

Toni Hakala

LÄMMÖNTUOTANTOLAITOKSEN
MUUTOS
MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄKSI
ASUINRAKENNUKSESSA JA
JULKISESSA RAKENNUKSESSA

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä	
Tekijä(t) Toni Hakala	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Lämmöntuotantolaitoksen muutos maalämpöjärjestelmäksi asuinrakennuksessa ja julkisessa rakennuksessa		
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä vertailua asuinrakennuksen sekä julkisen rakennuksen nykyisen lämmöntuotantotavan ja maalämpöjärjestelmän välillä. Työn toimeksiantajana toimi Insinööri Studio Oy. Tarkoituksena oli selvittää, mitä maalämpöön siirtymiseen vaaditaan, mitkä maalämmön vaikutukset ovat nykyiseen lämmitysjärjestelmään, minkälaisia säästöjä maalämmöllä saavutetaan ja mitkä sen ympäristövaikutukset ovat nykyiseen lämmöntuotantotapaan verrattuna. Kohderakennuksina olivat asuinrivitalo, asuinkerrostalo sekä koulurakennus. Kaikki rakennukset sijaitsevat Etelä-Kymenlaaksossa.</p> <p>Kohteista selvitettiin rakennuksen lämmityksen huipputehontarpeet nykyisen lämmitysenergian kulutuksen perusteella. Nibe VPDIM -valintaohjelman avulla kohteisiin valittiin sopivat maalämpöpumput ja CADS-suunnitteluohjelman avulla tarkistettiin nykyisten lämmönluovuttimien tehojen riittävyys matalammille mitoitustilanteille tekemällä pistokokeita. Lämpökaivojen määrät ja pituudet saatiin selvitettyä lämmitysenergiatarpeen avulla. Lämpökaivojen poraamiselle ei löytynyt estettä missään kohteessa.</p> <p>Kohteiden maalämpöjärjestelmillä saavutetaan noin 50-60 prosentin säästöt vuotuisissa lämmitysenergiakustannuksissa nykyiseen lämmitysjärjestelmään verrattuna. Osatehomitoitettulla maalämpöpumpulla pystytään kattamaan rakennuksen lämmitysenergian tarve lähes 100-prosenttisesti. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika riippuu nykyisestä lämmöntuotantotavasta. Tutkittavissa kohteissa takaisinmaksuaika vaihtelee tulosten perusteella 6 ja 9 vuoden välillä. Maalämpöjärjestelmä on myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin fossiiliset polttoaineet, mutta yhteistuotannon kaukolämpö on primäärienergialla mitattuna kaikista ympäristöystävällisin. CO₂-päästöt ovat maalämmöllä huomattavasti matalammat kuin esimerkiksi öljylämmityksessä. Myös primäärienergian määrä maalämmityksessä on alhainen fossiilisilla polttoaineilla tuotettuun lämmitysenergiaan verrattuna.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Maalämpö, maalämpöpumppu, lämmitys, energiatehokkuus, taloudellisuus		
Sivumäärä 64+10	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Insinööri Studio Oy	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Toni Hakala		Degree programme and option Building services	
Name of the bachelor's thesis The change of current heating production facility into geothermal heating system in residential building and public building			
Abstract <p>The purpose of the thesis was to compare current heating production system and geothermal heating system in residential building and public building. This thesis was assigned by Insinööri Studio Oy. Target buildings were residential row house, residential apartment house and a school building. All of them were located in southern Kymenlaakso. The purpose was to clarify requirements of geothermal heating system, effects of geothermal heating system on the current heating system, what kind of savings can be reached with geothermal heating and what kind of environmental effects the geothermal heating system has.</p> <p>Calculations of heating peak power of target buildings were based on current heating energy consumption. Proper ground source heat pumps were selected to buildings with the help of Nibe VPDIM selecting application. The suitability of current heating radiators in geothermal heating system was checked with CADS designing program. The amount and length of heat wells were calculated by on demand of heating energy. There were no blockades in target buildings for drilling the boreholes.</p> <p>As the results in target buildings, comparing to current heating system the annual savings in heating energy are 50 to 60 % with geothermal heating system. The need of building's heating energy can be covered almost one hundred per cent when ground source heat pump is dimensioned between 60 to 80 % of the peak power. The repayment period depends on current heating production. In target buildings the repayment period variables between 6 and 9 years based on results. Geothermal heating system is also more environmentally friendly than fossil fuel heating systems like oil or gas. Best for environment is CHP district heating. Carbon dioxide emissions are much lower in geothermal heating than, for example, in oil heating system. Amount of primary energy is also low in geothermal heating system compared to heating energy, which is produced with fossil fuels.</p>			
Subject headings, (keywords) Geothermal heating, ground source heat pump, heating, energy efficiency, economic efficiency			
Pages 64+10	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Jarmo Tuunanen		Bachelor's thesis assigned by Insinööri Studio Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	MAALÄMPÖ LÄMMÖNLÄHTEENÄ	2
2.1	Lämpöpumpppu-prosessi	3
2.2	Maa lämmönlähteenä	4
2.2.1	Vaakaputkisto	6
2.2.2	Lämpökaivo	6
2.2.3	Lämmönkeruu vesistöistä	9
2.3	Kylmäaineet	9
2.4	Lupamenettelyt	10
2.4.1	Toimenpidelupa	10
2.4.2	Luvat pohjavesialueilla	11
2.4.3	Asennusluvut ja -pätevyudet	12
3	TEKNISET JÄRJESTELMÄT	13
3.1	Lämpöpumpppu-prosessi	13
3.1.1	Lämpökerroin	14
3.1.2	Täysteho- ja osatehomitoitus	16
3.1.3	Lisälämmönlähteet	17
3.1.4	Tulistuspiiri	18
3.1.5	Vaihteleva lauhdutus	18
3.1.6	Kiinteä lauhdutus	19
3.2	Rakennusten lämmönjakojärjestelmät	19
3.3	Käyttövesiverkostot	21
3.4	Hybridijärjestelmät	21
4	TALOUDELLISUUS	22
4.1	Investoinnin kannattavuus	22
4.2	Energiankulutus	24
4.3	Takaisinmaksuaika	25
5	YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	25
5.1	Ympäristölle vaaralliset aineet	25
5.2	Primäärienergiakerroin	26
5.3	Energiakerroin	27
5.4	Ominaispäästökerroin	28

6	KOHDERAKENNUKSET	30
6.1	Rivitaloyhtiö	30
6.2	Kerrostalo-yhtiö	30
6.3	Koulurakennus	31
7	MUUTOS MAALÄMPÖÖN.....	31
7.1	Tekniset järjestelmät	32
7.1.1	Rakennuksen lämmityksen huipputehontarve	32
7.1.2	Maalämpöpumpun valinta	35
7.1.3	Lämmönlouovuttimet.....	38
7.1.4	Lämpökaivot	40
7.2	Taloudellinen näkökulma	42
7.2.1	Investoinnit	42
7.2.2	Energiankulutus	43
7.2.3	Kokonaiskustannukset ja takaisinmaksuaika	46
7.3	Ympäristövaikutukset	49
7.3.1	Hiilidioksidipäästöt ja ydinjäte	49
7.3.2	Primäärienergiämäärät	51
7.3.3	Energiamuotokertoimilla lasketut vertailuarvot	53
7.4	Kokemuksia maalämmöstä	54
7.4.1	Ljuskärnsberget, Tukholma	54
7.4.2	Pietanpolku, Kotka.....	55
7.4.3	As Oy Kivelänkatu 1b, Helsinki	56
7.4.4	Mäntyharjun kirkko	57
8	POHDINTA	57
	LÄHTEET.....	61

LIITTEET

- 1 Esimerkkejä maalämpöpumpun kytkentäkaavioista
- 2 Lämpöpumpun kattama osuus lämmitysenergian tarpeesta
- 3 Kotkan pohjavesialueet
- 4 Haminan pohjavesialueet
- 5 Kohteiden maalämpöpumppujen mitoitukset

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, mitä maalämpöön siirtymiseen vaaditaan, mitkä maalämmön vaikutukset ovat nykyiseen lämmitysjärjestelmään, miten suuria säästöjä maalämpöjärjestelmällä voidaan saavuttaa ja mitä ympäristövaikutuksia maalämmöllä on. Lisäksi kerätään käyttäjäkokemuksia kohteista, joissa on jo siirrytty nykyisestä lämmitysjärjestelmästä maalämpöön. Tutkimuksen toimeksiantajana toimii Insinööri Studio Oy, joka on LVI-, sähkö- ja rakennussuunnittelutoimisto. Lisäksi yritys tarjoaa sisäilmasto- ja rakennusteknisiä palveluja. Tutkimuksesta saadaan käytännön esimerkki tulevia projekteja varten.

Tutkittavina kohteina toimivat Etelä-Kymenlaaksossa sijaitsevat öljylämmitteinen asuinrivitalo, maakaasulämmitteinen asuinkerrostalo sekä kaukolämpöön liitetty koulurakennus. Jokaisessa kohteessa on ilmennyt mielenkiintoa maalämpöön siirtymiseen.

Lämmitysenergian, kuten öljyn ja maakaasun, hinta on viime vuosina kohonnut. Tämä on ohjannut ihmisiä miettimään vaihtoehtoisia lämmitystapoja. Myös ihmisten mielenkiinto ympäristöä kohtaan on kasvanut. Päästöjä halutaan tuottaa entistä vähemmän, mikä tarkoittaa lisääntyvää uusiutuvan energian käyttöä. Maalämmön suosio kiinteistöjen lämmityksessä on 2000-luvulla kasvanut räjähdysmäisesti.

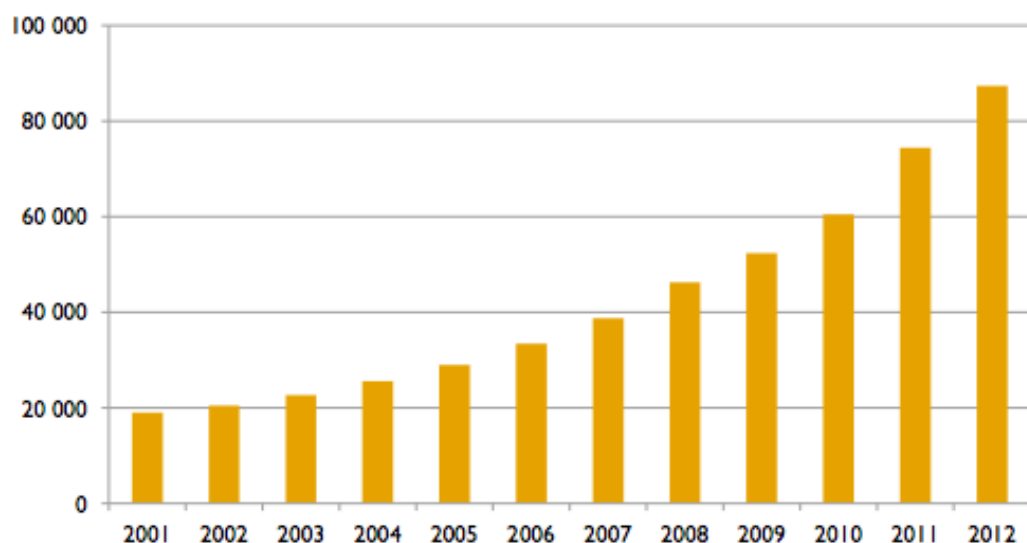
Maalämpöön siirtyminen on suuri projekti, jossa on otettava huomioon monia eri seikkoja. Työn teoriaosuudessa käydään läpi maalämmön luvanvaraisuutta, maalämpöpumppujen tekniikkaa sekä lämmönkeruupiirin ominaisuuksia. Lisäksi käsitellään seikkoja, joista maalämpöjärjestelmän kustannukset koostuvat ja miten sen kannattavuutta pystytään arvioimaan. Maalämpöjärjestelmän ympäristövaikutuksia käydään lopuksi läpi hiilidioksidipäästöjen ja primäärienergian näkökulmasta.

Suurin ongelma maalämpöön siirtymisessä on kiinteistön sijainti pohjavesialueisiin nähden. Mikäli pohjavesialue sijaitsee lähetyvillä, lämpökaivojen poraaminen voidaan kieltää. Tällöin maalämmön hyödyntäminen voi estyä kokonaan, sillä lämmönkeruuvaihtoehtona oleva vaakaputkisto vaatii huomattavasti enemmän tonttipinta-alaa kuin lämpökaivot.

Työn tavoitteena on siis saada tietoa maalämpöjärjestelmän soveltuvuudesta kohteisiin, sen kannattavuudesta sekä ympäristövaikutuksista nykyiseen lämmöntuotantojärjestelmään verrattuna. Laskentamenetelmiä sekä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, sillä rakennusten lämmitysjärjestelmien saneeraustarve kasvaa Suomessa. Tuloksista hyötyvät myös kiinteistöjen käyttäjät, jotka pohtivat muutosta maalämpöön.

2 MAALÄMPÖ LÄMMÖNLÄHTEENÄ

Suomessa maalämpö on kasvattanut suosiotaan jo usean vuoden ajan. Ensimmäiset maalämpöpumppujärjestelmät Suomessa otettiin käyttöön 1970-luvun puolivälissä. 1980-luvulla suosio romahti ja myyntiä ei käytännössä tapahtunut noin kymmeneen vuoteen. 1990-luvun lopulla suosio lähti jälleen nousuun ja 2000-luvulla kasvu on ollut nopeaa. Kasvua on tapahtunut 20-30 % vuodessa ja vuonna 2006 noin joka viidenteen uuteen pientaloon lämmönlähteeksi valittiin maalämpö. Nykyään uusista pientaloista 30-40 % valitsee maalämmön lämmönlähteekseen. Vuonna 2012 myytiin 13 000 maalämpöpumppua ja kyseisen vuoden lopulla Suomessa oli noin 80 000 asennettua maalämpöpumppua. /1; 2, s. 11./ Kuvassa 1 on esitettyä Suomeen asennettujen maalämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 2000-luvulla.

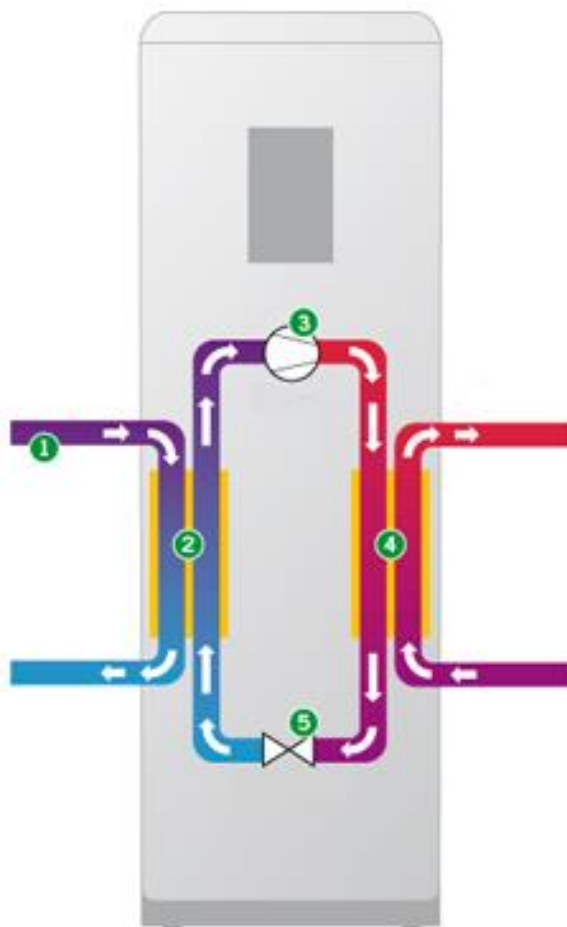


KUVA 1. Suomeen asennettujen maalämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 2000-luvulla /2/

Energian, kuten maakaasun ja öljyn, hinnan nousu sekä paine uusiutuvien energianlähteiden käyttämiseen on lisännyt maalämmön suosiota /2/. Myös uusiutuvan energian avustukset valtiolta ovat osaltaan helpottaneet päätöksiä maalämpöön siirtymiseen. Asumisen rahoittamis- ja kehityskeskus myöntää pientaloille harkinnanvaraista energia-avustusta toimenpiteille, joilla parannetaan rakennuksen energiataloutta tai käytetään lämmityksessä uusiutuvaa energiaa. Maalämpöpumppujärjestelmien asennukset kuuluvat tuettaviin toimenpiteisiin. Energia-avustuksen määrä voi olla maksimissaan 25 prosenttia kunnan hyväksymistä kustannuksista. /3./

2.1 Lämpöpumppuprosessi

Lämpöpumppuprosessina on pääasiassa suljettu kylmäaineen kiertoprosessi. Suljetussa kiertoprosessissa putkistoissa virtaava aine ei poistu kiertopiireistä. Esimerkiksi lämmönjakoverkostot ovat suljettuja kiertopiirejä. Maalämpöpumpun tärkeimmät osat ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin sekä paisuntaventtiili. /4, s. 377./ Kuvassa 2 on esitettyä maalämpöpumpun komponenteissa tapahtuva kylmäainekierto.



KUVA 2. Maalämpöpumpussa tapahtuva kylmäainekierto /5/

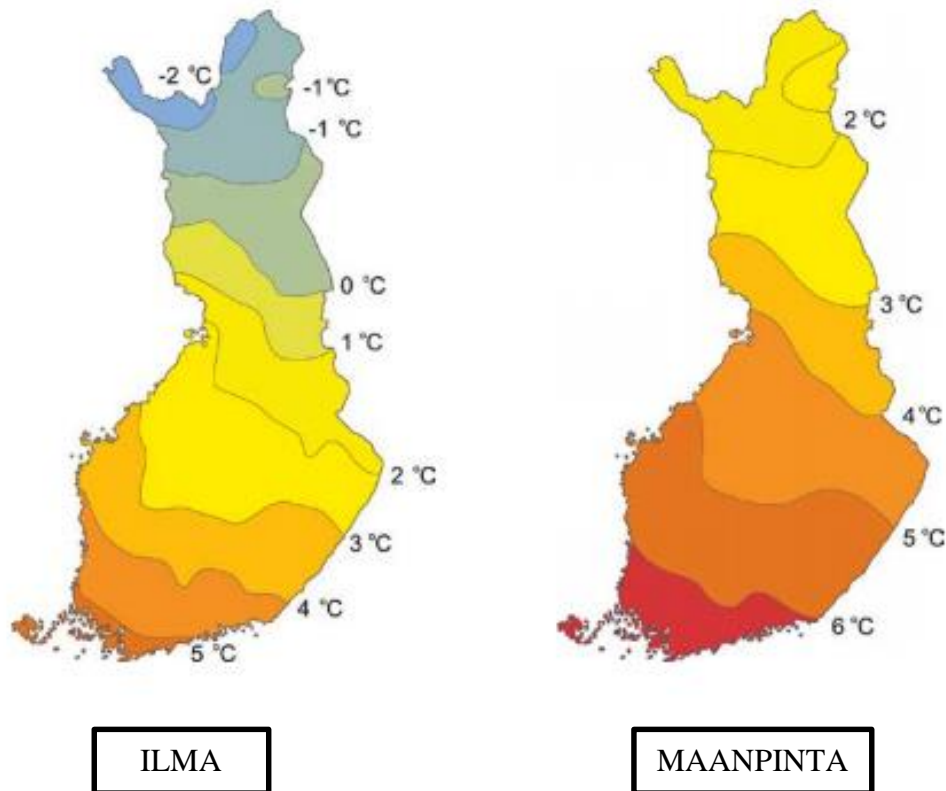
Maalämmössä lämpö otetaan vesistöistä tai maaperästä, joka on keskilämpötilaltaan ilman keskilämpötilaa korkeampi. Lämpöä kerätään muoviputkistolla, jossa kiertää lämpöä siirtävänä liuksena jäätymätöntä nestettä, yleensä vesi-glykoliseosta. Kuvassa 2 lämmönkeruupiiri on kohdassa 1. Maassa sijaitseva putkisto voi olla vaakasennossa noin metrin syvyydessä, jolloin lämpö otetaan pintamaasta, tai pystyasennossa, jolloin lämpö kerätään useiden kymmenien, jopa satojen, metrien syvyydeltä. Lämmönkeruupiiri voi olla myös avoin, jolloin lämmönkeruunesteinä kierrätetään pohjavettä. Avoimessa lämmönkeruupiirissä pohjavesi pumpataan siirtoputken avulla maanpinnalle ja kierrätetään lämpöpumpun kautta takaisin pohjavedeksi. Käytetty pohjavesi voidaan johtaa myös pintavesiin. Avoimessa lämmönkeruupiirissä lämmönkeruuneste siis vaihtuu koko ajan. /2, s. 9; 4, s. 385; 6, s. 350; 7./

Lämmönkeruupiirissä kiertävä liuos kiertää maalämpöpumpun höyrystimen kautta, jossa lämmennyt lämmönkeruuneste höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Höyrystymisen lisäksi kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä. Kuvassa 2 höyrystin on kohdassa 2. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, jossa puristustyön tuloksena kylmäaineen paine sekä lämpötila nousevat. Kuvassa 2 kompressori on kohdassa 3. Kompressorista tämä tulistunut kylmäaine siirtyy lauhduttimeen, jossa kylmäaine luovuttaa lämpönsä käyttöveden sekä lämmitysveden lämmittämiseen. Kuvassa 2 lauhdutin löytyy kohdasta 4. Lauhduttimesta saatava lämpö on höyrystimeen sitoutuneen lämmön sekä kompressorin tekemän työn summa. Samalla kylmäaine muuttaa olomuotoaan höyrystä nesteeksi lämpötilan laskiessa. Lauhduttimelta nestemäinen kylmäaine virtaa paisuntaventtiiliin, jossa sen paine lasketaan alkutilanteeseen ja kiertäminen alkaa alusta. Paisuntaventtiili on kuvassa 2 kohdassa 5. /4, s. 377; 7./

2.2 Maa lämmönlähteenä

Maaperän pintaosissa, noin 1-15 metrin syvyydellä oleva lämpö on pääasiassa varastoitunutta auringon lämpöä. Syvällä kallioperässä lämpö on radioaktiivisten aineiden hajoamisen tuotteena syntyvää geotermistä energiaa. Suomessa maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila on noin 2°C lämpimämpi kuin ilman vuotuinen keskilämpötila. Maanpinnan vuotuinen keskilämpötila vaihtelee maantieteellisen ja paikallisen sijainnin mukaan. Rakennetulla alueella maanpinnan lämpötila voi olla useita asteita lämpimämpi kuin luonnontilaisessa metsässä. Etelä-Suomessa maanpinnan keskilämpötila vakiintuu 5-6 asteeseen noin 15 metrin syvyydessä ja tätä syvem-

mällä lämpötila nousee 0,5-1 astetta jokaista sataa metriä kohden. /2, s. 8./ Kuvassa 3 näkyy maanpinnan vuotuinen keskiarvo eri osissa Suomea.



KUVA 3. Ilman ja maanpinnan vuotuinen keskilämpötila. Vertailukausi 1971-2000 /2/

Maaperän lämpötilan jäähtyminen tulee ottaa huomioon kerätessä lämpöä maasta. Lämmönkeruuputkea on oltava riittävästi, jotta maaperän lämpötilan häiriintymistä ei tapahdu. Maaperän lämpötilan on palaututtava normaalilämpötilaansa kevään ja kesän aikana. Maan täytyy myös sulaa putkiston ympärillä mikäli se on jäänyt. /4, s. 385; 6, s. 351./

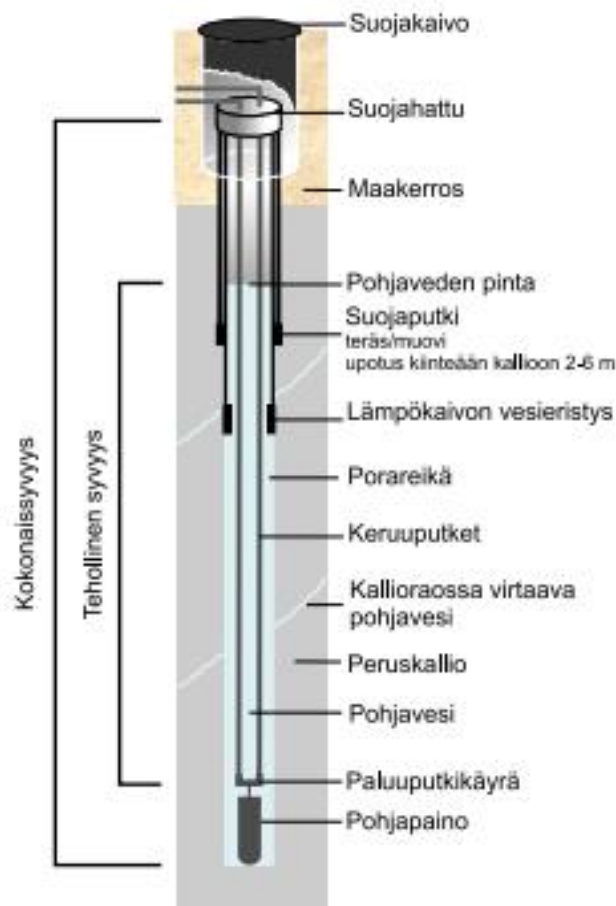
Kerätessä lämpöä vesistöistä on tärkeää, että veden lämpötila putken ympärillä ei pääse laskemaan alle +1°C. Keruuputken pinnalle kertynyt jää saattaa nostaa putken veden pinnalle. /8./

2.2.1 Vaakaputkisto

Vaakaputkisto asennetaan 1-1,5 metrin syvyyteen, jolloin lämmönkeruu tapahtuu pinta-alaasta. Ratkaisu vaatii kuitenkin paljon tonttipinta-alaa sillä putkimetriä kohden tarvitaan noin 1,5 neliometriä tonttimaata ja rakennuskuutiota kohden 1-2 metriä lämmönkeruuputkea. Maaperän laatu vaikuttaa putkimetriä määrittävään huomattavasti. Savimaahan tarvittava keruuputken määrä on 30-40 % pienempi kuin hiekkamaahan tarvittava, koska savi sisältää enemmän kosteutta kuin hiekkamaaperä. Kosteus parantaa maan lämmönsiirtokykyä. Putkiston asentamista kulkureittien ja pihateiden alle tulee välttää sillä putkisto on niiden kohdalla suojattava roudalta ja näin ollen lämmönkeruuta ei pääse tapahtumaan. Myöskään kivinen maasto ei sovellu vaakaputkistolle roudan takia. Vaakaputkisto on porakaivoja halvempi vaihtoehto, mutta saneerauskohteissa pihatyöt ovat suuria. /4, s. 386; 7; 9, s. 10-11./

2.2.2 Lämpökaivo

Lämpökaivoratkaisu (ts. pystyputkitus) on kalliimpi, mutta vähemmän tonttipinta-alaa vievä ratkaisu kuin vaakaputkisto. Lämpökaivoja kutsutaan myös energiakaivoiksi, sillä maalämmön avulla voidaan tuottaa lämmön lisäksi jäähdytysenergiaa. Suomeen asennetuista maalämpöjärjestelmistä 80-90 prosenttia käyttää lämmönkeruuseen lämpökaivoja, mikä tekee siitä ylivoimaisesti suosituimman lämmönkeruutavan. Lämpökaivot ovat ulkohalkaisijaltaan 105-165 mm porakaivoja, joissa lämmönkeruuputkisto kiertää. Porakaivon maksimisyvyys on käytännössä 200-250 metriä, mutta syvyys voi joissakin tapauksissa olla jopa 300 metriä. Lämpökaivon vedentuotto lisää saatavan energian määrää. Yleensä lämpökaivo täyttyy vedellä muutamassa päivässä porauksen jälkeen, mutta joissakin tilanteissa se joudutaan itse täyttämään. Syvyyttä, jossa lämmönkeruuputket ovat vedessä, kutsutaan teholliseksi syvyydeksi. Lämpöpumppuvalmistajien mitoitusohjelmat yleensä lisäävät teholliseen syvyyteen 10-20 metrin varmuusmarginaalin riittävän tehonsaannin takaamiseksi. /2; 7; 8./ Kuvassa 4 on esitettyinä lämpökaivon rakenne.



