

Taneli Pirttilampi

# Maa- ja kaukolämpöjärjestelmän vertailu rivitaloyhtiössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

2.5.2017

Tekijä Otsikko	Taneli Pirtilampi Maa- ja kaukolämpöjärjestelmän vertailu rivitaloyhtiössä
Sivumäärä Aika	38 sivua 2.5.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	lehtori Antti Lankinen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää maalämpöjärjestelmän soveltuvuutta lämmitysenergian tuottajana Uudellamaalla sijaitsevassa 24 asunnon rivitaloyhtiössä, jossa lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö. Lisäksi laskettiin maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaikoja sekä vertailtiin lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuksia keskenään.</p> <p>Työssä käydään läpi lämmitysjärjestelmien toimintatavat, laitteet ja niiden käyttöiät. Maalämmön soveltuvuutta tarkasteltiin selvittämällä tilatarpeet ja lämmitysverkoston tehot sekä putkikoon riittävydet uudelle lämmitysjärjestelmälle. Maalämpöyrityksiltä saatujen tarjouksien perusteella laskettiin takaisinmaksuajat sekä verrattiin elinkaarikustannuksia 25 ja 50 vuoden tarkasteluaajoilla.</p> <p>Tutkimuksista voidaan todeta, että maalämpö soveltuu kohteen uudeksi lämmitysmuodoksi. Elinkaaritarkastelut osoittivat maalämpöjärjestelmän halvemmaksi vaihtoehdoksi, kun sähkö- ja kaukolämpöenergiat hinnat ovat nykyisellä tasolla.</p>	
Avainsanat	kaukolämpö, maalämpö

Author Title Number of Pages Date	Taneli Pirttilampi Comparison of district heating and geothermal heating systems in terraced house 38 pages 2 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Antti Lankinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this bachelor`s thesis was to establish whether geothermal energy is suitable for a 24-apartment complex terraced house with district heating, and calculate the repayment times and life cycle costs of various heating systems.</p> <p>The final year project examined how the two heating systems work, what devices are involved and how long the service life of each device is. The suitability of geothermal energy was examined by identifying the needs of the premises, the effects of the heating networks and the heating pipe sizes. The payback time for the geothermal system was calculated on the basis of the offers received from several geothermal companies. Finally, the life cycle costs with 25 and 50 year review periods were compared.</p> <p>It was established that a geothermal heating system is a suitable option in this housing company. The life cycle results showed further that the geothermal option is cheaper if the price of district heating and electricity remain at the current level.</p>	
Keywords	district heating, geothermal heating

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämmöntuottotavat	2
2.1	Kaukolämpö	2
2.1.1	Kaukolämmön tuotto	2
2.1.2	Kaukolämpölaitteet	3
2.2	Maalämpö	5
2.2.1	Lämpökaivo	5
2.2.2	Lämmönkeruupiiri pintamaassa	7
2.2.3	Lämmönkeruupiiri vesistössä	8
2.2.4	Maalämpöpumppu	9
2.2.5	Lämpökerroin	11
2.2.6	Maalämpöpumpun täys- ja osatehomitoitus	12
2.3	Laitteiden käyttöikä ja huolto	14
3	Lähtötiedot	15
3.1	Taloyhtiö	15
3.2	Lämmönjakohuone	17
3.3	Tarjous	19
4	Laskentamenetelmät	20
4.1	Elinkaarikustannuslaskenta	20
4.1.1	Nimelliskorko	20
4.1.2	Inflaatio	21
4.1.3	Reaalikorko	21
4.1.4	Takaisinmaksuaika	21
4.1.5	Vuosikustannukset	22
4.1.6	Nykyarvo	22
4.2	Hinnan nousut	23
4.3	Kaukolämpö	24
4.4	Takaisinmaksuajat	24
4.5	Elinkaarikustannukset	25
4.6	Maalämpö	25

5	Tulokset	28
5.1	Takaisinmaksuajat	28
5.2	Elinkaarikustannukset nykyhintatasolla	28
5.3	Herkkyystarkastelut kaukolämpöhinnan nousulla	30
5.4	Herkkyystarkastelut sähkön hinnan nousulla	31
5.5	Maalämmön pääsulake	33
5.6	Lämpöjohdot ja lämpötilat	33
6	Päätelmät	35
	Lähteet	37

## 1 Johdanto

Suomessa suosituin lämmitysmuoto on ylivoimaisesti kaukolämmitys, joka on kasvanut tasaisesti 1990-luvun lopusta asti. Maalämmön suosio on taas lisääntynyt rajusti vuoden 2009 jälkeen, ja se onkin noussut toiseksi suosituimmaksi lämmitysmuodoksi uudisrakennuksissa kilpailemaan sähkölämmityksen, puulämmityksen ja fossiilisia polttoaineita käyttävien lämmitysmuotojen kanssa.

Uudellamaalla sijaitseva keskisuuri rivitaloyhtiö on harkinnut mahdollista lämmitysmuodon muuttamista kaukolämmöstä maalämpöön. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää maalämmön soveltuvuutta uutena lämmitysmuotona nykyisessä lämmitysjärjestelmässä. Soveltuvuuden lisäksi tarkastellaan takaisinmaksuaikoja ja elinkaarikustannuksia.

Tämä työ on jaettu viiteen osioon, joista ensimmäisessä osiossa perehdytään kauko- ja maalämpöjärjestelmien toimintaan ja laitteisiin sekä tarkastellaan järjestelmien käyttöiä ja huoltovälejä. Toiseen osioon on kerätty rivitaloyhtiön lähtötiedot sekä selvitetään lämmönjakohuoneen soveltuvuutta maalämpölaitteistolle. Kolmannessa osiossa esitetään laskentamenetelmiä, joita työssä on käytetty. Laskelmia on tehty takaisinmaksuajoista, elinkaarikustannuksista, energiahintojen nousuista sekä selvitetty putkikoon ja lämpötehön riittävyys maalämpöjärjestelmälle. Tulokset, herkkyystarkastelut ja analysointi esitetään osiossa neljä. Viimeisessä osiossa käydään läpi päätelmät.

## 2 Lämmöntuottotavat

### 2.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Lähes puolet Suomen lämmitysenergiasta tuotetaan kaukolämmöllä. Kaukolämpöverkoston laajasti läpi Suomen, ja se on käytössä 166 kunnassa ja kaupungissa, eli hieman yli puolessa kaikista Suomen 311 kunnasta. (1)

Kaukolämpöä tuotetaan yleensä yhdessä sähköntuotannon kanssa yhteistuotantolaitoksissa, joista lämpöä saadaan sähkön sivutuotteena. Lämpöä voidaan tuottaa myös teollisuusprosessien hukkalämmöstä, jätevesien lämmöstä tai erillisistä lämpökeskuksista. Yleisimmät käytettävät fossiiliset polttoaineet ovat kivihiili, maakaasu ja öljy. Biopolttoaineina käytetään puita, peltokasveja ja biokaasuja, joiden osuutta pyritään lisäämään, jotta energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä saataisiin vähennettyä. (2, s. 6.)

Fortumin CHP-laitos (Combined Heat and Power) on lyhenne sähkön ja lämmön yhteistuotannosta, mikä sijaitsee Espoon Suomenojaalla. Voimalaitoksen kaukolämpöverkon pituus on yli 800 km, ja sen tuotantoalueeseen kuuluvat Espoo, Kauniainen ja Kirkkonummi. Laitoksen kaukolämpöteho on 600 MW ja sähköteho 350 MW. Polttoaineina toimivat kivihiili ja maakaasu. Laitoskokonaisuus koostuu kuudesta eri yksiköstä, joista viimeisimpänä on käyttöön otettu lämpöpumppu, joka ottaa energiaa talteen puhdistetusta jätevedestä. Tällä hetkellä on rakenteilla lämpöakku, johon voidaan varastoida lämpöenergiaan noin 800 MWh:n edestä. (3)

#### 2.1.1 Kaukolämmön tuotto

Voimalaitoksessa maakaasulla toimiva turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Palamisprosessissa syntyvistä palamiskaasuista kerätään lämpö talteen lämpöakun veteen, jossa se on kaukolämmön käytettävissä. (4, s. 102.)

Lämpö siirtyy asiakkaalle kuuman veden avulla menojohtoa pitkin lämmönjakohuoneeseen, josta kaukolämpölaitteet siirtävät lämmön rakennuksen omiin lämmitysjärjestelmiin. Jäähtynyt vesi palaa takaisin paluujohtoa pitkin voimalaitokselle, jossa vesi lämmitetään uudelleen uutta kiertoa varten. (4, s. 102.)

Lämmönsiirtämiseen käytetään teräsputkia, mitkä kulkevat maassa yleensä 0,5–1 m:n syvyydessä. Putket on eristetty polyuretaanilla, mitä suojaa kestävä muovipinta. Menoveden lämpötila vaihtelee vallitsevan sään mukaan 65–115 asteen välillä. Paluueden lämpötila vaihtelee 25–50 asteen välillä. (4, s. 102–103.)

### 2.1.2 Kaukolämpölaitteet

Lämmönjakohuoneessa on lämmönjakokeskus, jossa kiertää kaukolämpötoimittajan vesi (ensiöpuoli). Lämpö siirtyy kiinteistön omiin järjestelmiin (toisiopuoli). Ensiö- ja toisiopuolen vedet eivät sekoitu missään vaiheessa keskenään, vain lämpö siirtyy. Lämmitystä ja käyttövettä varten on molemmille omat lämmönsiirtimet. Lämmönjakokeskuksen muita laitteita ovat pumpput, sulkuventtiilit, lämpö- ja painemittarit, säätö-, paisunta- ja varolaitteet. (2, s. 5; 4, s. 111.)

