 metrin syvyydestä alaspäin kal-lioperän lämpötila on vakio ulkolämpötilasta riippumatta.

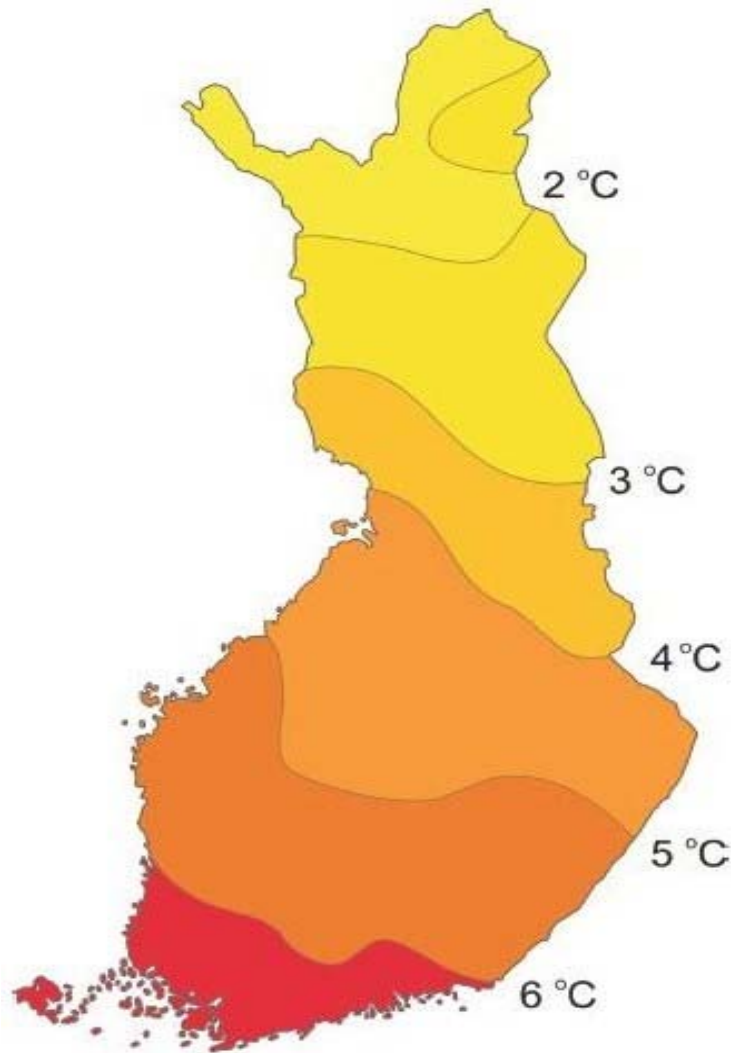


Kuvio 11: Maaperän ja kallion lämpötila eri vuodenaikoina

Kallioperän vakiolämpötila vaihtelee paikkakunnittain ja siihen vaikuttaa paikkakunnan vuosittainen ilman keskilämpötila. Kallioperän lämpötila voidaan laskea likimääräisesti seuraavalla tavalla:

$$T(\text{maa}) = 0.71 * T(\text{ilman vuosittainen keskilämpötila}) + 2,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kallioperän lämpötila Etelä-Suomessa 100 metrin syvyydessä on noin 7-8 °C. Tästä syvemmälle mentäessä lämpötila nousee geotermisen lämmön vuoksi, esimerkiksi Pyhäsalmen kaivoksessa 1450 metrin syvyydessä lämpötila on noin 22 °C ja Outokummussa 2500 metrin syvyydessä noin 40 °C. (Kallio 2008, 4)



Kuvio 12: Kallioperän vuotuinen keskilämpötila

Porakaivon lämmöntuottokykyyn vaikuttaa seuraavat tekijät:

- kallioperän lämpötila
- kallion huokoisuus
- mineraalikoostumus
- porakaivon vedentuottokyky
- anisotropia ja epähomogeenisuus



Isoissa kalliolämpökohteissa porakaivojen lämpötilan pysyvyyttä tulee seurata esimerkiksi mittauksilla reikäkentän keskeltä ja reuna-alueilta. Minimissään kallioperän lämpötilan mahdollisia muutoksia tulee seurata keruupiiristä palaavan liuoksen lämpötilaa seuraamalla. Näin varmistetaan järjestelmän toiminta ja energiatehokkuus pitkällä tähtäimellä. (Aittomäki 2009)

3.5 Lämmönkeruupiiri ja -liuos

Keruuputkia voidaan asentaa valmiiseen lämpökaivoon kahdesta neljään. 2-putkijärjestelmässä neste menee toista putkea pitkin alas ja toista ylös. 3-putkijärjestelmässä kahta rinnakkaista putkea pitkin alas ja kolmatta ylös. 4-putkijärjestelmä taas koostuu kahdesta rinnan kytketystä putkisilmukasta. (SULPU 2009) Putkien määrässä 2 - 4 kpl noudatetaan lämpöpumppuvalmistajan ohjetta. Kahden putken ratkaisu (1 putki alas ja 1 putki ylös, pohjalla u-kappale) on ylivoimaisesti yleisin. (Pirkanmaan Porakaivo 2009) Keruuputkien määrän optimoimiseksi voidaan käyttää laskentaohjelmia, esimerkiksi Konsulttitoimisto Enersys Oy:n maksullista LP-putki ohjelmaa (Aittomäki 2009).

Vedellä on lämmönkeruupiirin kiertoaineeksi erinomaiset lämmönsiirto-ominaisuudet, mutta jäätymisvaaran takia joukkoon sekoitetaan jotain toista, jäätymisspistettä alentavaa ainetta. Yleisimmät aineet ovat glykoli, alkoholi ja erilaiset suolat.

Hyvällä lämmönkeruupiirin aineella on seuraavat ominaisuudet:

- edullinen hinta
- pieni viskositeetti
- myrkyttömyys
- pieni haihtuvuus
- ei korrosioiva



- alhainen syttymispiste (vähintään 90°C)
- alhainen jäätymispiste (korkeintaan -8 °C)
- hyvä lämmönsiirtokyky
- biologinen hajoavuus
- pitkä käyttöikä

Eniten veden seassa käytetty aine on etanoli, muita vaihtoehtoja ovat muun muassa etyleeniglykoli, kaliumasetaatti, metanoli, propyleeniglykoli, kaliumkarbonaatti, kalsiumkloridi ja natriumkloridi. (Rosen 2001, 71)

3.6 Porakaivon täyttäminen

Mikäli lämpökaivo ei täyty vedellä, se täytetään (Poratek 2009). Täyttäminen tehdään lämmönsiirtymisen varmistamiseksi lämpökaivon seinämistä lämmönkeruuputkistoon ja edelleen lämmönsiirtimelle virtaavaan nesteeseen. Kuivassa kaivossa täyteaineena seinämän ja putkiston välissä toimisi muuten ilma, joka ei ominaisuuksiensa puolesta sovellu tähän. Suomessa täyttö tehdään lähes poikkeuksetta vedellä (Pirkanmaan Porakaivo 2009).

Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa kaivojen täyttäminen on yleinen käytäntö ja se tehdään tätä tarkoitusta varten kehitetyillä täyteaineilla.

Hyvällä täyteaineella on seuraavat ominaisuudet:

- hyvä lämmönjohtavuus
- alhainen viskositeetti
- kutistumattomuus
- pieni veden läpäisevyys

Veden läpäisemättömyyden ansiosta täyteaine myös estää pohjaveden pinnan muutokset, joita muuten voisi tapahtua kun vettäpitävä kerros puhkaistaan poraamisen aikana. Yleisimmät täyteaineet ovat joko sementti- tai



bentoniittipohjaisia. (Poppei 2006, 14) (Commonwelth of Pennsylvania, 2009)

Sementtipohjaisten aineiden hyviä puolia ovat saatavuus, veden läpäisemättömyys ja sekoittamisen sekä pumppaamisen helppous. Huonoja puolia taas ovat sitoutumislämmön vaikutus putkiin, kutistuvuus, putkiin tarttumattomuus, sitoutumisajan pituus ja suuri tiheys. Bentoniittipohjaisten aineiden hyviä puolia ovat sitoutumisajan lyhyys, alhainen sitoutumislämpö, veden läpäisemättömyys ja pieni tiheys. Huonoja puolia taas ovat hankala sekoittaminen ja pumppaus, kutistuvuus sekä suolojen ja orgaanisten yhdisteiden haitallinen vaikutus täyteaineeseen. (Commonwelth of Pennsylvania, 2009)

Lämpökaivon täyttäminen tulee tehdä ammattilaisten toimesta niin, että varmistetaan aineen täsmällinen koostumus ja oikeat työmenetelmät. Lämpökaivo tulee täyttää yhdellä kertaa pohjalta ylös asti. (Commonwelth of Pennsylvania, 2009)

Aittomäen (2009) mukaan täyttö kannattaa tehdä Suomessakin jos lämpökaivo jää kuivaksi. Vesisuonten avaamiseen voidaan kokeilla myös painehalkaisua. Vettä ei täyttämiseen kannata käyttää, sillä vesi ei todennäköisesti pysy kaivossa. Yleisimmin Suomessa käytetty täyteaine on ollut sementin ja bentoniitin sekoitus. Mikäli porakaivo täyttyy vedellä, voi vedenpinnan pysyvyyteen ja teholliseen syvyyteen jatkossakin suhtautua melko luottavaisesti. Pohjaveden pinnan vaihtelut ovat mahdollisia, mutta lämpökaivojen toimintaan vaikuttavat kymmenien metrien vaihtelut epätodennäköisiä. (Aittomäki 2009)



4 Maalämpöjärjestelmien mitoittaminen

Juvosen (2009, 23) ja Rosen (2001, 158) mukaan kalliolämpöjärjestelmän suunnittelun päätekijät ja -vaiheet ovat:

- rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeen selvittäminen
- pohjavesi- ja maaperäolosuhteiden selvittäminen
- lämmönjakotavasta päättäminen
- mitoitusasteen valinta joko täysteholle tai osateholle
- kooltaan sopivan lämpöpumpun valinta ja lämpöpumpun lämpökertoimen selvittäminen
- lämpökaivojen syvyys ja määrä sekä muiden komponenttien mitoittaminen (mm. keruuputkisto)
- käyttöveden lämmityksen ja huoneilman jäähdytyksen vaikutuksen selvittäminen

Mitoitustapoina voidaan käyttää nyrkkisääntöjä, vertaamista vastaaviin kohteisiin sekä mitoitus- ja simulointiohjelmiä. (Rosen 2001, 158).