KUVA 4. Lämpökaivon rakenne /2/

Lämpökaivon yläosassa sijaitsevan pehmeän maakerroksen kohdalle asennetaan teräksinen suojaputki, jolla estetään maa-aineksen pääsy kallioon porattuun reikään ja samalla pohjaveteen. Suojaputki upotetaan kallioon 2-6 metrin verran. Kallion kiinteys vaikuttaa upotussyvyyteen. Pohjavesialueella upotussyvyys kiinteään kallioon on aina vähintään 6 metriä. Lämpökaivo lisäksi vesieristetään vähintään 6 metrin syvyyteen maanpinnasta esimerkiksi muovisella suojaputkella. Tällä estetään hulevesien eli sade- ja sulamisvesien sekä kuivatusvesien pääsy lämpökaivoon. Pohjavesialueella vesieristys tulee aina teräksistä suojaputkea syvemmälle, kuitenkin aina vähintään kallioon asti. Keruuputkiston laskeminen porakaivoon tapahtuu pohjapainon avulla, sillä muoviputki ja lämmönkeruuneste ovat vettä kevyempiä. Tarvittaessa porareikä voidaan tulpata halutulta syvyydeltä jos pohjaveden eri kerroksien ei haluta sekoittuvan. Suojahatulla estetään huleveden ja irtoaineksen pääsy lämpökaivoon. /2, s. 33./

Lämpökaivosta saatavan lämpöenergian määrä vaihtelee maantieteellisesti. Etelä-Suomessa lämpökaivosta voidaan saada lämmitystehoa 42-43 W/m ja lämmitysenergiaa noin 150 kWh/m. Saatava lämpöteho on pienempi pohjoisessa kuin etelässä ja

Pohjois-Suomessa lämpökaivosta saadaankin lämmitystehoa 30-35 W/m ja lämmitysenergiaa noin 120 kWh/m. /10./

Maalajista, vedentuotosta ja lämmitettävän rakennuksen tehontarpeesta riippuen lämpökaivoja voi olla useampia. Tätä usean lämpökaivon muodostamaa aluetta kutsutaan energiakentäksi tai lämpökaivokentäksi. Lämpökaivojen väliset etäisyydet ovat 15-20 metriä. Mikäli ahtaissa paikoissa joudutaan vierekkäiset lämpökaivot poraamaan alle 15 metrin etäisyydellä toisistaan, käytetään vinoon porattuja reikiä. Porausreikien lähtöpisteiden etäisyyden toisistaan on kuitenkin oltava vähintään 5 metriä. Vierekkäisten porausreikien välisenä kulmana käytetään yleensä 5-30 astetta. /2; 7./

Kallioporakaivo, joka on tarkoitettu talousveden hankintaan, pystytään muuttamaan lämpökaivoksi. Ennen muutostöitä tehdään kuntokartoitus, jossa selvitetään porakaivon halkaisija, syvyys sekä vedenpinnan korkeus. Lisäksi selvitetään porareian kunto. Yleensä talousvesikaivot ovat liian matalia lämpökaivoiksi, joten saattaa olla tarpeellista porata lisäreikä. Mikäli talousvesikaivo päätetään muuttaa lämpökaivoksi, sen vettä ei suositella käytettäväksi enää mihinkään muuhun tarkoitukseen kuin lämmönkeruuseen. /2, s. 32./

Lämpökaivojen toimivuuteen liittyviä ongelmia ovat muun muassa alimitoitus. Mikäli lämmönkeruupiiristä saatavat tehot eivät riitä rakennuksen lämmitystehontarpeen kattamiseen, maalämpöpumppu saattaa tuottaa puuttuvan lisätehon lisälämmönlähteillä, jolloin hyötysuhde pienenee ja energiakustannukset kasvavat. Ongelma voi johtua myös liian lähekkäisistä lämpökaivoista. Ongelma on korjattavissa poraamalla lämpökaivoa syvemmäksi tai poraamalla enemmän lämpökaivoja mikäli edellä mainittu ei ole mahdollista. Myös rakennuksen lisäeristäminen voi auttaa. /2, s. 45./

Myös lämpökaivon jäätyminen tai sortuminen on toimivuuteen vaikuttava ongelma. Lämpökaivon alimitoituksen takia lämpökaivo voi jäätyä umpeen, jolloin lämmönkeruuputkisto saattaa painua yhteen. Tällöin lämmönkeruuneste ei pääse virtaamaan suunnitellusti. Lämpökaivon sortuminen riippuu maaperän rakenteesta. Sortumisriski on suurempi ruhjeisessa kallioperässä sekä vinoon poratuissa lämpökaivoissa. /2, s. 43./

2.2.3 Lämmönkeruu vesistöistä

Lämmönkeruuputkisto voidaan asentaa myös vesistöön, kuten järveen, mereen tai jokeen, sillä lämmönkeruutapa on samanlainen kuin vaakaputkituksessa. Veteen sitoutuu paljon lämpöä ja sen lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät. Lämmönkeruuputkisto ankkuroidaan veden pohjaan, mieluiten yli kahden metrin syvyyteen, painojen avulla. Lämmönkeruuputkiston asentamista virtaavaan veteen ei suositella, sillä virtaavan veden lämpötila voi olla hyvinkin alhainen. /7; 8; 9, s. 19-20./

Etenkin matalilla ranta-alueilla lämmönkeruuputkiston upottaminen pohjan alapuolelle voi aiheuttaa väliaikaista veden samentumista ja vapauttaa ravinteita. Lämmönkeruuputkisto estää vesialueen ruoppaustyöt ja ankkuroinnin ja rajoittaa kalastusta alueella. Mikäli vesialue on pieni, lämmönkeruuputkisto voi muokata vesistön lämpö- ja happiolosuhteita. /2, s. 9./

2.3 Kylmäaineet

Vuosien saatossa kylmlaitteissa ja lämpöpumpuissa on ollut käytössä monia eri kylmäaineita. Joidenkin kylmäaineiden käyttö on jo kielletty Euroopassa muun muassa niiden otsonikatoa aiheuttavan vaikutuksen vuoksi. Korvaavia kylmäaineita etsitään myös nykyään käytössä oleville kylmäaineille.

CFC-kylmäaineet

CFC-kylmäaineita, kuten R11, R12 ja R500, voi olla yli 10 vuotta vanhoissa kylmäainetta käyttävissä laitteissa, kuten jää- ja pakastinkaapeissa ja lämpöpumpuissa. CFC-kylmäaineet ovat täysin halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä. Lyhenne CFC tulee englanninkielisistä sanoista Chloro-Fluoro-Carbon. CFC-kylmäaineiden maahantuonti ja valmistus on ollut Euroopassa kiellettyä vuoden 1995 alusta lähtien, sillä CFC-kylmäaineet ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Luontoon päästessään ne aiheuttavat huomattavaa ilmakehän otsonikatoa. /11; 12./

HCFC-kylmäaineet

HCFC-kylmäaineet ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja, mutta aiheuttavat vähemmän ilmakehän otsonikatoa kuin CFC-kylmäaineet. HCFC-kylmäaineet ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, ja ne sisältävät klooria, fluoria, hiiltä sekä vetyä. Lyhenne

HCFC tulee englanninkielisistä sanoista Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon. HCFC-kylmäaineista tunnetuimpana pidetään R22:ta, jota käytettiin muun muassa lämpöpumpuissa vuoteen 2000 asti. Kyseisen vuoden alusta lähtien HCFC-kylmäainetta sisältävien laitteiden maahantuonti ja myynti on ollut kiellettyä. Uutta HCFC-ainetta sai kuitenkin käyttää huollossa vuoteen 2010 asti. Kierrätetyn eli puhdistetun R22:n käyttö huollossa on sallittua vuoteen 2015 asti. /11; 12./

HFC-kylmäaineet

Nykyään käytössä olevat kylmäaineet ovat pääasiassa HFC-kylmäaineita, joita ovat muun muassa R134a, R407C, R404A ja R507. Ne ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä ja ne sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Lyhenne HFC tulee englanninkielisistä sanoista Hydro-Fluoro-Carbon. HFC-kylmäaineille etsitään kuitenkin korvaajia, sillä vaikka HFC-aineet eivät aiheuta otsonikatoa, ne ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. /11; 12./

HC-kylmäaineet

Uusia korvaajia kylmäaineille ovat HC-kylmäaineet, kuten isobutaani R600a ja propani, jotka eivät aiheuta otsonikatoa ja vaikutus kasvihuoneilmistöön on vähäinen verrattuna HFC-aineisiin. HC-kylmäaineet ovat puhtaita hiilivetyjä ja lyhenne HC tulee englanninkielisistä sanoista Hydro-Carbon. HC-kylmäaineet ovat kuitenkin palavia kaasuja, joten niitä käytetään toistaiseksi vain pienissä kylmälaitteissa. /11; 12./

2.4 Lupamenettelyt

Maalämmön asentaminen on luvanvaraista. Pääsääntöisesti maalämpöön siirtymisessä tarvitaan maankäyttö- ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa sekä vesilain mukainen lupa. Myös kunnilla voi olla omia määräyksiään maalämmön asentamiselle. /2./

2.4.1 Toimenpidelupa

Maalämmön asentamiseen on vaadittu toimenpidelupa 1. toukokuuta 2011 alkaen. Ympäristöministeriö haluaa päätöksellään yhtenäistää lupakäytäntöjä kuntien välillä sekä lisätä suunnitelmallisuutta maalämmön käyttämiseen, sillä aiemmin eri kunnat käsittelivät lupa-asiat eri tavoin. Päätöksellä ehkäistään myös ympäristö- ja toimintaongelmia. /1; 13./

Maalämmön keruuputkiston asennukseen sekä porakaivojen poraamiseen tulee hakea toimenpidelupaa, kun rakennuksen lämmitysjärjestelmä uusitaan tai vaihdetaan maalämpöön tai jos maalämpöä käytetään lisälämmönlähteenä. Joissakin kunnissa riittää toimenpideilmoitus mikäli rakennusjärjestyksessä on niin sallittu. /2, s. 15; 14./ Toimenpidelupa ei koske uudisrakentamista, sillä uusissa rakennuksissa lämmitysjärjestelmät käsitellään rakennusluvan yhteydessä /1/. Alueella sijaitseva kaukolämpöverkko ei ole esteenä luvan saannille /13; 15/.

Joissakin kunnissa vaaditaan tarvittaessa naapurin suostumus lämpökaivon poraamiseen, sillä on olemassa mahdollisuus, että lämpökaivo rajoittaa naapurin yhtäläistä mahdollisuutta maalämpöön jos lämpökaivo on porattu lähelle tonttien rajaa tai vinoon naapurin puolelle. Mikäli vinoon porattu lämpökaivo estää naapurin rakentamista maanalaisia tiloja, saatetaan lämpökaivo joutua poistamaan käytöstä esimerkiksi täyttämällä se betonilla. Kiinteistönmuodostamislaissa (554/1995) annetaan ohjeet rasitteen perustamiselle, mikä turvaa laitteiston ulottamisen naapurin puolelle vaikka naapurikiinteistön omistaja vaihtuu. /2./

Eräs este luvan saannille voi olla maanalainen asemakaava. Mikäli maanalaista tilaa käytetään muuhun kuin lämmönkeruuseen, luvan saanti voi estyä. Valmiiksi poratut lämpökaivot saattavat estää maanalaisen asemakaavan tekemistä kaupunkialueilla. /2, 13./

Lämmönkeruuputkiston sijoittaminen vesistöön edellyttää vesialueen omistajan ja lähinaapureiden suostumuksen sekä luvan aluehallintavirastolta. Joissakin tapauksissa vaaditaan toimenpideluvan lisäksi vesilain mukainen lupa. Lausuntoa luvan tarpeesta joutuu tarvittaessa tiedustelemaan vesilain valvontaviranomaiselta, kuten ympäristönsuojeluviranomaiselta tai ELY-keskukselta. /2, s. 9./

2.4.2 Luvat pohjavesialueilla

Pohjavesialueilla maalämpöjärjestelmille vaaditaan vesilain (587/2011) mukainen lupa mikäli maalämpöjärjestelmät voivat vaikuttaa pohjavesiesiintymän tilaan tai antoisuuteen. Lupaa haetaan kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta, joka tarvittaessa pyytää ELY-keskukselta lausunnon. Mikäli lähialueella on tärkeitä pohjavesialueita, kuten vedenottamoita, luvan saanti voi estyä. Lähialueen rajana pidetään pohjaveden

60 vuorokauden viipymää vedenottamolle. Mikäli viipymää ei ole tiedossa, ohjeellisenä välimatkana vedenottamolle pidetään 500 metriä. Tällä tavoin estetään pohjaveden pilaantuminen. Ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaan pilaantuneen pohjaveden puhdistamisesta vastaa taho, jonka toiminnan takia pohjavesi on pilaantunut. Kunta voi myös asettaa vaatimukset käytettävälle lämmönsiirtonesteelle pohjavesialueilla. Lisäksi lämpökaivojen etäisyyksille yksityisiin talousvesikaivoihin voidaan asettaa rajoituksia. / 2, s. 17-19; 2, s. 28-29; 15; 16./

Lämpökaivon rakentamisen yhteydessä pohjavedestä on otettava vesinäyte ja se on dokumentoitava. Pohjavesinäytteitä ottavat Suomessa monet eri organisaatiot. Yleensä näytteenottajana toimii tutkimuslaitos, konsulttitoimisto tai ympäristö- tai terveystoimisto. Dokumentteja ovat näytteenottopöytäkirja sekä pohjaveden analysointitulokset. Dokumentit toimitetaan ympäristöviranomaiselle. /2, s. 33; 49./

2.4.3 Asennusluvut ja -pätevyudet

Lämpökaivojen asennukseen ei tällä hetkellä tarvita erillistä pätevyyttä /2/. Koska maalämpöpumppu sisältää kylmäaineita, sen asentaminen ja huolto vaativat erilliset pätevyytensä. /17./

Valtioneuvoston asetuksen /17/ mukaan vähintään kolme kiloa kylmäaineita sisältävien laitteiden asennus- ja huoltotyöt vaativat vastuuhenkilön, jolla on kylmälalalle soveltuva insinööritason tutkinto, jonka lisäksi on suoritettu kylmäasentajan ammattitutkinnosta osa 1: kylmäaineiden käsittely, teknikon tai työtekniikon tutkinto. Pätevyydeksi riittävät myös kylmäasentajan ammattitutkinto tai kylmäestarin erikoisammattitutkinto. Tutkinnon lisäksi täytyy olla vähintään kahden vuoden työkokemus kylmälalalta. Alle kolme kiloa kylmäaineita sisältävien laitteiden asennus- ja huoltotöiden vastuuhenkilön pätevyyteen vaaditaan vähintään kylmäasentajan ammattitutkinnosta suoritettuna osa kylmäaineiden käsittely, kotitalouskoneasentajan ammattitutkinnosta suoritettuna osa kylmälaitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyöt tai lämmityslaitteasentajan ammattitutkinnosta suoritettuna osa lämpöpumppulämmityslaitteistotyöt. Lisäksi vaaditaan vähintään yhden vuoden työkokemus kylmälalalta tai muulta soveltuvalta toimialalta. Vastuuhenkilö huolehtii siitä, että kylmälaitteissa noudatetaan ympäristönsuojeluvaatimuksia sekä vastaa asentajien pätevyysvaatimusten täytymisestä.

Mikäli vastuhenkilö suorittaa itse kylmälaiteasennustöitä, hänen on täytettävä myös asentajan pätevyyydet.

Vähintään kolme kiloa kylmäaineita sisältävien laitteiden asentajan pätevyyteen vaaditaan kylmäasentajan ammattitutkinto tai talotekniikan perustutkinnosta suoritettuna osat kylmäkomponenttien ja putkien asennuksesta sekä kylmälaitoksen käyttöönotosta. Alle kolme kiloa kylmäaineita sisältävien laitteiden asentajan pätevyyteen vaaditaan vähintään kotitalouskoneasentajan ammattitutkinnosta suoritettuna osa kylmälaitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyöt, lämmityslaitteasentajan ammattitutkinnosta suoritettuna osa lämpöpumppulämmityslaitteistotyöt tai talotekniikan perustutkinnosta suoritettuna osa pienkylmälaitteiden asennus. /17./

3 TEKNISET JÄRJESTELMÄT

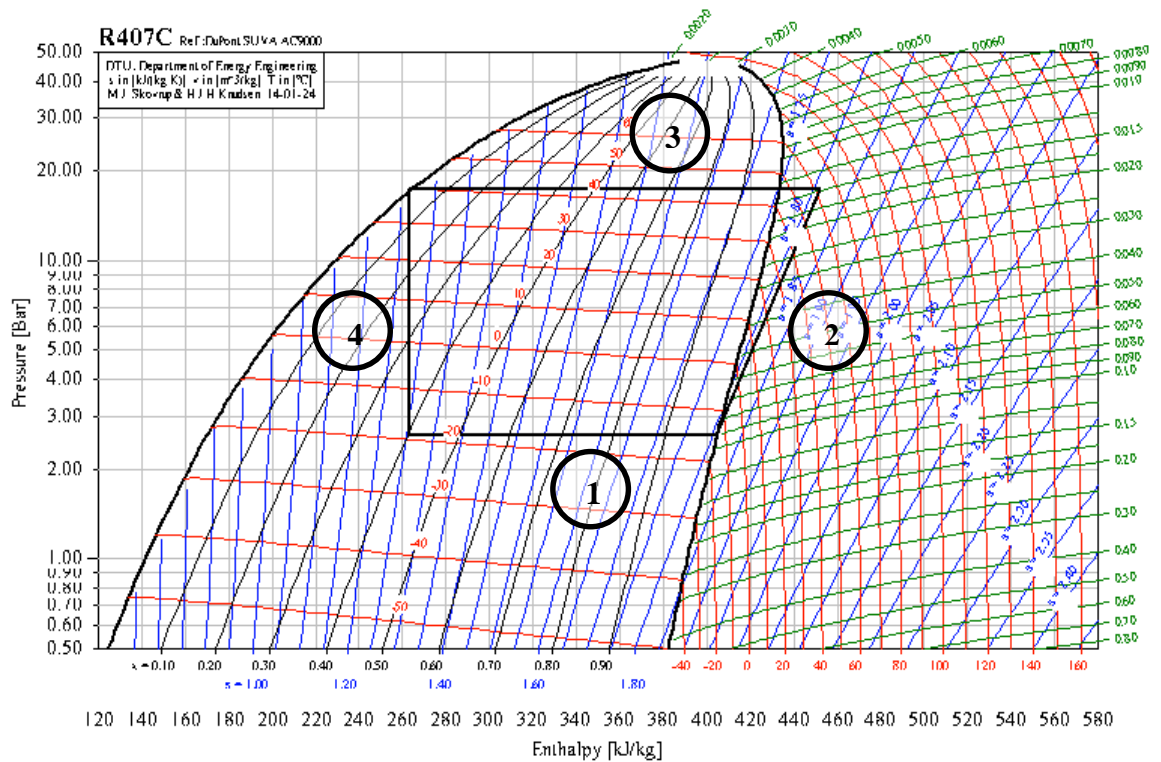
Maalämpöpumppulämmitys eroaa hieman perinteisistä lämmitystavoista, joissa käytetään vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää. Pääperiaate on kuitenkin samankaltainen. Tavanomaisilla lämpöpumppujen koneistotyypeillä saavutetaan lämmönjakojärjestelmien suunnittelulämpötila-alueiden alarajat helposti, mutta lauhtumislämpötilan nousussa syntyy teknisiä ongelmia ja rajoituksia, kuten kompressorin toiminta-alue, kylmäaineen stabiilisuus, korroosio-ongelmat sekä kiertoaineen liian korkea paine. /4, s. 379; 6, s. 344;./

Maalämmöllä lämpöä tuottaessa patteriverkoston ohjeellisena lämpötilana menovedelle pidetään $+55^{\circ}\text{C}$:ta ja paluuedelle $+40^{\circ}\text{C}$:ta. Joidenkin maalämpöpumppuvalmistajien lämpöpumpuilla pystytään saavuttamaan $+65^{\circ}\text{C}$:n menoveden lämpötila ja lisälämpövastuksen avulla $+70^{\circ}\text{C}$:n menoveden lämpötila, jolloin vanhoja mitoituksia pystytään hyödyntämään. Lämmönjakoverkoston lämpötilan nouseminen kuitenkin huonontaa maalämpöpumpun lämpökerrointa. /4; 10./

3.1 Lämpöpumppuprosessi

Luvussa 2.1 esitelty lämpöpumppuprosessi, jota kutsutaan myös Carnot-prosessiksi, voidaan esittää koordinaatistossa, jonka muodostavat kylmäaineen paineen logaritmi

sekä entalpia /4, s. 377/. Kuvassa 5 on esitettyä esimerkki ideaalisesta Carnot-prosessista. Prosessi on piirretty käyttäen CoolPack-ohjelmaa.



KUVA 5. Esimerkki ideaalisesta Carnot-prosessista, kylmäaineena R407C

Kuvassa 5 tumma peukalon muotoinen käyrä on kylmäaineen kyllästyskäyrä. Kyllästyskäyrän oikealla puolella kylmäaine on täysin höyrymäisessä muodossa. Kyllästyskäyrän sisällä kylmäaineen olomuoto on nesteen ja höyryn sekoitusta ja vasemmalla puolella täysin nestettä. Punaiset viivat kuvaavat kylmäaineen lämpötilaa ja kyllästyskäyrän sisäpuolella olevat mustat viivat kylmäaineen höyrypitoisuutta. Kohta 1 kuvaa kylmäaineen olosuhteita höyrystimessä, kohta 2 kompressorissa, joka vastaa kierron ylläpidosta, kohta 3 lauhduttimessa ja kohta 4 paisuntaventtiilissä.

3.1.1 Lämpökerroin

Prosessin hyvyttä voidaan kuvailla lämpökertoimella COP (Coefficient Of Performance), joka on lauhduttimen luovuttaman lämpövirran ja kompressorin vaatiman tehon suhde /4, s. 378; 5/. Lämpökerroin saadaan laskettua yhtälöllä 1.

$$COP = \frac{\Phi_L}{P} = \frac{\Phi_L}{\Phi_L - \Phi_H} \quad (1)$$

COP	on lämpökerroin
P	on kompressorin teho, kW
Φ_L	on lauhduttimen lämpövirta, kW
Φ_H	on höyrystimen lämpövirta, kW.

Yhtälö 1 on ideaaliselle eli lämpöhäviöttömälle prosessille. Todellisuudessa lämpöpumpun lämpökertoimeen vaikuttavat myös apulaitteiden, kuten kiertopumppujen ja lisälämmitykseen tarkoitettujen sähkövastusten, tehot. Lämpöpumpun lämpökerroin tarkoittaa siis tarvittavan lämmitysenergian suhdetta laitteistoon syötetyn sähköenergian määrään. /4, s. 378-379; 18./ Lämpökerroin saadaan laskettua yhtälöllä 2.

$$COP = \frac{\Phi_s}{P_k + P_a} \quad (2)$$

COP	on lämpökerroin
Φ_s	on hyödyksi saatu lämpö, kW
P_k	on kompressorin teho, kW
P_a	on apulaitteiden käyttämä teho, kW.

Yhtälössä 2 käytetyt tehot voidaan korvata vastaavilla energiamäärillä. Tällöin puhutaan keskimääräisestä lämpökertoimesta. Yhtälössä 3 on keskimääräisen lämpökertoimen laskukaava. /6, s. 345./

$$\bar{\varphi} = \frac{Q_s}{W_k + \tau P_a} \quad (3)$$

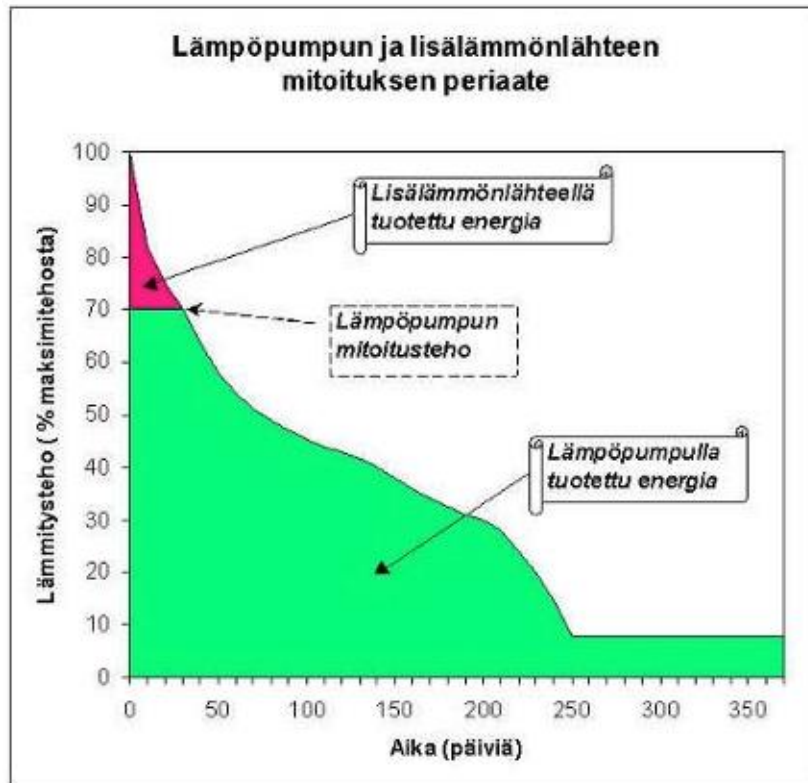
$\bar{\varphi}$	on keskimääräinen lämpökerroin
Q_s	on lämpömäärä, kWh
W_k	on kompressorin kuluttama sähköenergia, kWh
τ	on apulaitteiden käyttöaika, h.