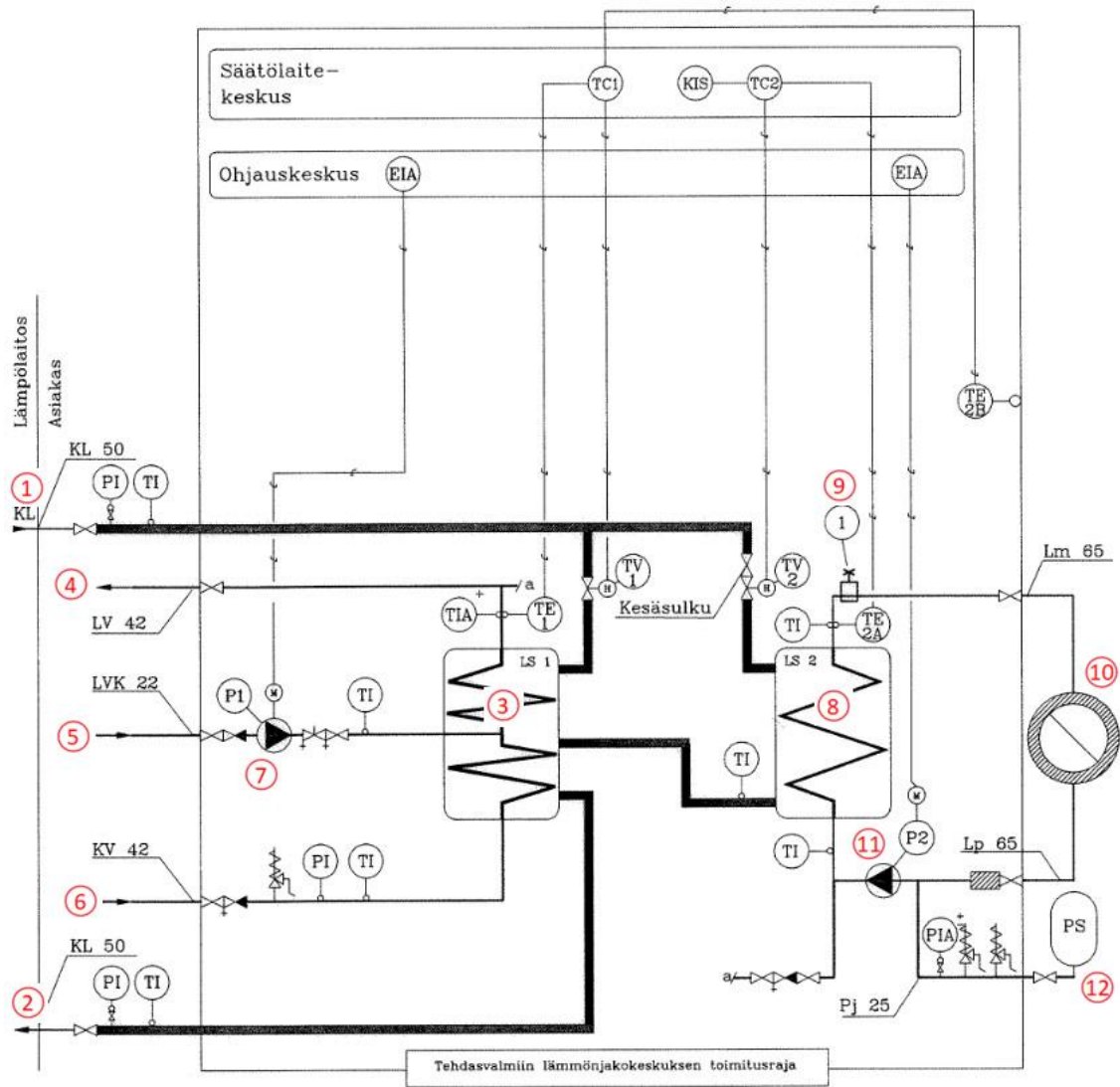
Kohteen kaukolämmön kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 1. Alla olevat numeroidut selitykset viittaavat kuvan numeroihin:

1. Kaukolämmön menovesi tulee voimalaitokselta 65–115 asteen lämpöisenä ulkolämpötilasta riippuen.
2. Kaukolämmön paluuvesi palautuu jäähtyneenä 25–50 asteen lämpötilassa takaisin voimalaitokselle uudelleen lämmitystä varten.
3. Käyttöveden lämmönsiirrin, jossa kaukolämmön vesi luovuttaa lämpöä valmistuen kohteelle lämmintä käyttövettä.
4. Lämmin käyttövesi on noin 58 °C:n lämpöistä talousvettä.
5. Lämminvesikierto ylläpitää lämpimän veden saannin ilman liian pitkiä odotusaikoja.
6. Kylmävesi on noin 10-asteista talousvettä.
7. Käyttöveden kiertovesipumppu kierrättää lämmintä käyttövettä verkostossa, jotta lämminvesi on saatavilla ilman pitkää veden juoksuttamista.
8. Lämmityksen lämmönsiirrin tuottaa lämmintä vettä patteriverkostoon kaukolämmön veden avulla.
9. Ilmanerotin poistaa liuenneen ilman lämmityksen kiertopiiristä.
10. Patteriverkosto on suljettu lämmitysjärjestelmä johon kuuluvat patterit, venttiilit ja lämpöjohdot.
11. Lämmityksen kiertovesipumppu kierrättää lämmintä vettä pattereissa.



12. Paisuntasäiliö vastaanottaa veden lämpötilavaihtelusta johtuvan laajen-  
nuksen suljetussa piirissä.

Lisäksi kaaviossa näkyy painemittari (PI), jolla mitataan putkessa olevan veden paine,  
sekä lämpömittari (TI), jolla mitataan putkessa olevan veden lämpötila. Tuntoelin (TE)  
antaa säätökeskukselle mittausarvoja, joilla säätökeskus ohjaa säätöventtiiliä (TV).



Kuva 1. Taloyhtiön kaukolämmön kytkentäkaavio.

## 2.2 Maalämpö

Maalämpö on aurinkoenergiaa, joka on varastoitunut lämpönä auringonpaisteen, lämpimän ilman sekä vesisateiden kautta maaperään, kallioon ja veteen (5, s. 3). Varastoituneen lämmöntalteenottoon tarvitaan sähköllä toimivaa maalämpöpumppua, joka siirtää keruuputkiston avulla lämpöä talon lämmitysjärjestelmään ja lämpimään käyttöveteen (6, s. 2). Maalämpö on tasaisen varma lämmönlähde vuodenajasta riippumatta, koska talvella lumipeite eristää maata ja estää maan jäähtymisen. Lämpötila routarajan alapuolella on + 3...+ 10 °C. (4, s. 165.)

Maalämmitysjärjestelmän keruuputkilla voidaan kerätä lämpöä

- kallioperästä, johon porataan syvä pystysuora porakaivo. Porakaivo soveltuu hyvin pienille tontille.
- maaperästä, johon keruuputkisto asennetaan vaakatasossa pintamaahan noin metrin syvyyteen. Vaakaputkisto vaatii ison tontin.
- vesistöistä, jossa keruuputkisto ankkuroidaan pohjaan painoilla. (6, s. 4–5.)

Maalämpöputkiston asentamiseen tarvitaan kunnan toimenpidelupa. Luvan myöntämiseen vaikuttavat mahdolliset pohjavesialueet, maanalaiset rakenteet, rakennusten suojaetäisyydet, tonttirajat ja kaivot. Vesistöasennuksiin tarvitaan myös vesialueen omistajan lupa. (7)

### 2.2.1 Lämpökaivo

Lämpökaivo on porakaivo, josta kerätään lämpöä talteen kaivoon asennetulla keruuputkistolla (5, s. 2). Yli 60 % maalämpöasennuksista on lämpökaivoja (7). Kallioon porataan halkaisijaltaan vähintään 130 mm:n reikä, jonne putket upotetaan 2- tai 3-putkijärjestelminä. 2-putkijärjestelmässä putket liitetään toisiinsa messinkisellä tai muovisella U-kappaleella, mikä muodostaa lenkin putken alapäähän. Putkien keveyden vuoksi niihin kiinnitetään painot, jotka auttavat asennuksessa sekä estävät putkia nousemasta ylös. Paino määritetään kaivon syvyyden mukaan. 3-putkijärjestelmässä liuos kiertää kahta putkea pitkin alaspäin ja yhtä putkea pitkin ylöspäin. (5, s. 3.)

Pintamaakerrokseen laitetaan suojaputki, mikä ulottuu kallioon 1–6 m:n syvyyteen, jotta irtomaa ja pintavesi eivät pääsisi sekoittumaan pohjaveteen (7, s. 4). Yleisesti maaporaus on noin kolme kertaa kallioporausta kalliimpaa, aikaa vievän työn sekä suojanputken asentamisen takia (8).

Porakaivon maksimisyvyys on 200–250 m, josta tehollista syvyyttä on se osa, joka on veden täyttämä ympärivuotinen syvyys. Syvyyden määrittävät rakennuksen lämmitysenergian tarve. Jos kaivo ei riitä tuottamaan tarpeellista lämmitysenergian määrää, porataan useampi kaivo 15–20 metrin välein. (7, s. 4.) Kaivon lämmöntuotto on n. 100 kWh/kaivometri.

Taulukossa 1 on esitetty energiakaivon porareian suositeltavat minimietäisyydet eri kohteisiin. Sopivat etäisyydet voivat vaihdella porareian kaltevuuskulmasta, pohjaveden virtausolosuhteista ja maaperästä riippuen.