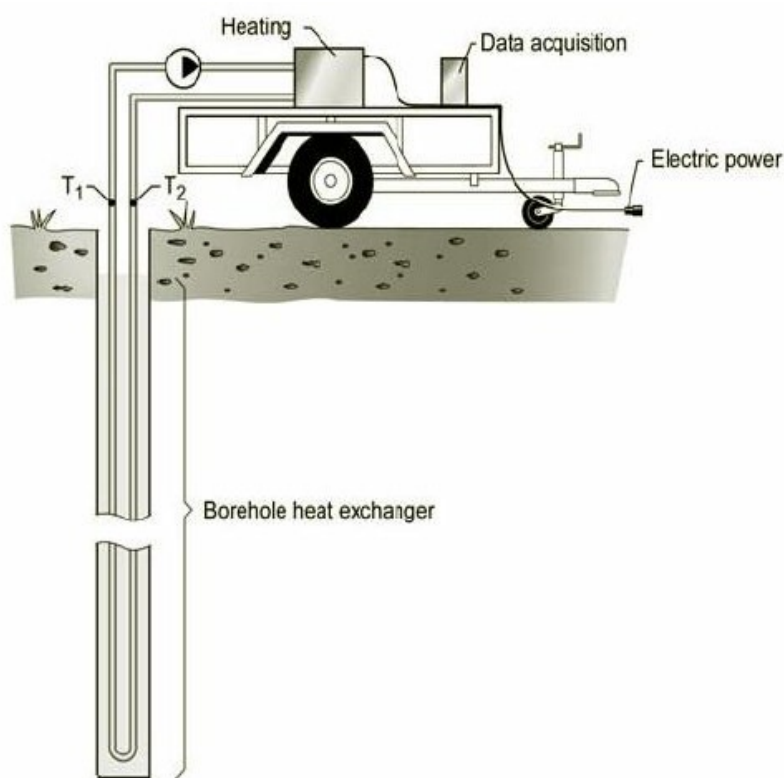
4.1 Pohjavesi- ja maaperäolosuhteiden selvittäminen

Suurissa kalliolämpökohteissa kallioperän lämmöntuottokyvyn selvittämiseksi on suositeltavaa tehdä terminen koeporaus. (Rosen 2001, 60-61)

Koeporauslaitteisto koostuu kiertoputkistosta, pumpusta, sähkölämmittimestä, menevän ja tulevan nesteen lämpötilamittauksesta sekä keskusyksiköstä. Kiertoputkisto lasketaan kohteeseen tehtyyn porakaivoon ja kiertävän nesteen lämpötilaa, painetta ja virtaamaa mitataan noin 60-72 tuntia. Koeporaus ja mittauksen perusteella saadaan tietää kallioperän lämpötila, kallion huokoisuus, mineraalikoostumus, porakaivon vedentuottokyky sekä porakaivon kokonaisteho ja teho syvyysmetriä kohden. Nämä tiedot



antavat hyvän pohjan koko kalliolämpöjärjestelmän mitoittamiseen (Rosen 2001, 59)



Kuvio 13: Koeporauslaitteisto

4.2 Mitoitustehon valinta täysteholle tai osateholle

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko täysteholle tai osateholle.

Täysteholle mitoitettu pumppu tuottaa kaiken huonetilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämpöenergian aina ulkoilman mitoitettavaan lämpötilaan asti (Etelä-Suomi -26°C , Pohjois-Suomi -38°C).

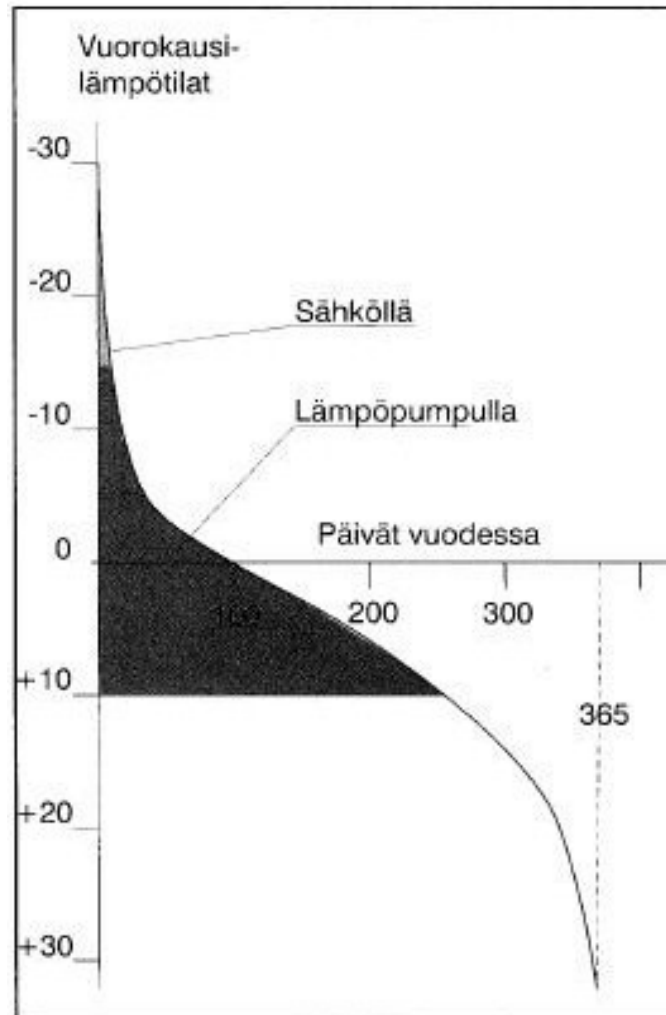
Osateholle mitoitettu lämpöpumppu kattaa valtaosan vuosittaisesta lämpöenergian tarpeesta ja tarvitsee tuekseen jonkin toisen lämmönlähteen, esimerkiksi sähkövastuksen vasta kovimmilla pakkasilla. Alueilla jossa kovia



pakkaspäiviä on verrattain harvoin, on mitä todennäköisimmin edullisempaa mitoittaa lämpöpumppu osateholle ja tuottaa huipputeho jollain toisella lämmitystavalla. (Juvonen 2009, 23)

SULPU:n mukaan nyrkkisääntönä voidaan todeta, että pumpun maksimitehon tulisi vastata noin 50–70 prosenttia lämmitystehon maksimitarpeesta. Tällä teholla pumppu kuitenkin tuottaa vuosittaisesta lämmitysenergian tarpeesta jopa 85–98 %. Osateholle mitoitettu lämpöpumppu toimii täyστεhoiseen pumppuun verrattuna vuosittain pidemmän aikaa hyvällä hyötysuhteella. Pumpun maksimitehon tullessa vastaan kylmimpinä pakkasjaksoina, voidaan puuttuva teho tuottaa esimerkiksi sähkövastuksella. Lisävastuksen tarvitsema sähköenergian määrä on kuitenkin merkittävästi pienempi, mitä isompitehoinen lämpöpumppu kuluttaisi koko vuoden aikana. Osatehoinen lämpöpumppu antaa myös paremman lämpökertoimen ja kuluu vähemmän, koska kompressorin käynnistys- ja pysäytyskertoja on vuodessa vähemmän täyστεhoiseen pumppuun verrattuna. (SULPU 2009)
Osatehoinen pumppu on pienemmän tehonsa ansiosta myös edullisempi hankkia (Perälä 2009, 64)

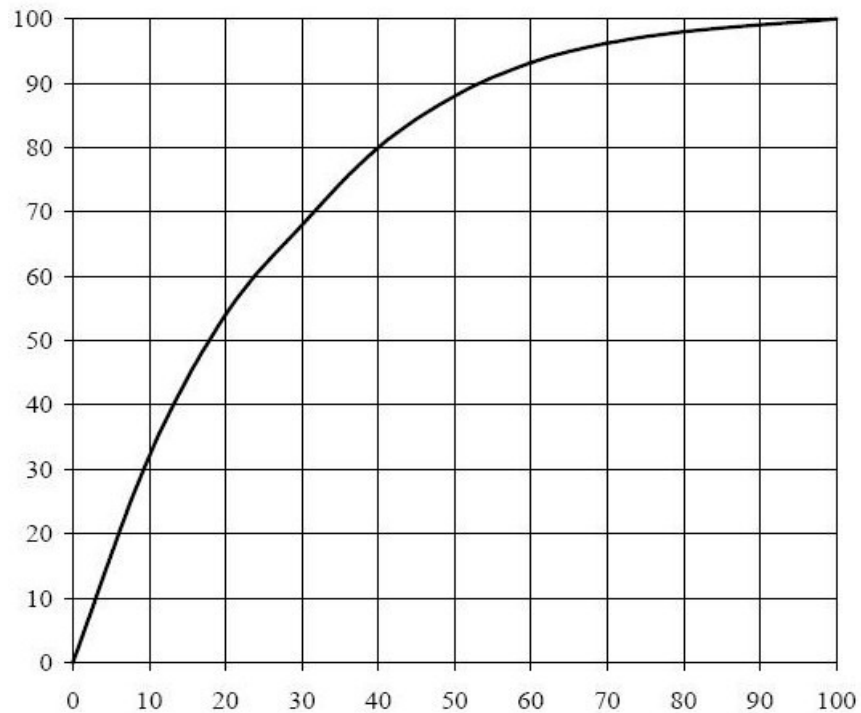
Oheisessa kuviossa on esitetty kuinka lämpöpumpun teho voidaan mitoittaa täyστεhoisena koko lämmöntarpeelle tai vain tiettyyn pakkasrajaan, esimerkiksi -15 °C asti. Tarvittava lisälämpö voidaan tuottaa esimerkiksi sähkövastuksella. (Perälä 2009, 65)



Kuvio 14: Vuorokausilämpötilat ja maalämpöpumpun mitoittaminen



Oheisessa kuviossa on esitetty lämpöpumpun mitoitus- ja saattamistehon ja sillä saatavan vuosittaisen lämpöenergian suhde toisiinsa (lämpöpumpun teho x-akselilla).



Kuvio 15: Lämpöpumpun tehon ja vuosittaisen lämmöntarpeen suhde

4.3 Lämpökaivojen syvyys ja määrä

Lämpökaivon syvyys voidaan arvioida Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry:n mukaan seuraavalla tavalla kun tiedetään vuosittainen lämmitysenergian tarve ja maalämpöpumpun lämpökerroin.

1. Lämpökaivosta saatava lämpömäärä $Q(\text{kaivo})$

$$Q(\text{kaivo}) = \text{lämmitysenergian tarve vuodessa} * \text{ilmaisenergian osuus}$$



Ilmaisenergian osuus on $1 - (1 / \text{lämpöpumpun lämpökerroin})$

2. Lämpökaivon syvyys $S(\text{kaivo})$

$$S(\text{kaivo}) = [Q(\text{kaivo}) / 50] * 0,5$$

Syvyyden arvioinnissa kaivo oletetaan nk. kuivakaivoksi (kerroin 0,5) ja sen tehoksi 50 kWh metriä kohden.

Näin ollen lämmitysenergian tarpeen ollessa 1 800 000 kWh vuodessa ja lämpöpumpun lämpökertoimen ollessa 3, saadaan lämpökaivon lämpömääräksi:

$$Q(\text{kaivo}) = 1\,800\,000 \text{ kWh/a} * 1 - (1/3) = 1\,206\,000 \text{ kWh/a}$$

ja lämpökaivon syvyydeksi:

$$S(\text{kaivo}) = [1\,206\,000/50] * 0,5 = 12\,060 \text{ m}$$

Insinööritoimisto Kontermon (2009) mukaan riittävä lämpökaivojen syvyys saadaan selville mitoitusohjelmia hyväksikäyttäen seuraavasti:

- rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystehojen laskenta
- lämmitys- ja jäähdytysenergian vuosikulutusten laskenta
 - lämmityksen osalta WinEtana-ohjelmistolla
 - jäähdytyksen osalta laittilojen peruskuorman sekä iv-jäähdytyksen pysyvyyssäyrästä ja ilmavirtojen avulla
- tehojen, kulutusten ja koeporaustulosten syöttäminen Earth Energy Designer -ohjelmaan



5 Kyselytutkimus maalämpöjärjestelmistä IKEA-tavarataloissa

5.1 Tutkimuksen lähtökohdat ja tutkimusmenetelmä

IGR-projektin tavoitteiden mukaisesti IKEA-tavaratalot pyrkivät käyttämään pelkästään uusiutuvaa energiaa tavaratalojen lämmitykseen sekä kulutussähkönä. Viimeistään projektin alkaminen vuonna 2006 on käynnistänyt IKEA:ssa globaalin kiinnostuksen maalämpöjärjestelmiä kohtaan. Kaikissa uudisrakennus- ja peruskorjaushankkeissa on itse asiassa pakollista selvittää uusiutuvien lämmityslähteiden käyttö ja jos 8 vuoden takaisinmaksuaika täyttyy, uusiutuva lämmönlähde pitää ottaa käyttöön.

