

Erkko Pöhö

Maalämpöön siirtymisen kannattavuus keskisuurissa kiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

4.12.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Erkko Pöhö Maalämpöön siirtymisen kannattavuus keskisuurissa kiinteistöissä 63 sivua + 2 liitettä 4.12.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	yliopettaja Jukka Yrjölä LVI-insinööri Vesa Lassila
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää, kuinka kannattavaa keskisuurten kerrostalojen ja rivitaloyhtiöiden olisi muuttaa lämmöntuottotapa saneerauksen yhteydessä maalämpöjärjestelmällä toimivaksi. Tarkoituksena työssä oli myös vastata maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen liittyviin kysymyksiin.</p> <p>Työssä tutkittiin maalämpöjärjestelmän kannattavuutta kymmenen kiinteistön osalta, joissa on toteutettu lämmöntuottotavan muutos maalämpöjärjestelmään. Tutkimuksessa maalämmön kannattavuutta verrattiin öljylämmitys- ja kaukolämpöjärjestelmiin. Tuloksia vertailtaessa merkittävin vertailukohta on maalämpöjärjestelmän hankintahinnan takaisinmaksuaika verrattuna muihin lämmitysmuotoihin. Tuloksissa arvioitiin myös korkotason ja energian ostohintojen muuttumisen vaikutusta hankintojen kannattavuuksiin.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi, että maalämpöön saneeraaminen on kannattava hankinta useimmissa tapauksissa. Kannattavuus on riippuvainen rakennuksen sijainnista ja sen nykyisestä lämmitysjärjestelmästä. Kannattavuuksia on vertailtu korottoman takaisinmaksuajan-, korollisen takaisinmaksuajan- sekä nykyarvomenetelmiä käyttäen. Tämän tutkimuksen tulokset voivat auttaa taloyhtiöitä suunnittelemaan kiinteistön lämmitysjärjestelmän uusimista tai vaihtamista.</p>	
Avainsanat	maalämpö, saneeraus, kannattavuus

Author Title Number of Pages Date	Erkko Pöhö Efficiency of changing heating system to geothermal power in mid-sized apartments 63 pages + 2 appendices 4 December 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Vesa Lassila, Bachelor of Engineering
<p>The main goal of this bachelor's thesis was to establish how cost-effective it would be for mid-sized apartments and terrace houses to change their heating system to a geothermal power when they were renovated. Another goal of this bachelor's thesis was to answer questions about the efficiency of geothermal power.</p> <p>The research part of the thesis investigated ten properties which have changed their heating system into geothermal power. The cost-effectiveness of a geothermal power system was mainly compared to that of district heating and oil-heating. The most significant point of reference while comparing the systems was how long the repayment period for the system was. The effect of the changes on both the interest rates and energy purchasing prices was also estimated to see their effect on the profitability of geothermal system.</p> <p>The project proved that changing the current heating system to geothermal power is a cost efficient solution in most cases, depending on the location of the building and the previous heating solution used in the building. Results of this thesis can be helpful for housing companies when planning to change the heating system.</p>	
Keywords	geothermal power, cost efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maalämpö	1
2.1	Maalämpö	1
2.2	Maalämpöjärjestelmän osat	3
2.3	Maalämpöpumppujen asennusvaihtoehdot	4
2.3.1	Maalämmön keruu lämpökaivosta	5
2.3.2	Maalämmön keruu pintamaasta	7
2.3.3	Maalämmön keruu vedestä	8
2.4	Maalämpöpumppu	8
2.5	Maalämpöjärjestelmän kytkentäkaavion läpikäynti pääpiirteittäin	12
2.6	Maalämpöön liittyvät viranomais määräykset	14
2.7	Lämpökaivon poraaminen pohjavesialueella	15
2.8	Maalämmön elinkaari ja riskit	15
2.9	Maalämpöjärjestelmien käyttö suuremmissa rakennuksissa	16
3	Maalämpöjärjestelmän mitoittaminen	20
3.1	Maalämpöjärjestelmän mitoitus	20
3.2	Käyttövesivaraajien mitoitus	22
3.3	Puskurivaraajien mitoitus	22
3.4	Maalämpöjärjestelmän tehomitoitus osa- ja täystepholle	23
4	Lämmitysjärjestelmän saneeraaminen maalämpöjärjestelmään	23
5	Vertailukohteet	24
5.1	Energian hinnat	25
5.2	Lämmitystarveluku	27
5.3	Öljylämmitys	27
5.4	Mitatut energiankulutukset	27
5.5	Kannattavuusvertailu	54
5.6	Investointilaskelmat	55

5.6.1	Korollinen takaisinmaksuaika	55
5.6.2	Nykyarvo ja nettonykyarvo	57
6	Yhteenveto	59
7	Lähteet	60
	Liitteet	

Lyhenteet

aggregaatti	Polttomoottori-generaattori eli sähkövoimakone.
bar	Paineen yksikkö 1 Bar = 100 000 Pascalia.
Hermeettinen	Ilmatiiviisti suljettu. Yleensä käytetty laitteissa jotta saadaan selville millainen ulkokuori kyseisellä laitteella on.
kWh	Kilowattitunti, eli kuinka monta kilowattia kyseinen asia kuluttaa yhden tunnin aikana.
kW	Kilowatti = 1000 wattia.
Legionella	Keuhkokuumetta aiheuttava bakteeri, joka voi lisääntyä kiinteistön vesijärjestelmässä, mutta kuolee yli 50 °C:n lämpötilassa.
MWh	Megawattitunti, eli kuinka monta megawattia kyseinen asia kuluttaa yhden tunnin aikana.
MW	Megawatti = 1000 kilowattia = 1 000 000 wattia.
PE-putki	Polyeteenistä valmistettu muoviputki.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja vertailla maalämpöjärjestelmien käyttöä saneerauskohteissa ja niiden kannattavuutta verrattuna muihin vaihtoehtoihin lämmitysjärjestelmiin, öljylämmitykseen ja kaukolämpöön.

Opinnäytetyö on tehty Insinööritoimisto Vesi & Watin toimeksiantona ja kaikki tutkimuksessa käytetyt kiinteistöt ovat Vesi & Watin suunnitteleimia, jo valmistuneita kohteita.

Energia-ala on voimakkaasti kehittyvä ja muuttuva ala. Energiankustannusten nousun aiheuttama mielenkiinto edullisinta järjestelmää kohtaan on tuonut energia-alalle uusia ratkaisuja ja varmistanut sen, että jatkossa tullaan kehittämään energiatehokkaampia ratkaisuja. Maalämpö on yksi energiatehokkaimmista ratkaisuista, koska yhdellä kilowatilla sähköä on mahdollista saada tuotettua jopa yli neljä kilowattia lämpöenergiaa.

Maalämpö on erittäin energiatehokas lämmöntuottotapa, mutta sen huonona puolena pidetään suuria investointikustannuksia. Tässä työssä käsitellään, kannattaako maalämpöjärjestelmän hankkiminen keskisuurissa saneerauskohteissa. Keskisuurilla saneerauskohteilla tarkoitetaan tässä työssä kiinteistöjä, joiden tilavuus on alle 15 000 m³. Kannattavuutta arvioidaan takaisinmaksuaikamenetelmällä.

2 Maalämpö

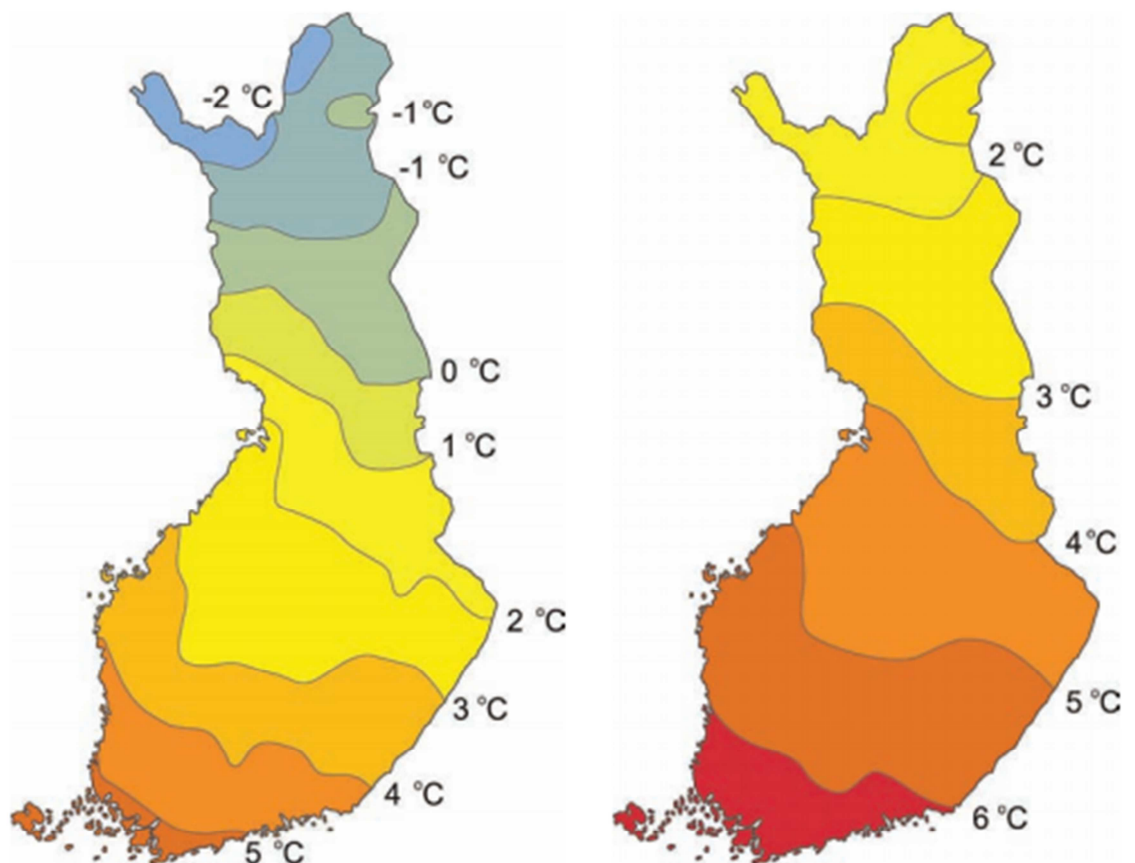
2.1 Maalämpö

Maalämpö tarkoittaa maaperään varastoituneen lämpöenergian hyödyntämistä lämmitysjärjestelmässä. Maaperän pintaosien sisältämä lämpöenergia on suurimmaksi

osaksi peräisin auringon tuottamasta lämpöenergiasta. Syvemmällä maassa kallioperässä oleva lämpöenergia on geotermistä energiaa, joka on lähtöisin maan sisässä olevien radioaktiivisten aineiden hajoamisen aiheuttamasta lämmöstä. Maaperän lämpö on käyttäjälle ns. ilmaista energiaa, joka on hyvin ympäristöystävällistä ja edullista käyttäjälle. (4; 30.)

Maalämmöstä saatava energiamäärä riippuu siitä, kuinka lämmin maaperä porakaivossa tai maassa on. Maaperän lämpötila on myös riippuvainen kohteen maantieteellisestä paikasta. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi pohjoisemmassa osassa Suomea, jossa keskilämpötilat ovat matalammat kuin etelässä, maalämpöjärjestelmästä ei saada niin suurta hyötyä kuin Etelä-Suomessa. Tämä insinööriö käsittelee vain pääkaupunkiseudun lähistöllä olevia kohteita ja niiden järjestelmiä. (3)

Suomessa maanpinnan ja kallioperän pintakerroksien vuosittainen keskilämpötila on noin kaksi astetta lämpimämpi kuin vuotuinen ilman keskilämpötila. Tämä lämpötilaero on riippuvainen myös maantieteellisestä sijainnista (ks. kuva 1). Lämpötila syvemmällä kallioperässä tasaantuu noin 5-6 astetta vuosittaiseen keskilämpötilaan noin 14–15 metrin syvyydessä. Syvemmälle mentäessä kallioperän geotermisen lämpöenergian määrä kasvaa ja nostaa vuotuista keskilämpötilaa keskimäärin 0,5 – 1 °C sadan metrin syvyyttä kohden. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi Etelä-Suomessa, jossa maanpinnan vuotuinen keskiarvolämpötila on noin 5 - 6 astetta, 200 metrin syvyydessä (yleisimmin käytetty lämpökaivojen porausyvyys keskiuurissa ja suurissa kiinteistöissä) vuotuinen keskilämpötila on noin 6 - 8 astetta. (4, s. 7)



Kuva 1. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty Ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000 ja oikeanpuoleisessa kuvassa maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo (2).

2.2 Maalämpöjärjestelmän osat

Maalämpöjärjestelmä koostuu lämpöpumpuista, puskuri- ja käyttövesivaraajista, lämmönkeruupiiristä ja varalämmönlähteestä. Maalämpöjärjestelmä kierrättää lämmönkeruupiirissä lämmönkeruunestettä, joka lämpenee muutaman asteen maaperän korkeammasta lämpötilasta johtuen. Lämmönkeruunesteenä käytetään yleensä vesi-alkoholiliuosta, jonka pakkaskestävyys tulee olla vähintään -18 °C . (19, s. 165) Lämmitysverkostossa kiertävä neste on huomattavasti lämpimämpää kuin lämmönkeruupiiristä palaavan nesteen lämpötila. Maalämpöpumppua käytetään lämmönsiirtämiseen lämmönkeruupiirin matalasta lämpötilasta lämmitysverkoston

korkeampaan lämpötilaan. (18, s. 115) Maalämpöpumpun kierrättämässä prosessissa voidaan käyttää erillistä lämmönsiirrintä, joka lämmittää käyttövesivaraajiin siirtyvän käyttöveden. (2) Maalämpöjärjestelmää hankittaessa suurempaan rakennukseen kannattaa selvittää, olisiko hyödyllistä käyttää ilmanvaihdon poistoilman lämpöä lämpöpumppujen lämmönlähteenä. Poistoilman hyödyntämisen avulla saadaan enemmän lämpöenergiaa ja samalla tarvittava lämpökaivojen määrä vähenee, sekä lämpöpumpun hyötysuhde kasvaa. Tässä tapauksessa lämmitysjärjestelmä toimii hybridijärjestelmänä. Aurinkolämpöä voidaan käyttää myös maalämmön kanssa lisälämmitysvaihtoehtona. (18 s.118) Maalämpöä voidaan käyttää tuottamaan pelkästään osatehoa rakennuksen lämmitystarpeesta hybridijärjestelmänä, tässä työssä on kuitenkin keskitytty maalämpöön päälämmönlähteenä. (18 s.123) Maalämpöverkosto mitoitetaan yleensä kattamaan noin 80–95 prosenttia rakennuksen lämmitysenergiatarpeesta. (18, s. 119) Rakennuksen maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa tuottamaan rakennuksen täyden tai pienemmän lämmitystehon mukaiseksi. Mitoittamalla järjestelmä pienempitehoiseksi säästetään suuri määrä investointikustannuksissa. Pienemmällä teholla mitoittamista kutsutaan osatehomitoittamiseksi. Osatehomitoitusta voidaan käyttää, koska mitoituksessa käytettäviä huippupakkasia on vain muutama päivä vuodessa. Mitoituslämpötilat on määritelty rakennusmääräyskokoelma D5:ssa eri säävyöhykkeillä. Tapauksessa, jossa ulkolämpötila laskee alle järjestelmälle mitoitetun lämmitystehon riittävyyden lämpötilan, järjestelmä ottaa varalämmönlähteen käyttöön lisälämmitystä varten. Yleensä maalämpöjärjestelmässä käytetään maalämpöpumpussa olevia sähkövastuksia sekä varaajiin laitettavia vastuksia, mutta myös rakennuksen olemassa olevaa öljykattilaa tai kaukolämpöjärjestelmään voidaan käyttää avustamaan maalämpöpumppua. (3)

2.3 Maalämpöpumppujen asennusvaihtoehdot

Maalämmön lämpöenergiaa otetaan talteen pääosin kolmella tavalla, joista yleisin on lämpökaivo. Muut tavat ovat maalämmön keruu vaakaputkistolla maan pinnan läheisyydestä ja lämpöenergian kerääminen vesistöistä. Yleisimmin keruuverkostoissa käytetty putki on 40 millimetriä halkaisijaltaan olevaa PE-putkea.