Taulukko 1. Energiakaivon porareian minimietäisyys suositukset (9, s. 25)

Kohde	Suositteltu minimietäisyys (m)
Energiakaivo	15 *
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 **
Kallioporakaivo	40
Rengaskaivo	20
Rakennus	3
Kiinteistön raja	7,5 *
Kiinteistökohtaisen Jäteveden puhdistamon purkupaikka	30 Jätevedet 20 Harmaat vedet
Viemärit ja vesijohdot	3 Omat putket 5 Muiden putket
Tunnelit ja luolat	25 tapauskohtaisesti

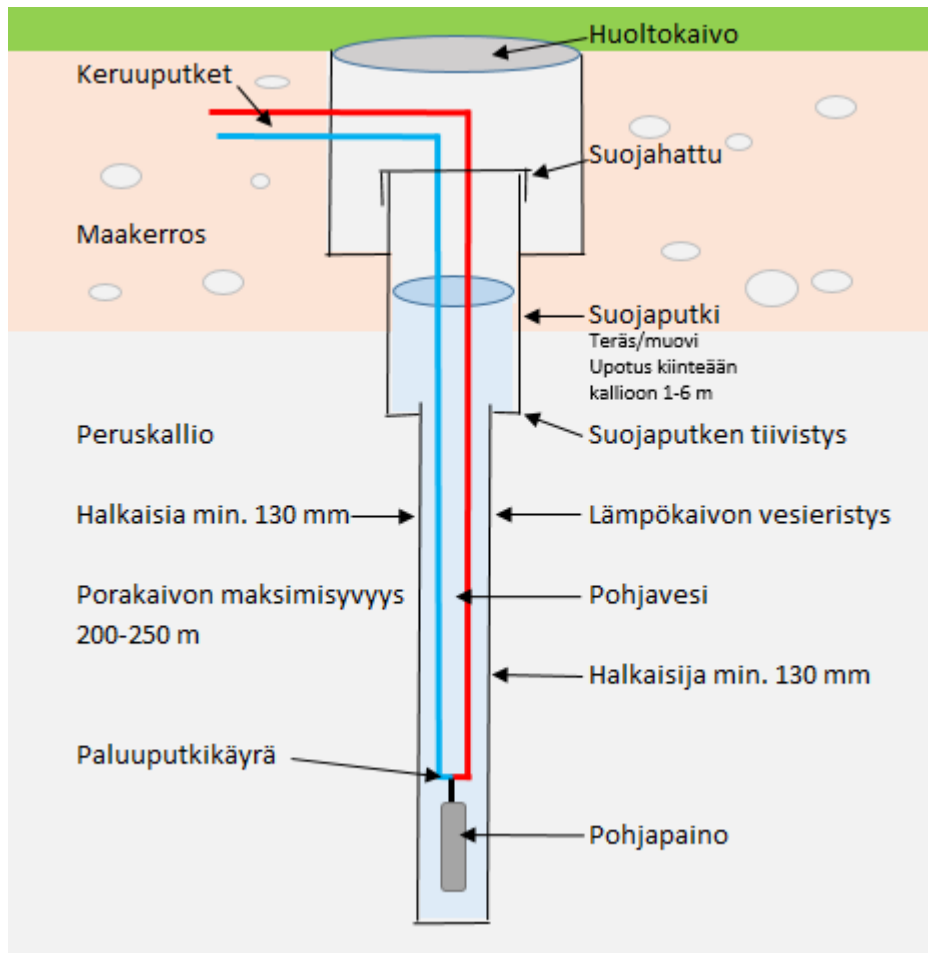
\* porareian ollessa pystysuora

\*\* etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Lämpö siirtyy kalliosta lämmönkeruuputkiston kylmäaineeseen veden toimiessa lämmönsiirtäjänä. Kaivo täytetään vedellä, mikäli se ei sitä itse tuota. Etelä-Suomessa porakaivon lämpötila on noin 5–9 °C, ja lämpötila vaihtelee vuoden aikana vain 2–3 astetta. Kesällä porakaivoa voidaan käyttää asuntojen viilennykseen. (6, s. 4; 7, s. 7.)

Lämpökaivosta ei jää rakenteita näkyviin maan pinnalle. Lämpökaivo ja keruuputkistot ovat huoltovapaita, joten lämpökaivon yläosassa oleva huoltokaivon kansi voidaan peittää maa-aineella. (8)

Kuvassa 2 on havainne piirros lämpökaivosta, jossa sininen putki edustaa lämpökaivon keruupiirin menoputkea ja punainen paluuputkea.



Kuva 2. Lämpökaivo (6, s. 4).

### 2.2.2 Lämmönkeruupiiri pintamaassa

Noin 30 % maalämpökohteista toteutetaan pintamaa-asennuksena. Keruuputkisto asennetaan vaakatasossa pintamaahan noin metrin syvyyteen routarajan alapuolelle ilmastovyöhykkeestä riippuen. Viereisen putken välinen minimietäisyys on 150 cm. (7) Asennuksissa täytyy huomioida, että putkia ei asenneta kulkuteiden alle, koska putkisto täytyy

suojata roudalta, jolloin lämpöä ei saada otettua talteen. Vaakaputkisto ei sovellu kiviiseen maahan, koska routa liikuttaa kiviä, mikä saattaa vaurioittaa keruuputkistoa. Parhaiten pintamaa-asennus sopii savimaahan sen hyvän lämmönluovuttamiskyvyn ansiosta. (6, s.4.)

Putkista saadaan energiaa Etelä-Suomessa 30–60 kWh/putkimetri. Karkeasti 1–2 putkimetriä keruupiirtä pintamaassa tarvitaan lämmitettävää rakennuskuutiota kohden, mikä vie tontista noin 1,5 m<sup>2</sup>:n alueen. (6, s. 4.) Taulukossa 2 on esitelty maasta saatavien lämpöenergioiden määriä eri maaperän ja sijainnin mukaan. Taulukosta nähdään, että savimaasta saadaan paremmin lämpöenergiaa kuin hiekkamaasta.

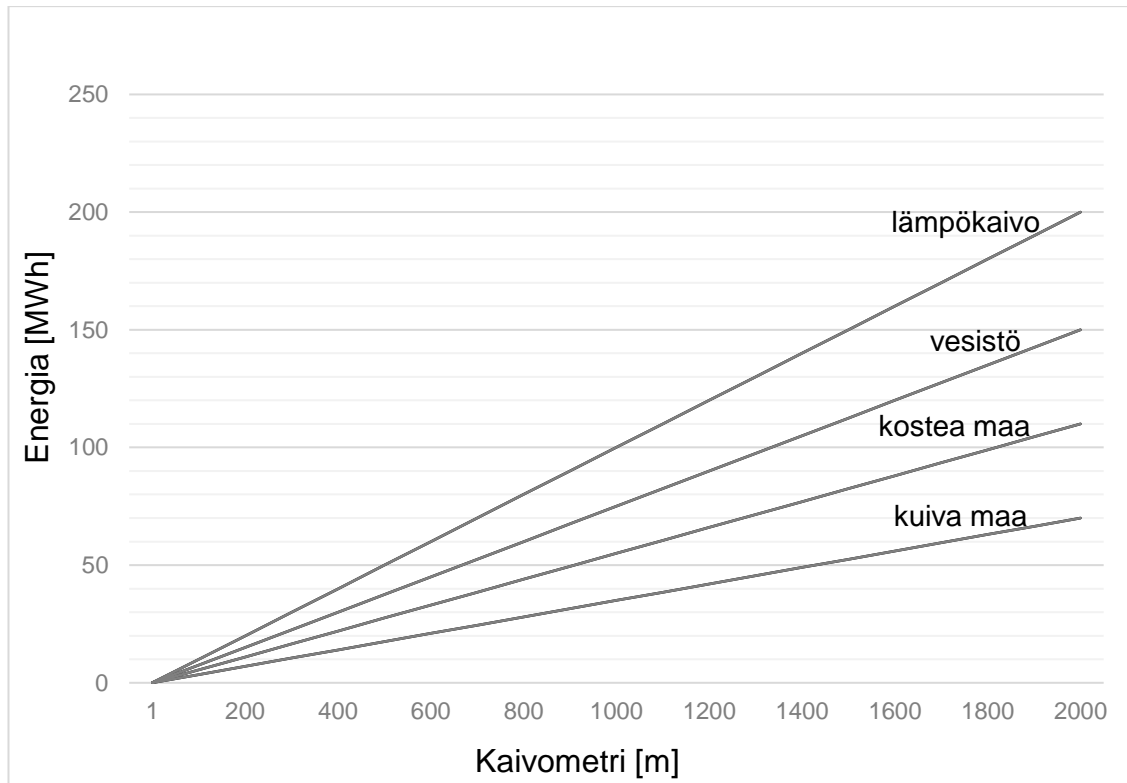
Taulukko 2. Maasta vuotuisesti saatavan lämpöenergian ohjeellisia arvoja (5, s. 4).

Sijainti	Savi	Hiekka	Lämpöenergia
Etelä-Suomi	50–60	30–40	kWh/putkimetri
Keski-Suomi	40–45	15–20	kWh/putkimetri
Pohjois-Suomi	30–35	0–10	kWh/putkimetri

### 2.2.3 Lämmönkeruupiiri vesistöissä

Noin 5 % keruuputkistoista asennetaan järviin, meriin tai jokiin (7). Rantojen täytyy olla vähintään kaksi metriä syviä, jotta keruuputkistot voidaan viedä routarajan alapuolelta veteen. Putket asennetaan vaakasuoraan vesistön pohjaan ja ankkuroidaan 1–2 metrin välein. Asennuksessa on huomioitava, etteivät jäät pääse vaurioittamaan putkia. Vesistöön asennettavista keruuputkista piirretään kartta sekä laitetaan ankkuroinnista kieltävät varoituskyllit rannalle. Vesistöistä saatava lämpöenergia määrä vuodessa on noin 70–80 kWh/putkimetri. (5, s. 4.)

Kuvassa 3 on esitetty eri keruujärjestelmillä saatavat vuotuiset energiamäärät. Referenssikohteen energiantarpeilla tarvittaisiin keruuputkistoa kuivassa maassa 9 350 m, savimaassa 5 950 m, vesistöissä 4 360 m ja lämpökaivossa 3 270 m.