Nykyaikaisilla maalämpöpumpuilla keskimääräisenä lämpökertoimena pidetään arvoa 3. Maalämpöpumpun mallista ja käyttökohteesta riippuen voidaan saavuttaa lämpökerroin, jonka arvo on käytännön olosuhteissa yli 4. /10; 19./

3.1.2 Täysteho- ja osatehomoitus

Täystehomitoituksella tarkoitetaan lämpöpumpun mitoitusta, jolla katetaan 100% rakennuksen lämmitystehon tarpeesta ilman erillisiä lisälämmittämiä. Täystehomitoitettu lämpöpumppu voi kohteesta riippuen olla hyvinkin suuri ja täysteho vaatii syvemmän lämpökaivon kuin osatehomoitettu lämpöpumppu. Nämä ovat investointikustannuksia kasvattavia seikkoja. Täystehomitoitettu lämpöpumppu käy paljon lyhyemmissä sykleissä kuin osatehomoitettu lämpöpumppu, minkä takia optimaalisen hyötysuhteen käyntiajat jäävät lyhyeksi. Kylmäaineprosessin parhaan hyötysuhteen saavuttamiseen vaaditaan usean minuutin käyntiaika, jotta kylmäaineprosessi ehtii vakiintua. Tämän vuoksi täystehomitoituksessa vaaditaan suuri varaaja, jotta kompressorin käyntiä saadaan säännösteltyä lauhalla, noin muutaman lämpöasteen, kelillä. /7; 10; 20./

Osatehomoituksessa maalämpöpumppu mitoitetaan kattamaan 60-80% rakennuksen huipputehontarpeesta. Osatehomoitus riittää kattamaan noin 95-98% rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergiankulutuksesta. Loput lämmitysenergiasta tuotetaan lisälämmönlähteellä, kuten esimerkiksi sähkövastuksella. Kovimmilla pakkasilla lisälämmönlähteen osuus on esimerkiksi noin 20 prosenttia tehontarpeesta, jos maalämpöpumppu on mitoitettu kattamaan 80 prosenttia rakennuksen huipputehontarpeesta. Osatehomoitettu lämpöpumppu käy pidemmissä sykleissä kuin täystehomitoitettu lämpöpumppu, jonka johdosta lämpöpumppu käy myös pidemmän aikaa hyvällä hyötysuhteella. Osatehomoituksella saavutetaankin usein parempi kokonaishyötysuhde kuin täystehomitoituksella. Myös energiansäästöt ovat usein osatehomoituksella parempia kuin täystehomitoituksella. /7; 10; 20./ Kuvassa 6 on esitettyä lämpöpumpun ja lisälämmönlähteen mitoituksen periaate pysyvyyskäyrän avulla.



KUVA 6. Lämpöpumpun ja lisälämmönlähteen mitoituksen periaate /21/

Liitteessä 2 on Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 /22/ taulukko, jonka avulla pystytään arvioimaan maalämpöpumpulla tuotetun energian määrä rakennuksen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen energiasta. Taulukon arvot pätevät tilanteessa, jossa maalämpöpumppu lämmittää käyttövettä ja tilojen lämmitysvettä vuorotellen ja lämmityksen menoveden lämpötila on maksimissaan $+60^{\circ}\text{C}$.

3.1.3 Lisälämmönlähteet

Mikäli maalämpöjärjestelmässä on tarvetta lisälämmönlähteisiin, tarjolla on monenlaisia vaihtoehtoja. Osatehomitoidetussa maalämpöpumpussa kovimpien pakkasjaksojen puuttuva lämpöteho voidaan tuottaa esimerkiksi sähkövastuksella, öljykattilalla tai kaukolämmöllä. Myös varaavaa takkaa voidaan hyödyntää lisälämmönlähteenä mikäli rakennuksessa sellainen on. Puuta polttamalla voidaan myös säästää sähkönkulutuksessa kovina pakkasjaksoina, sillä lisälämpövastuksia ei välttämättä tarvita takan ollessa käytössä. Varaavia tulisijoja käytetään kuitenkin lähinnä vain pientaloissa sillä niiden käyttö on haastavaa etenkin suurissa kerrostaloyhtiöissä. /7; 9; 10./

3.1.4 Tulistuspiiri

Tulistuspiirillä varustetut maalämpöpumput soveltuvat hyvin kiinteistöihin, joissa on suuri käyttöveden vedenkulutus. Tällaisissa rakennuksissa käyttöveden lämmitys suoritetaan erillisellä lämmönsiirtimellä, joka on tarkoitettu tulistuksen poistoon. Kompressorilta tulevan kuumen höyryn lämpötilaa lasketaan vesivirtaa hyväksi käyttäen, mutta kylmäaineen ei anneta lauhtua nesteeksi. Tällä tavalla käyttövesi saadaan lämmitettyä hyvinkin korkeisiin lämpötiloihin ilman lauhtumislämpötilan nostamista. Tulistuspiiriltä kylmäaine kulkeutuu lauhtuttimeen, jonka luovuttamaa lämmitysenergiaa käytetään lämmitysverkostossa. Tulistuspiirillä varustetuissa maalämpöpumpuissa käytetään kaksiosaista varaajaa, jossa lämmitysvesi ja lämmin käyttövesi on selkeästi erotettu toisistaan. Liitteessä 1(1) on esimerkki tulistuspiirillä varustetun maalämpöpumpun kytkentäkaaviosta. Esimerkin kytkentäkaaviossa on esitettyä Lämpöässä VM –maalämpöpumpun kytkentäkaavio. /7; 19; 23./

3.1.5 Vaihteleva lauhdutus

Vaihtelevassa lauhdutuksessa lämmitettävän veden lämpötilaa ohjataan olosuhteiden mukaan. Lämmitysveden lämpötilaa ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaan: kovemilla pakkasilla tuotetaan lämpimämpää vettä ja lauhemmalla kelillä viileämpää lämmitysvedettä. Mikäli järjestelmään on liitetty myös käyttöveden lämmitys, se lämmitetään aina ensisijaisesti maksimilämpötilaansa. Järjestelmä vaatii tässä tilanteessa vaihtoventtiilin. Käyttövedettä lämmitettäessä lämmitysjärjestelmään ei virtaa lämmitysvedettä. Katkos on kuitenkin niin lyhytaikainen, että huonelämpötila ei ehdi merkittävästi laskea. Jos sekä käyttö- että lämmitysvesi ovat riittävän korkeita lämpötiloiltaan, maalämpöpumppu pysähtyy. /7; 10./

Vaihtelevan lauhdutuksen maalämpöpumput mitoitetaan yleensä osatehomitoitukselle. Paras lämpökerroin voidaan saavuttaa kohteissa, joissa lämmönjakotapana käytetään lattialämmitystä, koska lämmitysveden lämpötila voidaan pitää matalana. Liitteessä 1(2) on esimerkki maalämpöpumpun kytkentäkaaviosta, jossa on vaihteleva lauhdutus. Esimerkin kytkentäkaaviossa on Nibe F1245 –maalämpöpumppu vaihtelevalla lauhdutuksella. /7; 10./

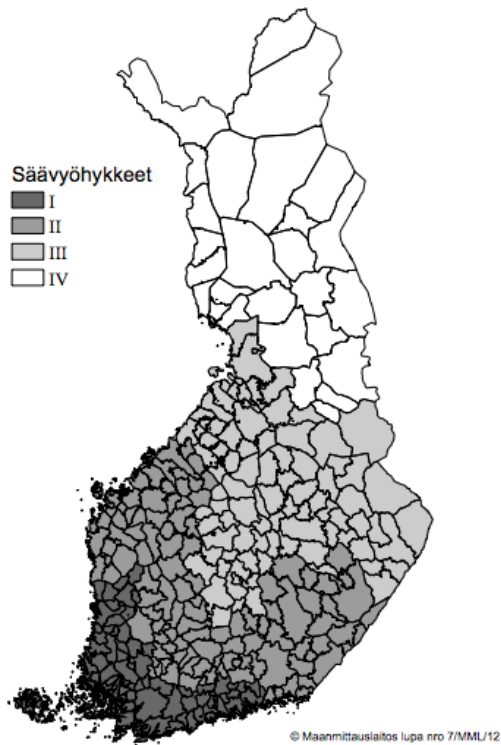
3.1.6 Kiinteä lauhdutus

Maalämpöpumpussa, jossa on kiinteä lauhdutus, lämmitysvaraajan lämpötila pidetään samana koko ajan. Yleensä lämpötila on noin 50°C lämpimän käyttöveden vaatimusten vuoksi. Varaajasta lämmitysvesi siirretään lämmitysverkostoon 3-tieventtiilin avulla halutun lämpöisenä. 3-tieventtiili on säätöventtiili, jolla säädelään lämmitysveden lämpötilaa sekoittamalla meno- ja paluuvesiä. Kiinteällä lauhdutuksella ei saavuteta yhtä hyvää lämpökerrointa kuin vaihtelevalla lauhdutuksella. Liitteessä 1(3) on esimerkki kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumpun kytkentäkaaviosta. Esimerkin kytkentäkaaviossa on Nibe F1145 –maalämpöpumppu kiinteällä lauhdutuksella. /10./

3.2 Rakennusten lämmönjakojärjestelmät

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 annetaan ohjearvo huonetilan oleskeluvyöhykkeen suunnittelulämpötilalle. Yleensä suunnittelulämpötilana käytetään 21°C ja hyväksyttävä poikkeama huonetilan keskellä 1,1 metrin korkeudella on $\pm 1^\circ\text{C}$. Joillekin erikoistiloille, kuten porrashuoneelle ja liikuntahallille, on annettu omat suunnittelulämpötilansa. /24./

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 velvoitetaan mitoittamaan lämmitysjärjestelmän lämmitysteho niin, että lämpöolot pystytään ylläpitämään eri säävyöhykkeiden lämmityskauden mitoitusulkolämpötiloilla /2, 25/. Eri säävyöhykkeiden mitoitusulkolämpötilat sekä vuoden keskimääräiset ulkolämpötilat löytyvät kuvasta 7.



Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä		
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila °C
I	- 26	5,3
II	- 29	4,6
III	- 32	3,2
IV	- 38	- 0,4

KUVA 7. Suomen säävyöhykkeet ja niiden mitoitusulkolämpötilat sekä vuoden keskimääräiset ulkolämpötilat /2/

Maalämpöpumppulämmityksessä on aina oltava vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. Lämpöpumppujärjestelmissä lämmönjakojärjestelmän lämpötilatasot ovat huomattavasti matalampia kuin esimerkiksi maakaasu- ja öljylämmityksessä. Tämän takia maalämpö soveltuu kohteisiin, joissa on vesikiertoinen lattialämmitys, sillä lämmitysverkoston menoveden lämpötila on yleensä +30°C ja maksimissaan +40°C. Ohjeellisenä lämpötilana lattialämmityksen menovedelle pidetään +35°C:ta ja paluuedelle +30°C:ta. /7; 9; 10./

Maalämmön lämmönjakotavaksi soveltuu myös patterilämmitys. Uudisrakennuksissa patteriverkosto pystytään mitoittamaan mataliin lämpötiloihin, mutta saneerauskohteissa vanhojen pattereiden hyödyntäminen voi olla hankalaa korkeiden mitoituslämpötilojen takia. Vanhat patteriverkostot on usein mitoitettu +80/60°C tai +70/40°C

lämpötiloille, jolloin olemassa olevat patterit eivät välttämättä sovellu maalämmöllä toteutettuun lämmitykseen. /7./

Joissakin vanhoissa rakennuksissa patterit voivat kuitenkin olla ylimitoitettuja, jolloin patteripinta-alaa voi olla riittävästi myös maalämpölämmitykseen. On mahdollista, että pattereita joudutaan vaihtamaan isompiin tai niiden lukumäärää joudutaan lisäämään. /7./

Mikäli koko lämmitysverkosto uusitaan, nykyaikaiset patterit soveltuvat hyvin myös matalalämpöjärjestelmiin. Lämmitysjärjestelmän uusimisen yhteydessä lämmönjako-huoneeseen voidaan joutua asentamaan lisälämmitin, sillä maalämpöpumppu ei tuota hukkalämpöä yhtä runsaasti kuin vanha öljy- tai maakaasukattila. /7; 26./

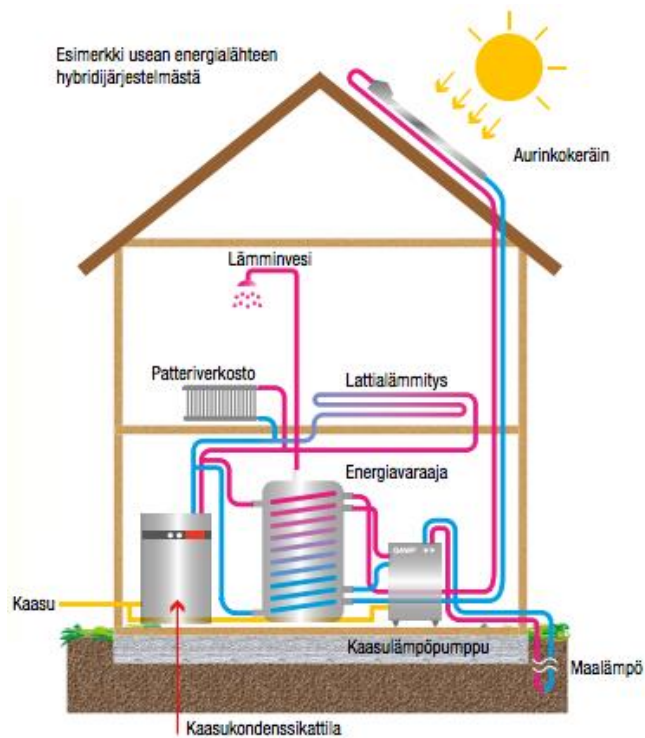
3.3 Käyttövesiverkostot

Suomen Rakentamismääräyskokoelma osan D1 määräysten mukaan lämpimän käyttöveden lämpötilan on oltava vähintään 55°C eikä lämpimään käyttöveden kiertojoh-toon liitettyjä lämmönluovuttimia saa käyttää rakennuksen lämpöhäviöiden kattami-seen eikä lattialämmitykseen. Tällä estetään legionellabakteerin lisääntyminen. Läm-pimän käyttöveden lämpötila ei kuitenkaan saa ylittää 65°C:ta käyttöturvallisuuden takaamiseksi. /27; 28./

3.4 Hybridijärjestelmät

Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan usean eri lämmönlähteen yhdistämistä. Esimerkiksi tilojen sekä käyttöveden lämmitys tuotetaan maakaasukattilalla ja ilmanvaihdon läm-mitys tuotetaan maalämmöllä. /18./

Maakaasulämmityksen yhteydessä suositellaan käytettäväksi absorptiolämpöpump-pua. Absorptiolämpöpumpussa kylmäainekierrossa käytetään hyödyksi maakaasulla tuotettua lämpöä. Absorptiolämpöpumput soveltuvat parhaiten kohteisiin, joiden lämmitystehontarve on suuri, vähintään 100 kW. Niitä voidaan käyttää sekä uudis-että saneerauskohteissa. /18./ Kuvassa 8 on esimerkki hybridijärjestelmästä, jossa on käytetty hyväksi useaa eri lämmönlähdettä.



KUVA 8. Usean eri lämmönlähteen muodostama hybridijärjestelmä /18/

4 TALOUDELLISUUS

Lämmitysjärjestelmien taloudellisuudesta puhuttaessa, käsitellään yleensä investointien suuruutta, energiankulutusta ja sen tuomia kustannuksia sekä takaisinmaksuaikaa. Kustannukset, joita nykyisestä lämmitysjärjestelmästä maalämpöön siirtyminen aiheuttaa, riippuvat monista eri tekijöistä, kuten nykyisestä lämmönjakotavasta, lämmönlähteestä sekä kohteen lämmitystehontarpeesta.

4.1 Investoinnin kannattavuus

Maalämpöpumppuinvestointi on saneerauskohteissa kannattava, kun rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmityksen kokonaiskustannukset ovat pienemmät maalämpöjärjestelmällä kuin muilla lämmitystavoilla. Lämmityksen kokonaiskustannukset voidaan laskea yhtälöllä 4. /9, s. 36./

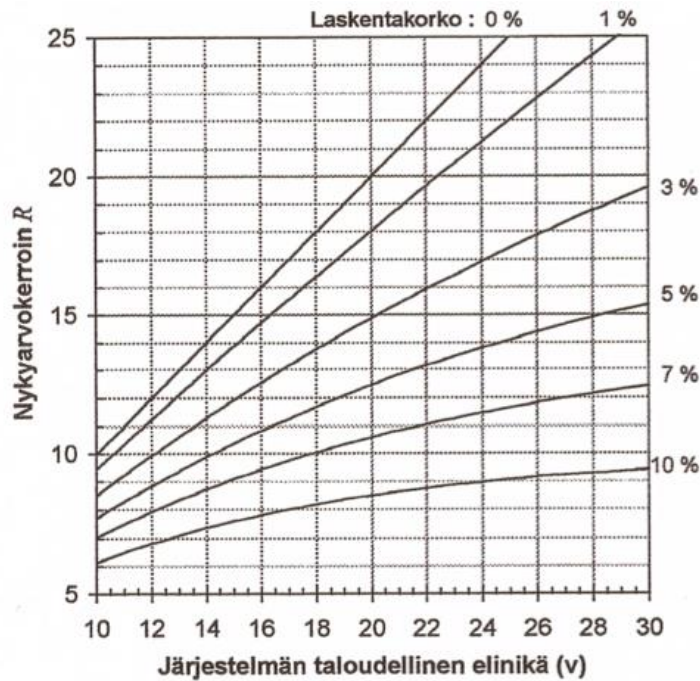
$$K_{tot} = I + R(H + E) \quad (4)$$

K_{tot} on lämmityksen kokonaiskustannus, €

- I on järjestelmän investointikustannus, €
H on järjestelmän vuotuinen huolto- ja ylläpitokustannus, €
E on lämmityksen vuotuinen energiakustannus, €
R on vuotuisten kustannusten nykyarvokerroin.

Lämmitysjärjestelmän investointikustannukset muodostuvat lämmitysjärjestelmän suunnittelusta, laitteiden hankinnasta, asennuskustannuksista sekä lämmitysjärjestelmän vaatimasta tilantarpeesta. Lisäksi investointikustannuksiin lisätään sähköverkkoon liittymisen liittymismaksut uudisrakennuksissa ja saneerauskohteissa mahdolliset lisämaksut, joita lisätehontarve aiheuttaa. /29./

Lämmitysjärjestelmien taloudellinen elinikä on yleensä 20-25 vuotta. Nykyarvokerroin R riippuu lämmitysjärjestelmän taloudellisesta eliniästä sekä laskentakorkokannasta. Laskentakorkokannalla tarkoitetaan investoinnin minimituottovaatimusta. Usein laskentakorkokantana on kannattavaa käyttää sopivaa markkinakorkoa. Lämmitysjärjestelmien huolto- ja ylläpitokustannusten arviointi on hankalaa erilaisten olosuhteiden takia, mutta yleisarviona huolto- ja ylläpitokustannuksille pidetään 1-2 prosenttia investointikustannuksista vuodessa. /9; 30; 31./ Kuvan 9 avulla pystytään määrittämään nykyarvokerroin R , kun lämmitysjärjestelmän taloudellinen elinikä sekä laskentakorko on tiedossa.



KUVA 9. Nykyarvokerroin R lämmitysjärjestelmän taloudellisen eliniän sekä laskentakoron mukaan /9/

4.2 Energiankulutus

Maalämpöön siirryttäessä kohteen nykyiset lämmitysenergian kulutukset on selvitettävä. On suositeltavaa, että kulustietoja tarkastellaan mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta, jotta pystytään huomioimaan vuosikohtaiset erot lämmitysenergian kulutuksessa. Tarkasteltava ajanjakso on mielellään useita vuosia. Mikäli saatavilla on esimerkiksi vain yhden vuoden kulustiedot, kulutus voidaan normeerata eli kertoa tarkasteltavan ajan lämmitystarvelukujen ja pitkäaikaisen keskimääräisen lämmitystarveluvun suhteella, jolloin toteutuneesta kulutuksesta saadaan vertailukelpoinen aiempien vuosien kanssa. Lämmitystarveluku eli entinen astepäiväluku kuvaa rakennusten lämmitysenergian tarvetta ja se on saatavilla Ilmatieteen laitoksen [www-sivulta](http://www.sivulta). Lämmitystarveluku lasketaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukset. Yleisin käytössä oleva lämmitystarveluku on S17, jolloin oletetaan sisä- ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotukseksi $+17^{\circ}\text{C}$. Lämmitystarveluku lasketaan 16:lle paikkakunnalle joka kuukausi, mutta tilauksesta se voidaan laskea myös muille paikkakunnille. /20; 32; 33./

Lämmitysjärjestelmien energiakustannukset koostuvat energian hinnasta, joka riippuu käytettävästä polttoaineesta. Sähkö- ja kaukolämmitteisissä rakennuksissa energiakus-

tannuksiin lisätään perus- ja tehomaksut. Maalämpöpumpuissa energiakustannukset koostuvat kompressorin sekä apulaitteiden, kuten kiertopumppujen, käyttämästä sähköenergiasta. Osatehomitoiduissa maalämpöpumpuissa energiakustannuksiin lisätään myös lisälämmönlähteinä käytettävien sähkövastusten energiamäärä, joita käytetään kovimpina pakkasjaksoina. Maalämpöpumpun lämpökertoimesta riippuu, kuinka paljon lämmitysenergiaa maalämpöpumppu tuottaa kuluttamaansa sähköenergiaa kohden. Esimerkiksi jos maalämpöpumpun lämpökerroin on 3, se tuottaa yhtä käyttämänsä, toisin sanoen ostettua, kilowattituntia kohden kolme kilowattituntia lämmitysenergiaa. /4; 9; 20./

4.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jona investoinnin yhteenlasketut nettotuotot ylittävät investointien määrän. Takaisinmaksuaika saadaan laskettua jakamalla investointien suuruus säästöillä, joita maalämpöön siirtymisestä vuosittain syntyy. Tarkkaa yleistä takaisinmaksuaikaa maalämpöjärjestelmille ei pysty määrittelemään, sillä takaisinmaksuaika riippuu aiemmin käytössä olleesta lämmönlähteestä sekä rakennuksen energiankulutuksesta. Pääsääntöisesti suurissa rakennuksissa takaisinmaksuaika on pienempi kuin pienissä rakennuksissa suuresta energiankulutuksesta johtuen. Pientaloissa takaisinmaksuaika on yleensä 15-20 vuotta. /30; 34./

5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Maalämpöä tarkastellessa tulee teknisten järjestelmien ja taloudellisen näkökulman lisäksi ottaa huomioon ympäristövaikutukset. Lämmönkeruupiirin sekä kylmäaineiden ympäristövaikutusten lisäksi käytettyjen polttoaineiden aiheuttamien päästöjen määrää on syytä arvioida. Poliittisin päätöksin pyritään ohjaamaan kiinteistöjen omistajia pohtimaan eri energianlähteiden käyttöä.

5.1 Ympäristölle vaaralliset aineet

Kaikki maalämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet eivät ole täysin ympäristöystävällisiä. Carnot-prosessissa käytettävät kylmäaineet ovat nykyään pääasiassa HFC-kylmäaineita, jotka ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Tämän vuoksi kylmäainei-

den käsittelyyn vaaditaan kappaleessa 2.4.3 esitetyt Tukesin asettamat pätevyysvaatimukset. /11; 12; 17./

Lämmönkeruupiirissä käytettävä lämmönkeruuneste on yleensä vesi-etanoli –liuosta, jonka pakkasenkesto on noin -17°C . Joissakin järjestelmissä on käytetty myös beta-iinia sekä kaliumformiaattia, mutta kaliumformiaatin käyttö on ollut yleisempää jäähdytyksessä kuin maalämmössä. Etanolin leimahduspiste on $+29^{\circ}\text{C}$, mikä tekee siitä helposti syttyvän aineen. Käytössä olevia lämmönkeruunesteitä ei ole luokiteltu terveydelle tai ympäristölle haitallisiksi, mutta vuototapauksissa lämmönkeruunesteet voivat pohjaveteen joutuessaan huonontaa pohjaveden laatua tai joissain tapauksissa jopa muuttaa veden väliaikaisesti käyttökelvottomaksi. Lämmönkeruunesteet saattavat pohjaveteen joutuessaan lisätä mikrobien sekä hapen kulutuksen määrää vedessä. Tämän seurauksena pohjaveteen voi muodostua rikkivetyä, joka huonontaa pohjaveden laatua. Lisäksi betaiini voi hajotessaan aiheuttaa epämiellyttävää hajua pohjaveteen. Lämmönkeruunestettä vaihdettaessa vanhaa nestettä on käsiteltävä ongelmajätteenä. /2./

5.2 Primäärienergiakerroin

Primäärienergia on luonnonvaroihin, kuten öljyyn tai kivishiileen, sisältyvää energiaa niiden ensimmäisessä energiaksi käytettävässä olomuodossaan. Primäärienergia on energiaa ennen muunto- ja kuljetusprosesseja, kuten maaperässä olevaa öljyä, auringsäteilyä tai tuulta. Primäärienergia voi siis olla lämpö- tai sähköenergiaa tai mekaanista energiaa. /35./ Primäärienergian avulla pystytään hyvin määrittämään lämmitysjärjestelmän ympäristöystävällisyys.