Tulevien projektien kannalta olisi hyödyllistä, jos jo asennetuista järjestelmistä olisi saatavilla keskitettyä tietoa jota voisi käyttää edes suuntaa antavana lähtötietona. Menetelmät ja laitevalmistajat ovat kuitenkin pitkälti samoja kaikissa IKEA-maissa. Tämän keskitetyn tiedon puuttuessa tutkimukseni kohdentuikin sen hankkimiseen kaikista asennetuista ja suunnittelun alla olevista järjestelmistä. Tutkimus toteutettiin sähköpostin välityksellä kyselytutkimuksena suoraan maalämpöpumppuja käyttävien maiden Facilities Managereille. He käytännössä vastaavat omassa maassaan kiinteistöjen kunnossapidosta ja näin heillä on myös kokemuksia maalämpöjärjestelmien käytöstä.

Kysely lähetettiin kaiken kaikkiaan 9 maan yhdyshenkilölle (Ruotsi, Sveitsi, Iso-Britannia, Irlanti, Hollanti, Saksa, Itävalta, Italia, Ranska) koskien 21 tavarataloa. Eniten maalämpöpumppuja IKEA tavarataloissa on Ruotsissa (7 kpl). Kyselyn tavoitteena oli selvittää tärkeimmät tekniset tiedot järjestelmistä kuten lämpökaivojen syvyys, lämmitys- ja jäähdytystehot, lämpöpumpun valmistaja ja tyyppi sekä kustannustiedot. Kustannustiedot on julkisesta tutkimuksesta kuitenkin rajattu pois. Kyselylomake on esitetty tutkintotyön liitteenä kappaleessa 10.



Vastauksia saatiin kaikista maista Itävaltaa lukuun ottamatta jossa yhteys-
henkilön loman ajoittuminen kyselyhetkeen esti tulosten saamisen tutkin-
totyön aikarajojen puitteissa. Kohtuullisen hyvään vastausprosenttiin luul-
tavasti vaikutti se, että kyselyn tekijä on tavannut lähes kaikki vastaajat
henkilökohtaisesti aiemmissa IGR- ja Facilities Management -
tapaamisissa.

5.2 Yhteenveto käytössä ja suunnitteilla olevista järjestelmistä

Seuraavissa kuvioissa on esitetty IKEA-tavaratalojen maalämpöjärjestel-
mien perustiedot.



Country	Italy	Italy	Italy	Italy
Store name	Milano Corsico	Parma	Rimini	Torino
Store floor area (m2)	34 016	29 168	30 118	37 025+2 000 (glass house)
Store volume (m3)	380 888	168 260	193 298	345 000
Heating demand (kWh/year)	-	-	-	-
Cooling demand (kWh/year)	-	-	-	-
Amount of bore holes (pcs)	304	213	183	open circuit
Total length of bore holes (m)	30 400	146	125	-
Bore hole area at site (m2)	-	6 000	5 500	-
Amount of heat pumps (pcs)	3	2+1	2	2
Heat pump manufacturer	McQuay (Daikin)	Carrier	Climaveneta (IT)	Carrier
Heat pump model	WHS 138.1 XE ST + WHS 196.2 SE ST +ECP 050.1 XE ST	30HXC155+30RW110	TECS-HF-H 2AN	30XW
Compressor type	screw	screw	screw	screw
Amount of compressors per heat pump	1	1	1	2
Amount of power steps per heat pump	-	6	6	6
Electrical power (kW)	-	112x2	160	158
Heating power (kW)	1326	1180	1240	2640
Cooling power (kW)	1363	1280	1167	2756
Coolant	-	R134a	R134a	R134a
Heating distribution system 1	air	air	air	air
Heating distribution system 2	air	air	air	air
Tap water heating system	electrical resistor	electrical resistor	electrical resistor	electrical resistor
Free comments	-	-	-	-
Installation year	2008	2008	2009	2009
How satisfied you are with the...				
...borehole drilling (1-5)	4	1	3	-
...heat pump installation (1-5)	3	3	5	5
...heat pump user friendliness (1-5)	3	4	4	4
...heat pump technical quality (1-5)	3	4	5	5
...heat pump noise level (1-5)	3	4	5	3
...heat pump at heating mode (1-5)	3	4	5	4
...heat pump at cooling mode (1-5)	3	4	5	5
...system dimensioning (1-5)	3	4	4	4
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	3	4	5	4
...using heat pump in general (1-5)	5	5	5	5
Free comments	-	A lot of problem with the rain during borehole drilling!	Very interesting heat pumps with EER and COP high	Carrier 30XW new production, very cool!

Kuvio 16: Maalämpöjärjestelmät Italian IKEA-tavarataloissa



Country	France	Switzerland
Store name	Rouen, Tourville	Pratteln
Store floor area (m ²)	28 725	21 325
Store volume (m ³)	196 380	148 775
Heating demand (kWh/year)	1 830 000	593280 in the 2008
Cooling demand (kWh/year)	1 569 000	direct ground water cooling (no compressor) 804785 kWh in the 2008
Amount of bore holes (pcs)	1 (open circuit)	open circuit
Total length of bore holes (m)	135	97,2
Bore hole area at site (m ²)	-	-
Amount of heat pumps (pcs)	2	2
Heat pump manufacturer	Trane	Kapag Kälte-Wärme AG
Heat pump model	RTHD B2 C1 D1	WW-230/3B and WW-447/2B-2
Compressor type	screw	piston
Amount of compressors per heat pump	1	3 and 4
Amount of power steps per heat pump	Continuous from 25% to 100%	Electrical power 3 x 19.5 kW and 4 x 21.1 kW
Electrical power (kW)	103	143
Heating power (kW)	700	234 kW and 447 kW
Cooling power (kW)	616	no cooling with heat pump
Coolant	R134a	R-134a and R-410a
Heating distribution system 1	mainly air with AHU	TABS= Thermoactive building system
Heating distribution system 2	Fancoil in SS and WH	air (ventilation)
Tap water heating system	Solar	electrical
Free comments	-	-
Installation year	2008	2000
How satisfied you are with the...		
...borehole drilling (1-5)	-	5
...heat pump installation (1-5)	2	5
...heat pump user friendliness (1-5)	2	5
...heat pump technical quality (1-5)	2	4
...heat pump noise level (1-5)	3	4
...heat pump at heating mode (1-5)	2	5
...heat pump at cooling mode (1-5)	2	-
...system dimensioning (1-5)	3	5
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	1	5
...using heat pump in general (1-5)	3	5
Free comments	The announced COP of 6 is not there... This store is less efficient than a store with basic equipments... We are still searching why!	The cooling system in the Pratteln store is the only one in Switzerland without a cooling machine, 100% comfort cooling from ground water source.

Kuvio 17: Maalämpöjärjestelmät Ranskan ja Sveitsin IKEA-tavarataloissa



Country	United Kingdom	Ireland
Store name	Coventry	Dublin
Store floor area (m ²)	24 800	32 000
Store volume (m ³)	-	-
Heating demand (kWh/year)	1 626 880	2 099 200
Cooling demand (kWh/year)	161 200	207 194
Amount of bore holes (pcs)	4	170
Total length of bore holes (m)	200	100
Bore hole area at site (m ²)	8000	5184
Amount of heat pumps (pcs)	18	-
Heat pump manufacturer	Aermec Mitsubishi	Aermec / Mitsubishi
Heat pump model	NLW 500-700 PQRY 250-500	NLW 550-750 PQRY 250-500
Compressor type	scroll	scroll
Amount of compressors per heat pump	2 – 4	18
Amount of power steps per heat pump	4	2 – 4
Electrical power (kW)	355	534
Heating power (kW)	1200	1500
Cooling power (kW)	220	1500
Coolant	R407C	R407C
Heating distribution system 1	air	air
Heating distribution system 2	vrf	vrf
Tap water heating system	heat pumps	wood burner
Free comments	-	-
Installation year	2007	2008
How satisfied you are with the...		
...borehole drilling (1-5)	3	4
...heat pump installation (1-5)	4	4
...heat pump user friendliness (1-5)	4	4
...heat pump technical quality (1-5)	4	4
...heat pump noise level (1-5)	3	4
...heat pump at heating mode (1-5)	4	4
...heat pump at cooling mode (1-5)	4	4
...system dimensioning (1-5)	4	4
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	4	4
...using heat pump in general (1-5)	4	3
Free comments	-	-

Kuvio 18: Maalämpöjärjestelmät Englannin ja Irlannin IKEA-tavarataloissa



TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi AMK-tutkinto
Rakentamisen koulutusohjelma
Mika Junkala

58 (86)

Country	Finland	Sweden
Store name	Tampere	Uppsala
Store floor area (m ²)	36 500	36 000
Store volume (m ³)	265 000	-
Heating demand (kWh/year)	1 200 000 + 170 000 tap water	2 235 000
Cooling demand (kWh/year)	1 000 000	1 515 000
Amount of bore holes (pcs)	60	100
Total length of bore holes (m)	12000	16800
Bore hole area at site (m ²)	1800	2000
Amount of heat pumps (pcs)	2 heating / 1 tap water	2
Heat pump manufacturer	Carrier / IVT	Carrier
Heat pump model	30HXC200 / IVT G45	30HXC200
Compressor type	Screw / scroll	Screw
Amount of compressors per heat pump	3 / 1	2
Amount of power steps per heat pump	8 / 1	Floating
Electrical power (kW)	200 (maximum)	2 x 175
Heating power (kW)	800 (+400 with electric pan)	2 x 660
Cooling power (kW)	1280	2 x 680
Coolant	R134a	R134a
Heating distribution system 1	air	mainly air
Heating distribution system 2	radiators	-
Tap water heating system	heat pump (+ electric pan if needed)	Seperate smaller heatpump (30 kW)
Free comments	minimal free cooling	This system is a combination of a european and american way of design. The maximum cooling load (1 330 kW) can be covered by the heat pumps only if required. Still, most of the cold energy over a year is produced directly from the borehole storage.
Installation year	2010	2009
How satisfied you are with the...		
...borehole drilling (1-5)	-	-
...heat pump installation (1-5)	-	-
...heat pump user friendliness (1-5)	-	-
...heat pump technical quality (1-5)	-	-
...heat pump noise level (1-5)	-	-
...heat pump at heating mode (1-5)	-	-
...heat pump at cooling mode (1-5)	-	-
...system dimensioning (1-5)	-	-
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	-	-
...using heat pump in general (1-5)	-	-
Free comments	Calculated annual COP for heating 4, for cooling 3,5	The plant was taken into operation in April 2009. The initial operational experiences has been as predicted. During construction we had some drilling problems with a lot of water production and some boreholes that was unstabled. The extra cost for these problems was in the order of 100 000 Euro. Furthermore, there is permit question related to the impact of the storage that has not yet fully been solved