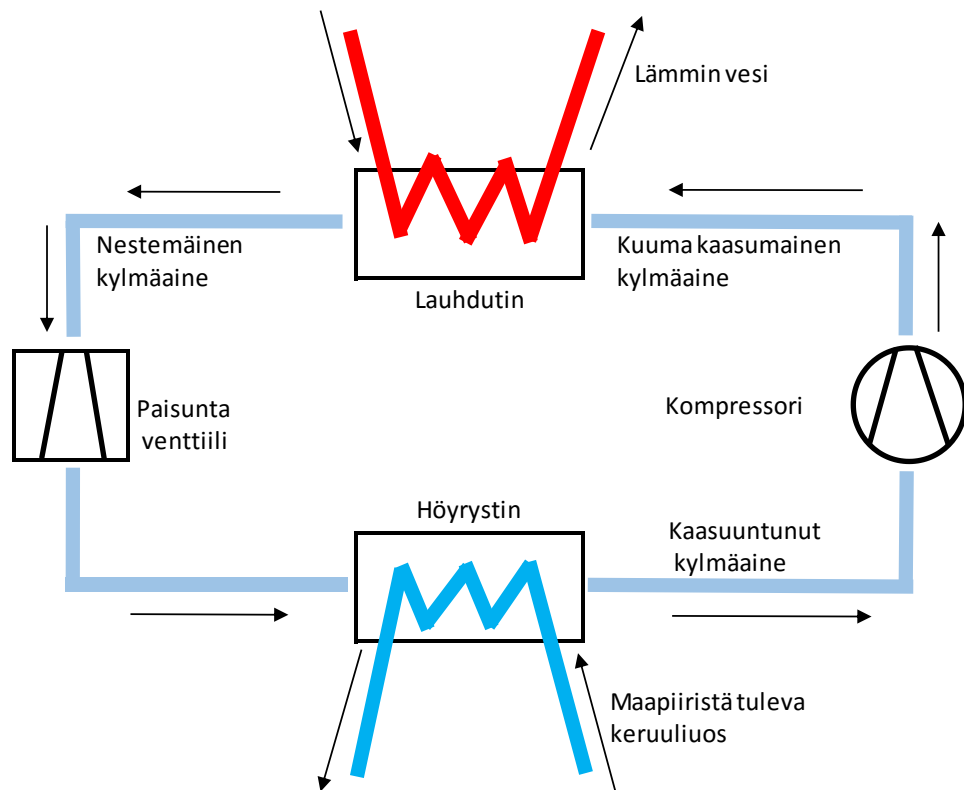
Kuva 3. Keruupiirin energiamäärä pituuden suhteen eri lämmönkeruujärjestelmillä (5, s. 4).

#### 2.2.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun toiminta perustuu suljettuun kylmäainekiertoon, jossa nostetaan maaperästä saatava 1–4 asteen lämpö kompressorin avulla korkeampaan 30–65 asteen lämpötilaan, millä lämmitetään rakennusta sekä lämmintä käyttövettä (8). Lämmön tuotto perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Höyrystyessään neste sitoo lämpöä itseensä ympäristöstään ja lauhtuessaan luovuttaa lämpöä ympäristöön. (4, s. 158)

Kuvassa 4 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate jossa pääkomponentteina ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Höyrystimessä maalämpöjärjestelmän lämmönkeruuneste lämmittää matalammassa paineessa olevaa kylmäainetta, jonka seurauksena kylmäaine höyrystyy. Höyrystyessään kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä. Kompressori imee kaasumaista kylmäainetta ja puristaa sen pienempään tilaan, jolloin paine kasvaa ja samalla lämpötila nousee. Paineistettu kylmäainehöyry johdetaan lauhduttimeen, joka siirtää kylmäaineen lämmön rakennuksen lämmitysverkostoon. Sa-

malla lauhtunut kylmäaine alkaa tiivistymään nesteeksi. Lopuksi jäähtynyt kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin läpi, joka säätelee nesteen virtausta, samalla paine laskee ja kierto alkaa alusta. (6, s. 3; 8)



Kuva 4. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (6).

Maalämpöpumppu sisältää pääkomponenttien lisäksi kolmitieventtiilin ja lämpimänkäyttöveden varaajan, johon lämminvesi varastoidaan käyttöä varten. Lisäksi tulistinmaalämpöpumpuissa on erillinen lämmönvaihdin, josta siirretään kaikista kuumimmat höyryt käyttöveden lämmitystä varten. (6, s. 3; 8.) Lämpimänkäyttöveden lämpötila ei saa olla liian alhainen Legionella-bakteerien takia, mikä saattaa aiheuttaa vakavan keuhkokuumeen. Taulukossa 3 on esitetty Legionella-bakteerien esiintyminen vedessä suhteessa veden lämpötilaan.

Taulukko 3. Legionella-bakteerien esiintyminen vedessä eri lämpötiloilla (10).

Veden lämpötila	Legionella-bakteerit
20–45 °C	Pystyvät lisääntymään
30–37 °C	Paras kasvulämpötila
46 °C	Solujen vaurioituminen alkaa
50 °C	Suurin osa tuhoutuu muutamassa tunnissa
60 °C	Ei sisällä eläviä Legionella-bakteereja

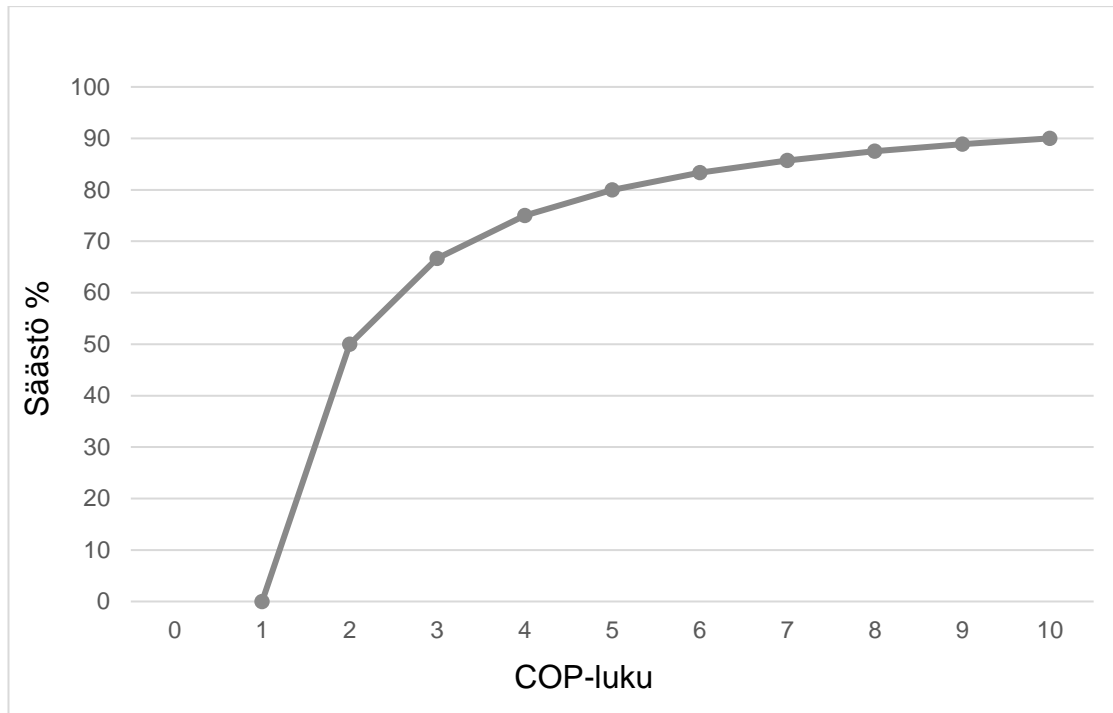
Joissain lämpöpumppumalleissa on automaattitoiminto, joka lämmittää lämpimänkäyttöveden 65 °C:n lämpötilaan säännöllisin väliajoin haitallisten bakteerien esiintymisen estämiseksi (6, s. 7).

### 2.2.5 Lämpökerroin

Lämpökerroin COP (Coefficient of performance) on luku, joka kuvaa lämpöpumpun tehokkuutta. Se kertoo, kuinka paljon maalämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa ottaensa sähköenergian suhteen. Mitä suurempi lämpökerroinluku on, sitä suurempi lämpöpumpun hyötysuhde on. Suomessa tyypillinen lämpökerroin vuositasolla on noin 3, mikä tarkoittaa, että yhdellä kilowattitunnilla ostettua sähköenergiaa lämpöpumppu tuottaa kolme kilowattituntia lämpöenergiaa. (9, s. 31.)

Kuvassa 5 on esitetty COP-luku suhteessa lämpöenergian (ilmaisenergian) määrään. Esimerkiksi COP-luvulla 2 on 50 % kokonaisenergianmäärästä maasta saatua ilmaisenergiaa ja COP-luvulla 4 on maalämmön tuottama energiamäärä 75 % ja loput 25 % on sähköllä tuotettua energiaa. Kuvasta voidaan todeta, että suurimmat eroavaisuudet ovat COP-lukujen 1–5:n välillä. Säästöprosentin osuudet alkavat tasaantumaan COP-lukujen ollessa 5–10:n välillä, jolloin eroavaisuudet ovat vain 3–10 %.





Kuva 5. COP-luku suhteessa säästöön.