Primäärienergiakertoimella voidaan vastaavasti selvittää primäärienergian määrä. Primäärienergiakertoimen laskemisessa käytetään ennalta määritettyjä primäärienergiahyötysuhteita, jotka voivat vaihdella alueittain. Esimerkiksi ydinvoiman primäärienergiakerroin lasketaan IEA:n ja Eurostatin tarkasteluissa laitospohjaisesti. Muissa tapauksissa ydinvoiman tuotannon primäärienergiahyötysuhteena käytetään 33 prosenttia, jolloin primäärienergiakerroin on 3,03. Tätä kerrointa käytetään myös Suomessa. Sähkön primäärienergiakerroin vaihtelee 2,0:n ja 2,5:n välillä tuotantotavasta ja alueesta riippuen. Kaukolämmön primäärienergiakerroin riippuu tuotannossa käytetystä polttoaineesta ja siksi eri energiayhtiöiden välillä voi olla vaihtelua. Lämmityk-

sen primäärienergian määrä saadaan laskettua kertomalla rakennuksen lämmitykseen käytetyn ostoenergian määrä käytettävää energialähdettä vastaavalla primäärienergiakertoimella. /35./ Taulukossa 1 on esitettyä joidenkin polttoaineiden primäärienergiakertoimia.

TAULUKKO 1. Polttoaineiden primäärienergiakertoimia /35/

Polttoaine	Uusiutumaton kerroin	Kokonaiskerroin
Polttoöljy	1,35	1,35
Maakaasu	1,10	1,10
Kivihiihi	1,20	1,20
Turve	1,20	1,20
Koksi	1,53	1,53
Puupolttoaineet	0,10	1,10
Biokaasu	0,05	1,05
Teollisuuden sekundaarilämpö	0,05	1,05
Kierrätyspolttoaineet	0,10	1,10

Uusiutumattomalla kertoimella tarkoitetaan tietyn energiamuodon uusiutumattoman primäärienergian ja tuotetun energian suhdetta. Uusiutumattoman primäärienergian kerroin voi olla alle 1 jos energiamuoto koostuu pääasiassa uusiutuvista energialähteistä. /35./

Esimerkiksi jos sähkölämmitteisen rakennuksen lämmitysenergiankulutus on 10 MWh, saadaan primäärienergiakertoimella 2,5 primäärienergian määräksi 25 MWh. Primäärienergiaa tarkastellessa maalämpöpumppujen osalta otetaan huomioon sähköntuotannon primäärienergia. Esimerkiksi jos maalämpöpumpun lämpökerroin on 3 ja lämmitysenergian kulutus on 10 MWh, jää sähkön osuudeksi noin 3,3 MWh. Primäärienergiakerroin on edellisen laskuesimerkin mukaisesti 2,5, jolloin primäärienergian määräksi saadaan 8,3 MWh.

5.3 Energiakerroin

Ympäristöministeriö antaa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 /25/ kertoimet eri energialähteille ja energiantuotantomuodoille. Energiakertoimilla kuvataan luonnonvarojen käyttöä ja se perustuu primäärienergiakertoimeen. Energiakertoimilla pyritään myös energiapoliittiseen ohjaukseen. /36./ Taulukossa 2 on esitettyä poliittisin päätöksin sovitut energiakertoimet sekä vertailuna primäärienergiakertoimet eri energiamuodoille.

TAULUKKO 2. Energiamuotojen kertoimet /25; 35; 50/

Energia	Energiamuotokerroin	Primäärienergiakerroin
Sähkö	1,7	2,0-2,5
Kaukolämpö	0,7	Tuotantotavasta riippuvainen
Kaukojäähdytys	0,4	0,2 (Helsinki)
Fossiiliset polttoaineet	1	1,1 ->
Uusiutuvat polttoaineet	0,5	0,05 ->

Taulukon 2 kertoimia käytetään ainoastaan ostoenergialle. Energiakertoimia käyttämällä pystytään laskemaan rakennuksen kokonaisenergiakulutus eli E-luku. Tässä työssä ei rakennuksille kuitenkaan lasketa E-lukua, vaan energiamuotokerroimia käytetään vertailuna primäärienergiakertoimille. Viitteellinen primäärienergian määrä energiakertoimien kautta laskettuna tapahtuu samalla tavalla kuin primäärienergiakertoimilla. Esimerkiksi jos kaukolämmitteisen rakennuksen lämmitysenergian kulutus on 10 MWh/a, saadaan primäärienergiämääräksi 7 MWh/a. Vastaavasti jos saman rakennuksen lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpulla, jonka lämpökerroin on 3, saadaan primäärienergian määräksi noin 5,7 MWh vuodessa. E-lukuun vaikuttavat lämmitysenergian lisäksi rakennuksen valaistuksen, ilmanvaihdon, kuluttajalaitteiden ym. sähkönkulutukset, joita ei edellä mainituissa laskelmissa otettu huomioon. /22, 25./ Taulukossa 3 on esitettyä aiemmin mainitut esimerkkilaskut primäärienergiakertoimen ja energiakertoimen kautta laskettuna.

TAULUKKO 3. Esimerkkilaskelmat primäärienergiakertoimen ja energiakertoimen kautta laskettuna

Kulutus	10 MWh			
Lämmitysmuoto	Prim. energiakerroin	Energiakerroin	Primäärienergia [MWh]	
			Prim. ener. kerroin	Energiakerroin
Sähkö	2,50		25,0	
MLP	$2,50/3,0 = 0,83$	$1,70/3,0 = 0,57$	8,30	5,70
Kaukolämpö		0,70		7,0

5.4 Ominaispäästökerroin

Päästöjä tarkastellessa tulee ottaa huomioon käytetyt polttoaineet. Polttoaineille on annettu ominaispäästökertoimet, joiden avulla pystytään arvioimaan polttoaineen ai-

heuttamat hiilidioksidipäästöt. Uusiutuvan energian ominaispäästökertoimena pidetään arvoa 0, koska niistä ei katsota aiheutuvan päästöjä. Mikäli biopolttoaineiden tuottamisessa ja kuljettamisessa on käytetty runsaasti uusiutumattomia energialähteitä suhteessa biopolttoaineista saatavaan energiaan, joudutaan kyseisissä tapauksissa hiilidioksidipäästöt selvittämään. Taulukossa 4 on esitettyä eri energialähteiden keskimääräisiä CO₂:n eli hiilidioksidin päästökertoimia. Niitä käytetään mikäli tiedossa ei ole tarkkoja paikkakuntaakohtaisia arvoja. /37; 38./

TAULUKKO 4. Eri energialähteiden päästökertoimia /38/

Energialähde	Ominaispäästökerroin g CO ₂ /kWh	Ominaispäästökerroin g CO ₂ /MJ
Moottoribensiini	265,0	73,6
Dieselöljy	265,0	73,6
Kevyt polttoöljy	267,0	74,1
Raskas polttoöljy	284,0	78,8
Nestekaasut	234,0	65,0
Kivihiili	341,0	94,6
Maakaasu	198,0	55,04
Jyrsinturve	381,0	105,9
Palaturve	367,0	102,0
Kaikki uusiutuva energia	0	0
Kaikki lämpöpumput / sähkönkulutus	200,0	-
Sähkö, ostettu	200,0	-
Sähkö, itse tuotettu	Sähköntuotannon polttoaineiden mukainen päästökerroin	
Kaukolämpö, yhteistuotantoalueilla	220,0	61,1

Koska maalämpöpumppu käyttää sähköä, sen ominaispäästökertoimena käytetään sähkön päästökerrointa. Taulukon 3 ominaispäästökerroin sähkölle on keskimääräinen arvo, joka on laskettu koko Suomen sähköntuotannon ja -hankinnan perusteella. Tarkemmassa tarkastelussa tulee ottaa huomioon kyseisen energiayhtiön käyttämät polttoaineet sähköntuotannossa. /38./

Esimerkiksi Haminan Energialla sähkön energialähdejakauma vuonna 2012 oli fossiilille polttoaineille, kuten maakaasulle, öljylle ja kivihiilelle 22,5 %, uusiutuville energialähteille, kuten vesivoimalle, tuulivoimalle ja biopolttoaineille 52 % ja ydinvoimalle 25,5 %. Haminan Energia ilmoittaa vuonna 2012 myymänsä sähkön hiilidi-

oksidin ominaispäästökertoimeksi 174 g CO₂/kWh ja käytetyn ydinpolttoaineen ominaispäästökertoimeksi 0,80 mg/kWh. Kotkan alueella sähköä myy Kymenlaakson Sähkö Oy, jonka myymän sähkön energialähdejakauma vuonna 2012 oli fossiilisille polttoaineille sekä turpeelle 44,9 %, ydinvoimalle 34,0 % ja uusiutuville energialähteille, kuten vesi-, bio- ja tuulivoimalle 21,1 %. Sähköntuotannon hiilidioksidin ominaispäästökerroin oli vuonna 2012 Kymenlaakson Sähköllä 293 g CO₂/kWh ja käytetyn ydinpolttoaineen ominaispäästökerroin oli 0,67 mg/kWh. Kotkan Energialla on yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa, mutta pääpaino on nykyään kaukolämpötoiminnassa. /39; 40; 41./

6 KOHDERAKENNUKSET

Tarkasteltavana on kolme eri kohdetta, joissa harkitaan maalämpöön siirtymistä. Kohteina ovat asuinrivitalo Kotkassa, asuinkeuhkotalo Haminassa sekä koulurakennus Kotkassa.

6.1 Rivitaloyhtiö

Tarkasteltava rivitaloyhtiö sijaitsee Kotkan Koivulassa. Rivitaloyhtiö on rakennettu vuonna 1989 ja se koostuu neljästä rivitalosta. Asuntoja on yhteensä 17 kappaletta. Kohteen rakennuspinta-ala on 1527 m² ja rakennustilavuus on 4584 m³. Lämmitysenergia tuotetaan nykyään öljyllä ja tilojen lämmitys on toteutettu vesikiertoisella patteriverkostolla. Alueella ei ole kaukolämpöverkkoa. Taloyhtiössä on pohdittu uudeksi lämmöntuotantovaihtoehdoksi joko maalämpöä tai maakaasua, mutta kohteen lämmönlähteiden vertailuissa keskitytään pääasiassa öljystä maalämpöön siirtymiseen.

6.2 Kerrostaloyhtiö

Tarkasteltava kerrostaloyhtiö sijaitsee Haminan keskustassa. Kerrostaloyhtiö koostuu 36 asunnosta ja se on rakennettu vuonna 1961. Rakennuspinta-ala on noin 3370 m² ja rakennustilavuus on noin 10500 m³. Vuonna 2011 taloyhtiössä uusittiin vesi- ja viemäriverkostot sekä tehtiin vähäisiä muutoksia lämmitys- ja ilmanvaihtoverkostoihin. Lämmitysenergia tuotetaan nykyään maakaasulla, jonka toimittaa Haminan Energia.

Tilojen lämmitys on toteutettu vesikiertoisella patteriverkostolla. Alueella ei ole kaukolämpöverkkoa.

6.3 Koulurakennus

Tarkasteltavana julkisena rakennuksena on kotkalainen 2-kerroksinen koulurakennus. Koulurakennus sijaitsee Malmingin kaupunginosassa Karhulan alueella ja se on valmistunut vuonna 1982. Kohteen rakennuspinta-ala on noin 7200 m² ja rakennustilavuus on noin 37 880 m³. Lämmitysenergia tuotetaan nykyään kaukolämmöllä, jonka toimittaa Kotkan Energia. Kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Vuonna 2009 rakennuksen kaakkoisosan LVI-järjestelmät saneerattiin ja vuonna 2010 rakennuksessa tehtiin lämmitysjärjestelmien perussäädöt. Tilojen lämmitys on toteutettu vesikiertoisella patteriverkostolla sekä kiertoilmakojeilla.

7 MUUTOS MAALÄMPÖÖN

Kohderakennusten muuttamisesta maalämpöön nykyisestä lämmöntuotantomuodosta tarkastellaan teknisten järjestelmien, taloudellisuuden sekä ympäristövaikutusten kautta. Lisäksi kootaan käyttökokemuksia kohteista, joissa on jo siirrytty vanhasta lämmöntuotantotavasta maalämpöön. Teknisissä järjestelmissä otetaan huomioon muun muassa vaikutukset nykyiseen lämmönjakojärjestelmään sekä lämpökaivojen soveltuvuus kohteeseen. Maalämpöpumppujen valinnassa on käytetty mitoitushjelmaa sekä valmistajien esitteitä ja internetsivuja.

Taloudellisuutta tarkastellessa otetaan huomioon investointien määrä, maalämpöjärjestelmän ja nykyisen lämmitysjärjestelmän energiakustannukset sekä takaisinmaksuajat.

Ympäristövaikutuksia tarkastellessa vertaillaan maalämpöjärjestelmää sekä nykyistä lämmöntuotantojärjestelmää. Ympäristövaikutuksissa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt sekä primäärienergiakertoimien kautta lasketut primäärienergian kulutukset.

7.1 Tekniset järjestelmät

Teknisten järjestelmien muutokset tapahtuvat lähinnä lämmitysjärjestelmissä. Lämmönlähteen lisäksi myös lämmönluovuttimia voi joutua uusimaan. Lämmönlähdettä uusittaessa on syytä selvittää rakennuksen lämmityksen huipputehontarve, joka laskeaan lämmityksen energiankulutuksen perusteella.

7.1.1 Rakennuksen lämmityksen huipputehontarve

Maalämpöpumppua valittaessa selvitetään rakennuksen lämmityksen huipputehontarve. Rakennuksen lämmityksen huipputehontarpeella tarkoitetaan mitoitus-tehoa, johon lämmönlähde mitoitetaan. Vanhoissa asuintaloissa lämmityshuipputeho voidaan laskea jonkin tietyn ajanjakson lämpöenergian tai lämmitykseen käytetyn polttoaineen kulutuksen perusteella. Mikäli asuinrakennuksessa ei ole koneellista ilmastointia eli tuloilman lämmitystä, lämmityshuipputeho voidaan laskea yhtälöllä 5. /42./

$$\Phi_{mit} = \frac{(Q - Q_k) * (17^{\circ}C - t_u)}{24 * S} * 1000 \quad (5)$$

Φ_{mit}	on lämmityksen huipputehontarve eli mitoitus-teho, kW
Q	on energiankulutus tarkasteluajana, MWh
Q_k	on käyttöveden lämmitykseen kulunut energia tarkasteluajana, MWh
t_u	on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C
S	on lämmitystarveluku tarkasteluajana, 24h/d °Cd.

Rakennuksissa, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, yhtälö 5 ei sellaiseen kelpaa lämmityksen huipputehontarpeen laskentaan. Tällaisissa kohteissa on selvitettävä ilmanvaihtolaitteiden tehot sekä käyntiajat. Näiden lisätietojen perusteella pystytään laskemaan lämmityksen huipputehontarve. /42./

Vanhoissa rakennuksissa polttoaineen kulutus muutetaan lämpöenergiaksi kertomalla polttoaineen ominaislämpöarvo polttoaineen määrällä sekä lämmityslaitteen arvioidulla vuosihyötysuhteella /42/. Taulukossa 5 on esitettyinä joidenkin lämmitykseen käytettyjen polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja.

TAULUKKO 5. Polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja /22/

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo
Raskas polttoöljy	11,4 kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10,0 kWh/dm ³
Maakaasu	10,0 kWh/m ³ n
Polttopuu yleensä (pilkkeet)	4,1 kWh/kg
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1300,0 kWh/pino-m ³
Pilkkeet (koivu)	1700,0 kWh/pino-m ³
Puupelletit	4,7 kWh/kg
Polttohake	900,0 kWh/irto-m ³
Kivihili	6,6 kWh/kg
Palaturve	3,3 kWh/kg
Puubriketit	4,8 kWh/kg

Mikäli tarkkaa vuosihyötysuhdetta ei ole tiedossa, Suomen Rakentamismääräyskoelman osassa D5 /22/ on annettu ohjearvoja lämmönlähteiden vuosihyötysuhteille. Taulukossa 6 on esitettynä isompien rakennusten, kuten rivi- ja asuinkerrostalojen, lämmönlähteiden vuosihyötysuhteet.

TAULUKKO 6. Isompien rakennusten lämmönlähteiden vuosihyötysuhteet /22/

Lämmönlähde	Vuosihyötysuhde
standardi öljy/kaasu	0,90
kondenssi öljy	0,95
kondenssi kaasu	1,01
pellettikattila	0,84
puukattila energiavaraajalla	0,82
kaukolämpö	0,97
huonekoht. sähkölämmitys	1,10

Käyttöveden energiankulutuksen määrä kaukolämmityksessä voidaan arvioida tarkastelemalla kesäkuukausien, eli kesä-, heinä- ja elokuun, energiankulutusta, jolloin lämmitysenergiaa tuotetaan pääasiassa ainoastaan käyttöveden lämmittämiseen. Tämän perusteella saadaan arvioitua kuukausittaiset käyttöveden lämmityksen energiankulutukset. Suomen Rakentamismääräyskoelman osassa D3 on annettu ohjeelliset arvot lämpimän käyttöveden ominaiskulutukselle ja sitä vastaavalle lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeelle rakennuksen nettopinta-alaa kohti. Näitä tietoja voidaan hyödyntää kohteissa, joissa ei ole kaukolämmitystä, mikäli lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole tiedossa. Taulukossa 7 on esitettynä lämpimän käyttöveden

ominaiskulutus ja sitä vastaava lämmitysenergian nettotarve eri rakennustyypeissä.
/25; 42./

TAULUKKO 7. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja sitä vastaava lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti /25/

Rakennus	LKV:n ominaiskulutus (dm ³ /m ² a)	Lämmitysenergia (kWh/m ² a)
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalot, asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

Rivitalokohteesta on saatavilla öljynkulutustiedot vuosilta 2009-2013. Näiden viiden vuoden keskimääräinen öljynkulutus on 24 820 litraa vuodessa. Öljynkulutus muutetaan lämpöenergiaksi kertomalla öljyn määrä kevyen polttoöljyn lämpöarvolla 10 kWh/dm³ (taulukko 5) ja öljykattilan vuosihyötysuhteella 0,9 (taulukko 6). Lämmitysenergian määrä on siis keskimäärin noin 223,4 MWh vuodessa. Todellista lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole tiedossa, jolloin lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutuksena käytetään taulukosta 7 saatavaa arvoa 35 kWh/m²a. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutus on siis keskimäärin 53,445 MWh vuodessa. Yhtälöä 5 käyttämällä pystytään laskemaan kohteen lämmityksen huipputehontarve.

$$\Phi_{mit} = \frac{(1117 \text{ MWh} - 267 \text{ MWh}) * (17^{\circ}\text{C} - (-29^{\circ}\text{C}))}{24 * 20096^{\circ}\text{C}d} * 1000 = 81 \text{ kW}$$

Yhtälössä käytetyt energiat sekä lämmitystarveluvut on laskettu yhteen koko tarkasteluajalta eli vuosilta 2009-2013 /31/. Otettaessa huomioon kaikki lämmitysenergia eli käyttöveden ja tilojen lämmitysenergiankulutus, saadaan kokonaistehoksi noin 107 kW. Nykyinen öljykattila on mitoitettu 150 kW:n tehoiseksi, joka käyttäjän mukaan on ylimitoitettu.

Kerrostalo-kohteesta on saatavilla vuosien 2008-2012 maakaasun kulutustiedot. Näiden viiden vuoden keskimääräinen kulutus on 58 500 m³ vuodessa. Maakaasun kulutus muutetaan lämpöenergiaksi kertomalla maakaasun määrä sen lämpöarvolla 10,0

kWh/m³ (taulukko 5) ja maakaasukattilan vuosihyötysuhteella 0,9 (taulukko 6). Hyödyksi saatavan kokonaisenergian määrä on siis keskimäärin noin 527 MWh vuodessa. Koska tarkkaa lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole tiedossa, oletetaan lämpimän käyttöveden keskimääräiseksi lämmitysenergiankulutukseksi taulukon 7 mukaisesti 35 kWh/m²a eli yhteensä noin 118 MWh vuodessa. Lämmityksen huipputehontarve saadaan laskettua edellisen esimerkin mukaisesti ja tulokseksi saadaan 198 kW. Otettaessa huomioon kaikki lämmitysenergia eli käyttöveden ja tilojen lämmityksen energiankulutus, saadaan kokonaistehoksi noin 246 kW. Nykyinen maakaasukattila on mitoitettu 250 kW:n tehoiseksi.

Koulurakennuksessa kaukolämpöenergian kulutus on keskimäärin 1500 MWh vuodessa. Kertomalla sen taulukosta 6 saatavalla kaukolämmön lämmönjakokeskuksen vuosihyötysuhteella 97 %, saadaan kulutukseksi 1455 MWh. Näissä laskelmissa käytetään kuitenkin 1500 MWh:a, koska ero ei ole suuri korkean hyötysuhteen takia. Tarkkaa lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole tiedossa joten lämpimän käyttöveden keskimääräiseksi lämmitysenergiankulutukseksi oletetaan taulukon 7 mukaisesti 11 kWh/m²a. Näin ollen lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutus on kohteessa keskimäärin noin 79 MWh vuodessa. Koska kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, yhtälö 5 ei sovellu sellaisenaan kohteen lämmityksen huipputehontarpeen laskentaan. Ilmanvaihdon lämmitys lasketaan kuitenkin osana tilojen lämmitystä, joten ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus lisätään tilojen lämmitysenergiankulutukseen. Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiaa vastaava huipputehontarve saadaan mitoitusohjelman kautta ja se on noin 618 kW. Nykyinen lämmitysverkoston lämmönsiirrin on mitoitettu 100 kilowatin tehoiseksi, ilmanvaihdon lämmönsiirrin 700 kilowatin tehoiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin 380 kilowatin tehoiseksi. /22./

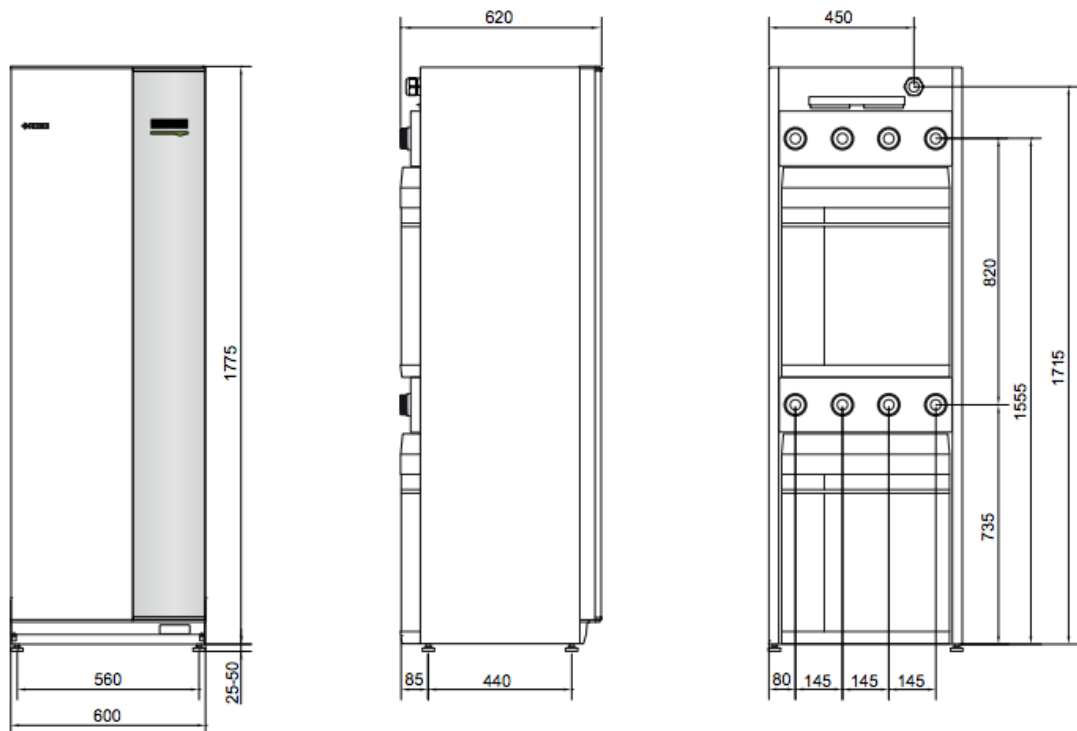
7.1.2 Maalämpöpumpun valinta

Lämmityksen huipputehontarpeen sekä kulutustottumusten perusteella kohteisiin valitaan maalämpöpumput. Maalämpöpumpun on lisäksi oltava sopivan kokoinen, jotta se voidaan sijoittaa lämmönjakohuoneeseen.

Rivitalokohteeseen valitaan yksi Nibe F1345 60 kilowatin maalämpöpumppu. Näin ollen maalämpöpumpun mitoistehoksi saadaan 60 kW, joka on noin 74 % lämmi-

tyksen huipputehontarpeesta. Nibe VPDIM –mitoitushjelman mukaan todellinen maalämpöpumpun teho on 52,7 kW, joka on 67 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Loput tehontarpeesta tuotetaan sähkövastuksilla, joita käytetään lisälämmönlähteenä. Nibe VPDIM –mitoitushjelman mukaan valitulla maalämpöpumpulla saadaan katettua noin 98 % rivitalokohteen lämmitysenergiantarpeesta. Valmistajan mukaan maalämpöpumpun meno- ja paluuveden enimmäislämpötilat ovat +65/58°C. Kylmäaineena maalämpöpumpussa käytetään R410A:ta. Valmistaja ilmoittaa 60 kilowatin maalämpöpumpun teoreettiseksi lämpökertoimeksi 4,1 olosuhteissa, jossa lämmönkeruupiirin paluunesteen lämpötila on 0°C ja lämmitysverkoston menoveden lämpötila on +35°C. Todellisuudessa lämpökerroin on matalampi. Laskelmissa käytetään mitoitushjelman antamaa lämpökerrointa 3,11. Liitteessä 5(1) on mitoitushjelman antamat energiatiedot kohteeseen valitusta maalämpöpumpusta. /10./

Lämmönjakohuoneen mitat ovat 2,85 * 3,3 metriä eli noin 9,5 m². Lisäksi lämmönjakohuoneen vieressä on käytöstä poistuva öljysäiliöhuone, joka on kooltaan 1,15 * 3,3 metriä eli noin 3,8 m². Kuvassa 10 on esitettyä Nibe F1345 –maalämpöpumpun ulkomitat.