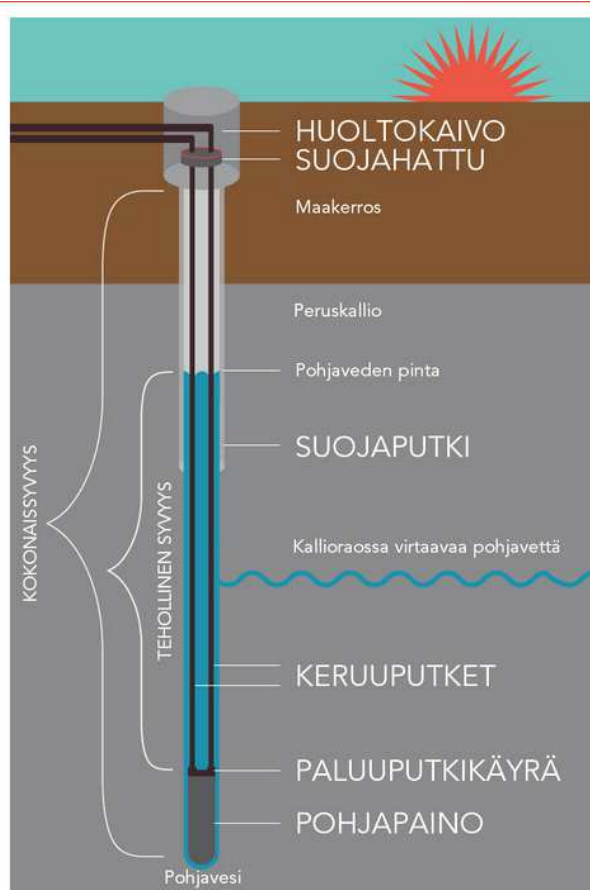
2.3.1 Maalämmön keruu lämpökaivosta

Maalämpöpumpun yleisin lämmönlähde on porakaivo. Porattavan kaivon syvyys riippuu energiantarpeesta ja maaperän koostumuksesta. Putket tekevät lenkin kaivon pohjalla ja samalla putkissa kiertävä lämmönkeruuneste lämpenee maan lämmön vaikutuksesta. (2) Kaivo porataan yleisimmin 150–200 metrin syvyyteen. Saatava energiamäärä riippuu siitä, missä syvyydessä kallio alkaa. Porakaivosta kerätään lämpöenergiaa kaivossa kulkevilla putkilla. Saatavan lämpöenergian määrä on riippuvainen kaivoa ympäröivän kallion tyypistä. Lisäksi saatavaan lämpöenergian määrään vaikuttaa kallioperän rikkonaisuus, pohjaveden korkeus sekä porakaivon ja pohjavesien virtaukset porakaivon alueella. Pohjavesi ja kallioperän rikkonaisuus parantavat lämmön siirtyvyyttä kiertoputkiin, mutta kallioperän rikkonaisuus voi myös vaikeuttaa lämpökaivojen poraamista. Saatavaan lämpöenergian määrään vaikuttaa myös se, onko kyseessä peruskallio vai sedimenttikallio. Molempia kalliotyyppejä voidaan käyttää maalämpöön, mutta sedimenttikalliossa on huomattavasti huonompi lämmönjohtavuus. Tästä johtuen sedimenttikallioon porattavan reiän tulee olla syvempi saman tehon saavuttamiseksi. (5; 4, s. 7) Porattavan reiän maksimisyvyytenä pidetään 200–250 metriä, mutta koko porakaivon syvyyttä ei kuitenkaan voida laskea teholliseksi syvyydeksi (2). Tehollinen syvyys tarkoittaa kaivon osaa, jossa keruuputket ovat kosketuksissa ympäröivään kalliioon kaivossa olevan veden välityksellä (ks. myöhemmin esitetty kuva 2). Poratun kaivon osuutta, joka ei ole kosketuksissa kalliioon, ei voida laskea mitoittamisessa kaivon syvyydeksi. Kyseiselle osuudelle on oma lämmönsiirtoarvonsa, joka vastaa noin 30–50%:a kalliota vasten olevan porakaivon lämmönluvutustehosta. Yleensä kallion pinta (tehollinen syvyys) alkaa noin 5-10 metrin syvyydessä, riippuen porauspaikasta. (5; 3)

Porakaivon halkaisija on yleensä 100–150 millimetriä. Halkaisijalla ei kuitenkaan ole merkittävän suurta vaikutusta saatavaan energiamäärään. Halkaisija vaikuttaa kaivossa olevaan veden määrään, joka toimii lämmönsiirtonesteinä. Tästä johtuen, mitä pienempi porakaivon halkaisija on, sitä suurempi energiamäärä saadaan. Veden tilavuuden vähentyessä lämmönsiirtyminen on tehokkaampaa kalliosta lämmönkeruunesteeseen. Kuitenkin vesitilavuuden määrällä porakaivossa on erittäin pieni vaikutus maalämpöjärjestelmän lämmöntuottoon. Tärkeintä kuitenkin on, että kaivossa on vettä. (6) Suuremmissa kohteissa lämmöntarve on niin suuri, ettei yhdestä lämpökaivosta saada tarvittavan suurta energiamäärää. Tällöin järjestelmä vaatii useita lämpökaivoja. Lämpökaivoista saatava energiamäärä voidaan kertoa lähes suoraan

lämpökaivojen määrällä. Yhden lämpökaivon hinta on yleisimmin noin 6000 – 8000 euroa riippuen paikasta, maaperästä, kaivon tyypistä sekä kaivon syvyydestä. (18, s. 116–117)

Suurempien kohteiden maalämmitystä tehtäessä täytyy ottaa huomioon, että kaivojen tulisi sijaita vähintään 20 metrin päästä viereisestä kaivosta, 10 metriä tontin rajalta ja 3 metriä rakennuksesta. Etäisyyttä voidaan vähentää tekemällä porakaivo vinoporausmenetelmällä, jos tontti on pieni. Vinoporausella tarkoitetaan porakaivon poraamista vinoon niin, että se ei ole lähellä muita porakaivoja, mutta kaivon lähtö maan pinnalla voi olla lähempänä viereistä kaivoa, kuin 20 metriä. (7) Ensisijaisesti lämpökaivo pyritään sijoittamaan rakennuksen tontille siten, että sitä voitaisiin huoltaa tarvittaessa (12, s. 3). Lämpökaivot eivät kuitenkaan vaikuta alueen ulkonäköön, koska ne jätetään maan alle piiloon ja mahdollisen huollon yhteydessä ne kaivetaan esille maasta (18, s. 116). Lämpökaivo voidaan tarvittaessa porata rakennuksen kellaritiloihin, jolloin minimietäisyys rakennuksesta täytyy ottaa huomioon (12, s. 3). Kahden vierekkäisen porattavan reiän välisen kulman täytyy olla vähintään 25–30 astetta (18, s. 117). Vinoporausta suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon, ettei vinoon porattu kaivo ulotu ulos tontin alueelta edes 200 metrin syvyydessä (jos porataan 200 metriä syvä porakaivo vinoporausmenetelmällä 5 asteen kulmassa, on se 200 metrin syvyydellä jo lähes 18 metriä sivussa maanpinnan alkuperäisestä porauspaikasta). Tämän takia monilla tiheästi asutuilla alueilla vinoporausta ei saa tehdä lainkaan. (7) Kiinteistönmuodostamislaisissa (554/1995) on määritelty, että naapurin suostumuksella vinoon porattu lämpökaivo voi ulottua tontin alueen ulkopuolelle, mutta tässä tapauksessa tulee tehdä päätöksestä rasite, ettei lämpökaivon omistaja joudu ongelmiin naapuritontin omistajan vaihtuessa (4, s. 13–14). Porakaivon lämpötila vaihtelee vuoden aikana 2-3 astetta (2). Tilanteessa, jossa kiinteistössä on jo olemassa talousvesikäyttöön tarkoitettu porakaivo ja se halutaan muuttaa maalämpökäyttöön, voidaan porakaivoa hyödyntää, kunhan sille tehdään kuntokartoitus. Kuntokartoituksessa selvitetään kaivon halkaisija, syvyys, kunto sekä vedenpinnan korkeus. Talousvesikäyttöön tarkoitettu porakaivo on yleisesti liian matala maalämpökäyttöön, joten kaivoa joudutaan mahdollisesti poraamaan syvemmäksi, jotta kaivosta saataisiin riittävä energiamäärä. Lämpöputkien asentamisen jälkeen porakaivoa ei enää voi käyttää talousvesikäyttöön, jotta voidaan varmistaa tasainen lämpöenergian saanti vuoden ympäri. (2, s. 24)



Kuva 2. Lämpökaivon sisältö ja havainnointi siitä, mitä tarkoittaa tehollinen syvyys (2).

2.3.2 Maalämmön keruu pintamaasta

Maan pinnalle levitetty vaakaputkisto on edullisempi ratkaisu kuin porakaivo, mutta tämä ratkaisu vaatii hyvin paljon tilaa tontilla. Putkia asennetaan vähintään 1,5 metrin välein, jonka takia se ei sovellu yleensä hyvin suurille rakennuksille, koska tarvittava tontti-alue olisi erittäin suuri. Vaakaputkiston putket tulee asentaa noin metrin syvyyteen eikä mielellään kohtiin, joissa on pihateitä tai kulkureittejä, koska tiet routasuojataan ja tämä estää lämmönkeruun niiltä alueilta. Maaperällä on myös vaakaputkistossa suurempi vaikutus, kuin lämpökaivossa. Kosteasta maasta saadaan huomattavasti suurempi määrä lämpöä, eikä sitä tulisi asentaa kiviselle maaperälle mahdollisten putkistojen vaurioitumisien takia. (2) Maapiirin rakentamisen yhteydessä aiheutuvat riskit pohjavesille ovat pienemmät kuin lämpökaivossa (16, s. 9). Saavuttaakseen saman energiamäärän kuin lämpökaivo, vaakaputkisto vaatii noin kaksinkertaisen määrän putkimetriä (4, s. 9). Maan pinnan lämpötila metrin syvyydessä vaihtelee vuoden aikana noin kymmenen astetta (2).

2.3.3 Maalämmön keruu vedestä

Maalämpöä voidaan ottaa vedestä kohteissa, jotka sijaitsevat järven, lammen tai merenrannan lähellä. Rannan vaatimuksena on, että se on vähintään 2 metriä syvä. (8) Koska vesi sitoo lämpöä tehokkaasti, vedestä keräämällä pystytään saamaan yhtä paljon lämpöenergiaa kuin porakaivoista, jonka takia asennettava putkimääräkään ei ole valtavan suuri (2). Maalämmön keruu vedestä toimii samalla tekniikalla kuin maan pinnalle levitettyssä vaakaputkistossa. Maanpinnalla putket kaivetaan metrin syvyyteen, vedessä taas putket ankkuroidaan metrin välein 5-10 kilon betonipainoilla ja muoviputkipainoilla. Putket täytyy viedä avoveteen routarajan alapuolelta, jotta ne eivät jäätyisi kiinni jään pintaan. (8)

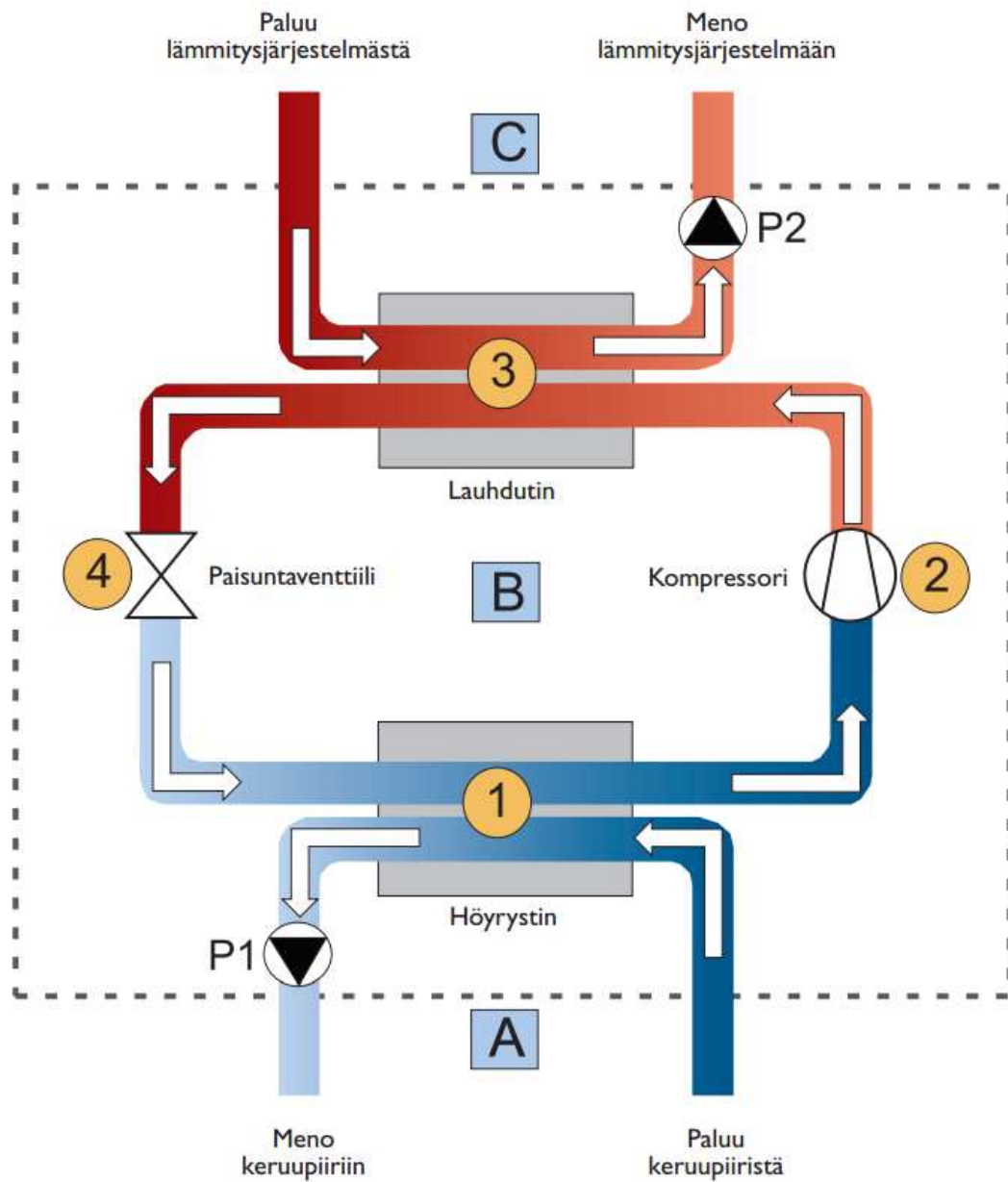
2.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumput sijoitetaan rakennuksien lämmönjakohuoneeseen. Suuremmissa rakennuksissa lämpöpumppuja on useampi ja kerros- ja rivitaloissa lämpöpumppujen määrä on yleensä 1-4 kappaletta. (18, s. 118) Yhdessä lämpöpumppulaitteiston kylmäyksikössä saa olla enintään 3 kg kylmäainetta ja 6 kg, jos laite on hermeettisesti suljettu. Jos laitteissa on enemmän kylmäainetta, tulee lain mukaan lämpöpumpuille teettää vuosittain erillinen kylmäainetarkastus. (18, s. 119)

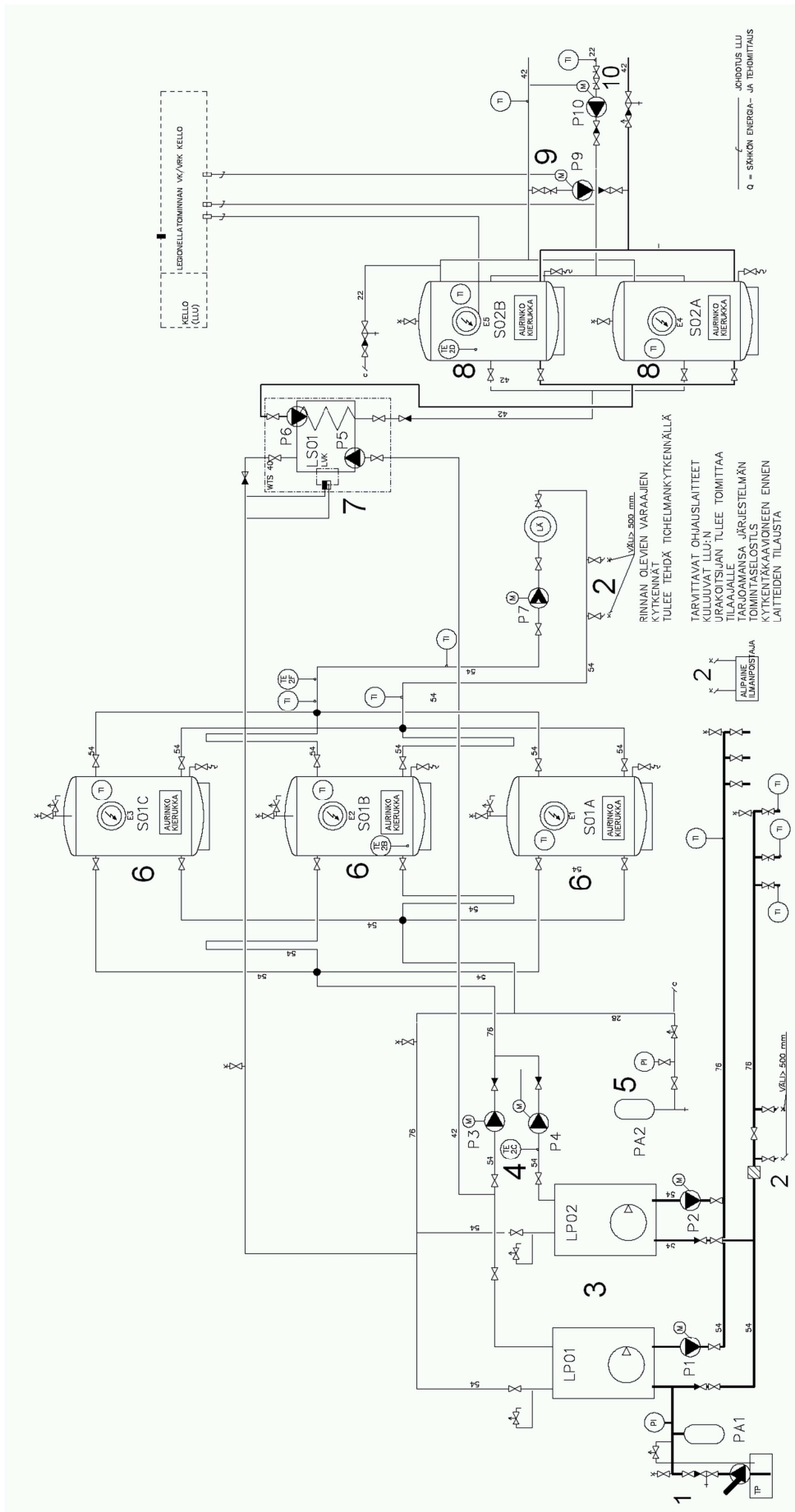
Koska keruuverkostosta saatava lämpötila on vain 4-10 asteista ympäri vuoden, käytetään lämpöpumpuissa kiertävänä aineena kylmäainetta veden sijasta. Energiaa itseensä sitovan väliaineen on oltava huomattavasti kylmempää suuremman lämpötilaeron ja täten suuremman tehon saamiseksi. (9, s. 12) Mahdollisten kylmäainevuotojen varalta maalämpöpumppu varustetaan järjestelmällä, joka tekee hälytyksen keruupiirin vuototilanteen sattuessa. Mahdollisista vuodoista täytyy ilmoittaa ympäristönsuojeluviranomaisille. (16)

Maalämpöpumppu siirtää maalämmön keruuverkostosta kerätyn lämmön rakennuksen lämmitysverkoston käyttöön (4, s.10). Lämpöpumpun toimiminen perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja nesteytymiseen suljetussa kiertopiirissä. Kiertopiirissä

kierto on jatkuvaa, eikä kylmäaine kulu tai vähene käytössä. (19, s. 166) Kun keruuverkostossa lämmennyt neste palaa lämpöpumpulle, se kulkeutuu höyrystimen läpi. Lämpöpumpussa kiertää kylmäaine, jonka lämpötila on noin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ennen kuin se saapuu höyrystimelle. Keruuverkoston lämmennyt neste aiheuttaa pumpussa kiertävän kylmäaineen lämpenemisen ja höyrystymisen. Keruuverkoston vesi-alkoholiliuos luovuttaa maasta talteenottaman energian ja tämän jälkeen jäähtynyt neste pumpataan maapiiriin uudelleen lämpenemään. Lämpöpumpun prosessissa kompressorin imee höyrystyneen kylmäaineen, jolloin kylmäaine puristuu pienempään tilaan nostaten höyrystimen lämpötilan yli $60\text{ }^{\circ}\text{C}$:ksi ja paineen yli 20 Bariin (2; 19, s. 166). Lämpöpumpun käyttökustannukset aiheutuvat kompressorin käyttämästä sähköenergiasta (19, s. 165). Kompressorin jälkeen korkeapaineinen ja korkealämpöinen höyry kulkeutuu lauhduttimeen. Jos samaa maalämpöpumpua käytetään myös käyttöveden lämmittämiseen, on tässä välissä ylimääräinen lämmönsiirrin. Lauhduttimen toisella puolella oleva lämmitysjärjestelmän vesi jäädyttää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen lämpötilaa ja täten lämmittää lämmitysjärjestelmän vettä. Lauhduttimesta poistunut ja jäähtynyt nestemäinen kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiiliin, jossa sen painetta lasketaan ja lämpötila laskee takaisin noin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen eli takaisin alkupisteeseen. (2)



Kuva 3. Maalämpöpumpun toimintaperiaate. Jos järjestelmään kuuluu myös käyttöveden lämmitys maalämpöpumpulla, asennetaan kohdan 2 ja 3 väliin ylimääräinen lämmönsiirrin käyttövedelle. (2, s.11)



Kuva 4. Maalämpöjärjestelmän kytkentäkaavio (20).