### 2.2.6 Maalämpöpumpun täys- ja osatehomoitus

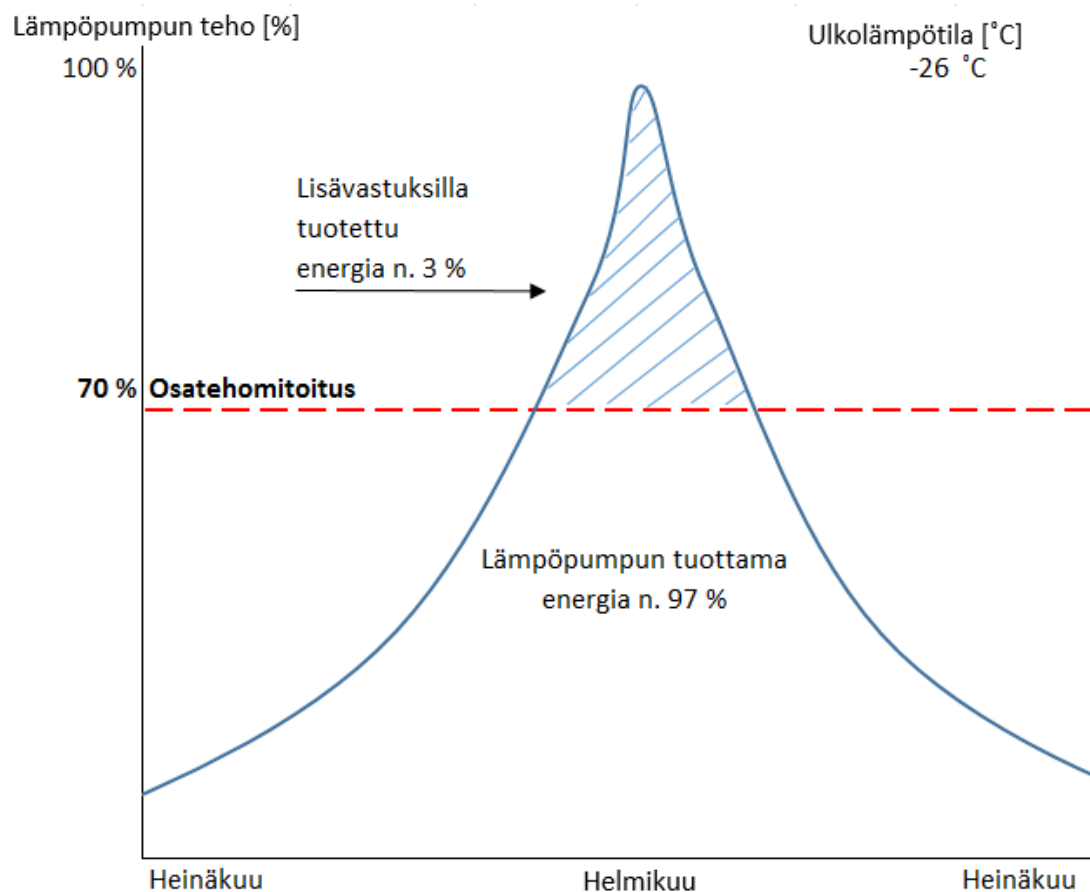
Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täys- tai osatehoiseksi. Osatehomoituksella (60–80 % huipputehon määrästä) pystytään tuottamaan noin 90–97 % koko vuoden energian tarpeesta. Loput noin 3–10 % tuotetaan varaajan sähkövastuksilla yleensä kovilla pakkasilla, kun tehon tarve on kaikista suurin. Osatehon etuina on kompressorin kestoikä ja yleensä lyhempi investoinnin takaisinmaksuaika. Osatehon huonona puolena on sen suurempi huipputehontarpeen kulutus, mikä joudutaan ottamaan sähköverkosta. (6, s. 5; 11.)

Täystehomoituksella katetaan koko vuoden lämmitys- ja käyttöveden energiantarpeet myös huipputehoilla kovilla pakkasilla. Täystehon etuna on pienempi sulakekoko ja se ei tarvitse sähköä verkosta erillisiin lämpövastuksiin. Haittapuolena ovat lyhyemmät käyntijaksot, mikä lyhentää kompressorin ikää. Kompressorien vuotuiset käyntiajat mitoitusasteiden mukaan on esitetty taulukossa 4. (6, s. 5; 11.)

Taulukko 4. Kompressorin käyntiajat mitoitusasteen mukaan vuodessa (11).

Mitoitusaste	Kompressorin käyntiajat	Kompressorin lepoajat
60 %	4500 h	4260 h
70 %	4000 h	4760 h
80 %	3500 h	5260 h
90 %	3000 h	5760 h
100 %	2500 h	6260 h

Kuvassa 6 on tietoja maalämpöpumpusta, joka on mitoitettu osatehomitoituksella 70 % kokonaistehontarpeesta. Kuvasta näemme, että osatehomitoituksella katetaan koko vuoden energiasta noin 97 %. Loput noin 3 % lämmitetään sähkövastusten avulla kovimpien pakkasten aikana. Täystehomitoituksella ei erillisiä sähkövastuksia tarvita, mutta kompressorin joutuu käymään lyhempiä käyntijaksoja verrattuna osatehomitoitukseen. (11)



Kuva 6. Maalämpöpumpun osatehomitoitus (11).

### 2.3 Laitteiden käyttöikä ja huolto

Kaukolämpölaitteiden keskimääräinen tekninen käyttöikä on noin 20–30 vuotta. Käyttöikään vaikuttaa mm., ovatko suunnitelmat ja asennukset tehty määräysten ja ohjeiden mukaisesti, vedenlaatu, mitkä ovat rasitus- ja käyttöolosuhteet sekä onko hoito- ja huoltotoimenpiteitä noudatettu. (12, s. 1–18.)

Kaukolämpölaitteiston tarkastus ja huoltoväli perustuvat laitteiston ikään. Tarkastusväli alle 10 vuotta vanhalle laitteistolle on kerran vuodessa, 10–20 vuotta vanhalle laitteistolle neljän kuukauden välein ja yli 20 vuotta vanhalle järjestelmälle suositus väli on kerran kuussa. (12, s. 13.)

Maalämpöjärjestelmän keskimääräinen tekninen käyttöikä on 20–30 vuotta. Kompressorin käyttöikä on lyhempi kuin muun järjestelmän, ja se voidaan joutua vaihtamaan aiemmin 10–15 vuoden iässä. (12, s. 15)

Maalämpöjärjestelmän suositeltu tarkastusväli on kerran kuukaudessa (12, s. 15).

Taulukossa 5 on ohjekortin LVI 01-10424 mukaiset laitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät, tarkastusvälit, huoltovälit sekä kunnossapitokaksot. Ohjeavot perustuvat edellisiin ohjekortteihin, tutkimuksiin, selvityksiin ja käytännön kokemuksiin. Käyttöiät taulukoon on valittu rasitusluokan 2 mukaan, mikä vastaa normaalia rasitusta. (12, s. 1.)

Taulukko 5. Tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot (12, s. 13–18).

LVI-järjestelmä	Keskimääräinen tekninen käyttöikä	Tarkastusväli/huolto
Lämmönjakokeskus		12 kk, kun ikä < 10 v 4 kk, kun ikä 10...20 v 1kk, kun ikä >20 v
HST-levylämmönsiirrin, kovajuotoksin	20 v	
Kupariputkilämmönsiirrin	20 v	
Kumitiivisteellinen lämmönsiirrin	10 v	Putkien kiristys, tiivisteen vaihto
Teräsputkilämmönsiirrin	20...30 v	
Maalämpöpumppu (keräyspiiri ja lämpöpumppulaite)	25...30 v	1 kk
Kompressori	10...15 v	1 kk
Pumput	20...25 v	12 kk
Venttiilit	20...25 v	13 kk
Paisunta- ja varolaitteet	20...25 v	12 kk
Lämpömittarit, painemittarit, ilmanpoistimet, lianerottimet	Uusitaan tarvittaessa	12kk
Patteriventtiilit	15...20 v	12 kk
Radiaattorit, konvektorit	Rakennuksen iän	

### 3 Lähtötiedot

#### 3.1 Taloyhtiö

Työn kohteena oli Uudellamaalla sijaitseva rivitaloyhtiö, joka on valmistunut 1979. Taloyhtiössä on 66 asukasta ja huoneistoja 24 kpl, joista 18 kpl on 3 H+K+S 82,5 m<sup>2</sup> ja 6 kpl 4 H+K+S 96,5 m<sup>2</sup> yhteenlaskettu huoneistoala on 2421 m<sup>2</sup> ja tilavuus 6796 m<sup>3</sup>. Tontti on oma ja sen pinta-ala on 8322 m<sup>2</sup>. Veden kulutus on 3531 m<sup>3</sup> (2013–2015 keskiarvo) vuodessa, eli 146,6 litraa asukasta kohden.

Ilmanvaihto on toteutettu asuntokohtaisilla huippuimureilla ja korvausilma hoidetaan ikkunoiden korvausilmaventtiileillä. Huippuimurit on asennettu jälkikäteen vuonna 2011 ja ikkunat vuonna 2007. Lämmöntalteenottoa kohteessa ei ole.