KUVA 10. Nibe F1345 –maalämpöpumpun ulkomitat /10/

Valittu maalämpöpumppu vaatii sivuille 50 mm tilaa sekä eteen 800 mm tilaa. Lisäksi laitteen taakse on jätettävä pieni rako. Lämmönjakohuone on pinta-alaltaan riittävän iso maalämpöpumpun sijoittamiseen, jolloin öljysäiliöhuoneelle voidaan keksiä muuta käyttöä. /10./

Kerrostalokohteen maalämpöpumpuiksi valitaan 2 kappaletta Nibe F1345 60 kW:n maalämpöpumppua sekä yksi Nibe F1345 30 kW:n maalämpöpumppu. Näin ollen maalämpöpumppujen mitoitustehoksi saadaan 150 kW, joka on noin 75 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Nibe VPDIM –mitoitushjelman mukaan todellinen maalämpöpumppujen teho on 142 kW, joka on 71 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Loput tehontarpeesta tuotetaan sähkövastuksilla, joita käytetään lisälämmönlähteenä. Nibe VPDIM –mitoitushjelman mukaan kyseisillä maalämpöpumpuilla saadaan kattua noin 98 % kohteen lämmitysenergiantarpeesta. Lämpöpumppujen meno- ja paluuveden enimmäislämpötilat valmistajan mukaan ovat +65/58 °C. Kylmäaineena 60 kilowatin maalämpöpumpuissa käytetään R410A:ta ja 30 kW:n maalämpöpumpussa R407C:tä. Valmistaja ilmoittaa 60 kilowatin maalämpöpumpun lämpökertoimeksi 4,1 ja 30 kilowatin maalämpöpumpun lämpökertoimeksi 4,35 olosuhteissa, jossa lämmönkeruupiirin paluunesteen lämpötila on 0°C ja lämmitysverkoston menoveden lämpötila on +35 °C. Todellisuudessa lämpökerroin on kuitenkin alhaisempi. Laskelmissa käytetään mitoitushjelman antamaa lämpökerrointa, joka on 3,21. Liitteessä 5(2) on mitoitushjelman antamat energiatiedot kohteeseen valituista maalämpöpumpuista. /10./

Lämmönjakohuoneessa alue, johon maalämpöpumput on mahdollista sijoittaa, on kooltaan 3,4 * 3,6 metriä. Lisäksi maalämpöpumpun sivuille on jätettävä 50 mm tilaa sekä eteen 800 mm huoltotilaa. Taakse on jätettävä pieni rako. Koska maalämpöpumppuja tulee 3 kappaletta, leveysvaatimus on kokonaisuudessaan 2 metriä. Laitteen syvyys on 620 mm, joten huoltotiloineen tilavaatimus on 1420 mm. Lämmönjakohuoneessa on siis reilusti tilaa maalämpöpumppujen sijoitukseen. /10./

Koulurakennuksen maalämpöpumpuiksi valitaan 8 kappaletta Nibe F1345 60 kW:n maalämpöpumppua. Valmistajan mukaan kyseistä maalämpöpumppumallia on mahdollista kytkeä sarjaan 9 kappaletta. Kahdeksalla maalämpöpumpulla mitoitustehoksi saadaan 480 kW, joka on noin 78 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Todellisuudessa maalämpöpumpuista saadaan Nibe VPDIM –mitoitushjelman mukaan 422,2

kW, joka on noin 68 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Loput tehontarpeesta tuotetaan sähkövastuksilla, joita käytetään lisälämmönlähteinä. Mitoitusohjelman mukaan valituilla maalämpöpumpuilla saadaan katettua noin 98 % koulurakennuksen lämmitysenergiatarpeesta. Maalämpöpumpuissa käytetään kylmäainena R410A:ta. Valmistajan ilmoittama teoreettinen lämpökerroin maalämpöpumpuille on 4,1. Laskelmissa käytetään kuitenkin mitoitusohjelman antamaa lämpökerrointa 3,25. Liitteessä 5(3) on mitoitusohjelman antamat energiatiedot kohteeseen valituista maalämpöpumpuista. /10./

Koulurakennukseen valittujen maalämpöpumppujen mitat on nähtävissä kuvasta 10. Koska kohteeseen tarvitaan 8 maalämpöpumppua, tilantarve on melko suuri. Lämmönjakohuone on kooltaan 4,2 * 2,5 metriä eli 10,5 m². Kaikki kahdeksan maalämpöpumppua vie lattiapinta-alaa noin 2,5 m², mutta mittoihin on lisättävä huoltotilat. Yksi maalämpöpumppu vaatii huoltotilaa 800 mm laitteen edestä. Laitteen taakse on jätettävä pieni rako ja lisäksi sivuille on jätettävä 50 mm tilaa. Oikeanlaisella sijoittelulla maalämpöpumput on kuitenkin mahdollista sijoittaa nykyiseen lämmönjakohuoneeseen. /10./

7.1.3 Lämmönlvovuttimet

Rivitalokohteen patteriverkosto on mitoitettu lämpötiloille +80/50°C. Nykyiset lämmönlvovuttimet ovat Rettig Lämpö Oy:n (nyk. Purmo) radiaattoreita sekä konvektoreita. Kohteesta ei ole saatavilla lämpöjohtokuvia, joten kaikista lämmönlvovuttimista ei ole tarkkoja tietoja. On kuitenkin oletettavaa, että lämmönlvovuttimet eivät ole yli-mitoitettuja, sillä kohderakennus on iältään melko nuori. Maalämpöpumpulla saadaan lämmityksen menovesi lämmitettyä +65°C lämpöiseksi. Lisälämmönlähteellä menovesi lämmitetään +80°C:een. Paluuveden maksimilämpötila maalämpöpumpulla on +58°C, joka on riittävä +50°C paluuveden mitoituslämpötilalla. Lämmönlvovuttimien uusiminen ei ole pakollista, mutta parhaan hyödyn saavuttamiseksi se on suositeltavaa.

Mikäli öljylämmityksestä siirryttäisiin maakaasulämmitykseen, lämmönlvovuttimia ei tarvitse muuttaa, sillä mitoituslämpötilat pysyvät ennallaan. Lämmitysjärjestelmä on kuitenkin jo 25 vuotta vanha, joten koko järjestelmän saneerausta tulisi harkita.

Kerrostalokohteen patteriverkosto on mitoitettu lämpötiloille +80/60°C. Putkiremontin yhteydessä kaikkien ulkoseinää vasten olevien kylpyhuoneiden lämmityspatterit vaihdettiin Nokian NPT Oy:n (nyk. Acalor) Formaterm M –radiaattoreihin. Kellarin saunatilojen patterit vaihdettiin myös samoihin Formaterm M –radiaattoreihin. Kellarin pyykkitilojen lämmityspatterit vaihdettiin Rettig Lämpö Oy:n Compact –radiaattoreihin. Kaikki muut lämmityspatterit ovat vanhoja Rettig Lämpö Oy:n 1- tai 2-levyisiä levyradiaattoreita.

Lämmönluovuttimien tehojen riittävyys varmistettiin tekemällä yksittäisille tiloille pistokokeita, joissa mitoitusohjelmalla tiloille laskettiin lämpöhäviöt ja niitä verrattiin lämmönluovuttimien tehoihin uusilla ja vanhoilla mitoituslämpötiloilla. Nykyiset lämmönluovuttimet ovat ylimitoitettuja, jolloin niitä voidaan käyttää maalämpöjärjestelmän kanssa. Kun ulkolämpötila on mitoitusarvossa -29°C, nykyisillä lämmönluovuttimilla riittävä lämmityksen menoveden lämpötila on noin +70°C, jolloin maalämpöpumppu ei yksinään riitä kattamaan koko lämmitystehontarvetta. Lisälämmönlähteellä lämmityksen menovesi saadaan lämmitettyä +65°C:sta, joka on maalämpöpumpun tuottama maksimilämpötila, +70°C:een. Lisäksi paluueden lämpötila on syytä pudottaa +50°C:een patteriverkoston perussäädöllä, koska maksimilämpötila paluuedelle kyseisellä maalämpöpumpulla on +58°C. Vaikka vanhat radiaattorit ovat riittävät, niitä käyttämällä ei saada parasta hyötyä. Rakennuksessa on kuitenkin tehty saneeraustoimenpiteitä vasta hiljattain, joten asukkaiden halukkuus lämmönluovuttimien uusimiseen ei välttämättä ole kovin korkea.

Koulurakennuksen patteriverkosto on mitoitettu lämpötiloille +80/50°C. Ilmalämmitysverkosto on mitoitettu lämpötiloille +70/40°C. Nykyiset lämmityspatterit ovat Rettig Lämpö Oy:n radiaattoreita sekä konvektoreita. Kiertoilmakojeet ovat Fincoil HEV –kiertoilmakojeita. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit ovat Swegon Gold –mallin omia pattereita.

Nykyisten lämmönluovuttimien riittävyys tarkistettiin tekemällä mitoitusohjelmalla tiloille pistokokeita, joissa lämpöhäviöt tarkistettiin ja niitä verrattiin tilojen lämmönluovuttimien tehoihin vanhoilla ja uusilla mitoituslämpötiloilla. Mikäli lämmitysverkoston menoveden lämpötila pudotetaan +70°C:een, aivan kaikki lämmönluovuttimet eivät riitä kattamaan lämpöhäviöitä. Monissa tiloissa lämmönluovuttimet on mitoitettu

vastaamaan melko tarkasti lämpöhäviöitä. Koska maalämpöpumpuilla on mahdollista tuottaa maksimissaan +65°C menovettä, joudutaan menoveden lämpötila nostamaan lisälämmönlähteillä +80°C:een. Maalämpöpumpuilla lämmityksen paluueden maksimilämpötila on +58°C, joka on riittävä +50°C paluueden mitoituslämpötilalla. Jotta maalämmöstä saataisiin paras hyöty, lämmönluovuttimet olisi syytä vaihtaa pinta-alaltaan isompiin, jotta ne soveltuisivat uusiin mitoituslämpötiloihin. Suuressa osassa rakennusta lämmönjakojärjestelmä on kuitenkin saneerattu vasta muutamia vuosia sitten, joten halukkuus vaihtamiseen ei välttämättä ole kovin suuri. Koko rakennuksen patteriverkosto on myös perussäädetty aivan äskettäin.

Ilmalämmitysverkostossa mitoituslämpötiloja ei muuteta. Menoveden lämpötila nostetaan lisälämmönlähteellä +70°C:een ja paluueden lämpötila pidetään +40°C:na.

7.1.4 Lämpökaivot

Rivitalokohteessa Kotkan kaupunki käyttää ohjeenaan lämpökaivojen sijoittamisessa Ympäristöministeriön Energiakaivo-opasta. Etäisyyden vedenottamoon on oltava vähintään 60 vuorokauden viipymä tai 500 metriä mikäli viipymää ei tiedetä. Lähimpänä rivitalokohdetta oleva tärkeä pohjavesialue sijaitsee noin 2 kilometrin päässä rivitalosta. Näin ollen pohjavesialueet eivät ole esteenä lämpökaivojen poraamiselle kohteessa. Liitteen 3 kartassa on nähtävillä Kotkan tärkeät pohjavesialueet sekä kohderakennuksen sijainti. /2; 15./

Etelä-Suomessa lämpökaivoista saadaan lämmitysenergiaa noin 150 kWh/m eli rivitalokohteessa vaadittava lämpökaivometrien määrä on yhteensä noin 1500 metriä mikäli kaikki lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpulla. Tämä tarkoittaa siis esimerkiksi kuutta 250-metristä lämpökaivoa tai seitsemää 215-metristä lämpökaivoa. Valitulla maalämpöpumpulla riittävä lämpökaivometrien määrä on noin 1465 metriä. Näin ollen kohteeseen porataan esimerkiksi viisi 250 metriä syvää lämpökaivoa ja yksi 215 metriä syvä lämpökaivo.

Rivitalokohde sijaitsee pientaloalueella metsän reunalla. Lämpökaivojen sijoittaminen ei ole ongelma, sillä piha-alue on laaja eikä porattavan alueen läheisyydessä ole rajanaapureita.

Kerrostalo osalta Haminan kaupungin ympäristötoimi kieltää lämpökaivojen rakentamisen vedenottamoiden lähialueilla eli alueella, jonka viipymä vedenottamolle on vähemmän kuin 60 vrk. Etäisyys lähimmälle vedenottamolle on oltava yli 500 metriä, joka on ohjearvona vähimmäisetäisyydelle vedenottamoon, kun viipymää ei ole tiedossa. Kohderakennuksen etäisyys lähimpään vedenottamoon eli Summassa sijaitsevaan Helsingintien vedenottamoon on noin 3 kilometriä, jolloin estettä lämpökaivojen rakentamiselle ei ole. Alueella ei myöskään sijaitse muita tärkeitä pohjavesialueita. Liitteen 4(1) sekä 4(2) kartoissa on nähtävillä Haminan tärkeät pohjavesialueet, Helsingintien vedenottamon lähialue sekä kohderakennuksen sijainti. /16./

Kohteessa tarvittava lämpökaivometrien määrä on yhteensä noin 3500 metriä mikäli kaikki lämmitysenergia halutaan tuottaa täystehomitoitettulla lämpöpumpulla. 3500 metriä lämmönkeruuputkea tarkoittaa esimerkiksi 18:ta 200-metristä lämpökaivoa, 16:ta 220-metristä lämpökaivoa tai 14:ta 250-metristä lämpökaivoa. Valituilla maalämpöpumpuilla riittävä lämpökaivometrien määrä on noin 2450 metriä, joka tarkoittaa esimerkiksi 10:tä 250-metristä kaivoa.

Kohderakennuksen sijainnin vuoksi lämpökaivojen sijoitus on haastavaa, mutta toteutettavissa. Kerrostalon ympärillä on runsaasti muuta asutusta. Rakennuksen sisäpiha on kuitenkin laaja, jolloin lämpökaivot on mahdollista porata ilman suurempia häiriöitä.

Koulurakennus sijaitsee Kotkassa, joten lämpökaivojen rakentamisessa pätevät samat määräykset kuin rivitalokohteessa. Koulurakennuksen läheisyydessä ei ole tärkeitä pohjavesialueita, joten se ei ole esteenä lämpökaivojen rakentamiselle. Liitteessä 3 on nähtävillä Kotkan tärkeät pohjavesialueet sekä kohderakennuksen sijainti. /15./

Kohderakennuksessa tarvittava lämpökaivometrien määrä on yhteensä 10 000 metriä jos kaikki lämmitysenergia halutaan tuottaa maalämpöpumpuilla. Tämä tarkoittaa esimerkiksi 50:tä 200-metristä lämpökaivoa tai 40:tä 250-metristä lämpökaivoa. Valituilla maalämpöpumpuilla tarvittava lämpökaivometrien määrä on noin 7100 metriä, joka tarkoittaa esimerkiksi 33:a 215-metristä lämpökaivoa. Kokonaismetrien määrään on lisätty 100 metrin varmuusvara.

Lämpökaivojen suuren määrän vuoksi lämpökaivokenttä vaatii paljon tonttipinta-alaa. Koulurakennus sijaitsee teollisuusalueen läheisyydessä eikä sillä ole rajanaapureita välittömässä läheisyydessä. Piha-alue on laaja, joten lämpökaivot on mahdollista sijoittaa koulun omalle tontille.

7.2 Taloudellinen näkökulma

Maalämpöjärjestelmiin siirryttäessä myös taloudella on merkitystä. Suuret investoinnit ja korkea takaisinmaksuaika saattavat olla esteenä maalämpöön siirtymiseen. Kohteista selvitettiin investointien suuruus, energiankulutukset nykyisessä lämmitysjärjestelmässä ja maalämpöjärjestelmässä sekä takaisinmaksuajat maalämpöjärjestelmille.

Maalämpöön siirryttäessä saatetaan joutua muuttamaan sähkö sopimusta parhaimman taloudellisen hyödyn saamiseksi. Pientaloasukkaille suositellaan kaksiaikatariffia jos rakennuksen sähkönkulutus ylittää 10 000 kWh vuodessa. Kaksiaikatariffi eroaa yksiaikatariffista hinnoitteluperiaatteeltaan. Kaksiaikatariffissa sähkö on halvempaa esimerkiksi öisin tai kesäisin, kun yksiaikatariffissa sähkön hinta on sama kaikkina aikoina. Suuremmissa kohteissa, kuten kerrostaloissa, joissa lämmitysenergia tuotetaan esimerkiksi maakaasulla, on usein käytössä yksiaikatariffi. Kohteesta riippuen, maalämpöön siirryttäessä kaksiaikatariffi voi olla parempi vaihtoehto. /7; 39; 41; 43./

7.2.1 Investoinnit

Kaikissa kohteissa maalämpöön siirtymisen investoinnit muodostuvat vanhan lämmönlähteen purkamisesta, maalämpöpumpuista ja niiden asennuksesta, apulaitteista ja niiden asennuksesta, lämpökaivojen poraamisesta sekä lämmönkeruupiirin rakentamisesta. Kohteiden investointien määrät ovat arvioituja hintoja.

Rivitalokohteessa arvioitu investointien kokonaishinta on noin 100 000 euroa. Lämpökaivojen porausten osuus on noin 57 000 euroa. Eräs jälleenmyyjä ilmoittaa Nibe F1345 -maalämpöpumpun hinnaksi 18 000 euroa. Loput kustannukset menevät asennustöihin, apulaitteisiin, kuten varaajaan ja kiertopumppuihin, nykyisen lämmönlähteen purkamiseen sekä sähkötöihin. Kustannuksiin saattaa tulla lisäyksiä mahdollisten lisätöiden tai odottamattomien tilanteiden vuoksi. Odottamattomia tilanteita voi olla muun muassa teräsputkiporauksen arvioitua suurempi määrä. Lisäksi Kymenlaakson

Sähkö veloittaa sähköliittymän kasvattamisesta vanhan ja uuden pääsulakekoon liittymismaksujen erotuksen mikäli pääsulakekoon kasvattamiselle on tarvetta. Tämä on yleensä muutamia tuhansia euroja. /41; 44./

Kerrostalokohteessa arvioitu investointien kokonaishinta on noin 220 000 euroa. Tästä lämpökaivojen porausten osuus on noin 95 000 euroa. Eräs jälleenmyyjä ilmoittaa 60 kilowatin maalämpöpumpun hinnaksi noin 18 000 euroa kappaleelta ja 30 kilowatin maalämpöpumpun hinnaksi noin 13 500 euroa kappaleelta. Maalämpöpumpujen osuus investoinneista on siis noin 49 500 euroa. Loput kustannukset menevät laitteisiin, kuten varaajaan ja kiertopumppuihin, niiden asennuksiin, nykyisen lämmönlähteen purkamiseen sekä sähkötöihin. Kustannukset voivat kasvaa mikäli eteen tulee tilanteita, joita ei hinnanlaskennassa pystytä arvioimaan. Näitä tilanteita ovat muun muassa teräsputkiporauksen arvioitua suurempi määrä. /44./

Koulurakennuksessa arvioitu investointien kokonaishinta on noin 550 000 euroa. Yksi Nibe F1345 60 kilowatin maalämpöpumppu maksaa noin 18 000 euroa, jolloin kahdeksan maalämpöpumppua maksaa noin 144 000 euroa. Lämpökaivojen poraamisen osuus on noin 280 000 euroa. Loput kustannukset menevät laitteisiin, kuten varaajaan ja kiertopumppuihin, niiden asennuksiin, nykyisen lämmönlähteen purkamiseen sekä sähkötöihin. Kustannuksiin saattaa tulla lisäyksiä esimerkiksi sähköliittymän sulakekoon kasvattamisen ja mahdollisten lisätöiden vuoksi. Kymenlaakson Sähkön mukaan liittymän kasvattaminen kustantaa yleensä muutamia tuhansia euroja isoissa pääsulakekooissa. /41; 44./

7.2.2 Energiankulutus

Rivitalokohteessa öljynkulutus on keskimäärin 24 820 litraa vuodessa. Öljyntoimittaja ilmoittaa kevyen polttoöljyn hinnaksi 1,0212 euroa/litra. Vuodessa kevyen polttoöljyn kustannuksiin kuluu siis noin 25 346 euroa. Mikäli lämmitysenergia tuotettaisiin maakaasulla, vaadittava määrä olisi keskimäärin 24 820 m³ vuodessa. Kotkan alueella maakaasua toimittaa Gasum Oy, joka ilmoittaa maakaasun energian verottomaksi myyntihinnaksi 14,22 snt/m³, kun tilausteho on enintään 100 kW. Maakaasun verotomat siirtohinnat enintään 100 kW:n tilausteholla muodostuvat kulutusmaksuista (11,85 snt/m³), kiinteästä perusmaksusta (1409,73 €/vuosi) sekä tehomaksusta, joka on 21,56 €/kW/vuosi 60 kilowatin ylittävältä osalta. Hintoihin lisätään lisäksi energia-

sisältöveroa 4,45 snt/m³ ja hiilidioksidiveroa 6,93 snt/m³. Huoltovarmuusmaksu on 0,084 snt/m³ ja velvoitevarastointimaksu on 1,69 snt/m³. Arvonlisävero on 24 %. Näin ollen maakaasun vuosittaisiksi energiakustannuksiksi saataisiin 14 355 euroa. /45; 46./

Maalämpöjärjestelmään siirryttäessä sopivin sähkö sopimus olisi Kymenlaakson Sähkön Etukymppi-sopimus yksiaikatariffilla, jolloin sähkökustannukset koostuvat perusmaksusta 3,03 €/kk, käyttömaksusta 7,11 snt/kWh sekä sähkön siirtomaksusta, joka on 122,26 €/kk. Siirtomaksuihin lisätään lisäksi käyttömaksua 2,33 snt/kWh sekä sähkövero 2,35972 snt/kWh. Lämmitysenergian tarve on noin 223 MWh vuodessa. Maalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan lämmitysenergiaa noin 219 MWh vuodessa. Maalämpöpumpun käyttämäksi sähköenergian määräksi saadaan noin 71 MWh vuodessa, kun maalämpöpumpun lämpökerroin on 3,11. Tähän lisätään lisälämmönlähteiden kuluttama sähköenergia, jolloin maalämpöpumpun kokonaissähköenergiankulutukseksi saadaan noin 75 MWh vuodessa. Näin ollen maalämpöjärjestelmän lämmityskustannuksiksi saadaan noin 10 390 euroa vuodessa. Säästöä öljyyn verrattuna tulee siis 14 956 euroa vuodessa ja maakaasuun verrattuna 3965 euroa vuodessa. Energiasäästöä maalämpöpumpulla saadaan noin 148 MWh vuodessa. /41./

Mikäli mitoituslämpötiloina käytettäisiin maalämmölle sopivampia +55/45°C menojen ja paluuvien lämpötiloja, mitoitusohjelman mukaan maalämpöjärjestelmä kuluttaisi kokonaisuudessaan lisälämmönlähteiden kanssa noin 73 MWh sähköenergiaa vuodessa. Uusilla mitoituslämpötiloilla maalämpöpumpun lämpökerroin olisi 3,26. Tällöin maalämpöjärjestelmän energiakustannukset olisivat 10 117 euroa vuodessa. Säästöä öljylämmitykseen tulisi 15 229 euroa vuodessa.

Kerrostalokohteessa maakaasun kulutus on keskimäärin 58 500 m³ vuodessa. Haminan Energia ilmoittaa maakaasun perusmaksuksi voimassaolevalle sopimukselle 5837,08 euroa vuodessa, joka sisältää maakaasun siirtohinnan sekä myynnin 250 kilowatin tilausteholla. Lisäksi maakaasun kustannuksiin lisätään energiamaksua 51,37 snt/m³, energiaveroa 14,215 snt/m³ sekä velvoitevarastointimaksua 0,955 snt/m³. Maakaasun energiakustannuksiksi vuodessa saadaan siis 44 763 euroa. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon kiertovesipumppujen ja muiden sähköä tarvitsevien apulaitteiden sähkönkulutusta. /39./

Maalämpöön siirryttäessä sopiva vaihtoehto sähkö sopimukseksi olisi Haminan Energian yleissähkö sopimus eli yksiaikatariffi. Kohteen sulakekoko 3x250 ampeeria on riittävän iso sähkönjakeluun vaikka kohteeseen liitetään maalämpöpumppuja. Näin ollen perusmaksu on 75,29 € kuukaudessa ja energiamaksu 7,08 snt/kWh. Sähkön siirtohinnot ovat 107,21 € kuukaudessa ja energiamaksu 2,85 snt/kWh. Siirtohintoihin lisätään sähkövero ja huoltovarmuusmaksu, jotka ovat yhteensä 2,35972 snt/kWh. Lämmitykseen vaadittava kokonaislämmitysenergia on 526,5 MWh vuodessa. Maalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan noin 515,3 MWh vuodessa, jolloin valittujen maalämpöpumppujen lämpökertoimen ollessa 3,21 maalämpöpumpun käyttämäksi sähköenergian määräksi saadaan noin 161 MWh vuodessa. Lukemaan lisätään lisälämmönlähteiden sähköenergiakulutukset, jolloin kokonaissähköenergiakulutukseksi saadaan noin 167 MWh vuodessa. Maalämmön arvioituksi energiakustannuksiksi saadaan keskimäärin 22 714 euroa vuodessa. Säästöä maakaasuun verrattuna tulee siis 22 049 euroa vuodessa. /39./

Mikäli mitoituslämpötiloina käytettäisiin maalämmölle sopivampia +55/45°C menojen ja paluuvien lämpötiloja, mitoitusohjelman mukaan maalämpöjärjestelmä kuluttaisi kokonaisuudessaan lisälämmönlähteiden kanssa noin 162 MWh vuodessa. Maalämpöpumppujen lämpökerroin olisi uusilla mitoituslämpötiloilla 3,36. Lämmityksen sähköenergiakustannukset olisivat tällöin 22 038 euroa vuodessa. Säästöä maakaasuun tulisi siis 22 725 euroa vuodessa.