2.5 Maalämpöjärjestelmän kytkentäkaavion läpikäynti pääpiirteittäin

Edellisen sivun kuvassa on kerrostalokohteen yksinkertaistettu kytkentäkaavio. Kuvaan on merkitty numeroilla kohta ja alhaalla on selitys mitä kyseisessä kohdassa tapahtuu.

1. Tässä kohdassa on lämmönkeruupiirin täyttöpumppu, joka sisältää kaikki suljetun piirin varolaitteet täyttöpumpulla. Täyttöpumppu voi olla joko käsi- tai sähkökäyttöinen. Lämpökaivoilta tulevat putket ovat varustettu lämpömittareilla, jotta voidaan seurata onko lämpökaivoilla yhtä suuri lämmöntuottokyky. Jos kaivot eivät ole tasapainotilassa, säädetään niitä linjasäätöventtiiliä käyttäen. (3)
2. Järjestelmässä käytetään alipaine-ilmanpoistajaa, jolla poistetaan liuenneet kaasut. Tämän avulla varmistetaan, ettei verkostoon aiheudu käyttöhäiriöitä jotka johtuisivat ilman kertymisestä verkostoon. Ilmanpoistajien sijoittaminen on erittäin tarkkaa, jotta pystytään varmistamaan oikeanlainen ilmanpoistuminen. Kyseisiä laitteita on useilla laitevalmistajilla ja niiden käytössä ja asennuksessa täytyy noudattaa valmistajan ohjeita. (3)
3. Lämpöpumput, kytkentäkaaviossa oleva lämpöpumppu LP01 tuottaa lämpöenergiaa käyttövesiverkostoon lämmönsiirtimen LS01 ja käyttövesivaraajien S02A ja S02B kautta. Sama lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa myös patteriverkostoon puskurivaraajien kautta. LP02 tuottaa vain lämpöä patteriverkostoon. Tästä ratkaisusta saatava hyöty on, että LP02 voi toimia optimaalisella lämpöalueella kokoaikaisesti, eikä sen tarvitse tulistaa omaa lämmöntuottoa käyttöveden lämmittämiseksi (58 °C). Tässä kytkennässä LP01 ja LP02 tuottavat sarjassa energiaa patteriverkostolle ja niiden tuottamat lämpöenergiamäärät voidaan summata yhteen. (3)
4. Pumput P3 ja P4 käynnistyvät sen jälkeen, kun lämpöpumput ovat toiminnassa. Pumput P3 ja P4 ohjaavat lämpöä puskurivaraajille. (3)
5. Lämmityspiirin paisuntasäiliö. Paisuntasäiliö on oleellinen osa järjestelmää. Se tasaa järjestelmän lämpenemisestä aiheutuvia paineenvaihteluja. Jos järjestelmässä ei olisi paisuntasäiliötä, järjestelmästä vähenisi vesimäärä

jatkuvasti ylipaineventtiilin kautta, koska ylipaineventtiili huomaisi paineen verkostossa olevan liian suuri ja päästäisi vettä ulos laskeakseen painetta. (3)

6. Puskurivaraajat, tässä tapauksessa 3 kappaletta, ovat kytketty tichelman-kytkennällä, joka tarkoittaa, että putkiston virtausvastus on yhtä suuri jokaisessa putkiston kohdassa. Näin voidaan taata tasainen virtaus jokaisessa verkoston kohdassa. Puskurivaraajien ja lämpöpumppujen välinen virtaama mitoitetaan 7 °C:n lämpötilaerolle. Varaajaan tulevan nesteen virtauksen ei tulisi ylittää nopeutta 1 m/s, jotta varaajassa ei aiheutuisi haitallista sekoittumista. Puskurivaraajat ovat varustettu lisälämmitysvastuksilla E1-E3, jotka turvaavat kiinteistön lämmönsaannin lämpöpumppujen käyttöhäiriötilanteessa. Vastukset ovat myös ohjattavia lisälämmönlähteeksi, jolloin päällekytkeytymiskriteeriksi voidaan asettaa esimerkiksi tietty ulkolämpötila, jolloin niiden päällekytkeytyminen sallitaan. Kyseistä ratkaisua käytetään, jos lämpöpumppu on mitoitettu osateholle. Kyseisessä ratkaisussa täytyy huomioida, ettei lämpöpumpulle palaavan veden lämpötila nouse haitallisen korkeaksi järjestelmälle. Tämä paluuveden lämpötila on riippuvainen verkostossa käytetystä kylmäaineesta. Puskurivaraajat ovat varustettu myös aurinkokierukoilla, jotka mahdollistavat jatkossa aurinkoenergian hyödyntämisen. (3)
Lämmitysverkosto toimii paluulämpötilaohjattuna ulkolämpötilanmuutosten mukaisesti. Jos lämmönjakopiirejä on useampia, niin puskurivaraajat mitoitetaan korkeimman lämpötilatarpeisen piirin mukaisesti. Alhaisempien lämpötilojen lämmityspiireille asennetaan omat kolmitiesekoitusventtiilit, joilla saadaan lämpötilat säädettyä verkostoille sopiviksi. Ohjausautomaatiikkaa laajennetaan käyttötarpeiden mukaisesti. (3)
7. Käyttöveden latauspaketti on varustettu lämmönsiirtimellä, pumpuilla ja varoventtiileillä. Sitä käytetään ohjaamaan lämpöpumpulta tuleva lämpöenergia käyttövesivaraajille. Ohjaus tapahtuu käyttövesivaraajien S02A ja S02B lämpötila-antureiden perusteella. Latauspaketissa on ohjaus suoraan lämpöpumpulle, jotta voidaan käynnistää lämpöpumppu LP01, vaikka lämmitysverkostoon ei olisi lämmitystarvetta. (3)

8. Käyttövesivaraajat toimivat samalla tavalla, kuin lämmitysverkoston puskurivaraajat aurinkokierukan, sähkövastuksien ja tichelman-kytkennän suhteen (3).
9. Pumppu P9 on legionellatoiminnon pumppu. Pumppu huolehtii legionellatoiminnon aikana, että käyttövesivaraajien koko vesitilavuus nostetaan asetusarvoon (yli 60 astetta) jolla eliminoidaan legionella bakteerin eläminen. (3)
10. Pumppu P10 on käyttöveden lämpimän veden kierron pumppu (3).

2.6 Maalämpöön liittyvät viranomaismääräykset

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään seuraavasti: "Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen rakennuksen vaippaan tai teknisiin järjestelmiin kohdistuvaan korjaus- ja muutostyöhön, jolla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen." Tämä tarkoittaa sitä, kun rakennukseen tehdään lämmöntapamuutos, siihen tarvitaan rakennuslupa. (10, 125 §) Lupa on toistaiseksi kiinni paikkakunnasta, mihin maalämpöjärjestelmä asennetaan. Tarvittava lupa on joko lämmöntapamuutokseen rakennuslupa tai 126 §:n mukainen toimenpidelupa.

Seuraavassa ote toimenpidelupa 126 §:sta: "Toimenpidelupa tarvitaan myös rakennuksen julkisivun muuttamiseen, sekä rakennusosan tai teknisen järjestelmän vaihtamiseen silloin, kun sillä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. (4, s. 13; 10, 126 §) Kaikissa Suomen kunnissa lupaa ei tarvita ollenkaan, mutta tulevaisuudessa on tarkoitus saada yhtenäiset luvat joka puolelle Suomea. (4, s. 13)

Kesällä 2011 on tullut voimaan muutos maankäyttö- ja rakennusasetuksen kohtaan 62 §, jossa määritellään, että maalämpöön käytettävän lämpökaivon poraamiseen ja lämmönkeruuputkiston asentamiseen tarvitaan toimenpidelupa, kun lämmitysjärjestelmää uusitaan tai vaihdetaan. (11, 62 §)

2.7 Lämpökaivon poraaminen pohjavesialueella

Lämpökaivon poraaminen on vesilakia noudattava vesitaloushanke, joka edellyttää aluehallintoviraston lupaa jos hanke voi vaikuttaa pohjaveteen, tai aiheuttaa muuten uhkaa ympäristölle. Toimenpideluvan saaminen ei anna vastuunvapautusta mahdollisista tapahtuneista vahingoista, vaan vesilaki määrittelee hankkeesta vastaavan henkilön olevan vastuullinen hankkeesta aiheutuvista vahingoista ja haittavaikutuksista. Henkilö, joka on vastuussa vahingoista, on veloitettu puhdistamaan maaperän ja pohjaveden takaisin tilaan, josta ei voi aiheutua haittavaikutuksia ympäristölle. (13; 14, 75 §) Lämpökaivoja ei saa rakentaa vedenottamoiden lähialueille, vaan vähintään 300–500 metrin päähän vedenottamoista. Silti hankkeen sallittavuus tutkitaan ja toimintalupa harkitaan tapauskohtaisesti. (17)

Ympäristösuojelulain pohjaveden pilaamiskielto koskee maalämpöjärjestelmän rakentamista. Laissa määritellään yleisesti, että ainetta tai energiaa ei saa ohjata sellaiseen paikkaan, että se voisi vaikuttaa yleisesti pohjaveden laatuun. (14, 8 §)

Kemikaalilaissa määrätään valintavelvollisuus silloin, kun se on mahdollista. Tämä tarkoittaa, että aina täytyisi pyrkiä käyttämään kemikaalia ja asennusmenetelmää, josta aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa ympäristölle. (15, 16 §) Kuntien ympäristönsuojelumääräyksissä on erikseen määritelty, mitä lämmönsiirtoaineita ei saa käyttää pohjavesialueilla. (4 s. 16)

2.8 Maalämmön elinkaari ja riskit

Maalämpö on oikein suunniteltuna ja asennettuna hyvin käyttövarma ja huoltovapaa ratkaisu, jonka elinkaarikin on hyvin pitkä. Maalämpöpumput ovat suunniteltu kestävänsä noin 25 vuotta. Tämän jälkeen uusimiskustannukset eivät ole läheskään niin kalliit kuin alkuiinvestointi, koska porakaivoja ei tarvitse uusia, pelkästään järjestelmässä käytettävät lämpöpumput. Maalämpö on siis hyvin luotettava ratkaisu, mutta mahdollisia ongelmiaakin voi syntyä.

Maalämmön suurimmat riskit varsinkin pohjavesialueilla ovat vuotoriskit, jotka syntyvät huolimattomasta asennustavasta tai käyttöaikana rikkoutuneesta putkistosta (16, s. 7). Sade- ja pintavesien kulkeutuminen pohjavesiin voidaan ehkäistä suojaputkituksella.

Lämmönkeruunesteen vuotaminen on mahdollista, mutta hyvin epätodennäköistä. Varmuuden vuoksi lämmönkeruunesteenä pyritään aina käyttämään ympäristölle ja terveydelle vaaratonta ainetta. Mahdollinen radonin johtuminen maaperästä rakennuksien sisälle estetään kunnollisella lämmönkeruuverkoston läpivientien tiivistyksellä. (18 s. 117) Porauskaluston täytyy olla tarkoituksenmukainen ja poraajien tulee huolehtia, ettei porauksen mukana kaivoon pääse kulkeutumaan poltto- tai voiteluaineita. Porauksen aiheuttama tärinä ja paine voivat aiheuttaa pohjaveden samentumista. (16, s. 4) Porauksen yhteydessä täytyy tehdä porausraportti, johon kirjataan ylös tietoja poraussyvydestä, käytetystä lämmönkeruunesteestä, maaperän laadusta, kallioperän kunnosta sekä kallion ja pohjaveden pinnankorkeuksista. Porauksen aikana täytyy myös seurata pohjaveden kloridipitoisuutta ja sähkönjohtavuutta. Yhtenä maalämpöjärjestelmän mahdollisena riskinä voidaan pitää lämmitysenergian riittämättömyyttä, mutta tämä johtuu lähes poikkeuksetta suunnitteluvirheestä ja yleensä järjestelmät mitoitetaan hieman reiluiksi. (17)

2.9 Maalämpöjärjestelmien käyttö suuremmissa rakennuksissa

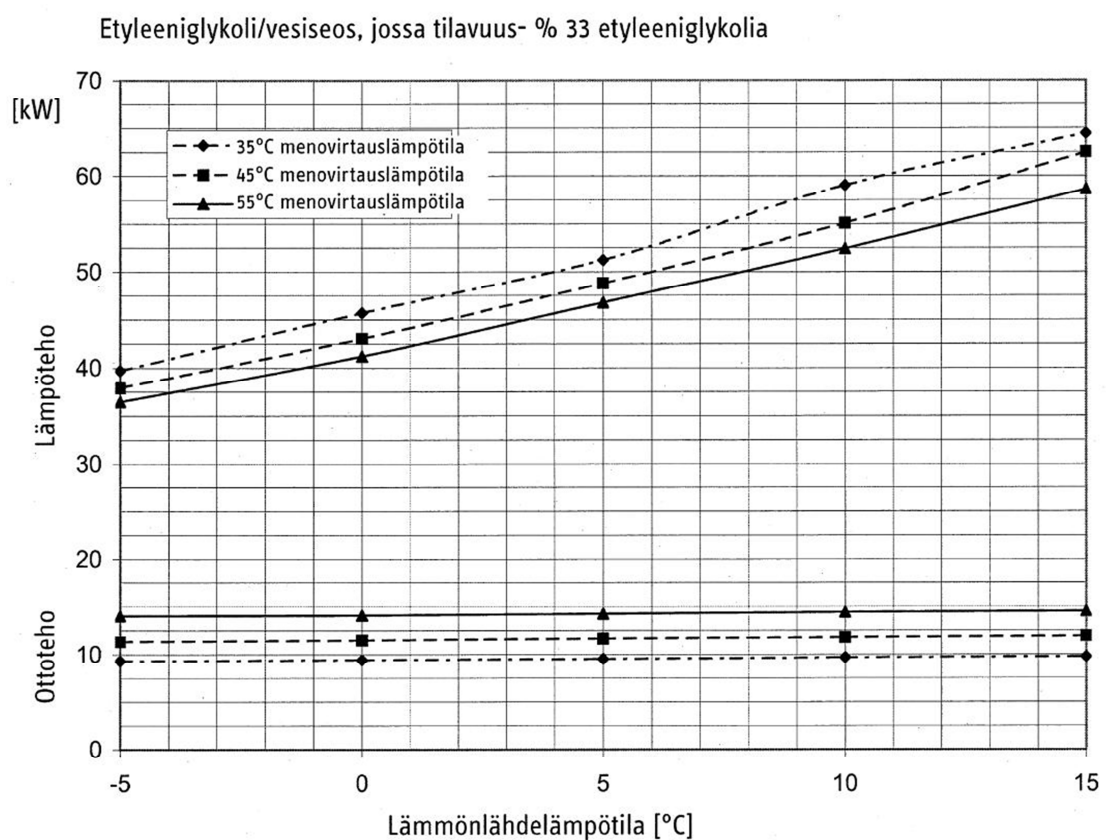
Osa mahdollisista säästöistä lämmitystavan muutoksesta tulee silloin, kun lämmöntuottotavan muutoksen yhteydessä lämmitysverkostoon tehdään perussäätö, jossa tasapainotetaan lämmitysverkosto. Jos perussäätöä ei ole tehty kunnolla, on verkosto epätasapainossa. Tämä aiheuttaa tämä suuria lämpötilaeroja huoneistoissa. Koska rakennuksen huoneistoja lämmitetään kylmimmän asunnon mukaan, aiheuttaa tämä ylimääräistä lämmitysenergian kulutusta. Epätasapaino vaikuttaa myös asumisviihtyvyyteen aiheuttaen joidenkin asuntojen liian kuumen lämpötilan ja alhaisen sisäilman kosteuden. Lämmitysverkoston kunnollisella perussäädöllä pystytään saamaan 10–15 prosentin säästö lämmitysenergian kulutuksessa. Rakennuksille tehdään energiankatselmuksia, joissa selvitetään tarve verkoston perussäädölle. Myös asukkaiden kokemukset liian korkeista lämpötiloista viittaavat perussäädön tarpeeseen. Perussäätöjä tehdään kiinteistön ilman lämmöntuottotavan muuttamistakin. (18, s. 107–108)

Maalämpöä ei ole käytetty kerros- ja rivitaloissa kovinkaan monia vuosia, vaan kyseessä on melko uusi lämmitysmuoto suuremmissa kohteissa (18). Maalämmön käyttö pientaloissa on kasvanut tasaista tahtia ja samaa voidaan olettaa tapahtuvan myös suurempien rakennuksien yhteydessä. Maalämpöpumppujen myynti

kokonaisuudessaan kasvoi vuonna 2011 72 %:a vuodesta 2010. (32) Maalämpöjärjestelmä toteutetaan suurempiin rakennuksiin lähes samalla tavalla kuin pientaloihin. Suuremmissa kohteissa käytetään maalämmön keruutapana lähes pelkästään porakaivoja, johtuen suurista energiantarpeista ja suuresta putkiston pituustarpeesta. Porakaivot vievät vähiten tilaa tontilta ja tarvitsevat pienimmän määrän putkimetrejä. Suurimpina eroina pientaloihin on porattavien reikien määrä ja useamman lämpöpumpun käyttö. Reikien määrän lisääminen ei vaikuta järjestelmän toimintaan ja asentamiseen muulla tavalla kuin siten, että jokaisen maalenkin on oltava tasapainossa (verkostossa on oltava yhtä suuret painehäviöt jokaisella haaralla). Maalenkin keruuputket yhdistyvät kokoojakaivoon, josta ne jatkavat lämpöpumpulle kahtena suurempana putkena (meno ja paluu). Jos kohde on hyvin iso, tai jostain syystä joudutaan verkostot levittämään hyvin laajalle alalle, tontilla voidaan käyttää suurempaa kokoojakaivoa, joka yhdistää pienemmiltä kokoojakaivoilta tulleet putket. Tässäkin tapauksessa kaikki verkoston putkistohaarojen täytyy pysyä tasapainotilanteessa oikeanlaisen virtauksen ylläpitämiseksi. (3) Kun käytössä on useampi lämpöpumppu, on osatehoilla (kun lämpötila on alle mitoituspakkasen) mahdollista käyttää vain toista pumppua lämmitysjärjestelmään ja toista lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Tällöin lämmitysjärjestelmän pumpun ei tarvitse toimia niin korkeilla lämpötiloilla ja tästä johtuen järjestelmästä saadaan suurempi lämpökerroin, jopa suurempi kuin pientaloissa. Useampaa pumppua käytettäessä tulee verkoston tasapainotus olla sama myös molemmilta pumpuilta, tämä usein toteutetaan asentamalla pumpuilta verkostoon yhtä suuret putket, tai putket jotka vastaavat yhtä suurta painehäviötä. Jos tämä ei ole mahdollista, niin voidaan käyttää säätöventtiileitä tasapainotilanteen saavuttamiseksi. (3)