Kuvio 19: Maalämpöjärjestelmät Suomen ja Ruotsin IKEA-tavarataloissa



Country	Sweden	Sweden
Store name	Malmö	Helsingborg
Store floor area (m2)	44 000?	36 000
Store volume (m3)	-	-
Heating demand (kWh/year)	2 260 000	1 900 000
Cooling demand (kWh/year)	1 424 000	1 550 000
Amount of bore holes (pcs)	11 wells	70
Total length of bore holes (m)	well depth 90 m	9100
Bore hole area at site (m2)	na	1500
Amount of heat pumps (pcs)	2	2
Heat pump manufacturer	Carrier	Carrier
Heat pump model	30HXC	HXC200
Compressor type	screws	screws
Amount of compressors per heat pump	2	2
Amount of power steps per heat pump	floating	floating
Electrical power (kW)	2 x 101	2 x 120
Heating power (kW)	2 x 405	2 x 660
Cooling power (kW)	2 x 330	2 x 450
Coolant	R134a	R134a
Heating distribution system 1	air mainly	mainly air
Heating distribution system 2	-	-
Tap water heating system	separate heat pump	separate HP (30kW)
Free comments	This is an aquifer storage system designed for 100 % free cooling from the ground water at a flow of 50 l/s. The differens compared to borehole storages is that there is no condensor coolers on the roof. If cooling support is needed, the condensor heat is stored in the aquifer. The aquifer system has one warm and cold side with five and six wells respectively. The SPF of this system is calculated to be around 7-8.	This system is not yet fully constructed. However, the drilling has been completed succesfully. All costs given according to contract.
Installation year	2009	2009-2010
How satisfied you are with the...		
...borehole drilling (1-5)	-	-
...heat pump installation (1-5)	-	-
...heat pump user friendliness (1-5)	-	-
...heat pump technical quality (1-5)	-	-
...heat pump noise level (1-5)	-	-
...heat pump at heating mode (1-5)	-	-
...heat pump at cooling mode (1-5)	-	-
...system dimensioning (1-5)	-	-
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	-	-
...using heat pump in general (1-5)	-	-
Free comments	The system has only worked for a couple of months, but so far everything looks promising.	-

Kuvio 20: Maalämpöjärjestelmät Ruotsin IKEA-tavarataloissa, osa 2



Country	Sweden	Sweden	Sweden
Store name	Karlstad	Thorsvik	Socketbruket
Store floor area (m2)	25 000	?	don't know
Store volume (m3)	-	?	-
Heating demand (kWh/year)	1 200 000	-	?
Cooling demand (kWh/year)	500 000	-	?
Amount of bore holes (pcs)	100	13	36
Total length of bore holes (m)	12000	2340	5400
Bore hole area at site (m2)	1600	?	540
Amount of heat pumps (pcs)	1	1	1
Heat pump manufacturer	Carrier	?	York
Heat pump model	?	?	?
Compressor type	screw	?	Pistons
Amount of compressors per heat pump	2	?	Probably 4
Amount of power steps per heat pump	floating	?	25%
Electrical power (kW)	200	-	110
Heating power (kW)	620	110-120	270
Cooling power (kW)	575	70	350
Coolant	R134a	-	NH3
Heating distribution system 1	mainly air	?	?
Heating distribution system 2	-	?	?
Tap water heating system	HP + electricity	?	HP + gas
Free comments	This media central was first detailed designed. During contract discussion it was turned over to a turn key contract. Therefore all details are not known.	-	Peak load by a gasboiler that peak the tap water
Installation year	2007	?	2003
How satisfied you are with the...			
...borehole drilling (1-5)	-	-	4
...heat pump installation (1-5)	-	-	-
...heat pump user friendliness (1-5)	-	-	-
...heat pump technical quality (1-5)	-	-	-
...heat pump noise level (1-5)	-	-	4
...heat pump at heating mode (1-5)	-	-	3
...heat pump at cooling mode (1-5)	-	-	4
...system dimensioning (1-5)	-	-	-
...heat pump energy efficiency in general (1-5)	-	-	-
...using heat pump in general (1-5)	-	-	-
Free comments	<p>The plant taken into operation october 2007. The borehole storage detailed designed and constructed by a drilling company according to AB04. The indoor part of the plant constructed by an installation company on turn-key basis (ABT06). The borehole storage had a leakage after some couple of months. The return bents of the U-pipe was proven not be accurately welded. Two was replaced. However, two more leakages have occurred. These boreholes have been disconnected and the storage works exellent without them. How to cope with this leakage problem is under consideration. The heat pump works as expected and most of the cold produced comes directly from the boreholes as far as I know. However, there is a lack of monitoring equipment to have a full picture of the SPF of the system. I believe that IKEA will install such additional equipment in the near future (if not already done)</p>	<p>This plant was the first IKEA geothermal application in Sweden. As far as I know, it was installed 1999. It is in fact a double geothermal installation with except for the boreholes, also a horisontal loop beneath asphalt. Each of these installations are serving one heat pump each. According to notes I did at a visit 2005, both heatpumps were of the same kind and size. Also the COP was the same (about 4.0). All together they delivered 1 750 MWh/year to the buildings they are connected to. This is a coverage of 35 % percent of heat needed for the buildings. The realively high COP for the horisontal loop is probably due to the asphalt that heat the ground beneath to a larger extent than a free surface. The investment cost was said to be about 2. 5 MSEK and the savings was calculated to 1 300 MWh (or aprox. 1 MSEK/year. If this is correct the plant was paid back in less then 3 years. Of interest is that the boreholes also provid free cooling to office building. Reference: IKEA Fastigheter - Alternativ energiforsörjning. Consultant report dated Sweco Viak 2006-02-15 (Draft)</p>	<p>TECHNICAL PROBLEMS: The plant worked beautiful up till 2007. After a reparation of the heat pump (oil leakage) the borehole system had air circulated for at least half a year. It is not proved, but it is highly likely that the air caused such vibrations in the system that some of the boreholes started to leak. The leaks were found and repaired in 2008. However, it is still a problem with the heat pump that is not working properly. The designed condensor temperature of +45 oC can not be kept and heat is dumped to boreholes during part of the winter in order to keep the return temperature low enough for condensation. Hence the borehole storage has been warmed up to a point that free cooling no longer can be provided. As a result of this, the COP of the system has been drastically lowered and, hence, the consumption of electricity increased. For this reason a replacement of the heat pump and some adjustments to the control system has been suggested. ECONOMY: The calculated additional investment cost for the total system compared to district heating and district cooling was in the order of 150 000 Euro back in 2003. This sum was paid back during the first 3 years of operation.</p>

Kuvio 21: Maalämpöjärjestelmät Ruotsin IKEA-tavarataloissa, osa 3



5.3 Kyselytutkimuksen tulokset

Kyselytutkimukseen vastasi ajallaan 7 maata ja 15 tavarataloa. Kaiken kaikkiaan kysely lähetettiin 10 maahan ja 22 tavarataloon. Vastausprosentiksi tavarataloittain tuli siis noin 68 (15 / 22). Vastauksia ei saatu lainkaan Itävallasta, Saksasta ja Hollannista joissa asennuksia on yhteensä 5 kappaletta. Lisäksi Englannista ja Sveitsistä saatiin puutteelliset vastaukset jotka käsittivät vain toisen kahdesta maalämpötavaratalosta.

Ruotsissa sijaitseva Sockerbruket toimii IKEA:n toimistorakennuksena ja muista taloista poikkeavan käyttötarkoituksen vuoksi se jätettiin tässä kappaleessa tehdyn vertailun ulkopuolella.

Kyselytutkimuksen yhteenvedona saaduista vastauksista voidaan todeta, että kaikki asennetut maalämpöjärjestelmät ovat varsin uusia, sillä vanhin järjestelmä on asennettu vuonna 1999. Valtaosa järjestelmistä on asennettu vuosina 2008 ja 2009 (8 / 15).

Yleisinä havaintoina voidaan todeta, että vastauksissa oli jonkin verran epäselvyyksiä ja virheitä muun muassa lämpökaivojen syvyyksissä ja teknisissä tiedoissa. Tästä voidaan päätellä, että vastaajat eivät välttämättä tieneet, mitä kaikilla kysymyksillä tarkoitettiin. Vastaajat eivät siis olleet lämpöpumppujen asiantuntijoita, tämän voi päätellä siitakin, että useassa maassa kysely lähetettiin eteenpäin ulkopuoliselle konsultille (Ruotsi, Hollanti, Saksa).

Lämpökaivojen lukumäärä vaihteli merkittävästi, sillä kyselyssä oli avoimia ja suljettuja järjestelmiä. Avoimissa järjestelmissä kaivoja oli 1...11 kappaletta ja suljetuissa järjestelmissä huomattavasti enemmän, 60...304 kappaletta. Isoin lämpökenttä 304 kaivolla oli Italian Milanossa, missä



kaivojen yhteispituus on jopa 30 400 metriä. Vertailun vuoksi, Tampereen tavaratalon kaivojen yhteispituus on 12 000 metriä.

Lämpökaivojen pinta-ala tontilla on riippuvainen kaivojen lukumäärästä sekä siitä, miten lähemmäs kaivot on porattu. Myös lämpökentän muoto vaikuttaa vaadittavaan pinta-alaan, vähiten pinta-alaa vaatisi yhteen pitkään riviin sijoitetut kaivot. Saatujen vastauksien perusteella lämpökaivojen pinta-alat vaihtelivat 1500:n ja 8000 neliömetrin välillä. Uusissa ruotsalaisissa tavarataloissa 100 lämpökaivoa saadaan tyypillisesti mahtumaan 2000 neliömetrin alueelle.

Lämpöpumppuvalmistajia oli yhteensä 7 kappaletta: McQuay, Carrier, Climaveneta, Trane, Kapag Kälte-Wärme, Aermec ja York. Näistä suosituin oli Carrier yhteensä seitsemällä asennuksella. Yleisimmin tavarataloissa oli 2 lämpöpumppua jonka kylmäaineena toimi R134a. Käytetyin kompressorityyppi tässä kokoluokassa oli ruuvikompressori.

Sveitsin Prattelnia lukuun ottamatta kaikissa kohteissa lämmönsiirto tehdään ilmanvaihdon avulla. Prattelnissa on ensisijaisesti käytössä TABS (thermo active building system) ja toissijaisesti ilmalämmitys. Kahdessa kohteessa lämmin käyttövesi tehtiin muulla tavalla kuin lämpöpumpuilla ja sähkövastuksella. Näitä olivat Ranska ja Irlanti, joissa ensimmäisessä lämmin käyttövesi tehdään aurinkoenergian avulla ja jälkimmäisessä puupolttimen avulla.

Käyttäjien antamien pisteiden perusteella parhaiten onnistuneita järjestelmiä olivat Italian Rimini, joka arvioitiin 46/50 pisteen arvoiseksi sekä Sveitsin Pratteln joka sai 43/45 pistettä. Heikoimmoin onnistuneeksi arvostettiin Ranskan Rouen, joka keräsi vain 20/45 pistettä.



6 Markkinatutkimus lämpöpumppuvalmistajista

Markkinatutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten monta lämpöpumppuvalmistajaa pystyy tarjoamaan IKEA-tavaratalon kokoluokan järjestelmiä. Tutkimukseen otettiin mukaan myös toimittajia joilla ei ainkaan vielä ole edustusta Suomessa.

Markkinatutkimus tehtiin pääosin sähköpostitse (paitsi Danfoss) ja valmistajilta kysyttiin pystyvätkö he tarjoamaan maalämpöpumppuja jotka täyttävät alla kuvatut tarpeet. Käytännössä nämä tarpeet vastaavat Tampereen IKEA-tavaratalon maalämpöjärjestelmää.

1. Needed powers and temperatures:					
	Evaporator		Condenser		
	Power	Temperatures	Power	Temperatures	COP
Heating partial load	140 kW	0 / 3	170 kW	30 / 40	>4,4
Heating full load	540 kW	-5,5 / - 2,5	800 kW	35 / 50	>3
Cooling partial load	300 kW	16 / 8	360 kW	25 / 35	>4,7
Cooling full load	1280 kW	16 / 8	1660 kW	38 / 48	>3,3
2. Annual heating need:		1 200 000 kWh			
3. Annual cooling need:		1 000 000 kWh			
4. Maximum amount of heat pumps:		4			
5. Liquid in a ground loop:		water-ethanol mixture 28 %			
6. Liquid in a heating loop:		water			
7. Minimum amount of power steps:		8			

Kuvio 22: Maalämpöpumpulta vaaditut ominaisuudet



Markkinatutkimus lähetettiin seuraaville toimittajille: Chiller, Lämpöässä, Bitzer (Pemco), Colt Eurobridge, Kensa Engineering, Danfoss, Thermea, Friothers ja Advansor. Toimittajat valittiin Anteron Aittomäen ja Insinööritoimisto Kontermon haastattelujen sekä oman nettitutkimuksen perusteella.