Koulurakennuksessa kaukolämpöenergian kulutus on keskimäärin 1500 MWh vuodessa. Sopimusvesivirta on 6,8 m³/h. Kotkan Energian kaukolämmön perusmaksu lasketaan yhtälöllä 6, kun sopimusvesivirta on 2,0-8,0 m³/h /40/.

$$\text{Perusmaksu} = 3,3 * (706,39 + 353,19 * V) \quad (6)$$

V on sopimusvesivirta, m³/h.

Perusmaksuksi saadaan 10 256 euroa. Perusmaksuun lisätään lisäksi arvonlisävero, joka on 24 %. Kaukolämmön energiamaksun verollinen hinta on 61,75 €/MWh. Näin ollen koulurakennuksen vuotuisiksi kaukolämmön energiakustannuksiksi saadaan veroineen noin 105 340 euroa. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon apulaitteiden sähkönkulutuksia. /40./

Maalämpöjärjestelmään siirryttäessä sopivin vaihtoehto sähkö sopimukseksi on Kymenlaakson Sähkön yksiaikatariffi. Yrityksille suunnatussa Etukymppi-sähkö sopimuksessa yleissähkön sähköenergian hinta on 5,7317 snt/kWh ja perusmaksu on 7,64 €/kk. Sähkön siirtohintaa on 92,09 euroa kuukaudessa, johon lisätään lisäksi käyttömaksua 1,88 snt/kWh. Sähköveron hinta on 1,9030 snt/kWh. Yritysten sähkökustannuksiin ei lisätä arvonlisäveroa. Lämmitykseen vaadittava energiantarve on 1500 MWh. Maalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan lämmitysenergiaa noin 1471,8 MWh vuodessa. Maalämpöpumppujen lämpökerroin on 3,25 eli näin ollen maalämpöpumput käyttävät energiaa noin 453 MWh vuodessa. Lisälämmönlähteineen maalämpöjärjestelmän kokonaissähköenergiankulutus on noin 483 MWh vuodessa. Kohteen maalämpöjärjestelmän arvioiduiksi energiakustannuksiksi saadaan keskimäärin 47 143 euroa vuodessa. Säästöä kaukolämpöön verrattuna tulee 58 197 euroa vuodessa. /41./

Mikäli mitoituslämpötiloina käytettäisiin maalämmölle sopivampia +55/45°C menojen ja paluuvien lämpötiloja, mitoitusohjelman mukaan maalämpöjärjestelmä kuluttaisi lisälämmönlähteineen noin 464,1 MWh sähköenergiaa vuodessa. Maalämpöpumppujen lämpökerroin olisi 3,45. Lämmityksen sähköenergiakustannukset olisivat siis 45 355 euroa vuodessa, jolloin säästöä kaukolämpöön verrattuna tulisi 59 985 euroa vuodessa.

Taulukossa 8 on yhteenveto kohteiden lämmitysjärjestelmien energiakustannuksista.

TAULUKKO 8. Kohteiden lämmitysjärjestelmien energiakustannukset

ENERGIAKUSTANNUKSET	Kohderakennus		
	Rivitalo	Kerrostalo	Koulurakennus
	[€/a]	[€/a]	[€/a]
Vanha järjestelmä	25346	44763	105340
Maalämpöjärjestelmä	10390	22714	47143
Säästö maalämpöjärjestelmällä	14956	22049	58197

7.2.3 Kokonaiskustannukset ja takaisinmaksuaika

Tiedossa on maalämpölaitteiston hinta, lämpökaivojen porauskustannukset, laitteiden asennuskustannukset sekä mahdollisten lämmönluovutusverkoston muutostöiden ja uusien lämmönluovuttimien hinta. Lisäksi on selvitetty energiankulutukset nykyisessä

lämmitysjärjestelmässä sekä maalämpölaitteiston sähkönkulutus vuodessa. Näiden tietojen perusteella pystytään laskemaan lämmityksen kokonaiskustannukset.

Kaikissa kohteissa on laskettu maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset tietyltä ajanjaksolta yhtälöä 4 käyttäen. Esimerkkilaskuissa nykyarvokerroin R laskentakorkona käytetään 5 prosenttia ja järjestelmän taloudellisena elinikänä 20 vuotta.

Rivitalokohteessa maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset tietyltä ajanjaksolta saadaan laskettua yhtälöä 4 käyttäen.

$$K_{tot} = 100\,000 \text{ €} + 12,5 * (1000 \text{ €} + 10\,390 \text{ €}) = 242\,375 \text{ €}$$

Taloudellisen eliniän ollessa 10 vuotta saadaan kokonaiskustannusten määräksi noin 188 842 euroa yhtälöä 4 käyttäen. Kuvan 9 perusteella nykyarvokerroin R on tällöin 7,8.

Takaisinmaksuaikaa selvitetessä ensin lasketaan öljynkulutuksen vuosikustannukset yhteen esimerkiksi 10 vuoden ajalta. Öljyn hinnannousuna käytetään 5 prosenttia. Kymmenen vuoden öljylämmityksen kustannukset ovat yhteensä noin 312 800 euroa. Laskettaessa maalämpöjärjestelmän lämmityksen kokonaiskustannukset samalla tavalla, summaan lisätään lisäksi investointien määrä. Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset 10 vuoden ajalta ovat 230 684 euroa, kun sähkönhinnan nousuna käytetään öljyn tavoin 5 prosenttia vuodessa. Tarkemmalla tarkastelulla maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan hieman yli 6 vuotta. Takaisinmaksuaika on se aika, jossa öljylämmityksen kokonaiskustannukset kasvavat suuremmiksi kuin maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset. Todellisuudessa takaisinmaksuaika voi olla pienempi, sillä öljyn ja sähkön hinnanvaihtelua on hankala arvioida.

Kerrostalo-kohteessa maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset tietyltä ajanjaksolta saadaan laskettua yhtälön 4 avulla.

$$K_{tot} = 220\,000 \text{ €} + 12,5 * (2200 \text{ €} + 22\,714 \text{ €}) = 531\,425 \text{ €}$$

Taloudellisen eliniän ollessa 10 vuotta saadaan kokonaiskustannusten määräksi 414 329 euroa yhtälöllä 4 laskettuna. Tällöin nykyarvokerroin R on kuvan 9 perusteella 7,8.

Kokonaiskustannukset voidaan laskea myös ynnäämällä vuosittaiset kustannukset yhteen tietyltä ajanjaksolta. Maakaasulämmityksen vuosittaiset energiakustannukset ovat 44 763 euroa. Maakaasun hinnannousuksi arvioidaan 5 prosenttia vuodessa. 10 vuoden arvioidut maakaasukustannukset ovat kokonaisuudessaan noin 563 000 euroa. Samalla menetelmällä laskettuna maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset 10 vuodelta ovat noin 505 700 euroa 5 prosentin vuosittaisella hinnannousulla. Tarkemmalla tarkastelulla maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi kohteessa saadaan vajaa 9 vuotta. Takaisinmaksuaika saadaan laskemalla yhteen kertyneet kustannukset maakaasulla sekä maalämmöllä vuoden välein ja katsomalla, minkä vuoden kohdalla maakaasun kustannukset kasvavat suuremmiksi kuin maalämmön yhteenlasketut investoinnit ja energiakustannukset. Todellisuudessa takaisinmaksuaika voi olla pienempi, sillä energian hintakehitystä on hankala arvioida.

Koulurakennuksessa kaukolämmön energiakustannukset ovat noin 105 340 euroa vuodessa. Lisäksi vuosikustannuksiin lisätään Kotkan Energian vuosihuolto, joka on yli $6,40 \text{ m}^3/\text{h}$ tilausvesivirralla 510 € vuodessa eli kaukolämmön kokonaiskustannukset ovat 105 850 euroa vuodessa /40/.

Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset tietyltä ajanjaksolta saadaan laskettua yhtälöllä 4.

$$K_{tot} = 550\,000 \text{ €} + 12,5 * (5500\text{€} + 47\,143 \text{ €}) = 1\,208\,000 \text{ €}$$

Taloudellisen eliniän ollessa 10 vuotta saadaan maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannuksiksi 960 615 euroa käyttämällä yhtälöä 4. Nykyarvokerroin R on kuvan 6 perusteella 7,8.

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa kaukolämmön hinnannousuna käytetään 5 prosenttia vuodessa. 10 vuoden arvioidut kaukolämpökustannukset ovat kokonaisuudessaan noin 1 331 370 euroa. Samaa menetelmää käyttäen maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset 10 vuoden ajalta ovat noin 1 142 960 euroa. Tarkemmalla tarkastelulla maa-

lämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan vajaa 8 vuotta. Kyseisen vuoden kohdalla kaukolämmön kokonaisenergiakustannukset kasvavat suuremmiksi kuin maalämmön yhteenlasketut investointi- ja energiakustannukset. Takaisinmaksuaika voi todellisuudessa olla lyhyempi, sillä energian hintakehitystä on hankala arvioida.

Taulukossa 9 on yhteenveto kohteiden maalämpöjärjestelmien investoinneista ja takaisinmaksuajoista.

TAULUKKO 9. Maalämpöjärjestelmien investoinnit ja takaisinmaksuajat

INVESTOINNIT JA TAKAISINMAKSUAIKA	Kohderakennus		
	Rivitalo	Kerrostalo	Koulurakennus
	[€]	[€]	[€]
Maalämpöpumput	18000	49500	144000
Lämpökaivot	57000	95000	280000
Muut työt	25000	75500	126000
Investoinnit yhteensä	100000	220000	550000
Maalämpöjärjestelmän arvioitu takaisinmaksuaika [vuotta]	6	9	8

7.3 Ympäristövaikutukset

Maalämpöjärjestelmän ympäristövaikutukset voivat erota paljon muista lämmöntuotantotavoista. Kohteissa tarkastellaan lämmitysjärjestelmien osalta hiilidioksidipäästöjä sekä primäärienergian määrää primäärienergiakertoimien ja energiamuotokertoimien kautta.

7.3.1 Hiilidioksidipäästöt ja ydinjäte

Rivitalokohteessa öljynkulutus on 24 820 litraa vuodessa eli 248 200 kWh vuodessa. Koska kohteessa lämmitys toteutetaan öljykattilalla, hiilidioksidipäästöt saadaan kertomalla öljynkulutus kevyen polttoöljyn ominaispäästökertoimella, joka on taulukon 3 mukaan 297 g CO₂/kWh. Näin ollen kohteen lämmitysjärjestelmän hiilidioksidipäästöjen määräksi saadaan noin 73 715 kilogrammaa vuodessa.

Vuodessa kuluu sähköä lämmitysenergian tuottamiseen maalämpöpumpulla noin 75 MWh eli 75 000 kWh. Kymenlaakson Sähkö ilmoittaa myymänsä sähkön ominaispäästökertoimeksi 293 g CO₂/kWh, jolloin lämmitysjärjestelmän hiilidioksidipäästö-

jen määräksi saadaan 22 063 kilogrammaa vuodessa. Ydinjätettä kertyy kohteen maalämpöjärjestelmällä noin 50,5 kilogrammaa vuodessa, kun ydinjätteen ominaispäästökerroin on 0,67 mg/kWh.

Kerrostalokohteessa maakaasun kulutus on 58 500 m³ vuodessa eli 585 000 kWh vuodessa. Koska kohteessa lämmitys toteutetaan maakaasukattilalla, hiilidioksidipäästöjen määrä saadaan laskettua samalla tavalla kuin rivitalokohteessa. Kevyen polttoöljyn sijasta tarkastellaan maakaasun ominaispäästökerrointa, joka saadaan taulukosta 3. Maakaasun ominaispäästökerroin on 198 g CO₂/kWh, jolloin maakaasulämmitysjärjestelmän hiilidioksidipäästöt ovat 115 830 kilogrammaa vuodessa.

Vuodessa kuluu sähköä lämmitysenergian tuottamiseen maalämmöllä noin 177 MWh eli 177 000 kWh. Haminan Energian ilmoittama ominaispäästökerroin myymälleen sähkölle on 174 g CO₂/kWh, jolloin maalämpöjärjestelmän hiilidioksidipäästöt ovat noin 30 868 kilogrammaa vuodessa. Kertyneen ydinjätteen määrä lämmitysenergiasta vuodessa on 142 kilogrammaa, kun ydinjätteen ominaispäästökerroin on 0,80 mg/kWh.

Koulurakennuksessa kaukolämpöenergian kulutus on 1500 MWh vuodessa eli 1 500 000 kWh vuodessa. Kotkan Energia ilmoittaa vuonna 2012 tuottamalleen kaukolämmölle hiilidioksidin ominaispäästökertoimeksi 130 g CO₂/kWh /39%. Näin ollen hiilidioksidipäästöjen määräksi lämmitysjärjestelmälle saadaan 195 000 kilogrammaa vuodessa.

Kohteessa sähköntoimittaja on sama kuin rivitalokohteessa, jolloin ominaispäästökerroin sähkölle on 293 g CO₂/kWh. Maalämpöjärjestelmä kuluttaa sähköä vuodessa lämmitykseen 483 MWh eli 483 000 kWh. Täten maalämpöjärjestelmän hiilidioksidipäästöjen määräksi saadaan 141 490 kilogrammaa vuodessa. Kertyneen ydinjätteen määräksi saadaan noin 323 kilogrammaa vuodessa, kun ydinjätteen ominaispäästökerroin on 0,67 mg/kWh.

Taulukossa 10 on yhteenveto kohteiden lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöistä.

TAULUKKO 10. Kohteiden lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt

HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	Kohderakennus		
	Rivitalo	Kerrostalo	Koulurakennus
Energiankulutus (nykyinen järjestelmä) [kWh]	248200	585000	1500000
Energiankulutus (maalämpöjärjestelmä) [kWh]	75300	177400	482900
Ominaispäästökerroin [g CO ₂ /kWh]			
Öljy	297		
Maakaasu		198	
Kaukolämpö (Kotkan Energia)			130
Sähkö (Haminan Energia)		174	
Sähkö (Kymenlaakson Sähkö)	293		293
CO₂-päästöt (nykyinen järjestelmä) [kg CO₂]	73715	115830	195000
CO₂-päästöt (maalämpöjärjestelmä) [kg CO₂]	22063	30868	141490

7.3.2 Primäärienergiämäärät

Rivitalokohteessa öljynkulutus on 24 820 litraa vuodessa eli 248 MWh vuodessa. Kulutus kerrotaan polttoöljyn primäärienergiakertoimella 1,35. Tällöin primäärienergian määräksi saadaan noin 335 MWh vuodessa. Maalämpöjärjestelmän sähkönkulutus on 75,3 MWh vuodessa. Maalämpöjärjestelmän primäärienergian määräksi saadaan noin 188 MWh, kun sähkönkulutus kerrotaan sähkön primäärienergiakertoimella 2,5. Primäärienergiakertoimet saadaan taulukosta 1.

Kerrostalo-kohteessa maakaasun kulutus vuosittain on noin 58 500 m³ eli 585 MWh. Kerrottaessa se 1,1:llä eli maakaasun primäärienergiakertoimella, joka saadaan taulukosta 1, saadaan primäärienergiankulutukseksi noin 644 MWh. Laskettu primäärienergiankulutus vastaa 64 400 m³:ta maakaasua. Maalämpöjärjestelmän sähkönkulutus on vuosittain 177 MWh. Kertomalla kulutus sähkön primäärienergiakertoimella 2,5 saadaan primäärienergiankulutukseksi 443,5 MWh.

Koulurakennuksessa kaukolämpöenergian kulutus on 1500 MWh, vuodessa. Kotkan Energian kaukolämmön primäärienergiakerroin saadaan laskettua yhtälöllä 7 /35/.

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{F,i} * f_{P,F,i} - W_{CHP,el} * f_{P,elt}}{\sum_i Q_{C,i}} \quad (7)$$

$f_{P,DH}$ on kaukolämmön primäärienergiakerroin

$Q_{F,i}$ on polttoaineen kulutus tarkasteluvuonna, Wh

$f_{P,F,i}$	on polttoaineen primäärienergiakerroin
$W_{CHP,el}$	on yhteistuotannon sähkön nettotuotanto tarkasteluvuonna, Wh
$f_{P,elt}$	on sähkön primäärienergiakerroin
$Q_{C,i}$	on kaukolämmön tuotanto tarkasteluvuonna, Wh.

Vuonna 2012 kaukolämmön tuotanto oli 397 GWh ja sähköntuotanto oli 133 GWh. Prosessihöyryn tuotanto oli 225 GWh. Samana vuonna bio-, kierrätys- ja jätepolttoaineita käytettiin 582 GWh, maakaasua 165 GWh, turvetta 156 GWh ja öljyä 4 GWh. Alla on laskettuna Kotkan Energian kaukolämpötuotannon primäärienergiakerroin yhtälöä 7 käyttäen. /37; 40./

$$f_{P,DH} = \frac{(582 * 0,1 + 165 * 1,1 + 156 * 1,2 + 4 * 1,35 - 133 * 2,5)GWh}{397 GWh} = 0,25$$

Kaukolämmön primäärienergiakerroin on siis 0,25. Näin ollen kohteen lämmitysenergian primäärienergian määräksi saadaan 375 MWh.

Maalämpöjärjestelmä kuluttaa sähköenergiaa noin 483 MWh vuodessa. Kerrottaessa kulutus 2,5:lla, joka on sähkön primäärienergiakerroin, saadaan primäärienergiankulutukseksi noin 1207 MWh. Mikäli kaikki lämmitysenergia tuotettaisiin suoralla sähkölämmityksellä, primäärienergian määrä olisi 3750 MWh.

Taulukossa 11 on yhteenveto kohteiden lämmitysjärjestelmien primäärienergian kulutuksesta primäärienergiakertoimien kautta laskettuna.

TAULUKKO 11. Kohteiden lämmitysjärjestelmien primäärienergiankulutukset primäärienergiakertoimen kautta laskettuna

PRIMÄÄRIENERGIA	Kohderakennus		
	Rivitalo	Kerrostalo	Koulurakennus
Energiankulutus (nykyinen järjestelmä) [MWh]	248,2	585,0	1500,0
Energiankulutus (maalämpöjärjestelmä) [MWh]	75,3	177,4	482,9
Primäärienergiakerroin			
Öljy	1,35		
Maakaasu		1,10	
Kaukolämpö (Kotkan Energia)			0,25
Sähkö	2,50	2,50	2,50
Primäärienergia (nyk. järjestelmä) [MWh]	335,0	643,5	375,0
Primäärienergia (maalämpöjärjestelmä) [MWh]	188,3	443,5	1207,0

7.3.3 Energiamuotokertoimilla lasketut vertailuarvot

Rivitalokohteessa primäärienergian määrä energiamuotokertoimien kautta tarkasteltuna eroaa jonkin verran primäärienergiakertoimien arvoista. Öljynkulutus on vuosittain 24 820 litraa eli 248 MWh. Taulukosta 2 saadaan lämmönlähteiden energiamuotokertoimet. Fossiilisten polttoaineiden energiamuotokerroin on 1, jolloin öljylämmityksen primäärienergian määräksi saadaan 248 MWh. Maalämmön energiamuotokertoimena käytetään sähkön energiamuotokerrointa 1,7. Maalämpöjärjestelmä kuluttaa kohteessa sähköenergiaa noin 75 MWh vuodessa, jolloin primäärienergian määräksi saadaan 128 MWh.

Kerrostalokohteessa energiamuotokertoimien kautta tarkasteltuna nykyisessä maakaasulämmityksessä lämmityksen primäärienergian määräksi saadaan 585 MWh. Taulukosta 2 saadaan fossiilisten polttoaineiden energiamuotokerroin, joka on 1. Maalämmön energiamuotokerroin 1,7 on sähkön energiamuotokerroin. Primäärienergian määräksi saadaan noin 302 MWh, kun maalämpöjärjestelmän sähkönkulutus on 177 MWh.

Koulurakennuksessa lämmitysjärjestelmän primäärienergian määrää laskettaessa energiamuotokertoimien kautta, taulukosta 2 saadaan kaukolämmön energiamuotokertoimeksi 0,7. Kohteen kaukolämpöenergiankulutuksen ollessa 1500 MWh saadaan energiamuotokertoimella primäärienergian määräksi 1050 MWh. Maalämmön energiamuotokertoimena käytetään 1,7:ää, jolloin primäärienergian määräksi saadaan noin 821 MWh, kun maalämpöjärjestelmän sähköenergiankulutus on 483 MWh. Suoralla sähkölämmityksellä primäärienergian määräksi saadaan noin 2550 MWh energiamuotokertoimien kautta tarkasteltuna.

Taulukossa 12 on yhteenveto kohteiden lämmitysjärjestelmien primäärienergiankulutuksesta energiamuotokertoimien kautta laskettuna.

TAULUKKO 12. Kohteiden lämmitysjärjestelmien primäärienergiankulutukset energiamuotokertoimien kautta laskettuna

PRIMÄÄRIENERGIA	Kohderakennus		
	Rivitalo	Kerrostalo	Koulurakennus
Energiankulutus (nykyinen järjestelmä) [MWh]	248,2	585,0	1500,0
Energiankulutus (maalämpöjärjestelmä) [MWh]	75,3	177,4	482,9
Energiamuotokerroin			
Fossiiliset polttoaineet	1,0	1,0	
Kaukolämpö			0,7
Sähkö	1,7	1,7	1,7
Primäärienergia (nyk. järjestelmä) [MWh]	248,2	585,0	1050,0
Primäärienergia (maalämpöjärjestelmä) [MWh]	128,0	301,6	821,0

7.4 Kokemuksia maalämmöstä

2000-luvulla moni kiinteistö on siirtynyt vanhasta lämmönlähteestään maalämpölämmitykseen. Joidenkin rakennusten lämmitysjärjestelmät ovat olleet toiminnassa jo useamman vuoden ajan, jolloin maalämpöön siirtymisen hyödyt ja haitat ovat alkaneet selvitä.

7.4.1 Ljuskärnsberget, Tukholma

Ruotsin suurin maalämpöprojekti toteutettiin Etelä-Tukholmassa sijaitsevassa Ljuskärnsberget-nimisessä taloyhtiössä. Taloyhtiö sisältää useita rakennuksia ja yhteensä 500 asuntoa. Asunnoissa asuu arviolta noin 1000 asukasta, joista jokainen osallistui päätöksentekoon. Maalämpöön siirtymisen investoinnit olivat kokonaisuudessaan 60 miljoonaa Ruotsin kruunua eli noin 6,5 miljoonaa euroa. Valtio tuki projektia 10 miljoonalla kruunulla eli noin yhdellä miljoonalla eurolla. /47./

Kohteessa päätettiin siirtyä suorasta sähkölämmityksestä maalämpöön. Projekti aloitettiin vuonna 2006 materiaalin ja esitietojen keräämisellä ja vuonna 2008 taloyhtiön hallitus päätti siirtymisestä maalämpöön. Vuonna 2010 projekti sai asukkailta täyden kannatuksen ja sopimus allekirjoitettiin kyseisen vuoden kesäkuun lopulla. Lämpökaivojen poraamiset aloitettiin heinäkuussa 2010 ja helmikuussa 2011 jokaiseen rakennukseen oli saatu asennettua uusi lämmitysjärjestelmä. /47./

Lämmitysjärjestelmä toteutettiin jakamalla rakennukset kolmeentoista neljän rakennuksen ryhmään, jotka lämmitetään keskuslämmityksellä. Lämmönjakokeskus sijoitettiin joka ryhmässä yhteen rakennukseen, josta lämpö jaetaan kaikille neljälle rakennukselle. Koko projektissa on 26 maalämpöpumppua ja 156 kappaletta 230-metrisiä lämpökaivoja, jolloin lämpökaivojen yhteispituus on 35 880 metriä. Kokonaislämpöpumppukapasiteetti on 1,3 megawattia. Lämmin käyttövesi lämmitetään myös maalämpöpumpulla, mutta tarvittaessa lisälämpönä käytetään sähkölämmitteisiä varaajia, joiden teho on yhteensä 780 kilowattia. /47./

Ennen maalämpöön siirtymistä lämmityksen ja lämpimän käyttöveden sähkönkulutukset olivat noin 5200 MWh vuodessa. Maalämpöjärjestelmän sähkönkulutukseksi on arvioitu 1626 MWh vuodessa, mutta tarkkaa tietoa ei järjestelmän nuoren iän vuoksi ole vielä saatavilla. Taloudelliset säästöt ovat arvioiden mukaan lähes 4 miljoonaa kruunua eli noin 440 000 euroa vuodessa verrattuna vuoden 2010 sähkönkulutukseen. /47./

Uusi järjestelmä vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa 350 tonnia vuodessa ja taloyhtiö on pohtinut muutosta tuulivoimalla tuotettuun sähköön jolloin hiilidioksidipäästöt laskisivat edelleen. Uusi lämmitysjärjestelmä on asiakkaiden mukaan myös parantanut sisäilmaston laatua huomattavasti, kun sisälämpötilat ovat muuttuneet mieluisammaksi sähkölämmityksen ajoilta. /47./

7.4.2 Pietanpolku, Kotka

Kohde on kahdesta vuonna 1974 rakennetusta rivitalosta muodostuva taloyhtiö Kotkan Pietanpolulla. Kohteen asuinpinta-ala on 769 m² ja siinä on runsaasti yhteisiä tiloja. Ennen maalämpöön siirtymistä lämmitysenergia tuotettiin öljyllä sekä lämminvesivaraajan sähkövastuksilla. Laitteiston korkea ikä sekä öljyn kallistunut hinta vaikuttivat päätökseen siirtyä maalämpöön. Maalämpöön siirryttiin vuonna 2012. /48./

Maalämpöpumpuksi kohteeseen valittiin Nibe F1345 –maalämpöpumppu ja lämpö otetaan maasta neljällä lämpökaivolla. Kyseiseen maalämpöpumppuun päädyttiin paikallisen urakoitsijan tarjouksen myötä. Myös F1345 –maalämpöpumpun hyötysuhde sekä edulliset käyttökustannukset vaikuttivat päätökseen. /48./

Urakoitsijan suunnitelmissa oli tehty laskelmia, että käytettävällä laitoksella maalämpöpumppu riittää ainoaksi lämmönlähteeksi. Reilun vuoden tarkastelun perusteella on todettu, ettei lisälämmittämiä ole tarvittu. Isännöitsijän mukaan maalämpöön siirtyminen on pienentänyt sähkölaskua edeltäviin vuosiin verrattuna noin 55 000 kWh vuodessa. Tämä tarkoittaa yli 70 prosentin energiasäästöä. Tämän johdosta yhtiövästikkeita ei ole tarvinnut nostaa investointien kattamiseksi. /48./