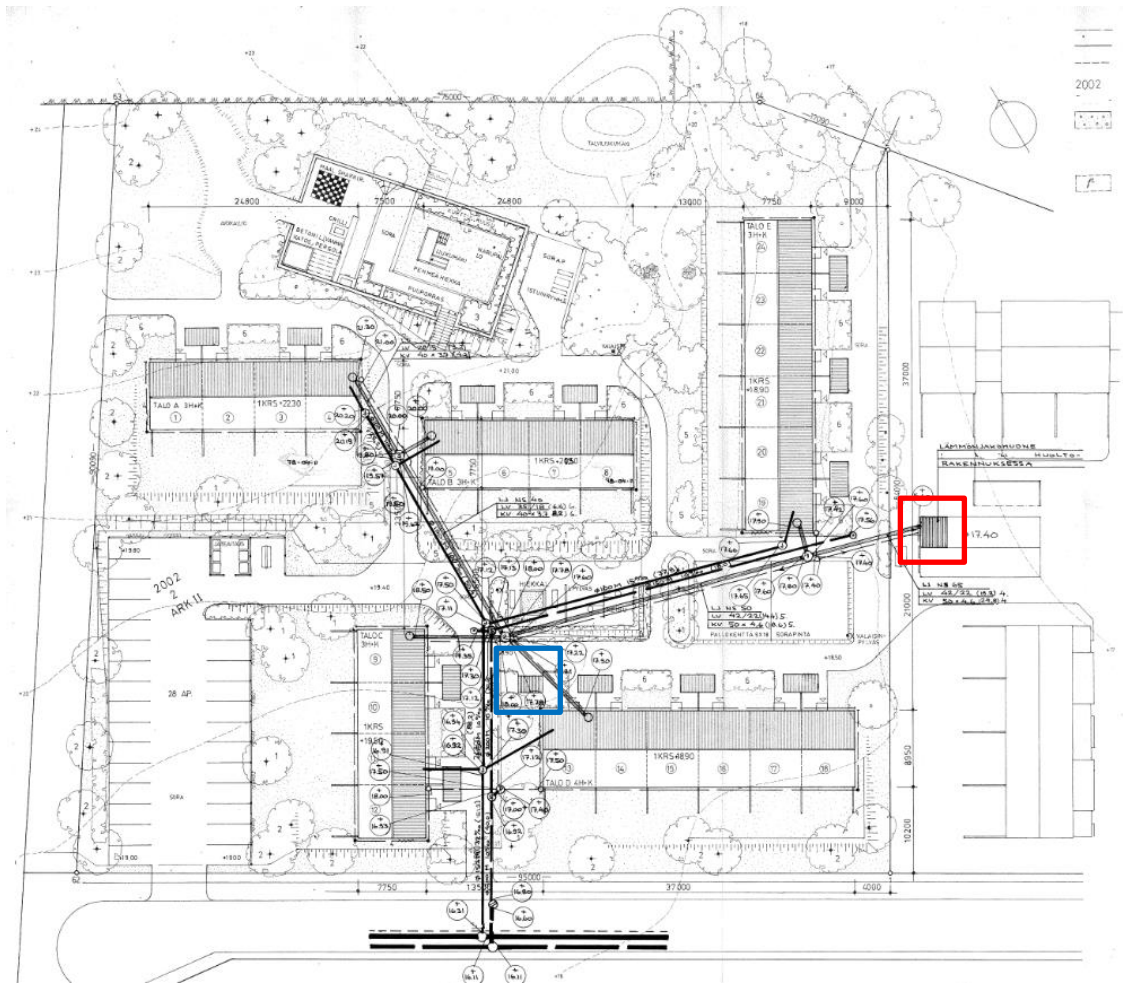
Lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö, ja lämmönjakona toimivat vesikiertoiset patterit. Taulukossa 6 on pattereiden tiedot yhden huoneiston (82,5 m<sup>2</sup>) osalta. Pattereiden tehot ovat nykyisillä 80/50 meno- ja paluuveden lämpötila-arvoilla.

Taulukko 6. Esimerkkihuoneiston patteritiedot (13).

Huone	Tyyppi	Koko	Teho (W)
Makuuhuone 1	Radiaattori 1-kertainen	1400x500	1011
Makuuhuone 2	Radiaattori 1-kertainen	1400x500	1011
Aula	Radiaattori 1-kertainen	800x600	677
Kylpyhuone	Radiaattori 2-kertainen	600x600	667
Sauna	Radiaattori 1-kertainen	800x400	473
Eteinen	Konvektori	1000x210	694
Olohuone	Konvektori	1400x210	971
Keittiö	Radiaattori 2-kertainen	1200x400	963
WC	Radiaattori 1-kertainen	600x400	355
Asunto	Pattereiden teho yhteensä	6822 W	

Pihalla on erillinen huoltorakennus, joka on naapuritaloyhtiön kanssa yhteinen. Rakennuksessa on pesu- ja kuivaushuoneet, naapuriyhtiön sähkökeskus, sekä molempien kiinteistöjen omat lämmönjakohuoneet. Kohteen sähkökeskus on omassa erillisessä rakennuksessa, ja taloyhtiön pääsulakkeen koko on 125 A.

Kuvassa 7 on punaisella värillä merkitty lämmönjakohuone ja sinisellä värillä sähkökeskus. Harmaalla pohjalla ovat asuinrakennukset, joiden edessä ovat pihavarastot.



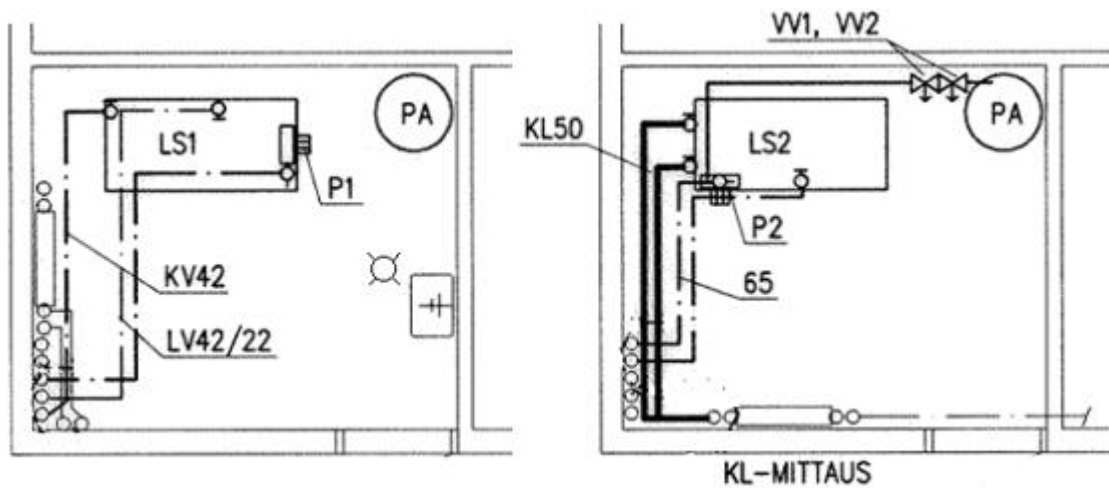
Kuva 7. Taloyhtiön asemapiirros.

### 3.2 Lämmönjakohuone

Lämmönjakohuoneen koko on  $3,440\text{ m} \times 2,660\text{ m}$ , mikä vastaa pinta-alaltaan  $9,2\text{ m}^2$ :ä. Huoneen korkeus on  $2,37\text{ m}$  ja tilavuus  $21,7\text{ m}^3$ . Kaukolämmön lämmityspuolen lämmönsiirtimen teho on  $155\text{ kW}$ . Ensiöpuolen meno- ja paluueden lämpötilat on  $115/55\text{ °C}$  ja toisiopuolen  $80/50\text{ °C}$ .

Käyttöveden lämmönsiirtimen teho on  $235\text{ kW}$ . Ensiöpuolen meno- ja paluueden lämpötilat on  $70/25\text{ °C}$  ja toisiopuolen  $10/55\text{ °C}$ . Lämmönjakohuoneessa on kaukolämpöpaketin lisäksi paisuntasäiliö, ilmanerotin, lattiakaivo sekä pesuallas.

Kuvassa 8 on vasemmalla vesijohtokuva ja oikealla lämpöjohtokuva. Kuvassa on kaukolämpöpaketti, paisuntasäiliö, lattiakaivo, pesuallas sekä kaukolämmön mittaus.



Kuva 8. Lämmönjakuhuoneen pohjakuva.

Kuvassa 9 on valokuva kohteen lämmönjakuhuoneesta, jossa etualalla on kaukolämpöpaketti, seinällä ilmanerotin ja kuvan oikeassa laidassa paisuntasäiliö.



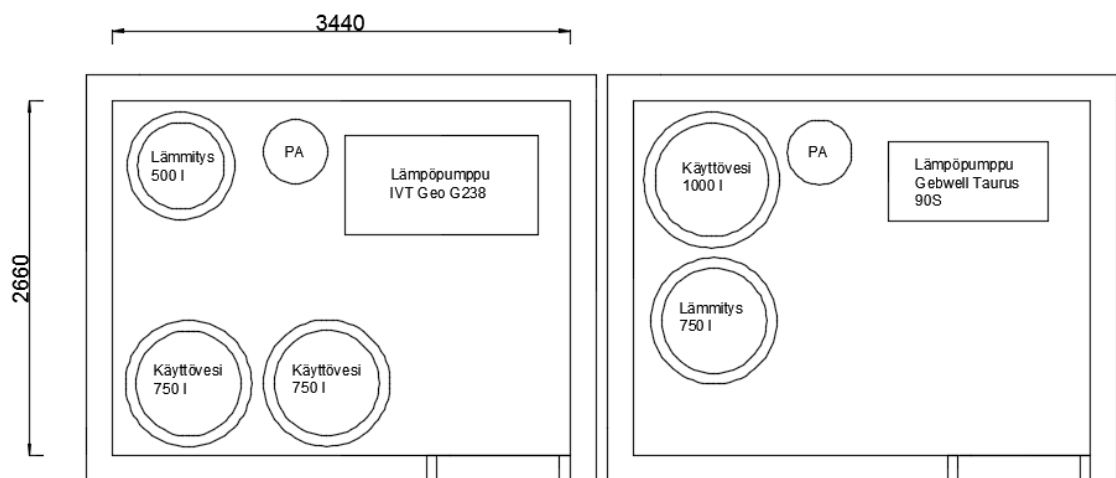
Kuva 9. Kohteen lämmönjakuhuone.

Kohteen lämmönjakohuoneeseen tehtiin tarjouksissa olevien laitteiden osalta alustava laitesijoittelu tilan riittävyden varmistamiseksi. Sijoittelussa käytettiin kahta eri laitevarustelua, joista suurimpana erona olivat käyttöveden varaajan ja lämpöpumppujen lukumäärät.

Kuvassa 10 on esitelty kaksi eri hahmotelmaa maalämpötarjouksien laitteistosta. Kuvan alustavasta sovituksesta voidaan nähdä, että tilavaraus on riittävä maalämpöpumppu-laitteistoille.