Maalämpöön soveltuvat parhaiten alhaiset lämmitysverkoston lämpötilat, joilla saadaan lämpöpumpusta paras lämpökerroin. Tästä johtuen yleisimmin maalämmössä suositellaan käytettävän lämmitysjärjestelmää, joka soveltuu alhaisille verkoston lämpötiloille, esimerkiksi lattialämmitys. Tässä tutkimuksessa käsitellään kuitenkin saneerauskohteita ja jokaisessa tutkitussa kohteessa on lämmönjakomuotona rakennuksessa jo ennen muutosta olevat vesikiertoiset lämmityspatterit. Vesikiertoiset patterit tarvitsevat korkeamman verkoston lämpötilan kuin lattialämmitys. Tästä johtuen vesikiertoisesta patteriverkostosta saa hieman pienemmän lämpökertoimen kuin lattialämmitysverkostosta. Jokaisessa tutkitussa kohteessa on tehty kannattavuuslaskenta, jossa tutkitaan onko kannattavaa vaihtaa olemassa olevat vesikiertoiset lämmityspatterit lattialämmitykseen, mutta koska lämpökertoimen ero

hieman korkeammalla verkoston lämpötilalla ei ole kovin suuri, yhdessäkään kohteessa ei ole tehty muutosta lattialämmitykseen. Kohteisiin on tehty myös kannattavuuslaskenta, jossa selvitetään, mikä on rahallisesti kannattavin verkostossa käytettävä verkoston käyttölämpötila. Jotta päästään haluttuun verkoston lämpötilaan täytyy osa pattereista vaihtaa enemmän lämpöä luovuttaviin, johtuen pienemmistä verkoston lämpötiloista. Lisäksi on erityisen tärkeää tarkastella verkoston paluulämpötilaa mitoituslämpötilassa, koska paluuveden lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi, jotta lämpöpumput pysyisivät käynnissä. Eikä järjestelmä siirtyisi yksinomaan varalämmönlähteen käyttöön. (3)



Kuva 5. Verkoston menovirtauslämpötilan ja lämmönlähdelämpötilan vaikutus lämpöpumpun lämmöntuotto- ja sähkönottotehoihin (29).

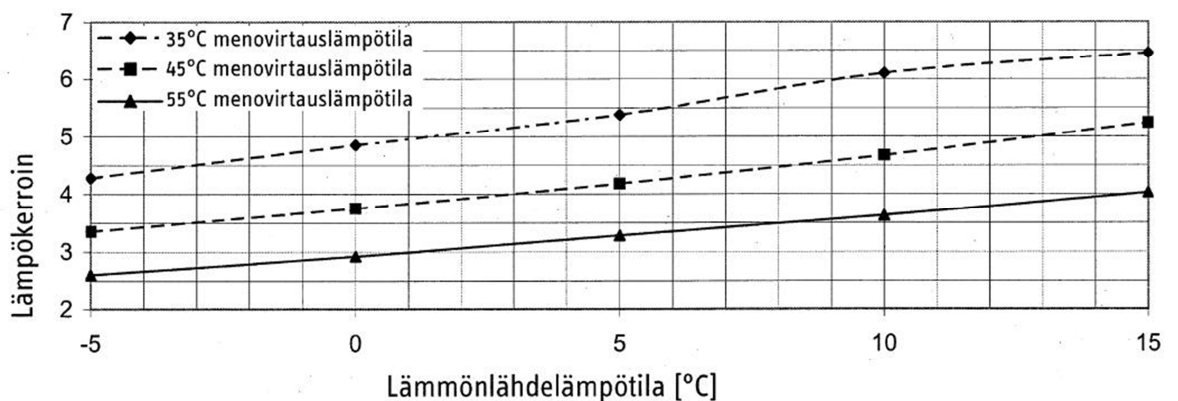
Tässä on listattu StiebelEltronin 40 kilowattisen maalämpöpumpun lämpökertoimien suhde lämmönlähdelämpötilaan erilaisilla menovirtauslämpötiloilla (verkoston menolämpötilalla), kun lämmönlähdelämpötila on +5 °C (todellisuudessa lämmönlähdelämpötila Etelä-Suomessa voi olla jonkin verran suurempi).

35 asteisella menovirtauslämpötilalla lämpökerroin: 5,4

45 asteisella menovirtauslämpötilalla lämpökerroin: 4,2

55 asteisella menovirtauslämpötilalla lämpökerroin: 3,3

Jos verkosto vaatii korkeamman verkoston menoveden lämpötilan, voidaan veden lämpötilaa nostaa ensin maalämpöpumpulla esimerkiksi 55 asteiseksi ja sen jälkeen vettä lämmitetään uudelleen öljyllä, sähköllä tai jollain muulla varajärjestelmällä esimerkiksi 70 asteiseksi. (29; 20)



Kuva 6. Verkoston menovirtauslämpötilan ja lämmönlähdelämpötilan vaikutus lämpöpumpun lämpökertoimeen (29).

Kannattavuuslaskennassa selvitetään paras vaihtoehto kahden muuttujan välillä. Ensimmäiseksi selvitetään, kuinka paljon verkoston lämpötilan nostaminen vaikuttaa lämpöpumpun tuottamaan lämpökertoimeen. Toiseksi, kuinka paljon voidaan hyödyntää olemassa olevia nestekiertoisia lämmityspattereita, että pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa järjestelmää.

Yhdessä tutkitussa kohteessa on käytetty StiebelEltron Oy:n lämpöpumppua, joka on suunniteltu tuottamaan korkeaa verkoston menolämpötilaa, jolloin se sopii erityisen hyvin nestekiertoisille lämmityspattereille ja sen ansiosta voidaan minimoida verkoston pattereiden uusimistarve. (3)

3 Maalämpöjärjestelmän mitoittaminen

3.1 Maalämpöjärjestelmän mitoitus

Mitoittaminen on erittäin tärkeää maalämpöjärjestelmän hankinnan yhteydessä. Jos maalämpöjärjestelmä mitoitetaan liian suureksi, nousevat järjestelmän investointikustannukset paljon ja lämpöpumppu ei käy jatkuvasti, vaan pienissä jaksoissa. Tämä huonontaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta ja lyhentää pumpun elinikää. Pumpun käynnistyessä energiankulutus on huomattavasti suurempi, kuin esimerkiksi kymmenen minuutin jälkeen. Vajaalla mitoituksella joudutaan lämpöpumppua käyttämään varalämmönlähteen avulla, jotta lämmitettävät tilat pystytään pitämään tarpeeksi lämpiminä (yleensä sähkövastuksilla), jolloin maalämpöjärjestelmästä saatava hyöty energiansäästöissä vähenee huomattavasti. (33)

Kun rakennuksen lämmitystapa muutetaan maalämpöjärjestelmäksi, käytetään maalämpöjärjestelmän mitoittamiseksi kohteen aiempia toteutuneita kulutuksia. Aiempia kulutuksia olisi hyvä tutkia mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta, jotta yksittäinen hyvin kylmä vuosi ei pääsisi muodostumaan ongelmaksi. Jos toteutuneita kulutuksia ei ole saatavilla kuin yhdeltä tai kahdelta vuodelta, kannattaa lämmitysenergian kulutusta verrata vuosittaisiin lämmitystarvelukuihin ja normeerata kulutus keskiarvovuoden kulutukseen. (37)

Kun saadaan selville rakennuksen vuotuinen energiankulutus ja käytettävien maalämpöpumppujen lämpökerroin, voidaan keruuverkoston tarvittavat lämpökaivojen määrä ja syvyudet laskea.

Nämä energiamäärät toimivat pääosin vain Etelä-Suomen kohteissa, sillä pohjoisemmassa Suomessa on kylmempi maaperä ja näin ollen saatavat energiamäärät eivät ole yhtä suuret. Maalämpökaivosta voidaan käyttää saatavana ilmaisenergian määränä 37–42 W / tehollinen syvyysmetri maalämpökaivossa. Jos maalämpöpumpun lämpökerroin on 4, esimerkiksi 37,5 W/m mitoittamisella voidaan laskea ostoenergian (maalämpöpumpun vaativan sähkönkulutuksen) olevan 12,5 W/m (kolme neljäsosaa ilmaisenergiaa ja yksi neljäsosa ostoenergiaa). Tällöin voidaan laskea tehon määräksi 200 m syvästä maalämpökaivosta $50 \text{ W/m} \cdot 200 \text{ m} = 10 \text{ kW}$.

Tämä tehomäärä voidaan suoraan kertoa maalämpökaivojen määrällä. Esimerkiksi jos kohteessa on 110 kW lämmitystehontarve, kohteeseen tarvitaan 11 kappaletta maalämpökaivoja. Kyseinen arvo täytyy kuitenkin laskea jokaiseen kohteeseen erikseen, koska se on erittäin riippuvainen käytettävästä maalämpöjärjestelmästä ja maaperän tyypistä. Varsinainen kaivosta saatava energiamäärä voidaan päätellä vasta kaivoa poratessa, kun maaperän todellisen koostumuksen saa selville. Tässä vaiheessa voi olla, että joudutaan tekemään päätös lisäkaivon poraamisesta tai riippuen mitoituksesta, yhden kaivon poraamatta jättämisestä. (3)

Jos järjestelmä mitoitetaan osateholle, lämpökaivojen määrää ei voida suoraan vähentää suhteessa maalämpöpumpun tehoon. Esimerkiksi 50 %:n huipputehon mitoituksella saadaan 80 %:a vuosittaisesta lämmitystarpeesta. Tällöin täytyy ottaa huomioon mahdollinen lämpökaivosta saatavan vuosittaisen lämpöenergian määrä ja katsoa riittääkö se. Tämän takia osatehomitoituksella maalämpökaivojen määrä ei ole niin merkittävästi pienempi kuin maalämpöpumpun maksimiteho. (3)

Kaivoista saatavan vuotuisen energiatarpeen saamiseksi täytyy myös tarkastella kaivoista saatavaa lämpöenergiämäärää. Kaivosta voidaan saada noin 100 kWh/kaivon syvyysmetri, riippuen kaivon tyypistä ja veden määrästä. Kaivojen suunnittelussa kaivot mitoitetaan varmuuden vuoksi kuivakaivoiksi, jolloin saatava laskennallinen lämpöenergiämäärä on noin puolet eli 50 kWh/kaivon syvyysmetri. Lopullinen mitoitus tulee päättää porauksen aikana, kun nähdään maaperän koostumus, jolloin vältetään ylimääräiseltä poraukselta. (31)

Esimerkiksi: Jos on tiedossa, että rakennuksen vuosittainen lämpöenergian tarve on 150000 kWh/a ja käytettävän maalämpöpumpun lämpökerroin on 4, maasta tarvittava lämpöenergiämäärä on silloin

$Q_{maa} = 160000 \text{ kWh} / a * 0,75 = 120000 \text{ kWh} / a$ (0,75 tarkoittaa, että $\frac{3}{4}$ tarvittavasta energiamäärästä on ns. ilmaisenergiaa ja $\frac{1}{4}$ maalämpöpumpun vaatimaa sähköenergiaa, eli lämpökerroin on neljä)

Tästä energiamäärästä voidaan laskea tarvittava lämpökaivojen aktiivinen syvyys:

$$\text{Kaivon syvyys} = \left(\frac{120000}{50} \right) * 0,5 \approx 1200 \text{ metriä}$$

Kyseisen kohteen lämmitysenergian saamiseksi tarvitaan kuusi kappaletta lämpökaivoja, joiden tehollinen syvyys on 200 m. (31)

3.2 Käyttövesivaraajien mitoitus

Käyttövesivaraajat mitoitetaan kattamaan lämpimän käyttöveden tarve kiinteistöissä. Mitoittavina tekijöinä käyttöveden lämmittämiseen on sitä lämmittävän lämpöpumpun teho. Mitoitusperusteena voidaan pitää käyttövesivaraajan kykyä pystyä lämmittämään varaajatilavuutensa 2-3 kertaa vuorokaudessa ilman sähkövastuksien käyttämistä. Kannattaa myös huomioida, että tarvittava käyttövesimäärä voi vaihdella ajoittain ja kohdekohtaisesti. Tämän takia on hyvä varmistaa, että käyttövesimäärä on vähintäänkin riittävä. Sähkövastuksia käytetään lisä- ja varalämmitysvastuksina sekä legionella estotoiminnon ylläpitämiseksi. Legionellan estotoiminnon avulla nostetaan asetetun aikavälin lämpötila yli 60 °C :n legionella bakteerin tuhoamiseksi verkostossa. (3)

3.3 Puskurivaraajien mitoitus

Lämpöpumppujen käyttöiän varmistamiseksi pumpuille on asetettavissa minimilepoaika, jonka se on sammuksissa käynnistysten välillä. Lämpöpumppuvalmistajien suosituksena on, että minimaiaika ei olisi alle 20 minuuttia, jatkuvan katkomisen estämiseksi. Puskurivaraajilla varmistetaan, että tämä 20 minuutin ajanjakso ei aiheuta minkäänlaisia ongelmia lämmitysverkoston lämmöntuottoon. Käyntijaksojen määrä lämpöpumpulla ei tulisi nousta yli 12 kerran vuorokaudessa. Tätä voidaan säätää lämpöpumpun tehon ja puskurivaraajan tilavuuden avulla, huomioiden lämmitystehon tarpeen eri vuodenaikoina. Koska lämmitystehoa on "varastossa" puskurivaraajissa, voidaan mitoittavana tekijänä pitää mahdollisten sähkökatkojen pituutta, joihin halutaan varautua sähkökatkotapauksissa. Tämä vähentää tarvetta käyttää varasähkölähteenä aggregaattia, vaikkakin pidemmissä sähkökatkoissa varavoimalähde tarvitaan silti. (3)

3.4 Maalämpöjärjestelmän tehomitoitus osa- ja täysteholle

Maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa kattamaan koko rakennuksen lämmöntarve vuoden ympäri, huippupakkasillakin. Tämänlaista mitoitusta kutsutaan täystehomitoitukseksi. Täystehomitoitusta käytettäessä ei tarvita erillisiä sähkövastuksia tuottamaan lämpöä huippupakkasilla, vaan maalämpöpumppu pystyy lämmittämään rakennusta vuoden ympäri itsenäisesti. Täystehomitoittamisen haittapuolia ovat suurempi porakaivojen ja syvempien kaivojen määrä sekä huomattavasti suurempien maalämpöpumppujen käyttäminen. Nämä asiat vaikuttavat huomattavan paljon maalämmön investointikustannuksiin. Täystehomitoitusta käytettäessä normaaleilla lämpötiloilla, jotka ovat alle mitoituspakkasen (-26 astetta Etelä-Suomessa), lämpöpumppu käy epäsäännöllisesti lyhyissä sykleissä johtuen pumpun suuresta maksimitehosta. Tämä taas huonontaa pumpun hyötysuhdetta ja elinikää. Tämän takia käytetään puskurivaraajia, joiden avulla käynti- ja lepojaksosten pituutta voidaan säätää.

Järjestelmä voidaan mitoittaa kattamaan vain noin 80 %:a rakennuksen tarvitsemasta lämpötehontarpeesta mitoituslämpötilalla. Kahdeksankymmenen prosentin mitoittaminen saattaa kuulostaa, että sähkövastukset (tai joku muu varalämmitysmuoto) joutuvat olemaan käytössä usein. Todellisuudessa kuitenkin 60–80 prosentin mitoittamisella pystytään tuottamaan vuosittaisesta lämpöenergian kulutuksesta noin 95–99 prosenttia, koska huippupakkasia on erittäin pieni osa talvesta. Tämän takia osamitoitus on huomattavasti yleisempää kuin täystehomitoitus. Täystehomitoituksesta saatavat säästöt (ilman varalämmönlähteen käyttöä) ovat yleensä niin pieniä, etteivät ne riitä kattamaan täystehomitoituksen huomattavasti suurempia investointikustannuksia. Tehomitoituksen toteutustapa täytyy kuitenkin arvioida kohdekohtaisesti maalämpöjärjestelmää mitoittaessa. (33, osa. 9; 35)

4 Lämmitysjärjestelmän saneeraaminen maalämpöjärjestelmään

Lämmöntuottotapaa vaihdettaessa kustannusten arvioinnissa täytyy ottaa huomioon, että lämmöntuottotavan muuttaminen sijoittuu yleensä ajankohtaan, jolloin olemassaoleva (esimerkiksi öljy tai kaukolämpö) lämmitysjärjestelmä olisi täytynyt uusia kokonaan tai osittain (3).

Maalämmön suurimpana haittapuolena pidetään korkeita investointikustannuksia maalämpöjärjestelmää hankittaessa.

Yhden lämpökaivon poraaminen maksaa noin 6000 – 8000 euroa. (18 s.117)

Maalämpöjärjestelmän hankkiminen asuinkerrostaloon, jossa on 40 huoneistoa (10 000 m³) maksaa noin 200 000 – 250 000 euroa (18).

Maalämpöjärjestelmän hankkiminen yhteen rivitaloon, jossa on 4 huoneistoa (800 m³) maksaa noin 25 000 – 30 000 euroa (18).

Lämmityksen lämpökerroin (COP) on merkittävin tekijä energiansäästöä laskettaessa. Maalämpöjärjestelmän vuotuinen lämpökerroin on yleisimmin 2 - 3,5. Tämä tarkoittaa, että yhdellä kilowattitunnilla sähköenergiaa saadaan 2 - 3,5 kilowattituntia lämpöenergiaa. Vuosilämpökertoimeen otetaan huomioon kaikki järjestelmän osat, jotka kuluttavat sähköä, ja tätä lukua verrataan saatuun energianmäärään. (18, s.120) Täten vain yksi kolmasosa lämmöntuotosta tulee lämpöpumpun käyttämästä sähkötehosta (1, s. 76–78). Lämpökertoimeen vaikuttaa keruuverkoston ja patteriverkoston lämpötilaero, ja mitä pienempi niiden välinen lämpötilaero on, sitä parempi lämpökerroin verkostosta saadaan. Maalämmitystä käytetään hyvin paljon lattialämmitysratkaisuissa, koska siinä voidaan pitää verkoston lämpötilat hyvin alhaisina. (2) Lämpökertoimeen vaikuttavat myös maaperä, järjestelmän tyyppi ja keruuverkostossa kiertävä lämmönsiirtoaine. (4, s. 7; 32; 19, s. 165)

5 Vertailukohteet

Tässä työssä on tutkittu kymmenen eri taloyhtiön aiempia kulutustietoja sekä toteutetun saneerauksen kustannuksia ja nykyisiä kulutusarvoja. Taloyhtiöt ovat rivitaloja ja kerrostaloja.