7.4.3 As Oy Kivelänkatu 1b, Helsinki

As Oy Kivelänkatu 1b on kerrostaloyhtiö, joka sijaitsee Helsingin Töölössä ja siitä tuli ensimmäinen asuinkerrostalo Helsingin kantakaupungissa, joka on siirtynyt kaukolämmöstä maalämpöön. Kerrostalo on kuusikerroksinen ja se koostuu 19 asunnosta. Talo on rakennettu vuonna 1934 ja lämmitettävää pinta-alaa siinä on 925 m². Lämmitysenergian kulutus kaukolämmöllä oli noin 180,7 MWh vuodessa. /20./

Kohteen vanha kaukolämmön alajakokeskus oli uusimisen tarpeessa. Taloyhtiön hallituksen puheenjohtaja esitteli taloyhtiön hallitukselle suunnitelman maalämpöön siirtymisestä ja sitä pidettiin hyvänä ideana. Muutos maalämpöön tehtiin vuonna 2012. Maalämpöpumpuksi kohteeseen valittiin IVT Greenline F Plus 43 -maalämpöpumppu. /20./

Lämpökaivojen poraamiseen vaadittavan toimenpideluvan saaminen viivästyí suunnitelmailla olevan Töölön maanalaisen rautatieaseman epäselvän sijainnin takia. Lämpökaivot eivät kuitenkaan haittaa maanalaista asemakaavaa ja aseman suunnittelija antoi lausunnossaan luvan lämpökaivojen poraamiselle. Tontille porattiin neljä 220 metriä syvää lämpökaivoa. Lämmitysenergian lisäksi lämpökaivoista otetaan myös jäähdytysenergiaa asuntoihin. /20./

Maalämpöön siirtymisen jälkeen ensimmäisen vuoden lämmityskustannuksissa on saavutettu 43 % säästöt aiempiin vuosiin verrattuna. Tämä johti yhtiövästikkeiden laskemiseen. Myönteisten käyttökokemusten myötä muissakin alueen taloyhtiöissä on herännyt kiinnostusta maalämpöä kohtaan. /20./

7.4.4 Mäntyharjun kirkko

Mäntyharjun aiemmin öljylämmitteinen puukirkko on valmistunut vuonna 1822. Rakennuspinta-alaa kirkolla on 1616 m². Vaikka kirkkoa ei aiemmin juuri lämmitetty arkipäivinä, öljynkulutus oli silti yli 30 000 litraa vuodessa. /20./

Öljylämmitysjärjestelmän uusinnan tullessa ajankohtaiseksi päätettiin samalla vaihtaa lämmöntuotantotapaa. Vaihtoehtoina harkittiin muun muassa kaukolämpöä ja hake-
lämmitystä, mutta valinta päättyi lopulta maalämpöön. Päätökseen vaikuttivat öljyn korkea hinta sekä maalämmön ympäristöystävällisyys. /20./

Kohteen alueelle porattiin 12 kappaletta 170 metriä syvää lämpökaivoa. Lämpöpumpuiksi valittiin kolme IVT Greenline HE D36 –maalämpöpumppua. Lisäksi kirkkoon asennettiin uusi lämmönluovutusverkosto, sillä kirkossa ei ollut vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Museovirasto ohjeisti käyttämään tiettyntyyppisiä ripaputkipattereita. Vuosittaista säästöä maalämpöjärjestelmällä saadaan 77 % aiempaan lämmitysjärjestelmään verrattuna. Rahassa tämä tarkoittaa noin 18 000 € vuosittaista säästöä. /20./

Maalämpöön siirtymisen jälkeen myös kirkon lämpöolot paranivat huomattavasti. Vanhalla järjestelmällä lämpötila laskettiin arkisin noin +5°C:een ja viikonloppuisin nostettiin +20°C:een. Maalämpöjärjestelmällä lämpötilan jyrkkä edestakainen sahaaminen saatiin poistettua. Nykyään lämpötila saadaan pidettyä arkisin +12°C:ssa ja viikonloppuisin se nostetaan +18°C:een. /20./

8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla kohderakennuksen nykyistä lämmöntuotantotapaa ja maalämpöjärjestelmää. Työssä otettiin myös huomioon joitakin seikkoja, jotka voivat vaikuttaa mahdollisuuteen käyttää maalämpöä, kuten lämpökaivojen sijoittaminen alueelle sekä nykyisten lämmönluovuttimien soveltuvuus maalämpöön. Tuloksista voidaan päätellä, että maalämpöjärjestelmällä voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä lämmityskustannuksissa verrattuna perinteisiin lämmöntuotantotapoihin. Kohderakennuksilla maalämmöllä saavutettavat arvioidut energiakustannussäästöt ovat noin 50-60 % vanhaan lämmöntuotantotapaan verrattuna. Toteutuneiden vertai-

lukohteiden säästöt ovat pääosin samaa kokoluokkaa, joka omalta osaltaan tukee laskelmia. Vertailukohteiden energiakustannussäästöt löytyvät kohdasta 7.4.

Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika riippuu kohteen nykyisestä lämmöntuotantotavasta. Öljylämmitteisissä rakennuksissa maalämmön takaisinmaksuaikaa voidaan yleisesti pitää lyhyempänä kuin esimerkiksi maakaasu- tai kaukolämpölämmitteisissä rakennuksissa. Kaukolämmön hinnat vaihtelevat eri energiayhtiöiden välillä eli takaisinmaksuaika voi olla lyhyempi tai pidempi mikäli tämän työn koulurakennus sijaitsisi jollain muulla paikkakunnalla. Myös maakaasun hinta on alkanut nousta, joten joidenkin vuosien kuluttua se ei välttämättä ole hinnaltaan yhtä kilpailukykyinen kuin tällä hetkellä. Sähköenergia on Suomessa myös halpaa tällä hetkellä verrattuna muuhun Eurooppaan. Tulevaisuudessa sähkön hinta tulee todennäköisesti nousemaan, jolloin maalämmön kannattavuus saattaa huonontua. Lisäksi on syytä mainita, että työssä laskettiin ainoastaan lämmitysenergian hintaa. Apulaitteiden kuluttaman sähkön ja taloussähkön suuruutta ei oteta huomioon laskelmissa. Myös kokonaisinvestointien määrät ovat arviohintoja.

Jokaisessa kohteessa laskelmat tehtiin Nibe–maalämpöpumpuilla. Niben oma valinta-ohjelma on monipuolinen ja siitä oli suurta apua valinnassa. Jokaisessa kohteessa maalämpöpumput mitoitettiin osatehomitoituksella. Etenkin Etelä-Suomessa osatehomitoitettu maalämpöpumppu riittää tulosten perusteella erinomaisesti kattamaan lämmitysenergian tarpeen lähes 100-prosenttisesti. Mielenkiintoinen seikka on lämmitysverkoston mitoituslämpötilojen vaikutukset energiankulutukseen. Niben mitoitusohjelman mukaan vuosittainen sähköenergiankulutus ei kasva merkittävästi vaikka lämmityksen menoveden jälkilämmitys toteutettaisiin sähkövastuksella. Tämä on tärkeä seikka saneerauskohteissa, joissa vanhat mitoituslämpötilat ovat yleensä +80/50°C tai +70/40°C. Investointien määrä laskee, kun vanhoja lämmönluovuttimia ei tarvitse vaihtaa maalämmölle sopivampien mitoituslämpötilojen vuoksi.

Kohteissa lämpökaivojen poraamiselle ei löytynyt esteitä. Etenkin tiheään rakennetuilla alueilla lämpökaivojen poraaminen voi olla ongelma muun muassa maanalaisten johtojen tai vähäisen tilan vuoksi. Myös pohjavesialueet ovat tärkeä tekijä lämpökaivojen sijoittelussa. Projektin alussa on syytä olla yhteydessä kunnan rakennus- ja ympäristöviranomaisiin, sillä lämpökaivojen poraamisen vaatimukset vaihtelevat jonkin verran kuntakohtaisesti. Kohteissa lämpökaivojen pituuksiin lisättiin varmuusvara,

jotta kaivoista saadaan riittävästi lämmitysenergiaa kaikkina aikoina. Mitoituksessa käytettiin Etelä-Suomen ohjearvoa 150 kWh/m.

Kerros- ja rivitalokohteiden tulosten perusteella maalämpö on ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin nykyiset lämmöntuotantotavat. Koulurakennuksen primäärienergian määrä on kuitenkin muista poiketen nykyisellä lämmöntuotantotavalla eli kaukolämmöllä (375 MWh) huomattavasti pienempi kuin maalämmöllä (1207 MWh), kun primäärienergiaa tarkastellaan primäärienergiakertoimien kautta. Tämä selittyy Kotkan Energian kaukolämpötuotannon pienellä primäärienergiakertoimella, johon vaikuttaa suuri uusiutuvien polttoaineiden käyttö. Tämä seikka tekee kaukolämmöstä maalämpöä ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon kyseisessä kohteessa. Kotkan Energian kaukolämpöverkoston alueella kaukolämpö on siis sopivampi vaihtoehto kaikkiin kohteisiin ympäristön kannalta kuin maalämpö.

Energiamuotokertoimien kautta laskettuna maalämpö on kuitenkin odotetusti kaikissa tarkasteltavissa kohteissa vaikuttaa ympäristöystävällisemmältä vaihtoehdolta kuin nykyinen lämmöntuotantotapa. Pitää kuitenkin muistaa, että energiamuotokertoimet ovat maanlaajuisia, jolloin tarkastelussa ei oteta huomioon tarkasteltavalla alueella olevien energiayhtiöiden käyttämiä polttoaineita.

Hiilidioksidipäästöjen määrä vaihtelee energiayhtiökohtaisesti. Kerrostalokohteessa hiilidioksidipäästöjen huomattavan suuri ero maakaasun ja sähköenergian välillä selittyy Haminan Energian sähköntuotannon isolla tuulivoimakapasiteetilla. Koulurakennuksen hiilidioksidipäästöjen ero kaukolämmön ja maalämmön välillä ei ole niin suuri kuin olisi oletettavaa. Kotkan Energia käyttää paljon uusiutuvia polttoaineita kaukolämmön tuotannossaan, kun Kymenlaakson Sähkön myymän sähkön tuotannossa käytetyistä polttoaineista lähes puolet ovat fossiilisia polttoaineita. On kuitenkin otettava huomioon myös puunpoltton ja fossiilisten polttoaineiden polttamisen päästöjen erot. Vaikka puunpoltossa syntyy runsaasti hiilidioksidia, niin muiden haitallisten päästöjen tuotto on vähäisempää kuin fossiilisisissa polttoaineissa. Esimerkiksi öljyn ja kivihiilen poltossa syntyy runsaasti erilaisia terveydelle ja ympäristölle haitallisia hiukkasia. Näin ollen ympäristöystävällisyyden määrittäminen hiilidioksidin määrällä ei ole riittävä keino.

Voidaan siis todeta, että maalämpö on nykyään kannattava ja ympäristöystävällinen vaihtoehto fossiilisilla polttoaineilla tuotettujen lämmöntuotantotapojen korvaamiseen. Maalämmön primäärienergiakerroin on sitä pienempi, mitä parempi maalämpöpumpun lämpökerroin on. Toisin kuin fossiiliset polttoaineet, kaukolämpö on tulosten perusteella maalämpöä ympäristöystävällisempi vaihtoehto, sillä kaukolämmön tuotannossa käytetään nykyään runsaasti uusiutuvia polttoaineita. Kaukolämpöverkostoa ei kuitenkaan ole saatavilla kaikilla paikkakunnilla tai sen vaikutusalue on rajallinen.

Taloyhtiöissä on saavutettu selkeitä säästöjä maalämpöön siirtymällä. Sähköenergian hintoina on tässä työssä käytetty paikallisten energiayhtiöiden hintoja eli kilpailuttamalla eri energiayhtiöitä sähköenergiassa voidaan saavuttaa vielä suurempia säästöjä. Myös lämmitystavan muutoksen tarjouspyyntöä tehdessä on kannattavaa kilpailuttaa monia eri LVI- ja porausurakoitsijoita edullisimman ja laadukkaimman muutostyön takaamiseksi sekä investointikustannusten hallitsemiseksi.

LÄHTEET

1. Martinkauppi, Kirsi. Valtioneuvoston asetus maankäyttö- ja rakennusasetuksen muuttamisesta. Ympäristöministeriö. Muistio.
http://www.motiva.fi/files/4114/Muistio_Valtioneuvoston_asetus_maankaytto- ja_rakennusasetuksen_muuttamisesta.pdf. Päivitetty 17.3.2011. Luettu 22.1.2014.
2. Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. Ympäristöopas 2013: Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2013.
3. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Pientalojen harkinnanvarainen energiaavustus. Verkkodokumentti. http://www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset/Pientalojen_harkinnanvarainen_energiaavustus. Päivitetty 21.1.2014. Luettu 23.1.2014.
4. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. 1995.
5. Thermia. Yrityksen www-sivut. <http://www.thermia.fi/>. Päivitetty 22.1.2014. Luettu 22.1.2014.
6. Aittomäki, Antero. Kylmätekniikka. Helsinki: Kylmätuki Oy. 1996.
7. Motiva. Lämpöä omasta maasta. PDF-dokumentti.
http://www.sulpu.fi/documents/184029/190695/Motiva%2C%20Lampoa_omasta_masta-1.pdf. Päivitetty 4.10.2012. Luettu 5.1.2014.
8. Motiva. Maalämpöpumppu. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu. Päivitetty 6.5.2013. Luettu 22.1.2014.
9. Viita, Ilkka, Aho, Ilari, Kauppila, Kari, Aittomäki, Antero & Haapalainen, Heimo. Pientalon lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluohjeet. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 1996.
10. Nibe Energy Systems Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.nibe.fi/>. Päivitetty 24.1.2014. Luettu 24.1.2014.
11. Aalto, Esa. Yleistä kylmäaineista ja niiden rajoituksista. Suomen Kylmäliikkeiden liitto ry. PDF-dokumentti. <http://www.skll.fi/www/att.php?id=45>. Päivitetty 20.2.2008. Luettu 23.1.2014.
12. Kianta, Jani. Kylmäainetilanne 2008. Suomen Kylmäyhdistys ry. Verkkodokumentti. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>. Päivitetty 25.5.2008. Luettu 2.2.2014.
13. Motiva. YM: Lämpökaivojen poraamiseen jatkossa toimenpidelupa. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/ajankohtaista/muut_tiedotteet/2011/ym_lampokaivojen_poraamiseen_jatkossa_toimenpidelupa.html. Päivitetty 22.1.2014. Luettu 22.1.2014.

14. Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999. Verkkodokumentti.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>. Päivitetty 22.1.2014. Luettu 22.1.2014.
15. Kotkan kaupunki. Maalämpö – ohje rakentajalle. Rakennusvalvonta. PDF-dokumentti.
http://www.kotka.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/kotka/embeds/kotkawwwstructure/20632_maalampo_kotka.pdf. Päivitetty 10.9.2013. Luettu 22.1.2014.
16. Haminan kaupunki. Ohje pohjavesien suojeluun lämpökaivojen ja maapiirien rakentamisessa. Ympäristötoimi. PDF-dokumentti.
<http://www.hamina.fi/folders/Files/Ympiristnsuojelu/MAAL%C3%84MP%C3%96KAIVOT%20POHJAVESIALUEILLA%20OHJE%20p%C3%A4ivitys%20marraskuu%202013.pdf>. Päivitetty 18.11.2013. Luettu 22.1.2014.
17. Tukes. Kylmälän pätevyudet. Verkkodokumentti.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kylmalaiteliikheet/Kylmalaiteliikheet/patevys/>. Päivitetty 23.1.2014. Luettu 23.1.2014.
18. Suomen Kaasuyhdistys. Uusiutuvan energian yhdistäminen kaasulämmitykseen. PDF-dokumentti.
http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/oppaat/Uusiutuva_energia_kaasulammitys.pdf. Päivitetty 23.1.2013. Luettu 24.1.2014.
19. Oilon Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.oilon.com/oilon-home/>. Päivitetty 24.1.2014. Luettu 24.1.2014.
20. Senera Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.senera.fi/>. Päivitetty 4.2.2014. Luettu 2.4.2014.
21. Ammattiwiki. Lämpöpumpun mitoitus. Verkkodokumentti.
http://www.ammattiwiki.fi/wiki/index.php?title=L%C3%A4mp%C3%B6pumpun_mitoitus. Päivitetty 5.10.2010. Luettu 4.2.2014.
22. Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D5. PDF-dokumentti. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>. Ei päivitystietoja. Luettu 4.2.2014.
23. Lämpöässä. Yrityksen www-sivut. <http://www.lampoassa.fi/fi>. Päivitetty 3.3.2014. Luettu 3.3.2014.
24. Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D2. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 24.1.2014.
25. Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D3. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 23.1.2014.
26. Rettig Lämpö Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.purmo.com/fi/index.htm>. Päivitetty 26.1.2014. Luettu 26.1.2014.

27. Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D1. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 23.1.2014.
28. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Legionellabakteerit vesijärjestelmissä. Verkkodokumentti. http://www.thl.fi/fi_FI/web/fi/aiheet/tietopakettit/vesi/legionellabakteerit_vesijarjestelmissa. Päivitetty 24.1.2014. Luettu 24.1.2014.
29. Motiva. Lämmitysjärjestelmän valinta. Verkkodokumentti. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta. Päivitetty 30.8.2014. Luettu 4.2.2014.
30. Hietanen, Isto. Päätöksenteko ja investoinnin kannattavuus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5276/Paattotyö%20ver%2010.0%20FINAL.pdf?sequence=1>. Päivitetty 10.7.2013. Luettu 4.2.2014.
31. Pistoke Oy. Energialaskuri. Verkkodokumentti. <http://www.pistoke.fi/energialaskuri>. Päivitetty 4.2.2014. Luettu 4.2.2014.
32. Ilmatieteen laitos. Yrityksen www-sivut. <http://ilmatieteenlaitos.fi/>. Päivitetty 4.2.2014. Luettu 4.2.2014.
33. Luoto, Pekka. Lämmitystarveluku, lämpöindeksi ja muuta termistöä. PDF-dokumentti. <http://www.kiinteistoyhdistysoulu.fi/wordpress/wp-content/uploads/2012/10/L%C3%A4mmitystarveluku-1%C3%A4mp%C3%B6indeksi-ja-muuta-termist%C3%B6%C3%A4.pdf>. Päivitetty 18.2.2014. Luettu 31.3.2014.
34. Motiva. Maalämpö sopii suuriin taloihin. PDF-dokumentti. http://www.energiatehokaskoti.fi/files/393/Maalampo_sopii_suuriin_taloihin_lokakuu.pdf. Päivitetty 20.11.2012. Luettu 5.2.2014.
35. Bröckl, Marika, Pesola, Aki & Vanhanen Juha. Primäärienergia ja kaukolämmön kilpailukyky. PDF-dokumentti. http://energia.fi/sites/default/files/primaarienergia_ja_kaukolammon_kilpailukyky_gai_a.pdf. Päivitetty 27.9.2010. Luettu 10.2.2014.
36. Koponen, Antti. Rakentamissäädösten kehittäminen – ajankohtaista. Rakennusteollisuus RT ry. PowerPoint-dokumentti. <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=2730&intLinkedFromObjectID=9760>. Päivitetty 27.9.2011. Luettu 5.2.2014.
37. Keto, Matias. Energiamuotojen kerroin – raportti Ympäristöministeriölle. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. PDF-dokumentti. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BA6ABCFF7-55FA-412C-A0C7-FEE5CC0A2F24%7D/30744>. Päivitetty 9.12. 2010. Luettu 5.2.2014.
38. Motiva. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökerroimet sekä energian hinnat. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidiok

sidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf. Päivitetty 19.4.2010. Luettu 6.2.2014.

39. Haminan Energia Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.haminanenergia.fi/>. Päivitetty 3.2.2014. Luettu 6.2.2014.

40. Kotkan Energia Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.kotkanenergia.fi/>. Päivitetty 6.2.2014. Luettu 6.2.2014.

41. Kymenlaakson Sähkö Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.ksoy.fi/>. Päivitetty 12.2.2014. Luettu 12.2.2014.

42. Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys K1/2013. PDF-dokumentti. http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_rakennustenkaukolammitys_2_0.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 4.2.2014.

43. Vihreän sähkön edistämiskampanja. Kampanjan www-sivut. <http://www.vaihdavirtaa.net/page/show/id/etusivu>. Päivitetty 12.2.2014. Luettu 12.2.2014.

44. Talotarvike.com. Yrityksen www-sivut. <http://www.talotarvike.com/kauppa/index.php>. Päivitetty 27.2.2014. Luettu 27.2.2014.

45. Gasum Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.gasum.fi/>. Päivitetty 3.3.2014. Luettu 3.3.2014.

46. St1 Oy. Yrityksen www-sivut. <http://www.st1.fi/>. Päivitetty 4.3.2014. Luettu 4.3.2014.

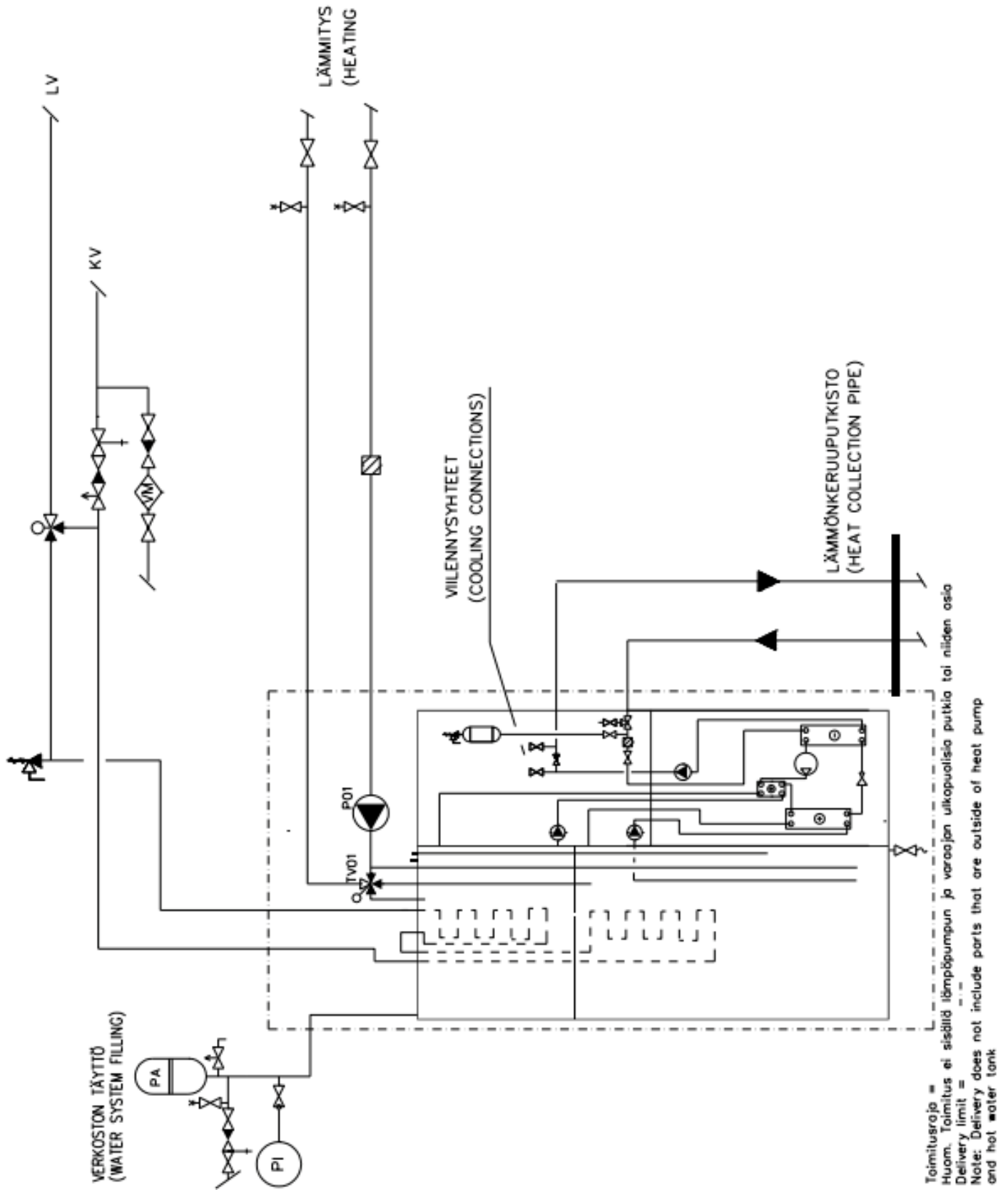
47. Enegård, Jan. Ljuskärnsberget – the largest ground source heat pump project in Sweden. REHVA Journal 4/2011. Verkkolehti. <http://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/04-2011/rj1104.pdf>. Päivitetty 14.6.2013. Luettu 5.1.2014.

48. Maalämpö sulatti lämmityskustannukset. Nibe Uutiset 1/2014, 12. 2014.

49. Rintala, Jari & Suokko, Tuulikki. Pohjavesinäytteenotto – nykytila ja kehitystarpeet. PDF-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38376/SY_48_2008.pdf?sequence=1. Päivitetty 13.1.2014. Luettu 31.3.2014.

50. WWF Suomi. Kaukojäähdytys – ympäristöystävällinen vaihtoehto. PDF-dokumentti. http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/goseminaari_280207_he_nikowirkentius.pdf. Päivitetty 1.3.2007. Luettu 4.4.2014.

Tulustusmaalämpöpumpun esimerkkikytentäkaavio



Kiinteän lauhdutuksen esimerkkikytkentäkaavio

Järjestelmä 1 on varojen lämpötila, jota pyritään pitämään vakiona.
Järjestelmä 2 on rakennuksen lämmönjakojärjestelmä, jonka lämpötilaa ohjataan valittun lämpökykyyn perustella.

Ullakkeen menolämpötila-anturi (BT25) asennetaan varojen päälle, ettei se saa mahdollisimman korkean mitoitustuloksen.