IKEA:n sisäisessä kyselytutkimuksessa havaittiin, että IKEA käyttää jo seuraavien valmistajien lämpöpumppuja: Carrier, McQuay, Climaveneta, Daikin, Trane, Kapag Kälte-Wärme AG, Aermec ja York. Koska kolmen viimeksi mainitun valmistajan ratkaisut olivat IKEA:n kyselytutkimuksessa hieman muista poikkeavia, markkinatutkimus lähetettiin heillekin.

Tampereen tavaratalon lämpöpumppu-urakkaa tarjosivat markkinatutkimusta vastaavilla ehdoilla toimittajaksi valitun Carrierin lisäksi myös Scancool, NIBE ja Clivet (Suomen Jääkylmä). Näin ollen heidät lisättiin automaattisesti mahdollisten toimittajien joukkoon.



6.1 Markkinatutkimuksen tulokset

Markkinatutkimuksen tulokset ja IKEA-tavarataloon soveltuvia maalämpöpöjärjestelmiä tarjoavat toimittajat on esitetty alla olevassa kuviossa.

Valmistaja	WWW-osoite	Mahdollinen toimittaja	Huomiot
1. Aiemmin IKEA:ssa käytetyt:			
Carrier	www.carrier.fi	kyllä	
Climaveneta	www.lining.fi	kyllä	
Daikin	www.lining.fi	kyllä	
Trane	www.trane.com	ehkä	ei edustusta Suomessa
McQuay	www.mcquay.com	ehkä	ei edustusta Suomessa
Kapag Kälte-Wärme AG	www.kapag.ch	ehkä	ei vastannut tiedusteluun
Aermec	www.airmec.fi	ehkä	ei vastannut tiedusteluun
York	www.york.com	ehkä	ei vastannut tiedusteluun
2. IKEA Tampere tarjonnot:			
Scancool	www.scancool.fi	kyllä	
NIBE	www.nibe.fi	kyllä	
Clivet	www.jaakylma.fi	kyllä	
3. Mahdolliset uudet:			
Chiller	www.chiller.fi	kyllä	Lämpöpumpumallisto 400 kW asti, vedenjäähdyttimet 450 kW
Pemco	www.pemco.fi	kyllä	
Thermea	www.thermea.de	ehkä	Thermea HHR räätälöitävissä, suunniteltu korkeammille lämpötiloille
Lämpöässä	www.lampoassa.fi	ehkä	ei vastannut tiedusteluun
Colt Eurobridge BV	www.colinfo.co.uk	ehkä	ei vastannut tiedusteluun
Danfoss	www.danfoss.com/finland	ei	Ei vielä Suomen valikoimassa, tulossa myöhemmin
Kensa Engineering Ltd	www.kensaengineering.com	ei	Suurin teho 75 kW / pumppu
Friotherm	www.friotherm.com	ei	Tekee järjestelmiä isommille tarpeille ja korkeammille lämpötiloille, >2,5MW ja >70 C
Advansor	www.advansor.dk	ei	Tehokas lämpötiloilla 60-80 C

Kuvio 23: Markkinatutkimuksen tulokset ja mahdolliset toimittajat



7 Reunaehdot

7.1 Mitoittaminen

Maalämpöjärjestelmän komponenttien mitoittamiseen löytyy selkeät säännöt ja riittävästi osaamista Suomesta, esimerkiksi lämpökaivojen pituus saadaan arvioitua varsin helposti kun tiedetään rakennuksen lämmön- ja kylmätarve sekä lämpöpumpun lämpökerroin. Tarkemmat ominaisuudet saadaan mitoittettua alan suunnittelijoiden käyttämien mitoitus- ja simulointiohjelmien avulla. Sen sijaan paljon ongelmallisempaa on tehdä koko lämmitysjärjestelmästä mahdollisimman energiatehokas pienimmällä mahdollisella investointi- ja käyttökustannuksella sekä yhdistää se rakennuksen muuhun talotekniikkaan kuten ravintolan kylmään ja ilmanvaihtoon. Esimerkiksi Tampereen tavaratalossa lämpökaivojen vapaajähdytysominaisuutta ei voida hyödyntää lainkaan, koska se olisi edellyttänyt mm. ylimääräisten liuosjäähdyttimien hankintaa, enemmän lämpökaivoja sekä niin monimutkaisia järjestelmän kytkentöjä, että ne saattaisivat vaarantaa järjestelmän käytön osaamattomissa käsissä. Kytkentöjen ja ohjauksen kannalta ongelmana oli se, että samanaikaisesti vapaajähdytyksen kanssa ei saatu lämmitystehoa lämmitysverkoston.

Riittävän suunnitteluosaamisen kautta tämä ei ole kuitenkaan merkittävä ongelma. Esimerkiksi samanaikainen lämmittäminen ja jäähdyttäminen on mahdollista. Vapaajähdytyksessä tulee kuitenkin huomioida, että se on mahdollista ainoastaan ilmanvaihdon jäähdytyksessä ja todennäköisesti se aiheuttaa tarpeen isommille ilmanvaihtokoneen jäähdytyspattereille sekä mahdollisesti myös ilmamäärille. Mitä suuremmat jäähdytyspatterit koneisiin asennetaan, sitä korkeammilla lämpötiloilla jäähdytystä voidaan tehdä ja käyttää siis enemmän vapaajähdytystä. Tärkeässä osassa on myös rakennusautomaatio, jonka on taivuttava LVI-suunnittelijan ja lämpöpump-



pujen vaatimuksiin. Käytännössä tämä tarkoittaa rakennusautomaation ohjelmoitavaa logiikkaa.

Vapaaajähdytyksen hyödyntämisessä ja koko kalliolämpöjärjestelmän energiatehokkaassa toiminnassa tärkeässä osassa on järjestelmän hankintamalli. Kokonaisvastuun ollessa yhdellä taholla saadaan myös paremmin toimivia ja tehokkaampia järjestelmiä. Hyviä kokemuksia käyttökohteissa on saatu mm. Haikon Kartanossa ja Vierumäen Urheiluopistossa.

Viime aikoina Ruotsiin rakennetuissa IKEA-tavaratalojen maalämpöratkaisuissa on hyödynnetty paikallista alan vahvaa osaamista. Esimerkiksi Uppsalan tavaratalon maalämpöjärjestelmän rakennutti erillinen konsultti, jolla on 30 vuoden kokemus maalämpöjärjestelmistä. Tällä kokemuksella maalämpöjärjestelmä saatiin sovitettua hyvin yhteen talon muun tekniikan kanssa ja päästiin hyödyntämään enemmän ilmaisenergiaa vapaaajähdytyksen muodossa.

Maalämpöjärjestelmien rakentamista ja myös mitoittamista IKEA:ssa ohjaa investointivaiheen kustannusajattelu. Esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmään verrattuna maalämpöjärjestelmä on suurempi investointivaiheen kustannus ja sen vuoksi maalämpöjärjestelmäinvestoinnin takaisinmaksuaika voi olla enintään 8 vuotta. Jos tästä 8 vuoden aikarajasta voitaisiin joustaa, voitaisiin järjestelmän kalleimpaan osaan eli lämpökenttään panostaa enemmän ja saada enemmän ilmaisenergiaa sekä lämmitykseen, että jähdytykseen. Osaltaan tämä 8 vuoden vaade esti Tampereen maalämpöratkaisussa vapaaajähdytyksen mukaan ottamisen.

Yhtenä mielenkiintoisena näkökohtana mitoittamisen kannalta on mitoittaminen osatehon tai täystehon mukaan. Uusiutuvan energian käytön tavoitteen mukaan osateholle mitoitettun maalämpöjärjestelmän tulisi tuottaa myös huipputeho uusiutuvalla energialla. Kenties helpoin ratkaisu tähän



on ostaa vihreää sähköä, teknisesti olisi kuitenkin mahdollista tehdä huippu esimerkiksi bioetanoli- tai pellettipolttimolla.

7.2 Maaperän laatu ja pohjavesiolosuhteet

Vaikka lämpökaivot ovatkin syviä, aivan kaikkialla kalliolämpöä ei kuitenkaan voida käyttää. Esimerkiksi Lounais-Suomen savialueet ovat ongelmallisia. Niissä lämpökaivojen tekeminen tulee kalliiksi koska kymmenien metrien paksuinen savipatja pitää varustaa suojaputkella.

Myös korkeat harjut voivat olla samaan tapaan hankalia. Jos kallio on lähellä maanpintaa, lämpökaivon tekeminen ja maalämpöpumppujen käyttäminen ei pitäisi olla ongelmallista.

Mikäli porakaivo jää kuivaksi, se voidaan täyttää, kuten aiemmin kappaleessa 3.6 on todettu.

7.3 Lämpökaivojen sijoittaminen tontille

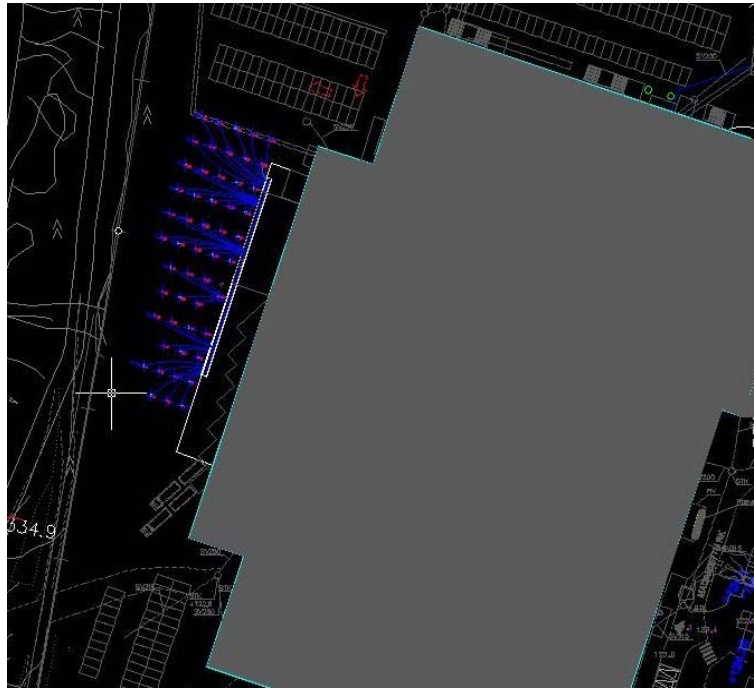
Lämpökaivojen ohjeellinen etäisyys toisistaan on lähteestä riippuen 10-20 metriä, mutta viistoon poraamalla ne voidaan sijoittaa huomattavasti lähemmäs toisiaan, jopa vierekkäin. Varsinaista ohjeistusta viistoon poraamisesta ei ole.