Kaikkien kohteiden investointikustannuksiin kuuluu 23 %:n suuruinen arvonlisävero.

5.1 Energian hinnat

Suurin osa tutkittavista kiinteistöissä sijaitsee Mäntsälän lähialueilla, joten kaukolämmön hinta on otettu sen mukaisesti paikalliselta tarjoajalta: 107,9 € / MWh sisältäen tehomaksun ja energiamaksun (21).

Lämmitysöljyn hintana on käytetty 1,06 € / litra (22; 23).

Sähkön hintana on käytetty 140 € / MWh, yösähkön hinta on noin 15 % vähemmän. Tähän hintaan on sisällytetty sähkön siirto, verot sekä muut kustannukset. (38)

Maalämpöjärjestelmään siirtyessä joudutaan mahdollisesti kiinteistön sähköliittymää suurentamaan. Suurentamisesta johtuvia liittymiskustannuksia ei ole otettu huomioon maalämpöjärjestelmän kustannuksissa. (3)

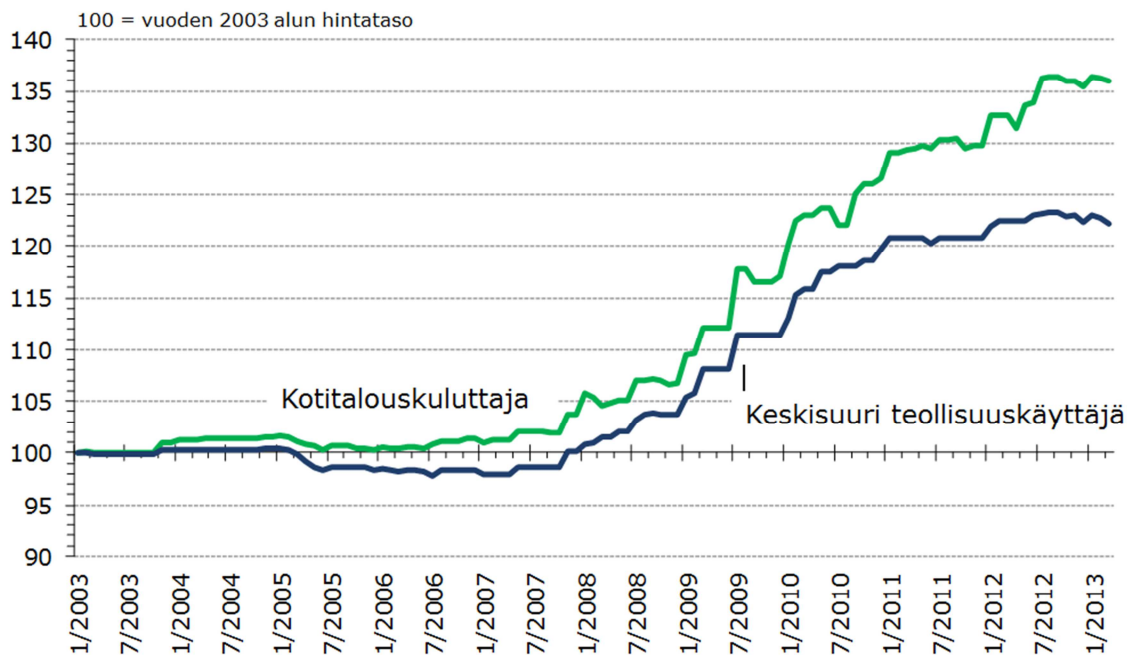
Sähköliittymän suurentamisen hinta on 58 € / A (36). Yleisimmin suuremmissa kohteissa maalämpöjärjestelmää käyttäessä sähköliittymän koko suurenee noin 100 - 125 A ja tästä aiheutuu kustannuksia 4000 € - 8000 €:a (3).

Tämän lisäksi on mahdollista, että kohteissa joudutaan uusimaan talojohtokaapeli ja uusia tai asentaa uusi sähkötaulu. Näiden uusiminen maksaa keskimäärin noin 6000 €. (3)

Sähköliittymän suurenemisesta johtuvat kustannukset ovat tutkimuskohteissa lisätty investointikustannuksiin, vaikka todellisuudessa niitä ei olisi tarvinnut tehdä kyseisessä kohteessa. Investointikustannukseen on lisätty sähköliittymän koon suurentamisesta aiheutuvia kustannuksia 6000 € sekä talojohtokaapelin ja sähkötaulun uusimisesta 7000 €:a, eli yhteensä 10000 €:a.

Lopullisissa kannattavuuslaskennoissa täytyy myös huomioida, että energian hinnat ja varsinkin öljyn hinta tulevat luultavasti tulevaisuudessa nousemaan varantojen vähentyessä. Energianhintojen nouseminen tarkoittaa lämmityskustannusten kasvua, mutta koska maalämpöä käyttäessä saadaan niin moninkertainen lämpöenergia sähköenergiaa kohden, maalämmön hyödyt ja säästöt vain kasvavat energiakustannuksien noustessa suhteessa muihin lämmitysvaihtoehtoihin. Odotettavissa on myös kaukolämmön hintojen nousu tulevaisuudessa. (24, s. 5)

Sähkön hinta on ollut melko tasaisessa nousussa lukuun ottamatta muutamia notkahduksia, mutta sähköenergian hinta on pääosin ollut jatkuvassa kasvussa.



Kuva 7. Verottoman sähkön siirtohinnan kehitys Suomessa kymmenen vuoden ajalta (34).

Laskennoissa tehdään saneerauksen kannattavuusarviointi laskemalla saneeraukselle takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaa käytettäessä saadaan selville, kuinka nopeasti saneerauksesta saatavat vuosittaiset säästöt ohittavat saneerauksen hankintakustannukset. Takaisinmaksuaika lasketaan jakamalla saneerauksen investointikustannukset vuosittaisilla säästöillä, jolloin vastaukseksi saadaan kuinka monta vuotta kuluu investointiin kuluneiden rahojen takaisin saamiseen. Huonona puolena takaisinmaksuajassa on, että siinä ei oteta huomioon ollenkaan korkoa. Korko voidaan laskea takaisinmaksuajkaan laskemalla jokaiselle vuosittaiselle rahalliselle säästölle määrätyn koron suuruinen nykyarvo, ja nykyarvoja käyttäen lasketaan takaisinmaksuaika. (25)

Tässä tutkimuksessa on oletettu, että jokainen tutkimuskohde on rakennettu tänä vuonna ja kannattavuuslaskennat lasketaan nykyhetkestä eteenpäin (25).

5.2 Lämmitystarveluku

Koska jokainen vuosi on erilainen lämpötiloiltaan, käytetään hyväksi lämmitystarvelukua, jotta voitaisiin arvioida tulevien vuosien lämmitystarpeet. Lämmitystarveluvulla voidaan muuttaa kunkin vuoden lämmitysenergia vastaamaan keskiarvovuoden lämmitysenergiaa. Tätä voidaan käyttää myös eri vuosien energiankulutuksien vertailemiseen keskenään. Lämmitystarveluku julkaistaan kuukauden välein kuudelletoista eri paikkakunnalla. Tässä työssä on vertailupaikkakuntana käytetty Vantaan kaupunkia. Tulevien vuosien lämmitystarpeita arvioitaessa käytetään vertailukauden 1971 – 2000 lämmitystarvelukujen keskiarvoa. Koska käyttöveden lämmittäminen ei ole riippuvainen ulkoilman lämpötilasta, täytyy se eritellä pois, kun energiankulutusta normeerataan keskiarvovuoteen. (26, 27)

5.3 Öljylämmitys

Tämän työn öljylämmityskohteet ovat jo sen ikäisiä, että niihin olisi tehtävä öljylämmitysjärjestelmän uusiminen tai korjaaminen hyvin pian. Tämä täytyy huomioida öljyjärjestelmän kustannuksissa lisäämällä niihin peruskorjaukseen kuluvat kustannukset. Periaatteessa voidaan ajatella, että nämä kustannukset voitaisiin vähentää maalämpöjärjestelmän hankintakustannuksista, koska kyseessä on välttämättömät kustannukset, jotka tulisivat kyseeseen vaikka järjestelmään ei tehtäisi mitään muutoksia. (3)

Kevyen polttoöljyn energiasisältö on 10,02 kWh / litra.

Öljylämmitysjärjestelmän hyötysuhteena on käytetty 87 %:a. Todellisuudessa hyötysuhde öljylämmityksellä voi olla huomattavasti alhaisempi riippuen järjestelmän iästä ja kunnosta. (26)

5.4 Mitatut energiankulutukset

Energiankulutukset ovat mitattu maalämpöpumpuissa olevilla energiamittareilla, joita ovat virtausanturi, lämpötila-anturi sekä lämpömäärän laskin. Näillä saadaan tietoon lämmitysverkostoon menevä energiamäärä. Maalämpöpumppu on kytketty lämpimän käyttöveden varaajan kanssa yhteen, ja sen tuottama energiamäärä on eritelty myös

laskennoissa. Tällä tavalla pystytään näkemään kuinka suuren osan kiinteistön lämmitysenergian kulutuksesta on mennyt käyttöveden lämmittämiseen sekä kuinka paljon heikompi lämpökerroin käyttöveden lämmityksen käyttämä korkealämpöisempi vesi aiheuttaa. (29)

Mitatut energiankulutuslukemat ovat ilmoitettu seuraavilla tavoilla:

Lämmitysenergia = Lämpöenergian määrä joka on käytetty verkostoon, tämä energiamäärä sisältää jo sähköenergianmäärän.

Sähköenergia = Sähköenergian määrä, minkä maalämpöpumppu käyttää.

Lämpökerroin = Kuinka monta kertaa enemmän saadaan maalämpöjärjestelmästä lämpöenergiaa, kuin järjestelmä käyttää sähköenergiaa. Tämä voidaan laskea jakamalla lämmitysenergian joka sisältää sähköenergianmäärän, itse sähköenergianmäärällä. Tästä saadaan suhdeluku, kuinka monta kertaa enemmän energiaa järjestelmä tuottaa lämpöenergiaa kuin kuluttaa sähköenergiaa (tästä enemmän kappaleessa maalämmön kustannukset).

LP1 ja LP2 = Maalämpöpumput, tämä energiamäärä kertoo kuinka paljon energiaa on mennyt lämmitysverkoston käyttöön.

LVV = Lämminvesivaraaja, tämä energiamäärä kertoo kuinka paljon energiaa on mennyt lämminvesivaraajalle. Lämminvesivaraajalle menevässä lämpöenergiassa lämpötilan täytyy olla korkeampi kuin lämmitysverkostoon menevällä vedellä, tämän takia lämpökerroin on huonompi lämminvesivaraajassa.

Taulukko 1: Tutkimuskohteen 1 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	Kaksi asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	12 kpl
Rakennusvuosi:	1978
Kerrosala:	1116 m ²
Huoneistoala:	854 m ²
Tilavuus:	3140 m ³
Investointikustannus:	116000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys

Toinen kiinteistön öljykattila on jätetty paikoilleen ja sitä käytetään kulutushuippujen tasaamiseen.

Maalämpökaivojen määrä: 5 kpl 200 m syviä kaivoja

Maalämpöpumppujen määrä 2 kpl

Maalämpöpumppujen lämmitysteho 65 kW

Lämmöntuottotapaa muutettaessa ei kiinteistön pattereita vaihdettu / uusittu koska verkoston lämpötilat on pidetty samoina kuin aiemmin (70/40).

Toteutuneet energiankulutukset

Huhtikuu 2010 - Joulukuu 2011 (21 kuukautta)

	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	93,9	103,3	92,5	289,7
Sähköenergia (MWh)	23,2	25,8	28,7	77,7
Lämpökerroin	4,1	4,0	3,2	3,7

LP on lyhenne lämpöpumpusta

LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Kiinteistön ennen lämmöntavan muutosta toteutunut öljynkulutus

Viimeisen viiden vuoden keskiarvo 18280 l/vuodessa

Tämä tarkoittaa:

 $18280 \text{ l} * 10,02 \text{ kWh/l} * 87 \% \text{ hyötysuhde} = 159 \text{ MWh energiaa vuodessa}$

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä:

 $163 \text{ MWh} / 3,73 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 5985 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä

 $18280 \text{ l} * 1,06 \text{ €/l} = 19377 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

 $116\,000 \text{ €} / (19377 \text{ €/a} - 5985 \text{ €/a}) = 8,7 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia.

Koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika olettaen öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

 $\text{Uusimiskustannus on tällöin } 116\,000 \text{ €} * 20 \% = 23\,200 \text{ €}$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

 $(116\,000 \text{ €} - 23\,200 \text{ €}) / (19377 \text{ €/a} - 19377 \text{ €/a}) = 6,9 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista

6,1 vuotta

Taulukko 2: Tutkimuskohteen 2 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	Neljä asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	16 kpl
Rakennusvuosi:	1984 ja 1985
Kerrosala:	1528 m ²
Huoneistoala:	1196 m ²
Tilavuus:	4400 m ³
Investointikustannus:	160000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
 Öljylämmityslaitteistot puretaan ja kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä:	6 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	2 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	67 kW	

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi. Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Toteutuneet energiankulutukset Tammikuu 2010 - Toukokuu 2013 (30 kuukautta)

	LP1 ja 2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	383,6	167,5	551,1
Sähköenergia (MWh)	98,7	51,7	150,4
Lämpökerroin	3,9	3,2	3,7

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Kiinteistön ennen lämmöntavan muutosta toteutunut öljynkulutus
Viimeisen viiden vuoden keskiarvo

24150 l/vuodessa

Tämä tarkoittaa $24150 \text{ l} * 10,02 \text{ kWh/l} * 87 \% \text{ hyötysuhde} = 211 \text{ MWh energiaa vuodessa}$

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $215 \text{ MWh} / 3,73 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 8043 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $18280 \text{ l} * 1,06 \text{ €/l} = 25599 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$116\,000 \text{ €} / (19377 \text{ €/a} - 19377 \text{ €/a}) = 9,1 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $116000 \text{ €} * 20 \% = 32000 \text{ €}$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(160\,000 \text{ €} - 32\,000 \text{ €}) / (25599 \text{ €/a} - 8228 \text{ €/a}) = 7,3 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika 6,4 vuotta

Taulukko 3: Tutkimuskohteen 3 tiedot

Paikkakunta:	Nummela
Rakennustyyppi:	Kaksi asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	39 kpl
Rakennusvuosi:	1982
Kerrosala:	2909 m ²
Huoneistoala:	2435 m ²
Tilavuus:	9730 m ³
Investointikustannus:	300000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Varaava sähkölämmitys

Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä:	14 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	2 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	140 kW	

Lämmöntuottotapaa muutettaessa ei kiinteistön pattereita vaihdettu / uusittu koska verkoston lämpötilat on pidetty samoina kuin aiemmin (80/50).

Toteutuneet energiankulutukset Tammikuu 2011 - Joulukuu 2012 (24 kuukautta)

	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	148,7	62,6	253,0	464,3
Sähköenergia (MWh)	39,0	17,9	88,5	145,4
Lämpökerroin	3,8	3,5	2,9	3,2

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Aiempien kulutusten perusteella voidaan päätellä, että kokonaissähkökulutuksesta noin 45 % sähköenergiasta hyödynnetään käyttämällä yösähköä. Yö sähkön hintana laskennassa käytetty 15 %a pienempää hintaa eli 119 €/MWh.

Koska kiinteistöä ei ollut saatavilla pidemmän aikavälin energiankulutusta, muutetaan kahden vuoden mittausjakson kulutus vastaamaan keskiarvovuotta

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

$$Q_{norm} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

Laskukaavat ja ohjeet laskemiseen (38).

Kaavoissa käytettävät lämmitystarveluvut löytyvät Ilmatieteenlaitoksen sivuilta, tässä tutkimuskohteessa on käytetty alueena Vantaan kaupunkia (27).

Lämmintä käyttövettä ei tarvitse normeerata, koska käyttöveden kulutus ei ole riippuvainen ulkoilman lämpötilasta.

	Lämmitystarveluvut Vantaa		
	2011	2012	Vertailukaudella 1981-2010
Tammikuu	694	683	682
Helmikuu	792	728	640
Maaliskuu	584	535	586
Huhtikuu	305	382	376
Toukokuu	91	106	146
Kesäkuu	0	15	25
Heinäkuu	0	0	7
Elokuu	0	6	34
Syyskuu	52	113	158
Lokakuu	291	340	348
Marraskuu	383	415	497
Joulukuu	463	736	625
Koko vuosi	3655	4059	4124

Koska tämän kohteen mittausajanjakso on tasan kaksi vuotta, ei näistä tarvita kuin koko vuoden lämmitystarveluku, mutta jos mittausajanjakso on esim. puolitoista vuotta niin silloin tarvitsee ottaa kuukauden tarkkuudella huomioon.

$$Q_{norm} = 4124 / (3655+4059) * (464,26\ MWh - 253\ MWh) + 253\ MWh$$

$$Q_{norm} = 365,9\ MWh$$

Keskimääräisenä kiinteistön vuosittaisena lämmitysenergiankulutuksena voidaan pitää 365,9 MWh

Tällä kulutuksella laskettuna:

$$\text{Maalämmöllä hinta vuodessa } 365,9\ MWh / 3,19\ (\text{lämpökerroin}) * 140\ \text{€/MWh} = 16044,0\ \text{€ vuodessa}$$

$$\text{Varaavalla sähkölämmityksellä } (365,9\ MWh * 0,55 * 140\ \text{€/MWh}) + (365,9\ MWh * 0,45 * 119\ \text{€/MWh}) = 47773,8\ \text{€ vuodessa}$$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$$300\ 000\ \text{€} / (47774\ \text{€/a} - 16044\ \text{€/a}) = 9,5\ \text{vuotta takaisinmaksuaika}$$

Tässä ei ole huomioitu mahdollista olemassaolevan varaavan sähkölämmitysjärjestelmän uusimistarvetta.

Taulukko 4: Tutkimuskohteen 4 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	Liike- ja asuinkerrostalo
Asuntojen määrä:	10 kpl
Liike- ja toimistohuoneistoja	12 kpl
Rakennusvuosi:	1991
Kerrosala:	1929 m ²
Huoneistoala:	1590 m ²
Tilavuus:	6500 m ³
Investointikustannus:	186000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Kaukolämpö
 Kaukolämpöjärjestelmä jätetään paikalleen ja sitä käytetään maalämpöjärjestelmän kanssa
 kulutushuippujen tasaajana huippupakkasilla.