Vasemmanpuoleisessa hahmotelmassa on lämmönjakuhuone, joka on varustettu kahdella kappaleella IVT Geo G238 -lämpöpumppuja, joiden pituus, leveys ja korkeus ovat 1 450/750/1 000 mm. Lämpöpumput ovat pinottavaa mallia, ja ne on asennettu päällekkäin, jolloin korkeudeksi tulee noin kaksi metriä. Lämpimästä käyttövedestä vastaa kaksi kappaletta 750 l:n varaajaa, joiden halkaisijat eristeineen ovat 950 mm ja korkeudet 1 870 mm. Lämmönjaon varaajana toimii yksi 500 l:n puskurivaraaja, jonka halkaisija 810 mm ja korkeus on 1 830 mm eristeineen. Lisäksi lämmönjakuhuoneessa on 200 l:n kalvopaisunta-astia, jonka halkaisija on 484 mm ja korkeus 1 300 mm.

Oikeanpuoleinen hahmotelma on varustettu Gebwell Taurus 90S -lämpöpumpulla, jonka pituus, leveys ja korkeus ovat 1 200/600/1 950 mm. Käyttöveden varaajan tilavuus on 1 000 l, halkaisija 850 mm ja korkeus 2 150 mm eristeineen. Lämmityksen puskurivaraajan tilavuus on 750 l, halkaisija 950 mm ja korkeus 1 870 mm eristeineen.



Kuva 10. Maalämpölaitteiston alustava sijoittelu lämmönjakuhuoneessa.

### 3.3 Tarjous

Maalämpötarjouksia kohteesta on neljä kappaletta, joissa pumppumerkkeinä ovat edustettuina Gebwell ja IVT. Tontille on kaavailtu tarjouksista riippuen 6–9 lämpökaivoa, joille



aktiivisyvyyttä on annettu 1 600–2 093 metriin. Saatujen tarjouksien hinnat vaihtelevat 127 490–173 723 €:n väliltä. Taulukossa 7 on eri tarjouksien maalämpöpumpputiedot.

Taulukko 7. Tarjouksissa olevat maalämpöpumput

Tarjous	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4
<b>Laitteistotyyppi</b>	<b>Gebwell Gemini 52 + T226</b>	<b>IVT Geo G238</b>	<b>IVT Geo G272</b>	<b>Gebwell Taurus 90S</b>
Lämpöpumppujen lukumäärä	2	2	1	1
Lämmitysteho (kW)	89,4	76	73	78,2
COP	3,68	3,03	4,36	3,79
Lämpöpumpun energiaperiteho (%)	99	100		99
Lämpöpumpun tehoperiteho (%)	77	85		80
Tuotettava energiamäärä (kWh/vuosi)	327 000	325 820	317 200	300 770
Tarvittava lisälämmitysenergia (kWh/vuosi)	3 160		2 900	1930
Lämpöpumpun sähkönkulutus (kWh/vuosi)	86 540		100 130	77 270
Kokonaissähkönkulutus (kWh/vuosi)	89 700	107 660	103 030	79 200
Ilmaisenergia (kWh/vuosi)	237 300	218 160	217 070	233 500
<b>Porakaivot</b>				
Kaivojen lukumäärä (kpl)	9	9	6	7 kpl (1 jakokaivo)
Porareikien lukumäärä (kpl)	9	9	6	7
Yhden porareian syvyys (m)	238	193	270	275
Kokonaisaktiivisyvyys (m)	2093	1600	1620	1925

## 4 Laskentamenetelmät

### 4.1 Elinkaarikustannuslaskenta

Elinkaarikustannuslaskelmilla (LCC, Life Cycle Cost) selvitetään laitteen tai järjestelmän kustannuksia elinkaaren aikana. Elinkaari on kohteen valmistumisesta aina käytöstä poistamiseen asti oleva ajanjakso. Laskelmat perustuvat kahden tai useamman kohteen vertailuun halvimman vaihtoehdon selvittämiseksi. Elinkaarikustannukset muodostuvat hankinta-, energia-, käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustannuksista. (14)

#### 4.1.1 Nimelliskorko

Nimelliskorolla tarkoitetaan korkoa, mikä on merkitty lainasopimukseen ja jonka velanottaja maksaa pankille. Nimelliskorko ei ota huomioon inflaation vaikutusta. (15) Valtiokonttorin ilmoittama vuoden 2015 lainatietojen pohjalta laskettu (nimellinen) korkokustannus vuodelle 2016 on 0,2 % (16).

#### 4.1.2 Inflaatio

Inflaatio tarkoittaa rahanarvon alenemista ja kuluttajahintojen nousua. Inflaation vuoksi ostovoima yleensä heikkenee. (15) Valtiokonttorin ilmoittama kuluttajahintojen kokonaisindeksin vuosimuutos vuonna 2015 on  $-0,2\%$ . (16)

#### 4.1.3 Reaalikorko

Reaalikorko on korko, josta on vähennetty ostovoiman heikkenemisen (inflaation) vaikutus (16). Reaalikorko voidaan laskea kaavalla 1.

$$A = \frac{B - C}{1 + \frac{c}{100}} \quad (1)$$

$A$  on reaalikorko  
 $B$  on nimelliskorko  
 $C$  on inflaatio. (16)

#### 4.1.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on aika, joka kuluu, kun investointi maksaa itsensä takaisin tuloilla tai säästöillä. Takaisinmaksuaika ei ota huomioon eri aikaisia maksusuorituksiin liittyviä korkoja, takaisinmaksuajan jälkeisiä tuloja tai säästöjä eikä investoinnin pitoaikaa. Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 2.

$$n = \frac{H}{T} \quad (2)$$

$n$  on koroton takaisinmaksuaika  
 $H$  on hankintahintojen erotus  
 $T$  on vuotuisten kustannusten erotus. (14)

Korollinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 3. Kaavassa otetaan yksittäinen korko huomioon.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-Hi}\right)}{\ln(1+i)} \quad (3)$$

$n$  on korollinen takaisinmaksuaika  
 $T$  on vuotuisten kustannusten erotus  
 $H$  on hankintahintojen erotus  
 $i$  on korko. (14)

#### 4.1.5 Vuosikustannukset

Vuosikustannusmenetelmällä voidaan muuttaa kaavalla 4 hankintakulut sekä juoksevat kulut keskimääräisiksi vuosikustannuksiksi (annuiteetti) koko laitteen tai järjestelmän toiminta-ajalta.

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} H + q \quad (4)$$

$i$  on laskentakorko  
 $n$  on käyttöikä  
 $H$  on hankintahinta  
 $q$  on vuotuiset käyttökustannukset. (14)

#### 4.1.6 Nykyarvo

Nykyarvomenetelmällä diskontataan (tulevaisuuden kustannukset lasketaan nykyhetkeen), jotta eri järjestelmät olisivat vertailukelpoisia keskenään. Nykyarvo lasketaan kaavalla 5.

$$NA = H + K \quad (5)$$

$NA$  on nykyarvo  
 $H$  on hankintahinta  
 $K$  on tulevien vuosittausten kustannusten nykyarvo. (14)

Tulevien vuosittausten kustannusten nykyarvo  $K$  lasketaan kaavalla 6.

$$K = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} q \quad (6)$$

$K$  on tulevien vuosittausten kustannusten nykyarvo  
 $i$  on nousuprosentti  
 $n$  on käyttöikä  
 $q$  on vuotuiset käyttökustannukset. (14)

Kustannusten nykyarvo erisuuruksina eri vuosille  $k$  voidaan laskea kaavalla 7

$$k = \frac{1}{(1+i)^n} h \quad (7)$$

$k$  on erisuuruisten ja eri vuosina tapahtuvien maksujen nykyarvo

$i$  on nousuprosentti

$n$  on tarkasteluvuosi

$h$  on tulevan maksun suuruus. (14)

#### 4.2 Hinnan nousut

Kaukolämmön energiamaksut (maksut sisältävät energia- sekä tehomaksut) ovat nousseet vuosien 2008–2015 aikana 35,2 %, mikä vastaa 6,5 %:n nousua vuositasolla (17). Vastaavasti sähkön hinnat (hinnat sisältävät sähköenergian hinnat, siirtomaksut ja verot) ovat nousseet samalla aikavälillä 14,0 %, mikä on vuositasolla 2,3 % (18). Hinnan nousut on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Energian hinnan nousut 2008–2015 (17; 18).

Energian hinnan nousu		
Vuosi	Kaukolämmön hinta €/MWH	Sähkön hinta snt/kWh
2015	84,81	10,28
2014	85,12	10,88
2013	85,12	11,15
2012	80,25	10,78
2011	73,35	10,74
2010	64,06	9,64
2009	59,17	9,47
2008	54,95	8,85

Hinnan nousu		
2008–2015	35,2 %	14,0 %
Vuodessa	6,5 %	2,3 %

### 4.3 Kaukolämpö

Laskelmissa kiinteistön energiankulutuksena päädyttiin käyttämään vuoden 2016 Fortumin kaukolämmön ennustettua kulutusta 327,1 MWh, joka on hieman isompi kuin viiden viime vuoden keskiarvo 312,3 MWh (taulukko 9).

Taulukko 9. Taloyhtiön energiankulutus eri vuosina

Vuosi	2012	2013	2014	2015	2016	Keskiarvo
Energiankulutus (MWh)	323,8	322	289,6	299	327,1	312,3

### 4.4 Takaisinmaksuajat

Korottomat takaisinmaksuajat on laskettu kaavalla 2. Hankintahintana käytettiin syyskuussa 2016 saatujen tarjousten hintoja (taulukko 10), jotka pitävät sisällään suunnittelun, laitteiston, asennukset, lämmönkeruujärjestelmän ja sähkötyöt. Kaukolämmön hankintahinnaksi on asetettu 11 090 €, joka on Fortumin kaukolämmön muutostöistä saatu tarjous. Vuotuiset kustannukset pitävät sisällään järjestelmän energiahinnat ja huolto-työt. Huoltotyön osuus laskelmissa oli 2 % hankintahinnasta, mitä pidetään tavanomaisena arvona LVI-laitteille (14). Kaukolämmön huolto-osuudeksi valittiin 2 000 € vuodessa. Sähköenergian hintana käytettiin 0,11 €/kWh ja kaukolämpöenergian hintana oli 0,087 €/kWh. Energiankulutukseksi valittiin vuoden 2016 arvio 327 100 kWh. Korollisissa takaisinmaksuajoissa on käytetty kaavaa 2, jossa korkona oli 3 %.