Sopiva kaltevuuskulma reikien välillä määritellään aina tapauskohtaisesti. Lämpökaivojen vaatimaan pinta-alaan vaikuttaa myös se, miten lämpökaivot on sijoitettu toisiinsa nähden. Esimerkiksi kahteen riviin sijoitetut ja vinoon poratut 60 kaivoa vaatisivat tilaa karkeasti laskien noin:

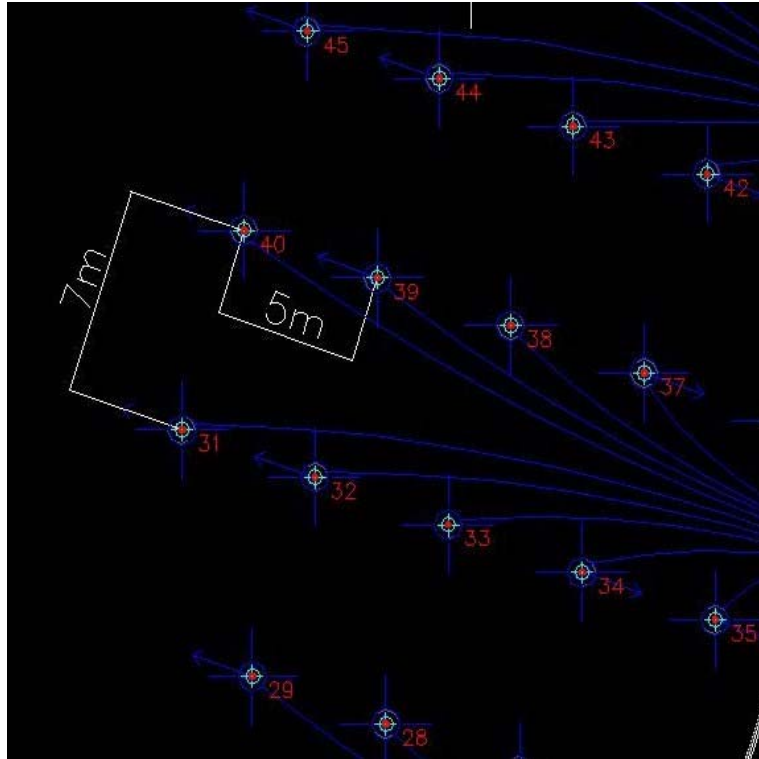
$29 \text{ (kaivoväliä)} * 10 \text{ m (kaivojen etäisyys pitkittäin)} * 2 \text{ m (kaivojen etäisyys poikittain)} = 580 \text{ m}^2$



Tampereen tavaratalossa lämpökaivot sijoitettiin tavaran vastaanoton alueelle ja kaivojen vaatima pinta-ala oli yhteensä noin 1700 neliometriä. Lähimmillään vinoon poratut reiät ovat vain 5 metrin päässä toisistaan. Liian lähelle poratut reiät voivat kuitenkin olla ongelmallisia, mikäli lämpökaivojen yläpäätt ovat aktiivisia ja kaivojen lämpötila laskee liian alas.



Kuvio 24: Tampereen tavaratalon lämpökaivojen sijoitus



Kuvio 25: Tampereen tavaratalon lämpökaivojen etäisyys toisistaan

Ruotsissa lämpökaivoja on sijoitettu myös rakennuksen alle. Suomessa tätä ei suositella vaikka se onkin täysin mahdollista. Ohjeelliset etäisyydet lämpökaivosta viereisiin rakenteisiin ovat seuraavat:

Kohde	Suosittelu
Lämpökaivo	20 m
Porakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Tontin raja	10 m
Viemärit ja vesijohdot	5 m
Kiinteistöjätevedenpuhdistamo	kaikki jätevedet 30m, harmaat vedet 20 m



Maalämpökentän sijoittaminen tontille on vapaata ja kenttä voi sijaita pitkänkin matkan päässä tavaratalon lämmönjaosta. Sijoittamisessa kauemaksi tulee kuitenkin huomioida putkistojen mitoitus- ja nesteen pumpausvaatimukset sekä pidemmästä putkistosta ja maahan asentamisesta aiheutuvat kustannukset. Maahan asennetut putket voivat myös rajoittaa tontin käyttöä tulevaisuudessa.

7.4 Lämpökaivojen tekemisen vaikutus projektin kokonaisaikatauluun

Tampereen tavaratalon maalämpökentän teko kesti 13 työpäivää kolmella poravaunulla ja tuloksena syntyi 12 000 metriä lämpökaivoa (115 mm:n kaivot). Näin ollen poraustyön kesto on hieman alle 1000 metriä päivässä kolmella vaunulla. Alun perin keston oletettiin olevan huomattavasti pidempi, jopa 3 kuukautta. Tämä olisi vaarantanut koko hankkeen aikataulun, sillä sijoituspaikkana lastauslaituri on kriittinen. Tämä siitä syystä, että lastauslaituri on ensimmäinen osa joka uudesta tavaratalosta pitää saada käyttöön.

Johonkin toisaalle lämpökentän sijoittamalla edes tämä aikaraja ei muodostu esteeksi. Sijoittamisessa tulee kuitenkin huomioida matka lämpökentältä lämmönjakoon. Itse lämmönjaon sijainti konseptitavaratalossa on lukittu, eikä sen paikkaa pidä muuttaa.

7.5 Lämmönjakohuoneen vaatimukset

Lämmönjakohuoneen suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpöpumppujen lämmönjakohuoneelle asettamat vaatimukset jotka poikkeavat merkittävästi verrattuna esimerkiksi kaukolämmityksen piirissä olevaan kiinteistöön. Lämpöpumput vaativat kytkentöineen paljon tilaa, kompressoreiden äänitaso voi edellyttää paremmin äänieristettyjä seiniä tai tilan sijoittamista



kauas myymälätiloista, lisäksi lämpöpumppujen paino asettaa vaatimuksensa ala- tai välipohjan rakenteelle. Myös lämpöpumpuilta lämpökaivoille lähtevän putkiston reitteihin pitää kiinnittää huomiota. Lisäksi rakentamisen aikana haalausreittien täytyy soveltua lämpöpumppujen kuljettamiseen lämmönjakohuoneeseen. Lämpöpumppujen asennuksessa on huomioitava runkoäänien estäminen pumppujen kelluvalla asennuksella.

Ohessa lämpöpumppujen asettamia minimivaatimuksia lämmönjakohuoneelle:

- pinta-ala 120 m²
- ala- tai välipohjan kantavuus 5 kN/m² (tai vastaava kuin varastossa käytetty)
- väliseinärakenteiden ilmaääneneristysluku $R'w$ vähintään 43 db

7.6 Suunnitteluosaaminen ja hankintamalli

Lämpöpumppuihin liittyvää suunnittelun erikoisosaamista on Suomessa vähän, eikä laadukkaasta suunnittelusta aina haluta maksaa sen vaatimaa hintaa. Tehokkaita järjestelmiä saadakseen tilaajan tulisi osoittaa järjestelmän kokonaisvastuu yhdelle toimijalle (Ruotsin mallin mukaisesti). Tämän kalliolämpökonsultin tulisi olla mukana suunnittelussa, rakentamisessa ja käyttöönotossa. Lisäksi hänen tulisi toimia tilaajan valvojana.

Tutkimuksen aikana esiintulleita hyväksi havaittuja suunnittelutoimistoja Suomessa ovat esimerkiksi AX-Suunnittelu, AIRIX Talotekniikka, Insiööritoimisto Olof Granlund (Tampereen toimipiste) sekä Enersys.



7.7 Henkilökunnan osaaminen

Henkilökunnan osaamista saatiin osittain kartoitettua tehdyn kyselytutkimuksen perusteella. Vastauksista pystyi päättelemään, että kaikki vastanneet eivät ole lämpöpumppujen asiantuntijoita. Esimerkiksi kaivojen syvyudet oli ilmoitettu väärin Italiassa ja Englannin sekä Irlannin teknisissä tiedoissa kuten kompressorien määrässä per lämpöpumppu oli epä johdonmukaisuuksia.

Henkilökunnan osaamista kuvanee sekin, että monessa maassa (Ruotsi, Hollanti, Saksa) kyselytutkimuksen tiedot selvitettiin ulkopuolisen konsultin avulla. Kyselyyn vastanneet toimivat maansa tavaratalojen ylläpidosta vastaavina henkilöinä ja voi olettaa heillä olevan parhaan tiedon omassa maassaan. Tavaratalokohtaiset kiinteistöyöntekijät ovat tuskin perehtyneet lämpöpumppuihin niinkään paljon kuin matriisiesimiehensä.

Toisaalta käytön helppoutta kuvasi kyselytutkimuksen kysymys: How satisfied you are with the heat pump user friendliness? Vastausten keskiarvoksi tuli varsin korkea 3,75 kun suurin mahdollinen luku oli 5. Tästä voisi päätellä, että lämpöpumput ovat varsin helppokäyttöisiä, vaikka käyttäjät eivät niiden asiantuntijoita olekaan. Korkea tulos saattaa kertoa myös lämpöpumppujen toimintavarmuudesta. Käyttäjäystävällisyys olisi todennäköisesti paljon pienempi jos laitteet vikaantuisivat usein. Lämpöpumppujen teknisen laadun käyttäjät arvioivat 3,88 arvoiseksi.

Henkilökunnan osaamista pitäisi ehkä arvioida myös laitteistolla saavutettavan suorituskyvyn mukaan. Paremman kuvan antaisi tutkimus, jossa otettaisiin selvää miten tehokkaasti henkilökunta käyttää lämpöpumppuja ja miten hyvin niillä saavutetaan tavoitettavissa oleva suorituskyky. On helppoa olla tyytyväinen minkä tahansa laitteen käyttöön vaikka samanai-



kaisesti käyttäisikin sitä epätaloudellisesti. Ehkä haastavimpana asiana lämpöpumpun energiatehokkaassa käytössä on vapaajäähdytyksen mahdollisimman suuri hyödyntäminen. Rakennusautomaatio ei aina anna tämänkaltaisiin toiveisiin suurinta mahdollista tukea, ja tehokas käyttö voi jäädä paljon myös käyttäjän omien havaintojen ja niiden perusteella tehtyjen säätöjen varaan. Esimerkiksi lämpöpumppujen/vedenjäähdyttimien käyntilupien ja kiertopumppujen pyörimisnopeuksien kontrollointi eri olosuhteissa voi antaa suuria säästöjä ja parantaa koko laitteiston energiatehokkuutta.

Koska energiatehokas käyttö jää myös käyttäjän ammattitaidon varaan, on syytä miettiä millainen käyttökoulutus tai muu koulutus lämpöpumppujärjestelmään pitäisi saada. Kylmätekniiikan perusteet voi opiskella alan kirjallisuudesta, esimerkiksi tämän tutkintotyön lähteenä ollut kirjallisuus soveltuu siihen. Myös kylmätekniiikan kurssit voivat olla hyödyllisiä, mm. Adulta, Koulutuskeskus Salpaus sekä Sedu Aikuiskoulutus järjestävät kylmätekniiikan aikuiskoulutusta. Varsinaisia lähtötietovaatimuksia henkilökunnalle ei kuitenkaan ole.

Hyvän avun yksittäisen laitteiston käyttöön saa myös kyseisen lämpöpumppujärjestelmän suunnittelijalta ja huoltoliikkeiltä. Suunnittelija tietää mihin laitteistolla pystyy ja mitkä asiat pitää huomioida eri käyttötilanteissa sekä olosuhteissa. Simulaatioiden ja laskelmien avulla suunnittelija pystyy tutkimaan myös kuvitteellisia tilanteita. Varsinkin uudisasennuksissa suunnittelijan tietotaitoa kannattaa käyttää hyödyksi henkilökunnan osaamisen kartuttamisessa. Määräaikaishuolloissa mukana olemalla taas pystyy hyödyntämään huoltoliikkeiden ammattitaitoa ja kysymään teknisiä asioita kuten varaosien saatavuutta ja oikeita toimenpiteitä häiriötilanteissa.



7.8 Lämmitysmuodon huomioiminen liikepaikkaa hankittaessa

Uusia liikepaikkoja hankittaessa lämmitysmuoto tulisi ottaa mukaan keskusteluun mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Joissain kaupungeissa tai tonteilla saattaa olla rajoituksia maalämpökentän rakentamiselle kaupungin omien tulevaisuudensuunnitelmien johdosta. Ostajaa voidaan myös velvoittaa kaukolämpöliittymän tilaamiseen.

Liikepaikasta tehtävän kaupan ehdoksi tulisi asettaa mahdollisuus tavaratalon (sekä ostoskeskuksen) lämmittämiseen uusiutuvia energialähteitä joko maalämpöä tai biopolttoaineita kuten haketta, pellettejä ja nestemäisiä biopolttoaineita hyödyntäen.