Maalämpökaivojen määrä:	9 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	1 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	65 kW	

Lämmöntuottotapaa muutettaessa ei kiinteistön pattereita vaihdettu / uusittu
 koska verkoston lämpötilat on pidetty samoina kuin aiemmin (70/40).

Toteutuneet energiankulutukset Joulukuu 2011 - Joulukuu 2012 (12 kuukautta)

	LP1	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	172,0	57,3	229,3
Sähköenergia (MWh)	47,5	20,1	67,5
Lämpökerroin	3,6	2,9	3,4

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseen

Kiinteistön ennen lämmöntavan muutosta toteutunut kaukolämmön kulutus
Viimeisen viiden vuoden keskiarvo

279 MWh vuodessa

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $279 \text{ MWh} / 3,40 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 11501,9 \text{ € vuodessa}$

Kaukolämmön hinta vuodessa $279 \text{ MWh} * 109 \text{ €/MWh} = 30411 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$116\,000 \text{ €} / (19377 \text{ €/a} - 19377 \text{ €/a}) = 9,836513 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Koska maalämpöjärjestelmä kiinteistössä on osatehoinen, tulee kustannuksia hieman lisää kaukolämpöjärjestelmän käytöstä.

Taulukko 5: Tutkimuskohteen 5 tiedot

Paikkakunta:	Vihti
Rakennustyyppi:	4 Asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	25 kpl
Rakennusvuosi:	1973
Kerrosala:	1891 m ²
Huoneistoala:	1731 m ²
Tilavuus:	5740 m ³
Investointikustannus:	330000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä: 11 kpl 200 m syviä kaivoja

Maalämpöpumppujen määrä 2 kpl
Maalämpöpumppujen lämmitysteho 105 kW

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi. Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Tämän kiinteistön investointikustannukseen kuuluu myös ulkopuolisten vesijohtojen uusiminen, sekä muita maalämpö urakkaan kuulumattomia töitä.

Nämä asiat lisäävät investointikustannusta ja samalla takaisinmaksuaika pitenee.

Toteutuneet energiankulutukset Tammikuu 2012 - Helmikuu 2013 (13 kuukautta)

	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	119,9	73,3	101,6	294,8
Sähköenergia (MWh)	27,7	17,6	32,1	77,4
Lämpökerroin	4,3	4,2	3,2	3,8

Normeeratut kulutukset	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	119,5	73,0	101,6	294,1
	27,6	17,5	32,1	77,2
	4,3	4,2	3,2	3,8

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $294,1 \text{ MWh} / 3,81 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 10808,3 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $294,1 \text{ MWh} / 0,0102 \text{ MWh/l} / 87\% \text{ hyötysuhde} * 1,06 \text{ €/l} = 35759,6 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$330\,000 \text{ €} / (34956 \text{ €/a} - 10808 \text{ €/a}) = 13,2 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $330\,000 \text{ €} * 20\% = 66\,000 \text{ €}$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(330\,000 \text{ €} - 66\,000 \text{ €}) / (34956 \text{ €/a} - 10808 \text{ €/a}) = 10,6 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

9,3 vuotta

Taulukko 6: Tutkimuskohteen 6 tiedot

Paikkakunta:	Vihti
Rakennustyyppi:	4 Asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	30 kpl
Rakennusvuosi:	1972
Kerrosala:	2580 m ²
Huoneistoala:	2430 m ²
Tilavuus:	8525 m ³
Investointikustannus:	315000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
 Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä:	14 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	2 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	138 kW	

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi. Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Toteutuneet energiankulutukset Tammikuu 2012 - Joulukuu 2012 (12 kuukautta)

	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	88,3	137,2	81,6	307,1
Sähköenergia (MWh)	21,8	32,2	21,9	75,9
Lämpökerroin	4,1	4,3	3,7	4,0

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Normeeratut kulutukset	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	88,1	136,8	101,6	326,4
	21,7	32,1	32,1	86,0
	4,1	4,3	3,2	3,8

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $326,4 \text{ MWh} / 4,04 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 12035,7 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $326,4 \text{ MWh} / 0,0102 \text{ MWh/l} / 87\% \text{ hyötysuhde} * 1,06 \text{ €/l} = 39692,2 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$315\,000 \text{ €} / (38791 \text{ €/a} - 12033 \text{ €/a}) = 11,4 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $315000 \text{ €} * 20\% =$

63000 €

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(315\,000 \text{ €} - 63000 \text{ €}) / (38791 \text{ €/a} - 12033 \text{ €/a}) =$

9,1 vuotta takaisinmaksuaika

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

8,0 vuotta

Taulukko 7: Tutkimuskohteen 7 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	2 Asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	21 kpl
Rakennusvuosi:	1972
Kerrosala:	1524 m ²
Huoneistoala:	1390 m ²
Tilavuus:	5040 m ³
Investointikustannus:	245000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
 Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä: 8 kpl 200 m syviä kaivoja

Maalämpöpumppujen määrä 2 kpl

Maalämpöpumppujen lämmitysteho 80 kW

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi.
 Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Toteutuneet energiankulutukset Tammikuu 2012 - Joulukuu 2012 (12 kuukautta)

	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	69,9	44,6	77,7	192,2
Sähköenergia (MWh)	17,7	11,3	27,4	56,4
Lämpökerroin	3,9	4,0	2,8	3,4

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Normeeratut kulutukset	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	69,7	44,4	101,6	215,7
	17,7	11,3	32,1	61,0
	3,9	3,9	3,2	3,5

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $215,7 \text{ MWh} / 3,53 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 8545,3 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $215,7 \text{ MWh} / 0,0102 \text{ MWh/l} / 87\% \text{ hyötysuhde} * 1,06 \text{ €/l} = 26232,8 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$245\,000 \text{ €} / (25643 \text{ €/a} - 8545 \text{ €/a}) = 13,9 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $245000 \text{ €} * 20\% = 49000 \text{ €}$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(245\,000 \text{ €} - 49000 \text{ €}) / (25643 \text{ €/a} - 8545 \text{ €/a}) = 11,1 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

9,7 vuotta

Taulukko 8: Tutkimuskohteen 8 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	2 Asuinrivitaloa
Asuntojen määrä:	17 kpl
Rakennusvuosi:	1979
Kerrosala:	1599 m ²
Huoneistoala:	1350 m ²
Tilavuus:	4750 m ³
Investointikustannus:	209000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä:	8 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	1 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	65 kW	

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi. Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Toteutuneet energiankulutukset Syyskuu 2012 - Joulukuu 2012 (neljä kuukautta lämmityskaudella)

	LP1	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	50,3	33,1	83,3
Sähköenergia (MWh)	11,6	10,5	22,1
Lämpökerroin	4,3	3,2	3,8

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Normeeratut kulutukset	LP1	LVV	Yhteensä (lämmin vesi on vain kerrottu kolmella jotta saadaan 12kk ajalta)
Lämmitysenergia (MWh)	145,5	99,2	244,6
	33,5	31,5	65,0
	4,3	3,1	3,8

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $244,6 \text{ MWh} / 3,77 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 9084,8 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $244,6 \text{ MWh} / 0,0102 \text{ MWh/l} / 87\% \text{ hyötysuhde} * 1,06 \text{ €/l} = 29747,3 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin

$209\,000 \text{ €} / (29079 \text{ €/a} - 9085 \text{ €/a}) = 10,1 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15% - 30%a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20%a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $245000 \text{ €} * 20\% = 41800 \text{ €}$

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(209\,000 \text{ €} - 41800 \text{ €}) / (29079 \text{ €/a} - 9085 \text{ €/a}) = 8,1 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos uusimiskustannus olisi 30% maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

7,1 vuotta

Taulukko 9: Tutkimuskohteen 9 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	1 Asuinrivitalo
Asuntojen määrä:	7 kpl
Rakennusvuosi:	1981
Kerrosala:	533 m ²
Huoneistoala:	474 m ²
Tilavuus:	1550 m ³
Investointikustannus:	71500 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Kaukolämpö
 Kulutushuiput tasataan varaajien sähkövastuksilla.

Maalämpökaivojen määrä: 2 kpl 230 m syviä kaivoja

Maalämpöpumppujen määrä 1 kpl
 Maalämpöpumppujen lämmitysteho 27 kW

Kiinteistössä olevan lämmitysverkoston lämpötilat ovat muutettu maalämmölle sopivammaksi.
 Tästä johtuen riittämättömät / pieneksi jäävät patterit joudutaan uusimaan.

Toteutuneet energiankulutukset Elokuu 2012 - Lokakuu 2012 (3 kuukautta lämmityskaudella)

	LP1	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	2,1	13,2	15,3
Sähköenergia (MWh)	0,5	4,8	5,3
Lämpökerroin	3,9	2,8	2,9

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Normeeratut kulutukset	LP1	LVV	Yhteensä (lämmin vesi on vain kerrottu neljällä jotta saadaan 12kk ajalta)
Lämmitysenergia (MWh)	18,5	52,9	71,4
	4,7	19,0	23,7
	3,9	2,8	3,0

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $58,2 \text{ MWh} / 3,07 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 3316,2 \text{ € vuodessa}$

Kaukolämmön hinta vuodessa $58,2 \text{ MWh} * 109 \text{ €/MWh} = 7780,5 \text{ € vuodessa}$

Takaisinmaksuaikana tällöin
 $71\,500 \text{ €} / (6339 \text{ €/a} - 2651 \text{ €/a}) =$

16,0 vuotta takaisinmaksuaika

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.
 Uusimiskustannus on tällöin $245000 \text{ €} * 20\% =$

14300 €

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin
 $(209\,000 \text{ €} - 41800 \text{ €}) / (29079 \text{ €/a} - 9085 \text{ €/a}) =$

12,8 vuotta takaisinmaksuaika

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

11,2 vuotta

Taulukko 10: Tutkimuskohteen 10 tiedot

Paikkakunta:	Mäntsälä
Rakennustyyppi:	2 Kerrostaloa
Asuntojen määrä:	33 kpl
Rakennusvuosi:	1963
Kerrosala:	1532 m ²
Liikehuoneistoja	3 kpl
Liikehuoneistojen ala	218 m ²
Tilavuus:	8100 m ³
Investointikustannus:	186000 €

Kiinteistön aiempi lämmöntuottotapa: Öljylämmitys
 Öljylämmityslaitteistot jätetään paikalleen ja kulutushuiput tasataan öljylämmitystä hyödyntäen.

Maalämpökaivojen määrä:	12 kpl	200 m syviä kaivoja
Maalämpöpumppujen määrä	2 kpl	
Maalämpöpumppujen lämmitysteho	132 kW	

Lämmöntuottotapaa muutettaessa ei kiinteistön pattereita vaihdettu / uusittu koska verkoston lämpötilat on pidetty samoina kuin aiemmin (70/40).

Toteutuneet energiankulutukset	Tammikuu 2010 - Joulukuu 2010 (12 kuukautta)			
	LP1	LP2	LVV	Yhteensä
Lämmitysenergia (MWh)	83,0	108,7	177,0	368,7
Sähköenergia (MWh)	26,3	32,5	58,7	117,5
Lämpökerroin	3,2	3,3	3,0	3,1

LP on lyhenne lämpöpumpusta ja LVV on lyhenne lämminvesivaraajasta, jota käytetään lämpimän käyttöveden saamiseksi

Kiinteistön ennen lämmöntavan muutosta toteutunut öljynkulutus
Viimeisen viiden vuoden keskiarvo

45670 l/vuodessa

Tämä tarkoittaa $45670 \text{ l} * 10,02 \text{ kWh/l} * 89 \% \text{ hyötysuhde} =$

398,1 MWh energiaa vuodessa

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa $215 \text{ MWh} / 3,73 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} =$

17763,9 € vuodessa

Öljylämmityksellä hinta vuodessa $18280 \text{ l} * 1,06 \text{ €/l} =$

48410,2 € vuodessa

Takaisinmaksuaikana tällöin

$116000 \text{ €} / (19377 \text{ €/a} - 19377 \text{ €/a}) =$

6,1 vuotta takaisinmaksuaika

Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan öljylämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin öljylämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.

Uusimiskustannus on tällöin $186000 \text{ €} * 20 \% =$

37200 €

Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin

$(186000 \text{ €} - 37200 \text{ €}) / (48410 \text{ €/a} - 18172 \text{ €/a}) =$

4,9 vuotta takaisinmaksuaika

Jos uusimiskustannus olisi 30 % maalämmön kustannuksista, olisi takaisinmaksuaika

4,2 vuotta

Taulukko 11: Tutkimuskohteiden keskiarvoista muodostetun kohteen tiedot

Keskivertokohde

Rakennusvuosi:	1978
Kerrosala:	1714 m ²
Asuntojen lukumäärä	22 kpl
Tilavuus:	5748 m ³
Investointikustannus:	211860 €

Maalämpökaivojen määrä: 8 kpl 200 m kaivoja

Keskiarvoinen COP kohteissa 3,51
Sisältäen käyttöveden lämmityksen sekä lämmityksen

Keskiarvo lämmitystehontarve 254 MWh vuodessa

Tällä kulutuksella laskettuna:

Maalämmöllä hinta vuodessa: $254 \text{ MWh} / 3,51 \text{ (lämpökerroin)} * 140 \text{ €/MWh} = 10126 \text{ € vuodessa}$

Kaukolämmön hinta vuodessa: $254 \text{ MWh} * 109 \text{ €/MWh} = 27636 \text{ € vuodessa}$

Öljylämmityksellä hinta vuodessa: $254 \text{ MWh} / 0,0102 \text{ MWh/l} / 87\% \text{ hyötysuhde} * 1,06 \text{ €/l} = 30829 \text{ € vuodessa}$

Keskimääräisen rakennuksen takaisinmaksuaikana verrattuna kaukolämpöön
 $211860 \text{ €} / (27828 \text{ €/a} - 10196 \text{ €/a}) = 12,1 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Keskimääräisen rakennuksen takaisinmaksuaikana verrattuna öljylämmitykseen
 $211860 \text{ €} / (30829 \text{ €/a} - 10196 \text{ €/a}) = 10,2 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

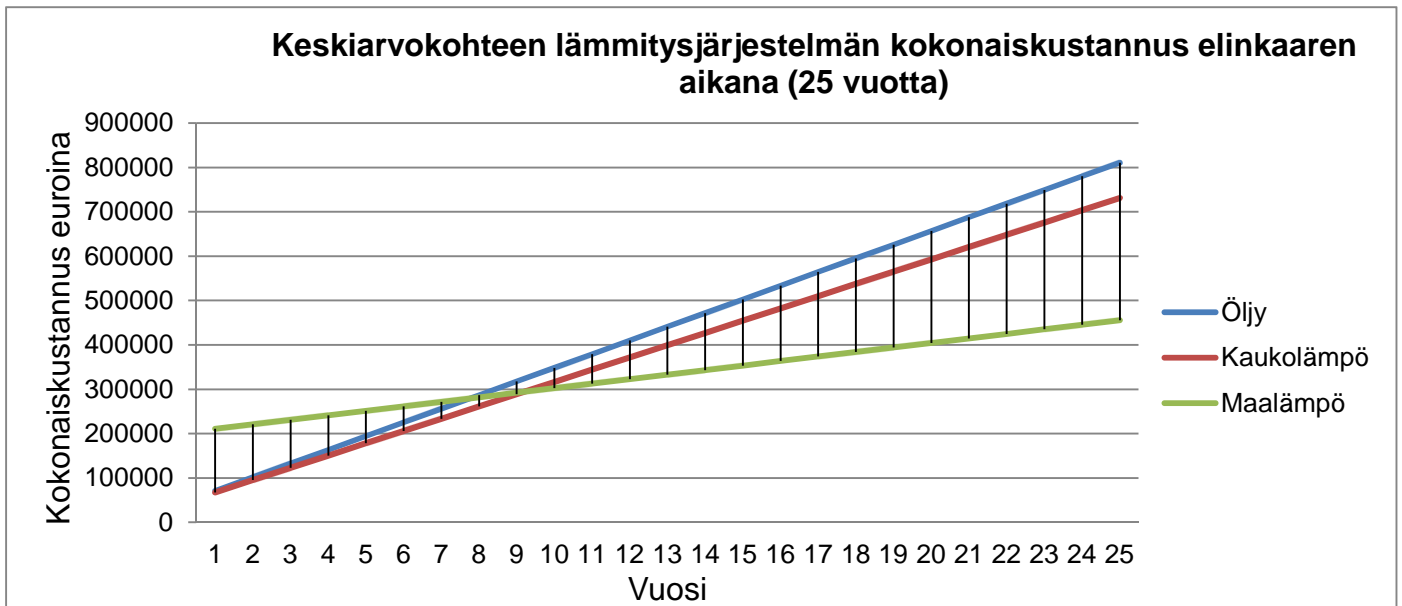
Laskuissa ei ole huomioitu ollenkaan olemassaolevaan lämmitysjärjestelmään tehtäviä huoltokustannuksia koska kiinteistö on jo vanha, jouduttaisiin lämmitysjärjestelmää uusimaan laajasti.

Uusimiseen voidaan arvioida hinnaksi 15 % - 30 %a maalämmön investointikustannuksista.