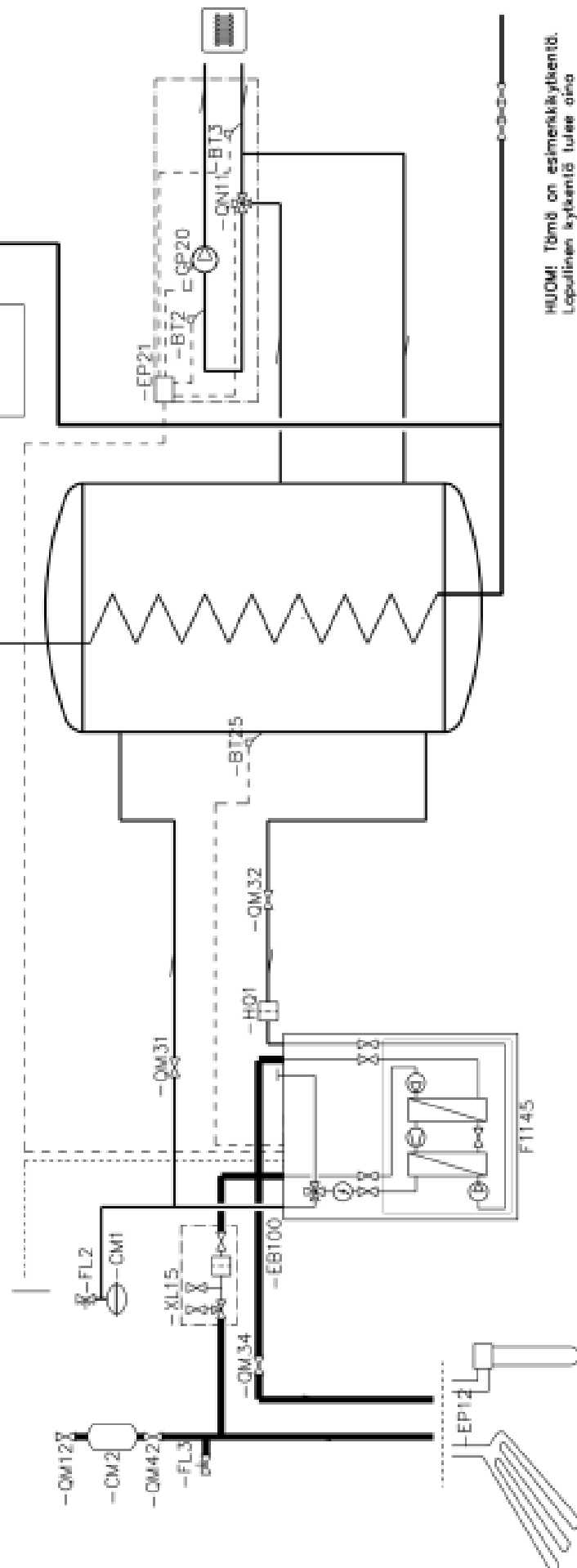
Viiteko	Viitekoasennukset
1.9.3 - pienin menolämpötila	Hakulla lämpötila varojissa, esim 50 C
5.1.2 - suurin menolämpötila	Hakulla lämpötila varojissa, esim 50 C
5.1.10 - käyttötila lämpötilapumppu	alijännite
4.2 - käyttötila	käytännössä

Järjestelmän 2 osat:

Aluekoossa olevat osat:

- aktiivinen lämmönjakojärjestelmä 2
- osasto pienin menolämpötila lämpötila lämmönjakojärjestelmälle 2
- osasto suurin menolämpötila lämpötila lämmönjakojärjestelmälle 2 (huom! lattialämmitys)
- valittu sopiva lämpökyky lämmönjakojärjestelmälle 2

-BT1



HUOM! Törmä on esimerkkikäytäntö.
Lopullinen kytkentä tulee aina suunnitella valmista olevien osatusten ja määrärahan mukaan.

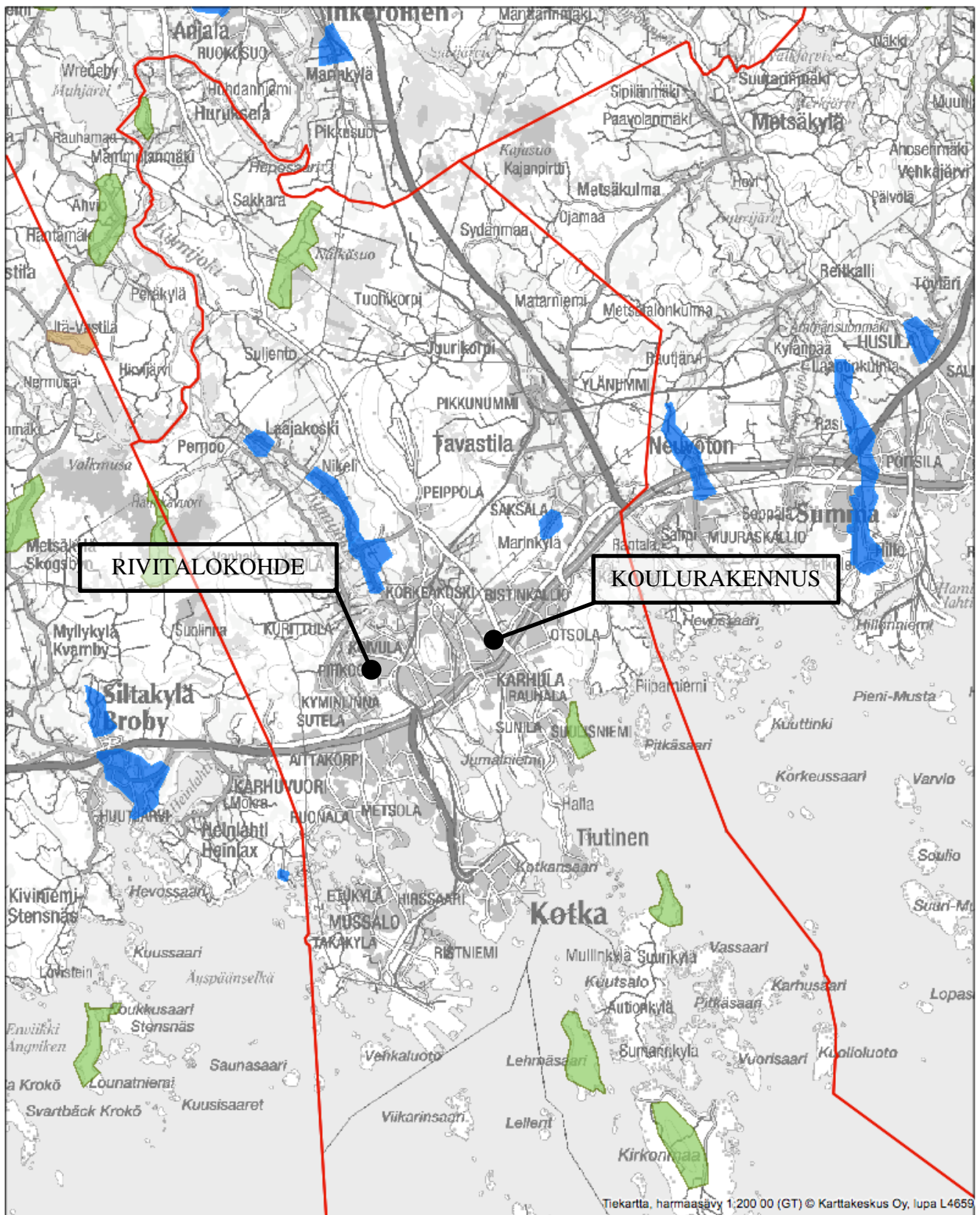
Merkinnät IEC 61345-2 mukaan

Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta

Taulukossa L 2.1 esitetään maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta. Taulukon L2.1 lukuarvojen laskennassa on oletettu, että tiloja ja käyttövedettä lämmittävät lämpöpumput lämmittävät vuorotellen käyttövedettä tai tiloja, siten että käyttövedettä lämmitetään ensisijaisesti. Mikäli oletus ei päde laskettavassa tapauksessa, on tapaus laskettava tarkemmin muilla menetelmillä.

Taulukko L2.1. Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, ikv}}$). Taulukossa ($\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$) on lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitusasteen suhde, ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, ikv}}$) tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde ja (T_m) on korkein menoveden lämpötila. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{LPn} annetaan toimintapisteessä T_{liuos}/T_m 0/35 °C.

$\phi_{LPn}/\phi_{\text{tila}}$	$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, ikv}}$	Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys, tilat, ikv}}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		T_m , °C				T_m , °C				T_m , °C			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4,00	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,40	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1,00	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4,00	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,50	0,50	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1,00	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2,00	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4,00	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,60	0,50	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1,00	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98



Kaakkois-Suomen ELY ympäristö ja luonnonvarat/ 23.10.2013

Pohjavesialue

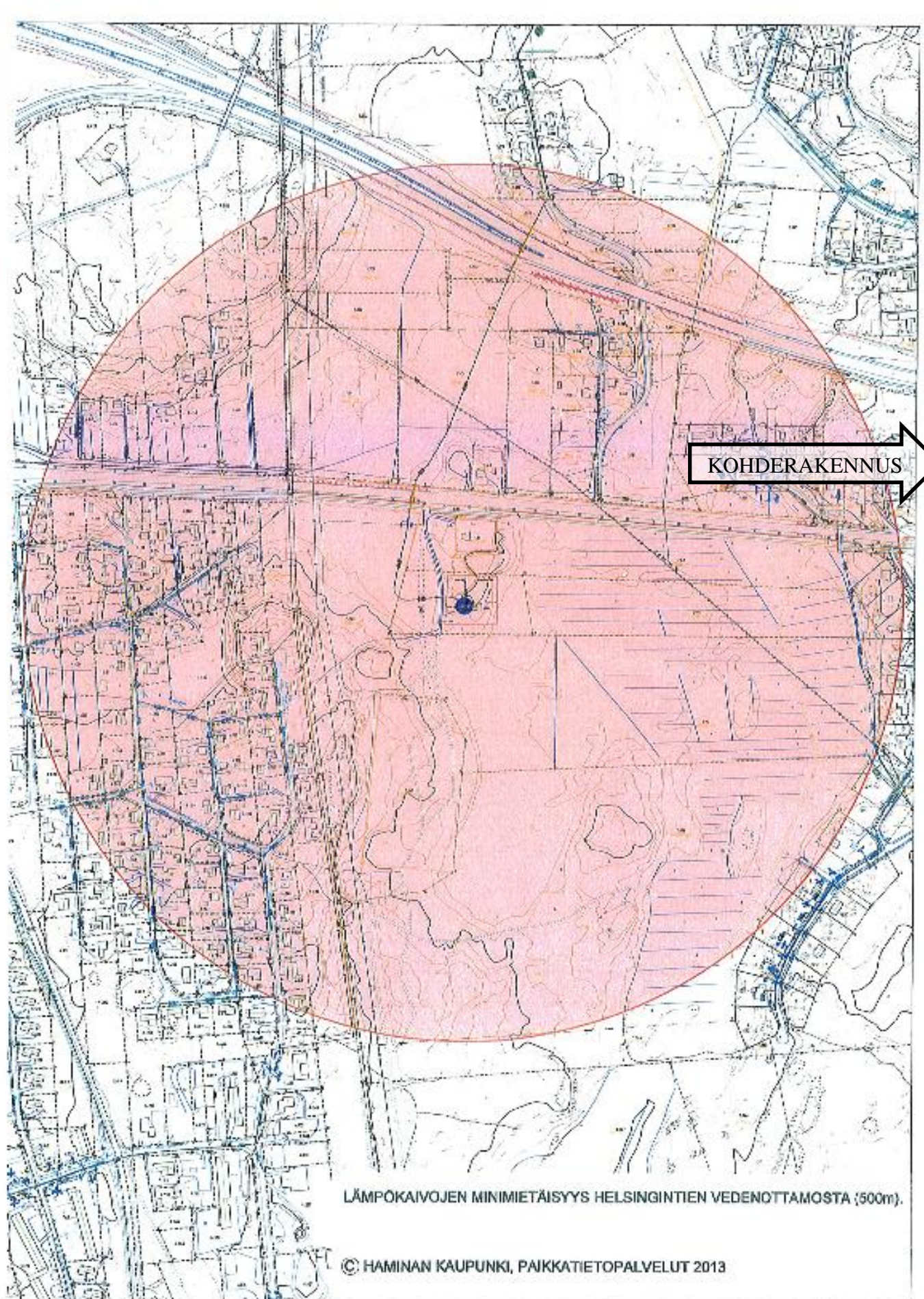
- Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
- Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
- Muu pohjavesialue

0 1 2 4 6 8 Kilometriä



Koordinaattijärjestelmä: EUREF FIN TM35FIN

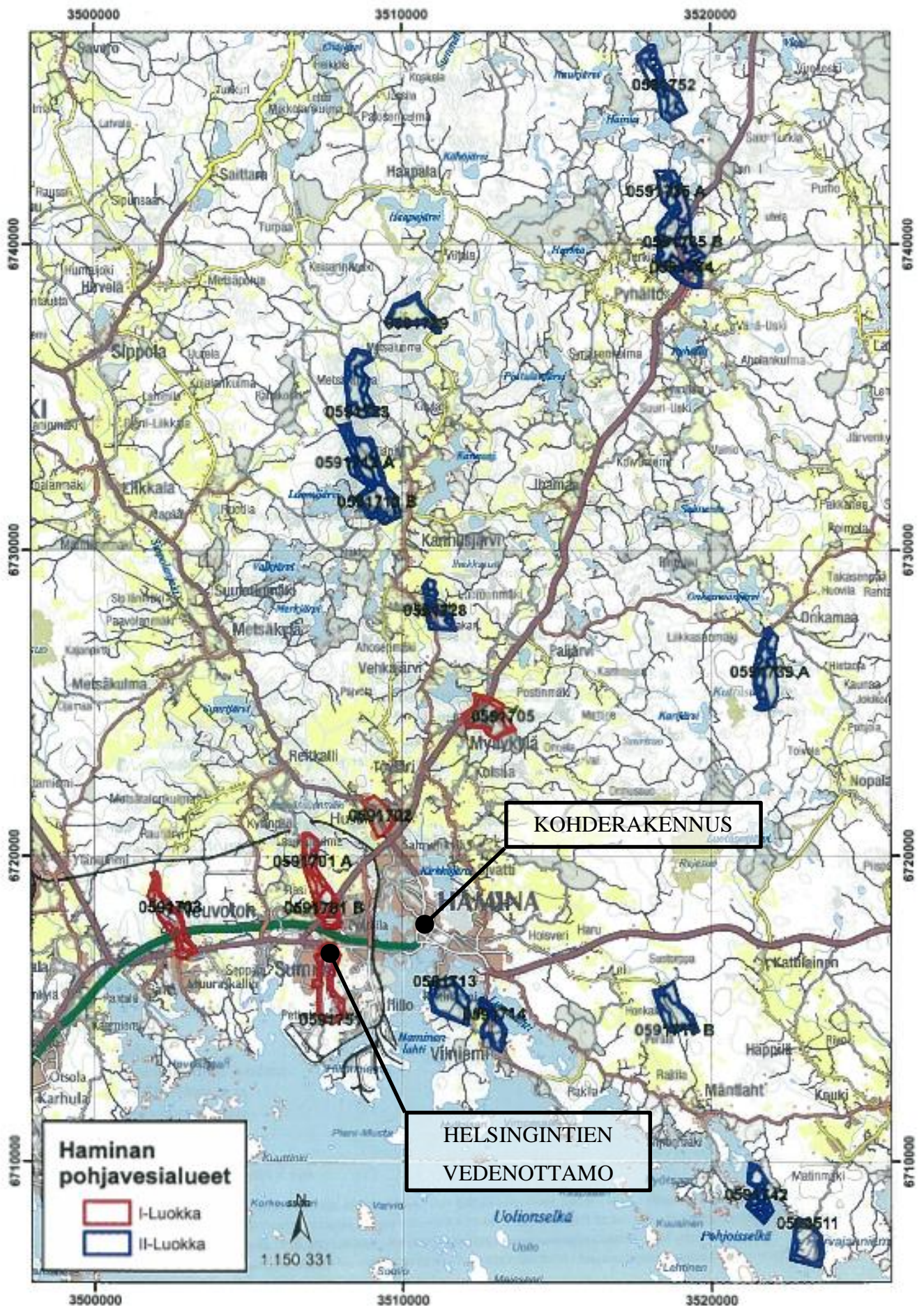
Haminan Helsingintien vedenottamon lähialue



KOHDERAKENNUS

LÄMPOKAIVOJEN MINIMIETÄISYYS HELSINGINTIEN VEDENOTTAMOSTA (500m).

Haminan tärkeät pohjavesialueet



Rivitalokohteen maalämpöpumpun mitoitus



ENERGIALASKELMA

4.3.2014

NIBE VPDIM 2.5

YLEISTIEDOT

Myyjä/Asentaja

Kohde/Asiakas

TUOTE

Lämpöpumput: NIBE F1345-60 Lämmönlähde Kallio

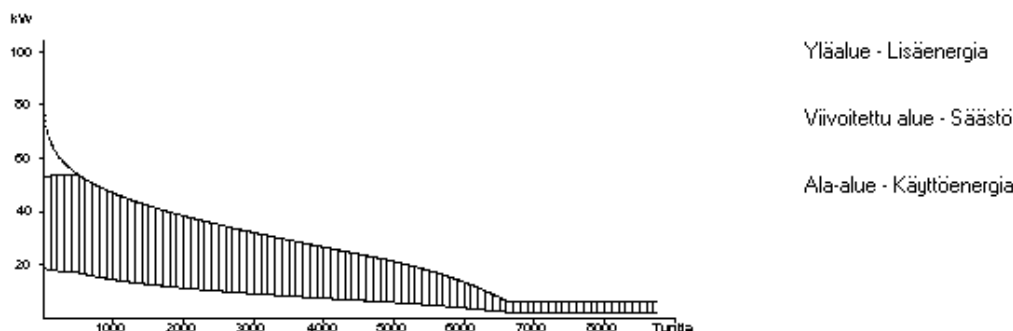
TIEDOT JÄRJESTELMÄSTÄ

Öljynkulutus (90 %)	24,82 m ³ /vuosi	Vuoden keskilämpötila	4,6 °C
		Mitoittava ulkolämpötila MUT	-290 °C
		Sisälämpötila	21 °C
Nettoenergiantarve (ei sis. taloussähkö)	223 380 kWh/vuosi	Ilmaislämmöt kattavat alkaen	16 °C
Lämpimän veden tarve (sis. edelliseen)	53 445 kWh/vuosi	Menolämpötila MUT:ssa	80 °C
Consumption help equip. (circulator etc)	0 kWh/vuosi	Paluulämpötila MUT:ssa	50 °C
Tehontarve	78,9 kW		

ENERGIANKULUTUS NIBE-LÄMPÖPUMPULLA

Lämpöpumpun tuottama energia	219 289 kWh/vuosi	Lisäteho, netto	26,1 kW
Lämpöpumpun käyttämä energia	70 469 kWh/vuosi	Energianpeittoaste	98 %
Lisäenergia, netto	4 027 kWh/vuosi	Tehonpeittoaste	67 %
Lisäenergia, brutto Sähkö, 95 %	4 239 kWh/vuosi	Lämpökerroin, vain LP	3,11
Energy for heating circ.	560 kWh/vuosi	Lämpökerroin, Yht.	2,98
Energiankulutus, sähkö brutto	75268 kWh/vuosi	Lauhdutus	Vaihteleva
Säästö lämpöpumpulla	148 324 kWh/vuosi	Lämminvesi lämpöpumpusta	100 %

ENERGIAKAAVIO



KERUUPIIRIN TIEDOT

Aktiivinen porausyvyys	1 073 m	Lambda-arvo	3,0 W/mK
Ominaisenergianotto	144 kWh/m	Tulevan keruuaineen keskilämpötila	-0,5 °C
Ominaisstehonotto	36 W/m	Keruuaineen lämpötilaero	3 °C

Kerrostalokohteen maalämpöpumpun mitoitus



ENERGIALASKELMA

28.2.2014

NIBE VPDIM 2.5

YLEISTIEDOT

Myyjä/Asentaja

Kohde/Asiakas

TUOTE

2 Kpl NIBE F1345-60
1 Kpl NIBE F1345-30

Lämmönlähte Kallio

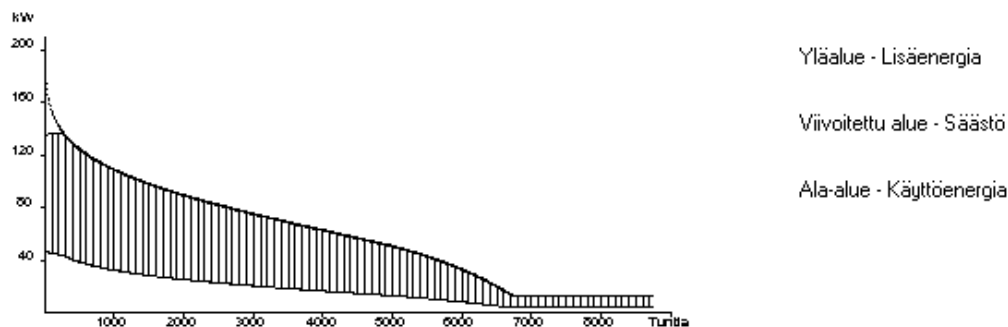
TIEDOT JÄRJESTELMÄSTÄ

Kaasunkulutus (90 %)	585000 kWh/vuosi	Vuoden keskilämpötila	4,6 °C
		Mitoittava ulkolämpötila MUT	-290 °C
		Sisälämpötila	21 °C
Nettoenergiantarve (ei sis. taloussähkö)	526 500 kWh/vuosi	Ilmaislämmöt kattavat alkaen	17 °C
Lämpimän veden tarve (sis. edelliseen)	118 000 kWh/vuosi	Menolämpötila MUT:ssa	70 °C
Consumption help equip. (circulator etc)	0 kWh/vuosi	Paluulämpötila MUT:ssa	50 °C
Tehontarve	181,7 kW		

ENERGIANKULUTUS NIBE-LÄMPÖPUMPULLA

Lämpöpumpun tuottama energia	515 269 kWh/vuosi	Lisäteho, netto	46,8 kW
Lämpöpumpun käyttämä energia	160 560 kWh/vuosi	Energianpeittoaste	99 %
Lisäenergia, netto	4 256 kWh/vuosi	Tehonpeittoaste	74 %
Lisäenergia, brutto Sähkö, 95 %	4 480 kWh/vuosi	Lämpökerroin, vain LP	3,21
Energy for heating circ.	1 997 kWh/vuosi	Lämpökerroin, Yht.	3,11
Energiankulutus, sähkö brutto	167037 kWh/vuosi	Lauhdutus	Vaihteleva
Säästö lämpöpumpulla	359 687 kWh/vuosi	Lämminvesi lämpöpumpusta	100 %

ENERGIKAAVIO



KERUUPIIRIN TIEDOT

Aktiivinen porausvyvyys	2 699 m	Lambda-arvo	3,0 W/mK
Ominaisenergianotto	135 kWh/m	Tulevan keruuvaiheen keskilämpötila	-0,5 °C
Ominaisstehonotto	37 W/m	Keruvaiheen lämpötilaero	3 °C

Koulurakennuksen maalämpöpumpun mitoitus



ENERGIALASKELMA

26.2.2014

NIBE VPDIM 2.5

YLEISTIEDOT

Myyjä/Asentaja

Kohde/Asiakas

TUOTE

8 Kpl NIBE F1345-60

Lämmönlähde Kallio

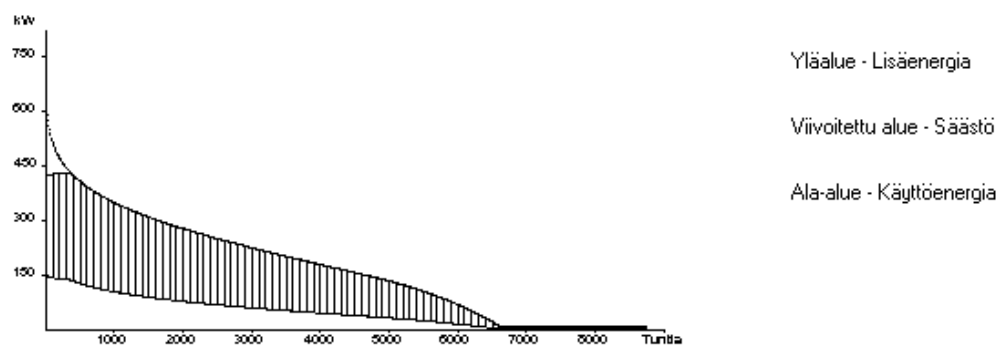
TIEDOT JÄRJESTELMÄSTÄ

Kaukolämpötoimitus	1500000 kWh/vuosi	Vuoden keskilämpötila	4,6 °C
		Mitoittava ulkolämpötila MUT	-290 °C
		Sisälämpötila	21 °C
Nettoenergiantarve (ei sis. taloussähkö)	1 500 000 kWh/vuosi	Ilmaislämmöt kattavat alkaen	16 °C
Lämpimän veden tarve (sis. edelliseen)	79 200 kWh/vuosi	Menolämpötila MUT:ssa	80 °C
Consumption help equip. (circulator etc)	0 kWh/vuosi	Paluulämpötila MUT:ssa	50 °C
Tehontarve	618,0 kW		

ENERGIANKULUTUS NIBE-LÄMPÖPUMPULLA

Lämpöpumpun tuottama energia	1 471 751 kWh/vuosi	Lisäteho, netto	195,8 kW
Lämpöpumpun käyttämä energia	453 452 kWh/vuosi	Energianpeittoaste	98 %
Lisäenergia, netto	23 543 kWh/vuosi	Tehonpeittoaste	68 %
Lisäenergia, brutto Sähkö, 95 %	24 782 kWh/vuosi	Lämpökerroin, vain LP	3,25
Energy for heating circ.	4 680 kWh/vuosi	Lämpökerroin, Yht.	3,10
Energiankulutus, sähkö brutto	482913 kWh/vuosi	Lauhdutus	Vaihteleva
Säästö lämpöpumpulla	1 018 326 kWh/vuosi	Lämminvesi lämpöpumpusta	100 %

ENERGIAKAAVIO



KERUUPIIRIN TIEDOT

Aktiivinen poraussyvyys	8 335 m	Lambda-arvo	3,0 W/mK
Ominaisenergianotto	126 kWh/m	Tulevan keruuaineen keskilämpötila	-0,5 °C
Ominaisstehonotto	38 W/m	Keruuaineen lämpötilaero	3 °C