Samaan ehtoon tulisi kirjata mahdollisuus kaupungin tarjoaman kaukolämmön käyttöön niin, että IKEA voisi tarvittaessa käyttää kaukolämpöä ainoastaan huipputehon tuottamiseen. Huipputehon tuottamisessa voisi näin ollen jatkossa käyttää myös kaukolämpöä mikäli kaupunki pystyy tarjoamaan uusiutuvaa kaukolämpöenergiaa.



8 Tulosten tarkastelu ja arviointi

8.1 Kirjallisuusosio

Kylmätekniikkaan perustuvat lämpöpumput ovat saaneet suuren suosion viime vuosien aikana. Kehitys etenkin kuluttajalaitteissa on ollut nopeaa ja se on synnyttänyt jonkin verran myös kotimaista lämpöpumppukirjallisuutta. Tutkimustyön kannalta ongelmana kuitenkin on, että kuluttajille suunnatut kirjat eivät tieteellisessä mielessä aina ole riittävän painavia tutkimustyön lähteiksi. Niinpä kotimaisen relevantin lämpöpumppuja koskevan kirjallisuuden löytäminen on ollut vaikeaa tutkimustyön aikana.

Ajankohtaista ulkomaista kirjallisuutta olisi saatavilla esimerkiksi verkko-kaupoista. Tunteamatta kirjailijan tietämystä sen enempää, ostos verkko-kaupasta kirjaa näkemättä ja siihen tutustumatta tuntui kuitenkin riskiltä jota en halunnut ottaa. Oppilaitoksilla olisi tässä suhteessa parannettavaa, sillä uutta ulkomaista kirjallisuutta ei löydy niiden kirjastoista, kuten ei kaupunginkirjastoistakaan.

Perinteisen kylmätekniikan puolelta löytyy enemmän kotimaista kirjallisuutta. Tämä kirjallisuus on melko vanhaa, mutta myös luotettavaa, koska järjestelmien toimintaperiaatteet ovat edelleen samat. Kylmäaineet ovat voineet vaihtua vuosien myötä, mutta termodynaaminen perusta on aivan sama kuin ennenkin.

Aivan tutkimuksen loppuvaiheessa tietooni tuli, että Suomessa on kaksi eri koulukuntaa lämpökaivojen poraamisessa (HS artikkeli 22.11.2009). Suomen Kaivonporausurakoitsijat Ry edustaa perinteistä linjaa ja heidän määritelmänsä mukaan lämpökaivon minimihalkaisijan tulee olla vähintään 130 mm. Suomen Energiaporaajat Ry on uusi kilpaileva yhdistys ja heidän tekemien lämpökaivojen halkaisija on 4,5 tuumaa eli 114 mm. Näiden



kahden yhdistyksen välillä tuntuu olevan erimielisyyttä, sillä Suomen Kai-vonporausurakoitsijat Ry:ltä en saanut haastatteluissa kommenttia siihen, miten lämpökaivon halkaisija vaikuttaa kaivon energiatehokkuuteen. Asi-asta ei heidän mukaansa ollut tutkittua tietoa. Toisaalta professori Antero Aittomäki kertoi haastattelussa, että asiasta kyllä on tutkittua tietoa ole-massa. Tutkittuun tietoon törmäsin omassa ruotsinkielisessä lähteessäni-kin, mutta sisältö jäi valitettavasti osittain kielimuurin taakse.

8.2 Kyselytutkimus

Maalämpöjärjestelmistä tehty kyselytutkimus osoitti, että osaaminen ja jär-jestelmät IKEA:n sisällä ovat vielä alkumetreillä. Vanhinkin maalämpöjär-jestelmä on vain kymmenen vuotta vanha ja suurin osa järjestelmistä on tehty vuosien 2008 ja 2009 aikana. Myös tietotaito järjestelmistä tuntuu olevan osittain puutteellista, tästä kertoo sekin, että kyselytutkimuksen ai-kana tietoja pyydettiin monessa maassa ulkopuoliselta konsultilta. Tutki-muksen aikana syntyi käsitys, että paras tietotaito maalämpöjärjestelmistä IKEA:ssa on Sveitsissä ja Ruotsissa. IGR-projektin myötä maalämpöjär-jestelmät sekä tietotaito niistä tulee varmasti lisääntymään jatkossa. Mie-lenkiintoinen mutta ymmärrettävä yksityiskohta kyselytutkimuksessa oli se, että öljymaissa Yhdysvallat ja Norja ei ole yhtään maalämpöpumppu-asennusta.

Kiinteistöjen suunnittelu etenee IKEA:ssa kansainvälisen konseptisuunnit-telun jälkeen kansallisella tasolla tapahtuvaan tarkempaan suunnitteluun. Esimerkiksi lvi- ja sähköjärjestelmät suunnitellaan aina paikallisin voima-varoin. Tästäkin johtuen IKEA:ssa ei ole olemassa keskitettyjä suunnitte-luohjeita, vaatimuksia, hyviä esimerkkejä tai juuri mitään muutakaan kes-kitettyä tietoa maalämpöjärjestelmistä. Tästä syystä myös itse järjestelmät poikkeavat toisistaan merkittävästi ja järjestelmien vertailtavuus keskenään



on heikohkoa. Tämä tutkimus toimii eräänlaisena pelinavauksena näiden järjestelmien suhteen, jatkossa on toivottavasti helpompaa kysyä käyttökokemuksia ja muita tarkempia tietoja eri maiden järjestelmistä.

Lämpöpumppuvalmistajamielessä kyselytutkimuksessa oli huomattavaa Carrierin vahva asema IKEA:n lämpöpumpputoimittajana. Saatujen vastausten perusteella Carrier on toimittanut lämpöpumput yli puoleen IKEA:n kaikista maalämpöjärjestelmistä.

8.3 Markkinatutkimus

Markkinatutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten monta lämpöpumppuvalmistajaa löytyy, jotka pystyisivät toimittamaan IKEA-tavaratalon kokoluokan maalämpöpumppujärjestelmiä.

Tampereen tavaratalon maalämpöurakan tarjouspyyntöihin nähden tämä tutkimus oli avuksi, sillä pelkästään kyselytutkimuksen perusteella tuleviin tarjouskilpailuihin voidaan pyytää mukaan ainakin 2 uutta valmistajaa, Climaveneta ja Daikin. Nämä ovat jo toimittaneet IKEA:lle kokoluokaltaan vastaavia järjestelmiä ja niillä on jälleenmyyjä Suomessa. Myös Trane ja McQuay ovat toimittaneet IKEA:lle vastaavia järjestelmiä, mutta heillä ei ole edustusta Suomessa.

Varsinaisessa markkinatutkimuksessa löydettiin 2 uutta toimittajaa jotka eivät ole ennen toimineet IKEA:n kanssa. Näitä uusia toimittajia joilta voi esimerkiksi Kuopion tavaratalon mahdollisen maalämpöurakan yhteydessä pyytää tarjouksia ovat Chiller ja Pemco.

Lämpöpumpputoimittajia oman nettitutkimuksen aikana etsittäessä oli mielenkiintoista huomata, että pelkästään Kiinassa lämpöpumppuvalmistajia löytyi yksinkertaisella haulla yli 40 kappaletta. Myös Yhdysvalloissa



oli runsaasti (10–20) valmistajia joista en ollut aikaisemmin kuullutkaan. Suurin osa näistä valmistajista oli suuntautunut kuluttajakauppaan ja tarjosi enimmäkseen ilmalämpöpumppuja.

Mielenkiintoista markkinatutkimuksessa oli se, että ulkomaiset yritykset vastasivat ammattikorkeakoulun sähköpostista lähetettyihin tiedusteluihin huomattavasti nopeammin kuin kotimaiset. Esimerkiksi Advansor, Kensa ja Friotherm vastasivat kaikki vuorokauden sisällä ja vastausten sävy oli poikkeuksetta varsin ystävällinen.

8.4 Reunaehdot

Reunaehtojen kannalta oli merkittävintä havaita, että maalämpöhankkeen tekniselle toteuttamiselle tuskin on esteitä missään nykyisessä tavaratalossa tai tulevassa Kuopion tavaratalossa. Varmuuden tähän asiaan saa varsin helposti teettämällä koeporauksen jokaisella tontilla (Espoo, Vantaa, Raisio, Kuopio). Koeporaus kertoo lopullisesti miten hyvin tontin kallioperän rakenne ja pohjavesiolosuhteet soveltuvat lämpökaivojen tekemiseen.

Nykyiset lämmitysmuodot tai tonttien pinta-alatkaan eivät nouse esteeksi. Kaikki nykyiset tavaratalot lämmitetään pääosin ilmalla joka soveltuu hyvin myös maalämmön käyttöön. Pienimmänkin tontin pinta-ala on yli 8 hehtaaria, joten lämpökaivojen vaatima noin 2000 neliömetrin ala tonteilta kyllä löytyy, varsinkin kun lämpökaivot voidaan tarvittaessa sijoittaa pysäköintialueen tai jopa itse rakennuksen alle. Tampereen tavaratalosta saadut positiiviset kokemukset poraustyön kestostakaan eivät nouse esteeksi. Nykyisissä tavarataloissa tosin tulee lämmönjakohuoneen pinta-alavaatimus. Nykyisiin tiloihin Espoossa tai Vantaalla ei mahdu lämpöpumppuja tai niiden apulaitteita. Lämmönjakohuoneet tulee siis laajentaa tai mahdollisesti sijoittaa uudelleen peruskorjauksen tai laajennushankkeen yhteydessä.



Tärkeimpänä asiana kaikista näen oikean hankintamallin kun seuraavaa maalämpöurakkaa lähdetään toteuttamaan. Maalämpöurakan suunnittelu ja rakennuttaminen tulisi antaa yhtenä kokonaisuutena asiaan vihkiytyneelle ja hyviä tuloksia saavuttaneelle konsultille joka myös valvoisi urakan toteuttamisen ja olisi tukena käyttöönotossa sekä myöhemmässäkin käytössä. Tämän ulkopuolisen konsultin pitäisi päästä vaikuttamaan myös lämpöpumppuja ohjaavaan automatiikkaan niin, että järjestelmällä saavutettaisiin mahdollisimman hyvin sen potentiaali.



9 Jatkotutkimistarpeet

9.1 Käyttöveden lämmitys aurinkokeräimellä

Lämpöpumpun lauhtumislämpötilan alentamiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi lämmin käyttövesi voitaisiin lämpöpumpun sijasta tehdä pelkästään aurinkokeräinten tai aurinkokeräinten ja sähkövastuksen avulla. Varsinkin kesäaikaan veden lämmittämisestä olisi merkittävä hyöty, koska veden kulutuskin on silloin ylimmillään tavaratalon ison asiakasmäärän vuoksi.

Aurinkokeräinten tuottaessa lämpöenergiaa lämpöpumppu saataisiin toimimaan alemmalla lauhtumislämpötilalla ja lämpökerroin paranisi. Kesäaikaan lämpöpumput voitaisiin ajoittain jopa pysäyttää. Aurinkokeräimiä voisi hyödyntää myös lämpökaivojen lataamiseen lämpöenergialla loppukeväästä alkusyksyyn.

Aurinkokeräimistä on yhä enenevässä määrin saatavilla käyttökokemuksia IKEA tavarataloista Keski- ja Etelä-Euroopassa.

9.2 Lattialämmityksen hyödyntäminen

IKEA tavaratalossa lattialämmityksen hyödyntämistä voisi tutkia lisää etenkin tiloissa missä on isoja ikkunapintoja. Näitä tiloja ovat tyypillisesti toimistotilat, henkilökunnan ravintola, asiakasravintola sekä ulos- ja sisäänkäynti.