Lasketaan takaisinmaksuaika jossa oletetaan öljylämmityksen uusimisen maksavan 20 %a maalämmöstä.
Uusimiskustannus on tällöin $211860 \text{ €} * 20\% = 42372 \text{ €}$

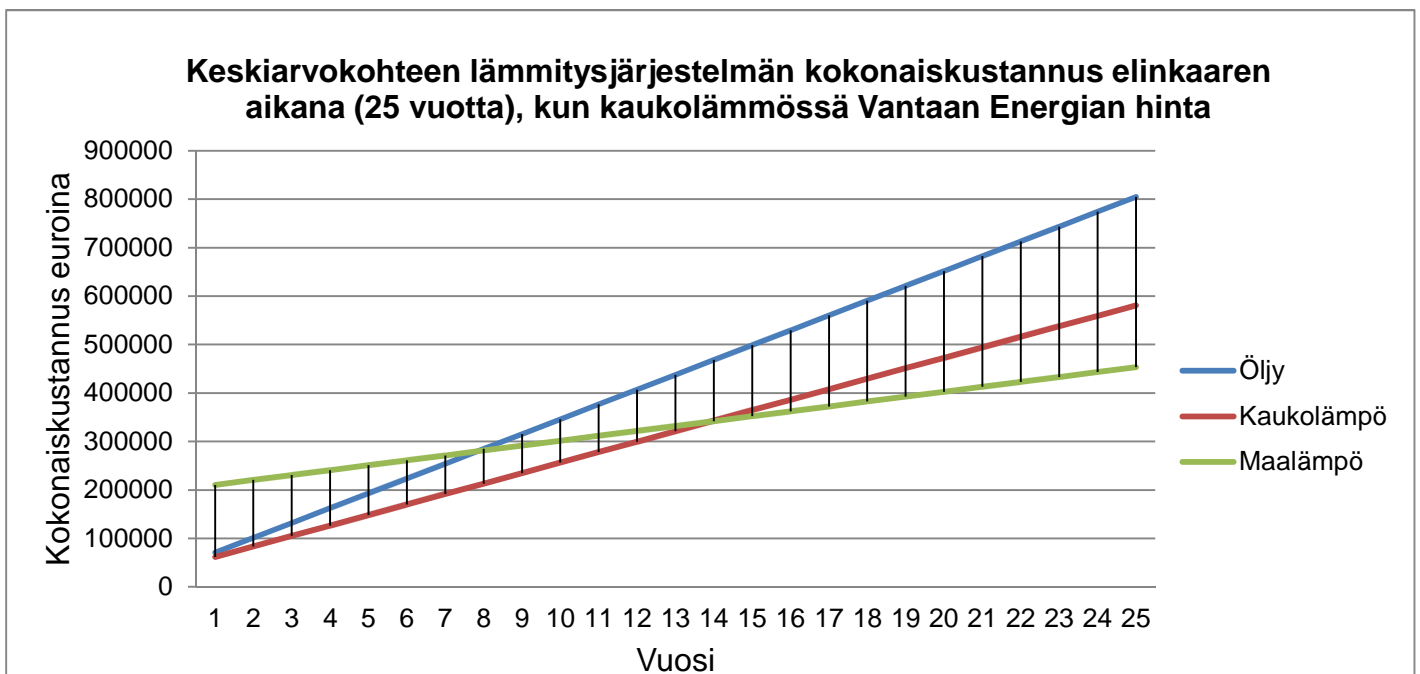
Korottomana takaisinmaksuaikana maalämmölle tällöin
 $(211860 \text{ €} - 42372 \text{ €}) / (30829 \text{ €/a} - 10196 \text{ €/a}) = 8,2 \text{ vuotta takaisinmaksuaika}$

Jos öljylämmityksen uusimiskustannus olisi 30% maalämmön kustannuksista 7,2 vuotta takaisinmaksuaika

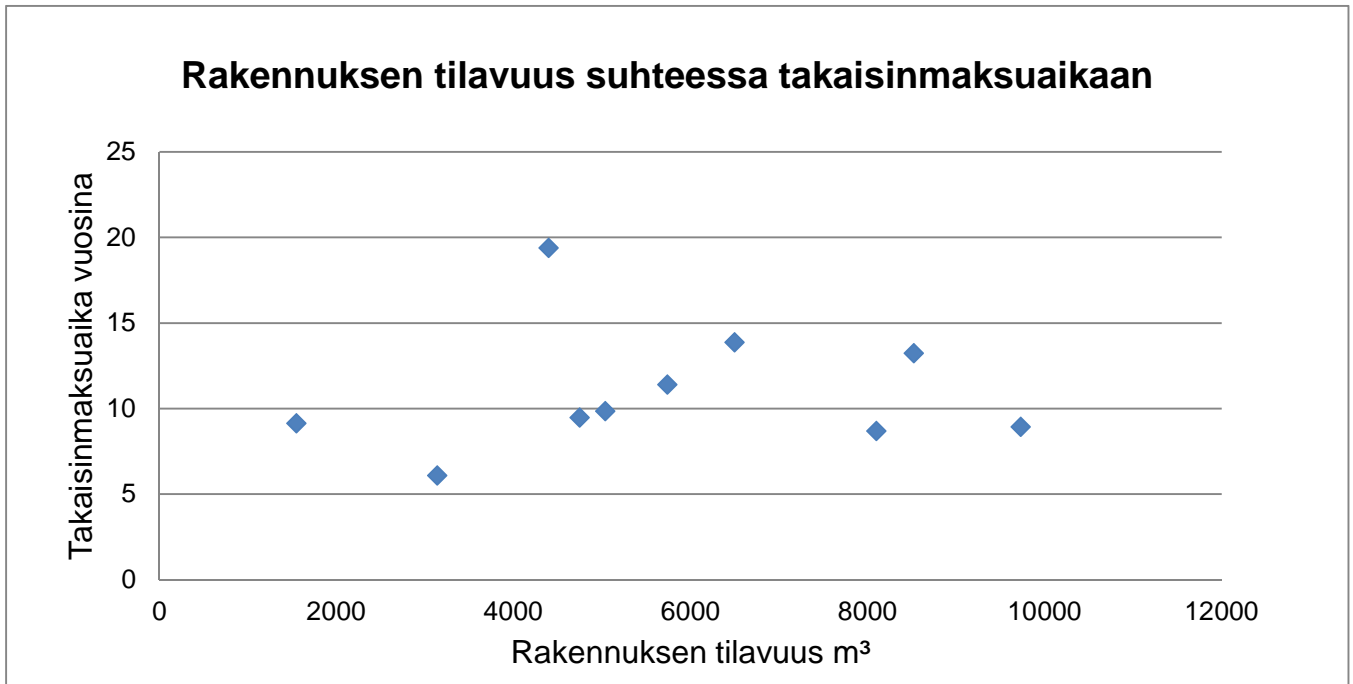


Kuva 8. Keskiarvokohteen kokonaiskustannuksen kehitys elinkaaren aikana. Kustannuksiin laskettu investointikustannukset + vuosittaiset kustannukset jokaiselle lämmitysjärjestelmälle.

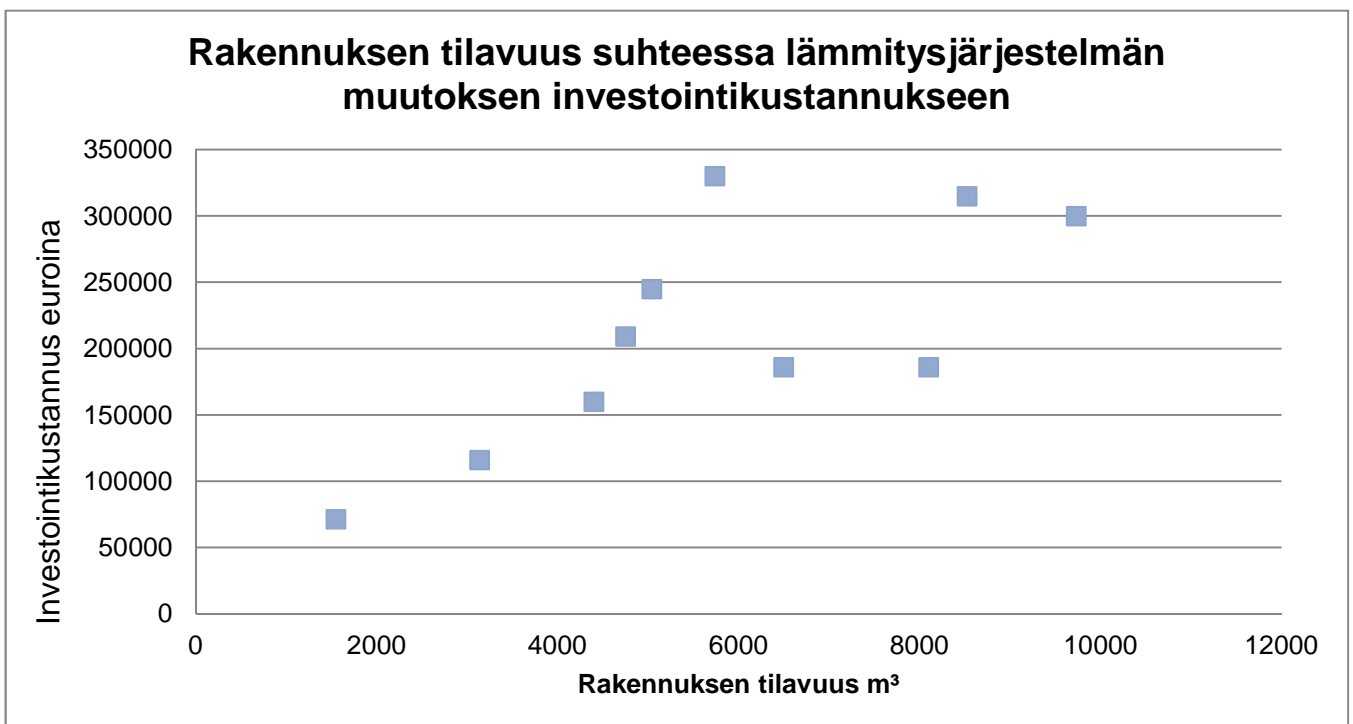
Mäntsälän kunnassa kaukolämmön hinta on melko korkea verrattuna esimerkiksi Vantaan kaukolämmön hintaan. Seuraavaksi on kaavio, jossa on muuten samat arvot kuin edellisessä, mutta kaukolämmön hintana on Vantaan Energian hinta (86,01 €/MWh). (21) Tässäkin ratkaisussa maalämpö on edullisin, mutta takaisinmaksuaika on pidempi.



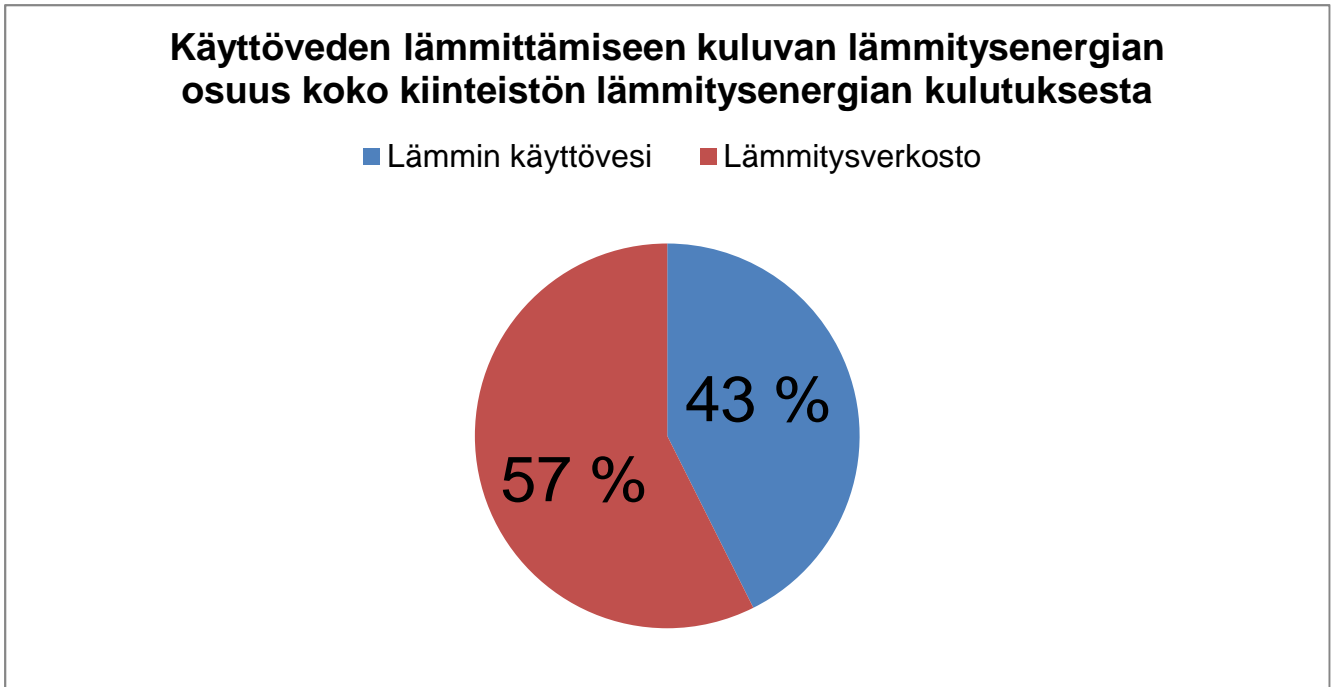
Kuva 9. Keskiarvokohteen kokonaiskustannuksen kehitys elinkaaren aikana, kaukolämmössä käytetty Vantaan Energian hintaa. Kustannuksiin laskettu investointikustannukset + vuosittaiset kustannukset jokaiselle lämmitysjärjestelmälle.



Kuva 10. Lämmitystapamuutoksien takaisinmaksuajat rakennuksien tilavuuden mukaan.

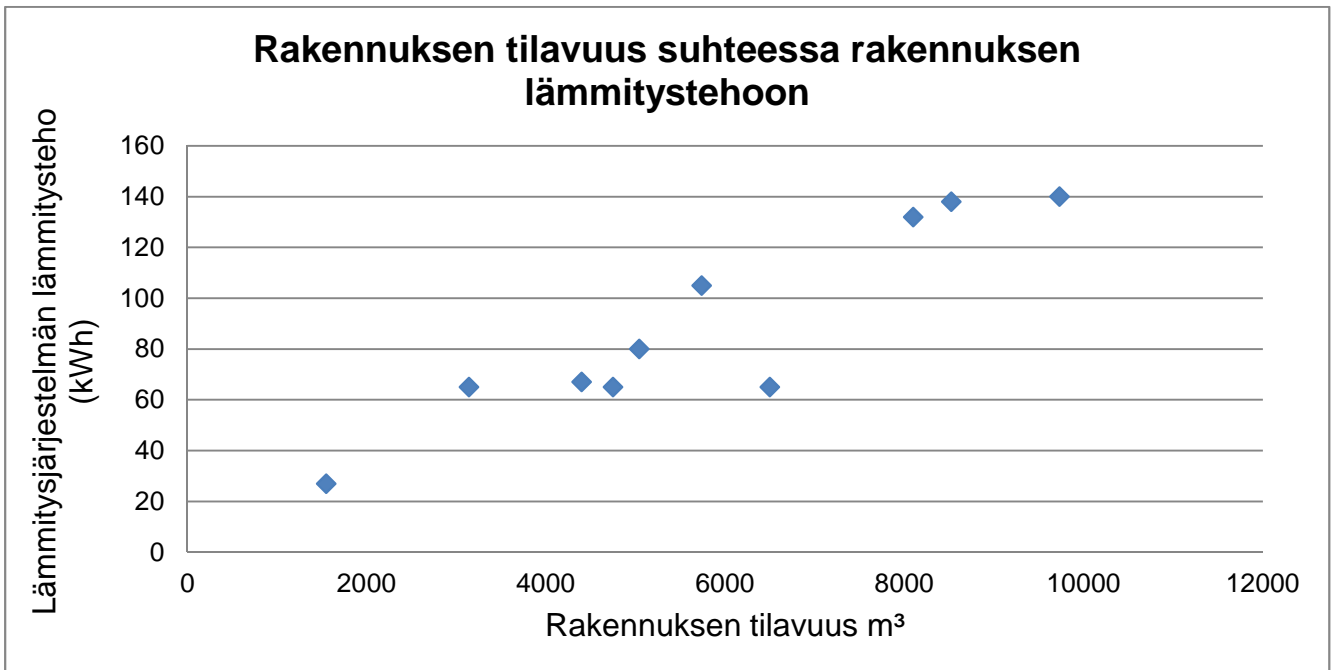


Kuva 11. Rakennuksen tilavuus suhteessa lämmitysjärjestelmän muutoksen

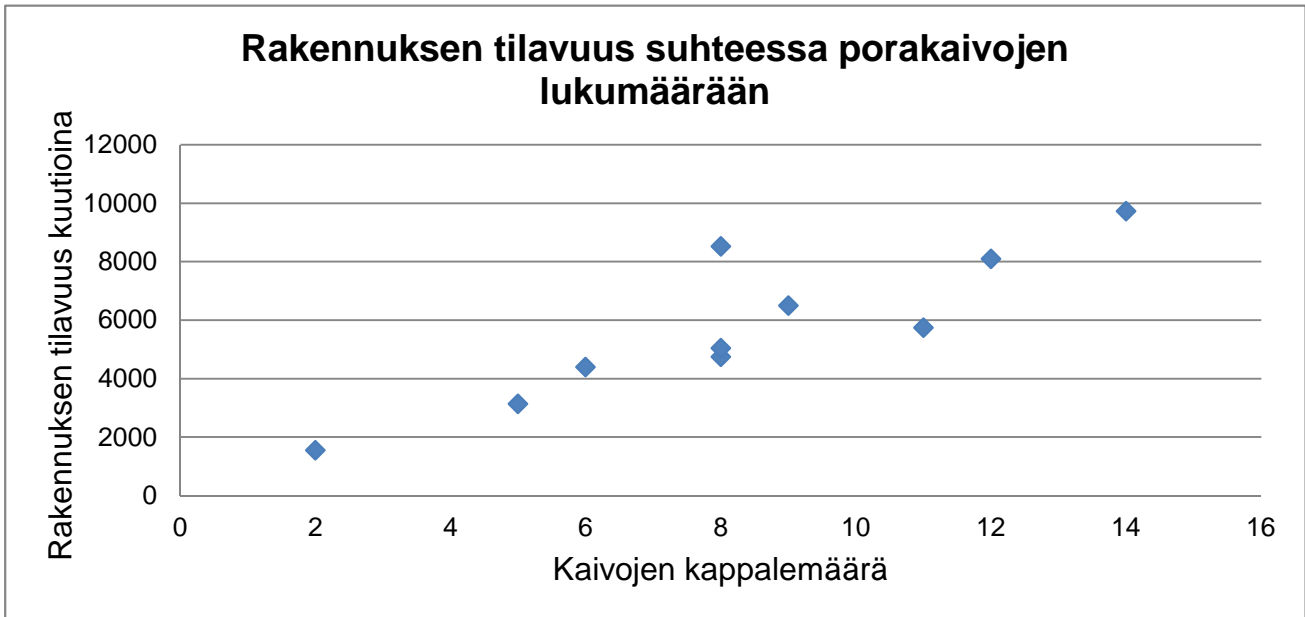


investointikustannukseen

Kuva 12. Käyttöveden lämmittämisen osuus koko kiinteistön kuluttamasta lämmitysenergiasta.



Kuva 13. Rakennuksen tilavuus suhteessa rakennuksen lämmitystehtävään



Kuva 14. Rakennuksen tilavuus suhteessa porakaivojen määrään

5.5 Kannattavuusvertailu

Tässä luvussa vertaillaan toteutuneita maalämpöjärjestelmän energiankulutuksia kaukolämpöjärjestelmään ja öljylämmitykseen, sekä tehdään vertailuista investointilaskennat.

Jotta vertailua pystytään tekemään eri järjestelmien välillä, täytyisi kohteista tietää järjestelmien hankintakustannukset. Valitettavasti näitä kustannustietoja ei ole saatavilla kiinteistöistä. Järjestelmien hintojen arvioimiseksi on tarkasteltu useita kohteita, joissa on vaihdettu lämmöntuottotapaa tai päädytty peruskorjaamaan öljylämmitysjärjestelmä. Näistä tiedoista on tehty seuraavanlaiset arviot.

(Hinnat ovat arvioita, todelliset kustannukset täytyy laskea erikseen kohdekohtaisesti)

Kaukolämpöjärjestelmän hinta suhteessa maalämpöjärjestelmän hankintaan on noin 30 %:a maalämpöjärjestelmän hankintahinnasta. Hankintahinta olisi noin 20–25%:a, jos jätettäisiin lämmitysverkoston perussäätö tekemättä ja vanha lämmönjakuhuone kunnostamatta. Tässä työssä on kuitenkin käytetty kaukolämpöjärjestelmän hankintahinnan kustannuksena 30 %:a maalämmön hankintahinnasta. (3)

Tässä työssä tutkitut öljylämmityskohteet toimivat useita kymmeniä vuosia vanhoilla öljylämmitysjärjestelmillä. Tästä johtuen öljylämmitysjärjestelmä voidaan joutua uusia lähes täydellisesti ja öljylämmitysjärjestelmän uusiminen voi nousta kalliimmaksi kuin kaukolämpöjärjestelmän hankinta. Yleisesti voidaan kuitenkin olettaa, että öljylämmitysjärjestelmän uusimiskustannukset ovat noin 25 %:a maalämpöjärjestelmän hankintahinnasta.

Öljylämmityksen kustannukset on laskettu siten, että se täytyy huoltaa kuntoon. Kaukolämpö on taas laskettu kokonaan uutena investointina vanhan järjestelmän tilalle.

Laskuissa on päätetty, että maalämpöjärjestelmän elinkaaren päättyessä (25 vuotta) jäännösarvoksi jää 0 €. Todellisuudessa tämä arvo on huomattavasti suurempi, sillä porakaivoja pystytään käyttämään vielä pitkän aikaa tämän jälkeen.

Tämän tutkimuksen kohteisiin on saatu valtiolta energia-avustusta maalämpöjärjestelmän hankintahintaan jopa 20 %:a, mutta nykyisin tällaista energia-avustusta ei ole helposti saatavilla, ainakaan yhtä suurena määränä. Tätä avustusta ei ole kuitenkaan otettu huomioon kohteiden investointikustannuksissa.(3)

5.6 Investointilaskelmat

Investointilaskelmissa perehdytään tarkemmin kohteen kannattavuuteen, kuin kohteissa lasketuissa korottomissa takaisinmaksuajoissa. Korottoman takaisinmaksuajan heikkona puolena on se, että se ei ota kantaa rahan aika-arvoa tai takaisinmaksuajan jälkeistä kassavirtaa. Koroton takaisinmaksuaika ei ota suoranaisesti kantaa investoinnin kannattavuuteen, mutta sen voi melko hyvin päätellä saaduista lukemista. (39)

Investointilaskentoja tehtäessä täytyy määrittää korkoprosentti. Tässä laskennassa korkoprosenttina on käytetty hyvin normaalia ja yleisesti laskennoissa käytettyä 5 %:a (39). Korko määrittää, kuinka paljon arvokkaampi kyseisen suuruinen rahamäärä on tällä hetkellä, kuin määritetyn ajan päästä. Käytännössä voidaan ajatella, että korotonta lainaa ei ole edes olemassa, vaikka sitä ei määriteltäisi erikseen. (25)

Tässä työssä lasketaan keskiarvokiinteistön kannattavuus korollisella takaisinmaksuaikamenetelmällä sekä nettonykyarvomenetelmällä. Laskennoissa käytetyt kaukolämpöjärjestelmän ja öljylämmitysjärjestelmän hankintakustannuksien laskentatavat on kerrottu luvussa 6.5 Kannattavuusvertailu.

5.6.1 Korollinen takaisinmaksuaika

Korollisen takaisinmaksuajan laskutapa on parempi kuin korottoman takaisinmaksuajan, mutta sitä tulisi käyttää vain alustaviin laskelmiin. Korollisessa takaisinmaksuajan laskennassa jokaisen vuoden saatavat säästöt diskontataan

nykyhetkeen ja takaisinmaksuaika lasketaan näiden diskontattujen säästöjen perusteella. (39, s.4-5)

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan seuraavalla kaavalla

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-H*i}\right)}{\ln(1+i)} \quad (1)$$

jossa n on korollinen takaisinmaksuaika

T on vuotuisien energiakustannuksien erotus

H on järjestelmien hankintahintojen erotus

i on korkoprosentti/100

Keskiarvokohteen maalämpöjärjestelmän korollinen takaisinmaksuaika suhteessa öljylämmitysjärjestelmään on

$$n = \ln \frac{(30829 \text{ €/a} - 10126 \text{ €/a})}{(30829 \text{ €/a} - 10126 \text{ €/a}) - [(211860 \text{ €} - 52965 \text{ €}) * 0,05]} / \ln(1+0,05)$$

$$n = 9,9 \text{ vuotta}$$

Keskiarvokohteen maalämpöjärjestelmän korollinen takaisinmaksuaika suhteessa kaukolämpöjärjestelmään on

$$n = \ln \frac{(27636 \text{ €/a} - 10126 \text{ €/a})}{(27636 \text{ €/a} - 10126 \text{ €/a}) - [(211860 \text{ €} - 52965 \text{ €}) * 0,05]} / \ln(1+0,05)$$

$$n = 11,3 \text{ vuotta}$$

Öljylämmitysjärjestelmän korjaamiseen verrattuna maalämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin kymmenessä vuodessa.

Kaukolämmitysjärjestelmän hankintaan verrattuna maalämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 11 vuodessa.

Koska järjestelmän elinkaaren pituutena voidaan pitää noin 25 vuotta, voidaan maalämpöjärjestelmän hankkimista pitää ehdottomasti kannattavana ratkaisuna.

5.6.2 Nykyarvo ja nettonykyarvo

Nykyarvomenetelmässä tuotot ja kulut diskontataan nykyhetkeen ennalta määritellyllä korkokannalla laskettuna. Nykyarvomenetelmä kertoo, onko investointi kannattava. Investointi on kannattava, jos tulevat nettotuotot ovat suuremmat kuin alkuinvestointi. (25) Nykyarvomenetelmä ottaa huomioon rahan aika-arvon, ja koska investoinnista saatavat tuotot tapahtuvat vasta tulevaisuudessa, määritetään nykyarvolaskennassa tuotoille arvo nykyhetken näkökulmasta. (39, s.5)

Tulevien tuottojen nykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla

$$PV = \frac{S_1}{(1+r)^1} + \frac{S_2}{(1+r)^2} + \frac{S_3}{(1+r)^3} + \frac{S_4}{(1+r)^4} + \dots + \frac{S_n}{(1+r)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

jossa PV = nykyarvo
 S_t = periodin t lopussa saatava nettokassavirta
 S_n = ajanjaksolla saatava aikavirta (25 vuoden laskua = $S_1 - S_{25}$)
 r = diskonttauskorko

Nykyarvo ei kuvasta varsinaisen investoinnin kannattavuutta, koska siinä ei oteta mukaan investointikustannuksia. Tämän takia lasketaan myös Nettonykyarvo, jossa kassavirtojen nykyarvosta vähennetään investointikustannukset. Jos nettonykyarvo on positiivinen, voidaan investointia pitää kannattavana. (39, s.5)

Nettonykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{JA_n}{(1+r)^n} = I_0 \quad (3)$$

jossa NPV = nettonykyarvo
 S_t = investoinnin tuottama kassavirta vuonna t
 r = käytettävä diskonttauskorkokanta
 JA = investoinnin jäännösarvo pitoajan n lopussa (laskettu nolaksi = ei jäännösarvoa)
 I_0 = investointikustannus

Nettonykyarvo vertailtaessa maalämmön investoinnin kannattavuutta öljylämmitykseen
= 79927 €

Nettonykyarvo vertailtaessa maalämmön investoinnin kannattavuutta kaukolämpöön =
34925 €

Nettonykyarvon tarkka laskenta on liitteinä 1 ja 2.

Laskentojen perusteella voidaan maalämpöjärjestelmän hankintaa pitää erittäin kannattavana ratkaisuna. Laskennassa ei vähennetty öljylämmitysjärjestelmän tai kaukolämpöjärjestelmän hankintakustannusta maalämpöjärjestelmän hankinnasta. Jäännösarvo on laskennoissa päätetty nolaksi, vaikka todellisuudessa porakaivoilla on suuri jäännösarvo.

Vaikka nykyarvolaskenta onkin tehty melko epäedullisesti maalämpöä kohtaan, on molemmissa tapauksissa silti maalämpö hyvin kannattava investointi.

6 Yhteenveto

Tässä työssä on käytetty esimerkkikohteina insinööritoimisto Vesi & Watin suunnittelema käytössä olevia kiinteistöjä. Työn tavoitteena oli selvittää, onko kannattavaa saneerata alle 10 000 m³:n kokoisen kerros- tai rivitalon nykyinen lämmitysjärjestelmä käyttämään maalämpöä.

Työssä tehtiin yhteistyötä kiinteistöjen isännöitsijien ja talonmiesten kanssa, jotka toimittivat kohteiden lämmitysenergioiden kulutuslukemia. Insinöörityössä vertailtiin maalämpöjärjestelmän toteutuneita energiankulutuksia vastaaviin kulutuksiin öljy- ja kaukolämpöjärjestelmissä. Kohteiden kannattavuuksia vertailtiin laskemalla koroton takaisinmaksuaika eri järjestelmille. Työn kohteista tehtiin myös yksi esimerkkikohte, joka perustuu rakennusten kokojen keskiarvoihin. Tästä esimerkkikohteesta tehtiin investointilaskennat nykyarvomenetelmällä ja korollisella takaisinmaksuajalla.

Laskelmista huomataan, että maalämpö on lähes poikkeuksetta kannattava ratkaisu pidemmällä aikavälillä. Keskimäärin 10 vuoden päästä hankinnasta maalämpöjärjestelmä on maksanut itsensä takaisin vuotuisten energiankulutusten pienenemisten ansiosta.

Investointilaskelmissa maalämmön on laskettu olevan erittäin kannattava investointi. Maalämpö on pidemmän päälle edullinen, ympäristöystävällinen sekä monipuolinen lämmitysjärjestelmä.

7 Lähteet

- 1 Laitinen, Jussi. 2010. Pieni suuri energiakirja, Into kustannus.
- 2 Lämpöä omasta maasta. 2012. Verkkodokumentti. Motiva ja Suomen Lämpöpumppuyhdistys.<http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf>. Luettu 1.3.2013.
- 3 Lassila, Vesa. 2013. Toimitusjohtaja, Insinööritoimisto Vesi & Watti Oy, Mäntsälä.
- 4 Juvonen, Janne. 2009. Verkkodokumentti. Lämpökaivo: Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Suomen ympäristökeskus <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108367>>. Luettu 6.3.2013
- 5 GeoDrill. Verkkodokumentti. <<http://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo>>. Luettu 15.3.2013
- 6 Lämpökaivo, porakaivo. 2013. Verkkodokumentti. Senera. <http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo__porakaivo/>. Luettu 16.3.2013
- 7 Selvennyksiä maalämmön luvanvaraisuuteen 1.5.2011 lähtien. 2011. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry.<<http://www.poratek.fi/binary/file/-/id/2/fid/82/>>. Luettu 16.3.2013
- 8 Vesistö lämmönlähteenä. 2011. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. <<http://www.sulpu.fi/vesistot-lammonlahteenä>>. Luettu 20.4.2013
- 9 Energiaa jokapäiväisiin tarpeisiin. 2011. Järjestelmäesite. StiebelEltron.
- 10 Maankäyttö ja rakennuslaki 1999/132. 2013. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>>. Luettu 21.4.2013
- 11 Maankäyttö ja rakennuslaki 283/2011. 2011. Finlex.<<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110283>> . Luettu 21.4.2013
- 12 Asetus maankäyttö- ja rakennusasetuksen muuttamisesta. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=125750&lan=fi>>. Luettu 25.4.2013

- 13 Pohjavesien suojelu maalämmön rakentamisessa. Verkkodokumentti. Hämeen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=27141&lan=fi>>. Luettu 2.5.2013
- 14 Ympäristönsuojelulaki. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>>. Luettu 2.5.2013
- 15 Kemikaalilaki. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1989/19890744?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=Kemikaalilaki>>. Luettu 2.5.2013
- 16 Korhonen, Tuomo. 2011. Verkkodokumentti. Maalämmön ja pohjaveden yhteensovittaminen. <[http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C32702A41105B45FC2257968004327E2/\\$file/Korhonen_Maal%C3%A4mp%C3%B6.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C32702A41105B45FC2257968004327E2/$file/Korhonen_Maal%C3%A4mp%C3%B6.pdf)>. Luettu 2.5.2013
- 17 Pohjavesien suojelu lämpökaivojen rakentamisessa. 2012. Verkkodokumentti. Hämeen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=134332>> Luettu 2.5.2013
- 18 Virta, Jani ja Pyly, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Kiinteistöalan kustannus Oy, 2011.
- 19 Harju, Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto Opus Oy, 2006.
- 20 Insinööritoimisto Vesi & Watti Oy.
- 21 Kaukolämmön hinnat 1.1.2013 alkaen eri lämmönmyyjillä. 2013. Energia.fi. <http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010113.pdf>. Luettu 14.5.2013
- 22 Lämmitysöljyn hintalaskuri. 2013. Neste Oil. <www.neste.fi/Lämmitysöljy>. Luettu 14.5.2013
- 23 Lämmitysöljyn hintalaskuri. 2013. ST1. <www.st1.fi/lammitysoljy>. Luettu 14.5.2013.
- 24 Suomen Energiavisio 2030. 2011. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT. <http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf>. Luettu 16.5.2013

- 25 YT22 Investoinnin laskenta. 2011. Verkkodokumentti. Yritystulkki.fi.
<http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf> Luettu 16.5.2013
- 26 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta .
2007. Verkkodokumentti. Rakentamisääräyskokoelma.
<<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>> Luettu 20.5.2013.
- 27 Mitatut lämmitystarveluvut. 2013. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>>. Luettu 20.5.2013.
- 28 Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. 2010. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf>. Luettu 1.7.2013
- 29 Maalämpöpumppu WPF 20–66 Käyttö ja asennusohjeet. Stiebel Eltron.
- 30 Geoterminen Energia. 2013. Verkkodokumentti. Energia.fi.
<<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/geoterminen-energia>>. Luettu 20.7.2013
- 31 Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. 2006. Kirjallinen opas. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry.
- 32 Maalämmöllä säästää tuhansia euroja – myös rivi- ja kerrostaloissa. 2012. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry.
<http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/maalammolla-saastaa-tuhansia-euroja-myois-rivi-ja-kerrostalossa>. Luettu 2.8.2013
- 33 Lämpökaivo, porakaivo. 2013. Verkkodokumentti. Senera.<<http://www.senera.fi/Maalampo#8>>. Luettu 2.8.2013
- 34 Kalvokuvia sähkön hinnasta. 2013. Verkkodokumentti. Energiamarkkinavirasto.
<<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3390&pgid=67&languageid=246>>. Luettu 5.8.2013.
- 35 Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä, Maalämpöpumpun hankintaopas. 2011. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/koti-ja-lammitys/maalampopumppu_hankintaopas_2011.pdf>. Luettu 5.8.2013

- 36 Sähköliittymän koon muuttamisen hinnasto. 2013. Verkkodokumentti. Mäntsälän sähkö.
<http://www.msoy.fi/yksityisasiakkaat/sahko/hinnastot/fi_FI/liittymahinnasto/>. Luettu 5.8.2013.
- 37 Lämmitysenergiankulutuksen laskukaavat. 2012. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus>. Luettu 10.8.2013
- 38 Sähkön hinnat. 2013. Verkkodokumentti. Mäntsälän Sähkö Oy.
<http://www.msoy.fi/yksityisasiakkaat/sahko/hinnastot/fi_FI/hinnastot/>. Luettu 10.8.2013
- 39 Rahoitusteoreettinen näkökulma Tekesin vaikuttavuuteen. 2003. Verkkodokumentti.
- 40 Helsinki haluaa rajoittaa maalämpökaivojen poraamista. 2010. Verkkodokumentti. Metro lehti
<http://metro.fi/paakaupunkiseutu/uutiset/helsinki_haluaa_rajoittaa_maalampokaivojen_poraamista/>

Liite 1:

Maalämpö suhteessa öljylämmitykseen			Korko 5 %
Vuosi	Vuosittaiset säästöt	Nykyarvo	Investointi
0	0 €	0 €	211860 €
1	20703 €	19717,1 €	
2	20703 €	18778,2 €	
3	20703 €	17884,0 €	
4	20703 €	17032,4 €	
5	20703 €	16221,3 €	
6	20703 €	15448,9 €	
7	20703 €	14713,2 €	
8	20703 €	14012,6 €	
9	20703 €	13345,3 €	
10	20703 €	12709,8 €	
11	20703 €	12104,6 €	
12	20703 €	11528,2 €	
13	20703 €	10979,2 €	
14	20703 €	10456,4 €	
15	20703 €	9958,5 €	
16	20703 €	9484,3 €	
17	20703 €	9032,7 €	
18	20703 €	8602,5 €	
19	20703 €	8192,9 €	
20	20703 €	7802,7 €	
21	20703 €	7431,2 €	
22	20703 €	7077,3 €	
23	20703 €	6740,3 €	
24	20703 €	6419,3 €	
25	20703 €	6113,7 €	
Yhteensä		291786,9 €	
Vähennetään investointikustannus			
Erotus		79926,9 €	

(Voitaisiin laskea myös vähentämällä tästä öljylämmitysjärjestelmän kustannus)

Liite 2:

Maalämpö suhteessa kaukolämpöön			Korko 5 %
Vuosi	Vuosittaiset säästöt	Nykyarvo	Investointi
0	0 €	0 €	211860 €
1	17510 €	16676,2 €	
2	17510 €	15882,1 €	
3	17510 €	15125,8 €	
4	17510 €	14405,5 €	
5	17510 €	13719,5 €	
6	17510 €	13066,2 €	
7	17510 €	12444,0 €	
8	17510 €	11851,5 €	
9	17510 €	11287,1 €	
10	17510 €	10749,6 €	
11	17510 €	10237,7 €	
12	17510 €	9750,2 €	
13	17510 €	9285,9 €	
14	17510 €	8843,7 €	
15	17510 €	8422,6 €	
16	17510 €	8021,5 €	
17	17510 €	7639,6 €	
18	17510 €	7275,8 €	
19	17510 €	6929,3 €	
20	17510 €	6599,3 €	
21	17510 €	6285,1 €	
22	17510 €	5985,8 €	
23	17510 €	5700,8 €	
24	17510 €	5429,3 €	
25	17510 €	5170,8 €	
Yhteensä		246785 €	
Vähennetään investointikustannus			
Erotus		34925,0 €	

(Voitaisiin laskea myös vähentämällä tästä kaukolämpöjärjestelmän kustannus)