Maalämmön alhainen lämpötilataso radiaattoreissa aiheuttaa tarpeen varsin isoille radiaattoreille. Isot radiaattorit peittävät näkyvyyden ikkunan alaosassa ja tekevät tilan kalustamisesta haastavaa.



Radiaattoreiden korvaaminen kokonaan lattialämmityksellä parantaisi merkittävästi maalämpöpumppujen energiatehokkuutta, sillä lattialämmityksen matala lämpötilataso mahdollistaisi maalämpöpumpun alemman lauhtumislämpötilan.

Lisäksi lattialämmityksen voisi tehdä varaavaksi, jolloin lattialämmityspiiriä ei tarvitsisi lämmittää pakkasilla talvipäivänä samanaikaisesti kun tehontarve on myös ilmalämmityksessä suuri. Varaavuutta hyväksikäyttäen maalämpöpumppujen huipputehon voisi mitoittaa pienemmäksi ja saada säästöä lämpöpumppuhankinnassa.

Eriyisen mielenkiintoista olisi tutkia lisää aurinkokeräinten, varaavan lattialämmityksen ja maalämpöpumppujen tehokasta yhdistämistä.

9.3 Ilmalämpöpumppujen hyödyntäminen

IKEA tavaratalossa ilmalämpöpumppujen hyödyntämistä jäähdytykseen voisi tutkia lisää tiloissa missä on suuria lämpökuormia. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi tiskihuone ja ravintolakeittiö.

Kovilla helteillä jäähdytystä saataisiin tehostettua ilmalämpöpumpuilla eikä perusilmanvaihdon kanaviin syntyisi riskiä liian alhaisen tuloilman aiheuttamasta veden tiivistymisestä. Erityisesti tiskihuoneessa missä kosteus on muutenkin suuri on myös riski kondensoitumisesta suurin.

Tavaratalon käytön aikana ilmalämpöpumppu on yleisesti vaivaton asentaa hoitamaan minkä tahansa tilan muuttuneita tarpeita.



9.4 Muut uusiutuvat lämmitysmuodot

IGR projektin tavoitteiden mukaisesti tavaratalot pyritään lämmittämään uusiutuvalla energialla. Tässä tutkimuksessa käsitellyn maalämmön lisäksi tulisi selvittää muidenkin uusiutuvien lämmitysmuotojen käyttöä. Suomen olosuhteisiin soveltuvia muita muotoja ovat lähinnä erilaisten biomassojen polttomenetelmät.

Polttoainevaihtoehtoja ovat esimerkiksi turva, hake, pelletti, puu, sekä nestemäiset biopolttoaineet kuten bioetanoli ja biodiesel.

Erityisen mielenkiintoiseksi biopolttoaineiden käytön tekee se, että tavarataloissa syntyy suuria määriä puujätettä vuosittain. Esimerkiksi Espoon ja Vantaan tavaratalojen yhteenlaskettu puujätteen määrä on noin 400 tonnia vuodessa. Tämän jätteen käytöstä lämmitykseen muissa IKEA maissa on jo kokemuksia, vastaavia järjestelmiä on rakennettu ainakin Englannissa. Tämän jätteen hyödyntäminen aiheuttaisi merkittäviä säästöjä myös tavaratalon operatiiviseen toimintaan halvemman jätehuollon muodossa.

Pellettilämmitys lienee tällä hetkellä muista uusiutuvista lämmitysmuodoista helppokäyttöisin. Se on edullista, helposti saatavaa ja vähän käyttäjän toimenpiteitä vaativa lämmitysmuoto.

Pellettilämmityksestä jo saatujen vuokraperiaatteeseen perustuvien avaimet käteen -tarjousten vertaaminen omaksi hankittuun pellettilämmitysjärjestelmään antaisi lähtökohtia tulevaisuudensuunnitelmille.



LÄHTEET

KIRJALLISUUS

- Aittomäki, Antero. 1992. Kylmäteknikka. Helsinki: Kylmätuki Oy.
- Aittomäki, Antero. 2001. Lämpöpumppulämmitys. Espoo: SULPU ry.
- Aittomäki, Antero. 2000. Jätevesilaitoksen lämpöpumppujärjestelmän toiminta ja mitoitus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Enbom, Sten. 1995. Kylmän välttämättömyys: kylmäteknikan voitonmarssi Suomessa. Helsinki: Kylmätuki Oy.
- Erat, Bruno, Erkkilä, Vesa, Nyman, Christer, Peippo, Kimmo, Peltola, Seppo, Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry
- Erkkilä, Vesa. 2003. Aurinkolämpöopas rakentajille ja suunnittelijoille. Helsinki: Rakennusalan Kustantajat RAK.
- Hakala, Pertti, Kaappola, Esko. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus.
- Juva, Henri. 1982. Talo ja koti -opassarja 11: Maalämpö ja lämpöpumput. Helsinki: Rakentajain kustannus Oy.
- Juvonen, Janne. 2009. Ympäristöopas 2009: Lämpökaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus
- Nydal, Roald. 2002. Käytännön kylmäteknikka. Suomentanut Markku Muuronen. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.
- Perälä, Rae. 2009. Lämpöpumput: Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Helsinki: Alfamer Oy.
- Poppei, Joachim, Schwarz, Rainer, Mattsson, Nina, Laloui, Lyesse, Wagner, Roland, Rohner, Ernst. 2006. Innovative Improvements of Thermal Response Test. Swiss Federal Office of Energy
- Rosen, Bengt, Gabrielsson, Anna, Fallsvik, Jan, Hellström, Göran, Nilsson, Gunnel. 2001. System för värme och kyla ur mark – En nulägesbeskrivning. Linköping: Statens Geotekniska Institut
- Sundell, Lasse, Kauhanen, Keijo, Kansikas, Risto. 1981. Energiavaihtoehdot: aurinko, tuuli, maalämpö. Helsinki: Infopress Oy



HAASTATTELUT

Insinööritoimisto Kontermo Oy Johannes Helander 22.10.2009

Pirkanmaan porakaivo Oy Tuija Hoikkala 18.10.2009 ja 26.11.2009

Suomen porauspalvelu Oy Tor Enqvist 23.10.2009

Tampereen Teknillinen Yliopisto Antero Aittomäki 6.11.2009

INTERNET-LÄHTEET

BSRIA The built environment experts. [www-sivu]. [viitattu 29.7.2009] Saatavissa:
<http://www.bsria.co.uk/news/heatpump08/>

Callidus. 2009. [www-sivu] [viitattu 4.10.2009] Saatavissa:
<http://www.callidus.fi/index.php?k=9077>

Commonwealth of Pennsylvania. 2001. Ground Source Heat Pump Manual [viitattu 18.10.2009] Saatavissa:
<http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/Get/Version-48360/383-0300-001.pdf>

ehpa European Heat Pump Network. 2009. European heat pump statistics: Outlook 2008 [viitattu 29.7.2009] Saatavissa:
<http://www.ehpa.org/script/tool/forg/doc523/20080908-21%20heat%20pump%20outlook%202008.pdf>

Energieateollisuus ry. [www-sivu]. [viitattu 26.7.2009] Saatavissa:
<http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/uudetenergiantuotantote kniikat/geoterminenenergia>

EU. 2009. Direktiivi uusiutuvan energian edistämisestä: Yleistajuinen tiivistelmä [viitattu 29.7.2009] Saatavissa:
http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/2008_res_citizens_summary_fi.pdf

GTK Geologian tutkimuskeskus. [www-sivu]. [viitattu 17.10.2009] Saatavissa:
<http://www.gtk.fi>

Hirvonen, Jukka. 2009. Sulpu 10 v: 10 vuotiaan SULPUn toiminta, lämpöpumppu-markkinat Suomessa ja Euroopassa [viitattu 26.7.2009] Saatavissa:
http://www.sulpu.fi/images/stories/10v_seminaari/sulpu_jussi_hirvonen_esitys_10v.pdf



- IEA Heat Pump Centre. 2009. Heat pumps can cut global CO2 emissions by nearly 8% [viitattu 26.7.2009] Saatavissa: <http://www.heatpumpcentre.org/>
- IEA Heat Pump Centre. 2009. Newsletter 1/2009: Ground Source Heat Pumps [viitattu 26.7.2009] Saatavissa: <http://www.heatpumpcentre.org/>
- Innovative Improvements of Thermal Response Test [www-sivu] [viitattu 17.10.2009] Saatavissa:http://lmswww.epfl.ch/Common_Documents/Consulting_Services/Intermediate%20report%20SFOE%202006.pdf
- Kallio, Jarmo. 2008. Maa- ja kalliolämpö (geoenergia) suurkohteissa. [viitattu 17.10.2009] Saatavissa: http://projects.gtk.fi/export/sites/projects/energiaseminaari/esitykset/12-Kallio_Jarmo-Kalajoki.pdf
- Mitsubishi. 2009. [www-sivu] [viitattu 3.10.2009] Saatavissa: http://www.mhi.co.jp/aircon/english/transport/image/marine/mar_c.gif
- Scaeffler Group [www-sivu] [viitattu 14.06.2009]. Saatavissa:www.schaeffler.com/content.schaeffler.de/en/branches/industry/heavy_industry/airhandling/applairhandling/compressors/screwtypecompressors_1/screw_type_compressors.jsp
- SULPU ry. [www-sivu]. [viitattu 26.7.2009] Saatavissa: <http://www.sulpu.fi>
- SULPU ry. 2009. Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. [viitattu 2.8.2009] Saatavissa: http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=82
- Suomen Kylmäliikkeiden Liitto ry. [www-sivu]. [viitattu 12.11.2009] Saatavissa: http://www.skll.fi/Aset_842_lyh.pdf
- Technical Training Associates. 2009. [www-sivu] [viitattu 3.10.2009] Saatavissa: <http://www.technicaltrainingassoc.com/Image12.gif>
- The Engineering Toolbox. 2009. [www-sivu][viitattu 12.11.2009] Saatavissa: http://www.engineeringtoolbox.com/cop-eer-d_409.html
- WarmAir.net. 2009. [www-sivu] [viitattu 6.8.2009] Saatavissa: http://warmair.net/html/refrigeration_cycle.htm



Heat Pump Survey

This survey collects information of geothermal ground to water heat pump installations we have in IKEA stores. It will help us to evaluate future systems and hopefully to find new heat pump manufacturers. Thanks for your time!

Contact information	
Country:	Store name:
Contact person name:	Memo id:

Store information	
Store total floor area (m2):	Store volume (m3):
Heating demand (kWh/year):	Cooling demand (kWh/year):

Borehole and heat pump information	
Amount of boreholes (pcs):	Total length of boreholes (m):
Borehole area at site (m2):	Amount of heat pumps:
Heat pump manufacturer:	Heat pump model:
Compressor type (piston/scroll/screw/something else):	
Amount of compressors per heat pump (pcs):	
Amount of power steps per heat pump (pcs):	
Electrical power (kW):	Heating power (kW):
Cooling power (kW):	Coolant:

Heating and tap water information	
Heating distribution system 1 (air/radiators/something else):	
Heating distribution system 2 (air/radiators/something else):	
Tap water heating system (superheat/electrical resistor/something else):	
Free comments:	

Cost information	
Drilling cost (€):	Heat pump cost (€):
Installation cost (€):	Total cost (€):
Maintenance cost per year (€):	Installation year:

How satisfied you are with the...	Very Satisfied	Satisfied	Neutral	Unsatisfied	Very Unsatisfied
...borehole drilling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump installation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump user friendliness	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump technical quality	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump noise level	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump at heating mode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump at cooling mode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...system dimensioning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...heat pump energy efficiency in general	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...using heat pump in general	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Please specify any general comments you have, things you would do another way, suggestions for coming installations, tips for settings and maintenance etc.

General comments

Thank You for Your Help!