Taulukko 10. Tarjouksien erittelyt.

Lämmönjako	Kaukolämpö	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4
Suunnittelu		6 500 €		3 210 €	3 210 €
Laitteisto ja asennus	11 090 €	62 500 €	59 806 €	48 902 €	58 284 €
Keruujärjestelmä		72 000 €	48 894 €	62 341 €	74 406 €
Sähkötyöt		20 000 €	18 790 €	23 423 €	23 423 €
Muut				11 222 €	14 400 €
<b>Hankintahinta</b>	<b>11 090 €</b>	<b>161 000 €</b>	<b>127 490 €</b>	<b>149 098 €</b>	<b>173 723 €</b>
Kaukolämmön kulutus	26 332 €				
Sähkön kulutus		9867	11842,6	11333,3	8712
Huoltokustannukset	2 000 €	3 220 €	2 550 €	2 982 €	3 474 €
<b>Vuotuiset käyttökustannukset</b>	<b>28 332 €</b>	<b>13 087 €</b>	<b>14 392 €</b>	<b>14 315 €</b>	<b>12 186 €</b>

#### 4.5 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannusten tarkasteluajoiksi on valittu 25 ja 50 vuotta. Ajat ovat valittu laitteistojen arvioitujen käyttöikien perusteella. 50 vuoden tarkasteluvälillä on 26 vuoden kohdalla lisätty laitteistojen uusimiseen kuluvat hinta-arviot. Uusimiseen käytetyt hinnat perustuvat tarjouksissa saatuihin hintoihin, joissa on käytetty maalämpölaitteiston ja niiden asennuksia koskevia hintoja. Oletuksena on, että lämmönkeruujärjestelmää ei tarvitse uusia.

Hintojen ja korkojen lähtötiedot ovat taulukossa 11. Laskentakorkona on käytetty reaalkorkoa 0,4 %, joka on laskettu kaavalla 1. Nimelliskorko on laskennoissa 0,2 % ja inflaatio -0,2 %; luvut ovat valtiokonttorin ilmoittamat ja vuoden 2015 lainatietojen pohjalta laskettuja. Sähköenergian hintana on käytetty nykytason 110 €/MWh (11 snt/kWh). Kaukolämmön hintana on käytetty lukemaa 80,5 €/MWh, joka on saatu Fortumin kaukolämmön ennusteraportista jakamalla vuoden 2016 kaukolämpömaksut energiankulutuksella. Energiankulutuksena on vuoden 2016 kulutusarvio 327,1 MWh, joka on hieman suurempi kuin viiden viimeisen vuoden keskiarvo 312,3 MWh.

Taulukko 11. Hintojen ja korkojen lähtötiedot.

Sähköenergian hinta	110 €/MWh
Kaukolämpöenergian hinta	80,5 €/MWh
Energian kulutus	327,1 €/MWh
Reaalikorko	0,4 %
Nimelliskorko	0,2 %
Inflaatio	-0,2 %

#### 4.6 Maalämpö

Maalämmön sopivuutta tarkasteltiin selvittämällä, ovatko olemassa olevat putket ja tulevat lämpötilat asunnoissa riittävät. Tarkastelun kohteeksi otettiin yhden asunnon olohuone, jonne laskelmat tehtiin.

Lämpöjohdoissa oleva virtausnopeus ei saisi ylittää 0,5 m/s, jotta putkistossa ei syntyisi häiritsevää kohinaa (11). Tilavuusvirta jaetaan putken poikkipinta-alalla, josta saadaan virtausnopeus selville.

Kaavalla 8 lasketaan tilavuusvirta.

$$q_v = \frac{P}{\rho * c * \Delta T} \quad (8)$$

$q_v$  on tilavuusvirta ( $m^3/s$ )  
 $P$  on teho ( $kW$ )  
 $\rho$  on tiheys ( $kg/m^3$ )  
 $c$  on ominaislämpökapasiteetti ( $kJ/kgK$ )  
 $\Delta T$  on lämpötilaero ( $K$ )

Virtausnopeus saadaan kaavalla 9

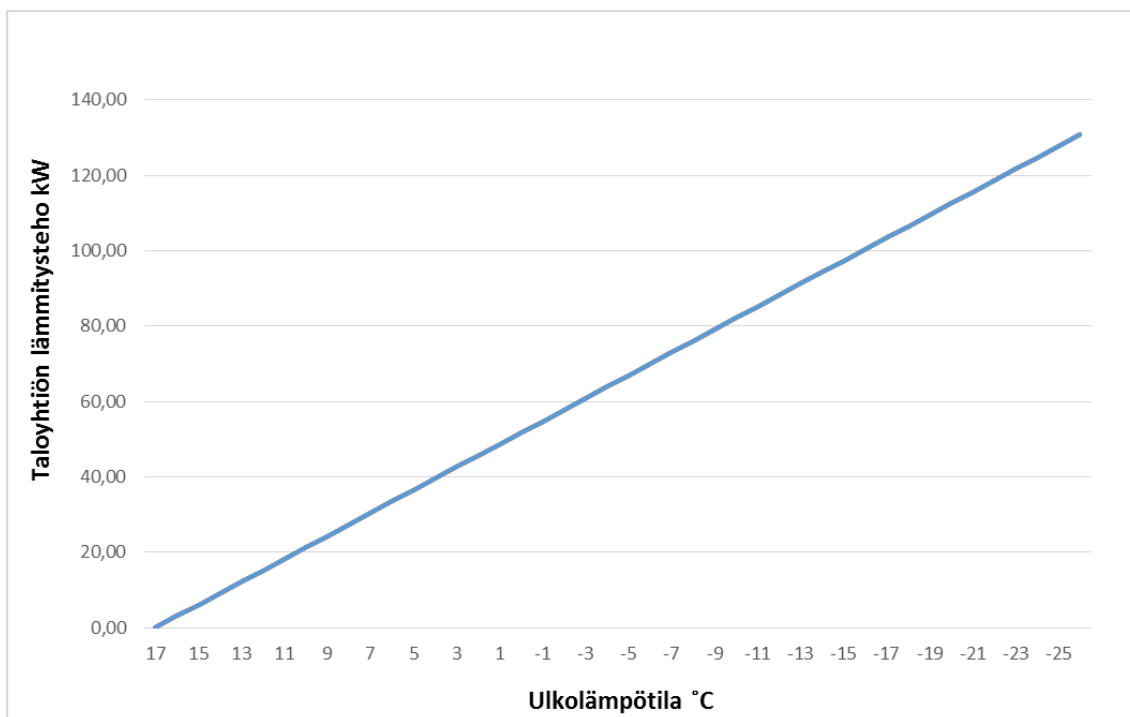
$$v = \frac{q_v}{A} \quad (9)$$

$v$  on nopeus ( $m/s$ )  
 $q_v$  on tilavuusvirta ( $m^3/s$ )  
 $A$  putken poikkipinta-ala ( $m^2$ )

Käyntiajat voidaan jakaa mitoitus prosenttien mukaan taulukon 4 mukaisesti, josta voidaan selvittää kiinteistön huipputeho kaavalla 10 (11).

$$\frac{\text{Energiankulutus vuodessa } kWh}{2500h} = \text{Huipputeho} \quad (10)$$

Kuvasta 11 voidaan katsoa ulkolämpötilaa vastaava hetkellinen lämmitys teho. Lämmitys alkaa ulkolämpötilan ollessa alle  $17\text{ }^\circ\text{C}$ , ja huipputeho saavutetaan  $-26$  pakkasasteessa, joka on Etelä-Suomen mitoituslämpötila.



Kuva 11. Taloyhtiön tehon tarpeet eri ulkolämpötiloilla (11).

Kaavalla 10 saatu huipputeho 130,84 kW jaetaan kiinteistön pinta-alalla  $2421 \text{ m}^2$ , josta saadaan selville neliömetrikohtainen huipputeho  $0,054 \text{ kW/m}^2$ . Olohuoneen pinta-ala on  $19,19 \text{ m}^2$  jolloin olohuoneen huipputehon tarpeeksi tulee  $1,037 \text{ kW} = 1037 \text{ W}$ .

Maalämmön tuottama huoneen lämpötila saadaan selville vertaamalla huipputehoa maalämmön tuottamaan tehoon. Purmon tehokasohjelmalla saadaan selvillä huoneen lämpötila eri ulkolämpötiloilla muutamalla meno-, paluu- ja sisälämpötiloilla (13).



## 5 Tulokset

### 5.1 Takaisinmaksuajat

Maalämpöinvestoinnin koroton takaisinmaksuaika on 8–10 vuotta, ja korollinen takaisinmaksuaika on noin 10–12 vuotta tarjouksesta riippuen. Maalämmön vuotuiset käyttökustannukset perustuvat suurilta osin sähkön kulutukseen, joten sähkön hinnassa jo yhden sentin nousu tai lasku lisää tai laskee takaisinmaksuaikaa lähes vuodella. Toinen vaikuttava tekijä on korko, jonka yhden prosenttiyksikön vaihtelu vastaa noin yhtä vuotta takaisinmaksuajoissa. Taulukossa 12 on tarjouskohtainen erittely takaisinmaksuajoista.

Taulukko 12. Tarjousten takaisinmaksuajat.

Tarjous	Hankintahinta	Takaisinmaksuaika (koroton)	Takaisinmaksuaika (korko 3 %)
1	161 000 €	9,8 vuotta	11,8 vuotta
2	127 490 €	8,3 vuotta	9,8 vuotta
3	149 098 €	9,8 vuotta	11,8 vuotta
4	173 723 €	10,1 vuotta	12,2 vuotta

### 5.2 Elinkaarikustannukset nykyhintatasolla

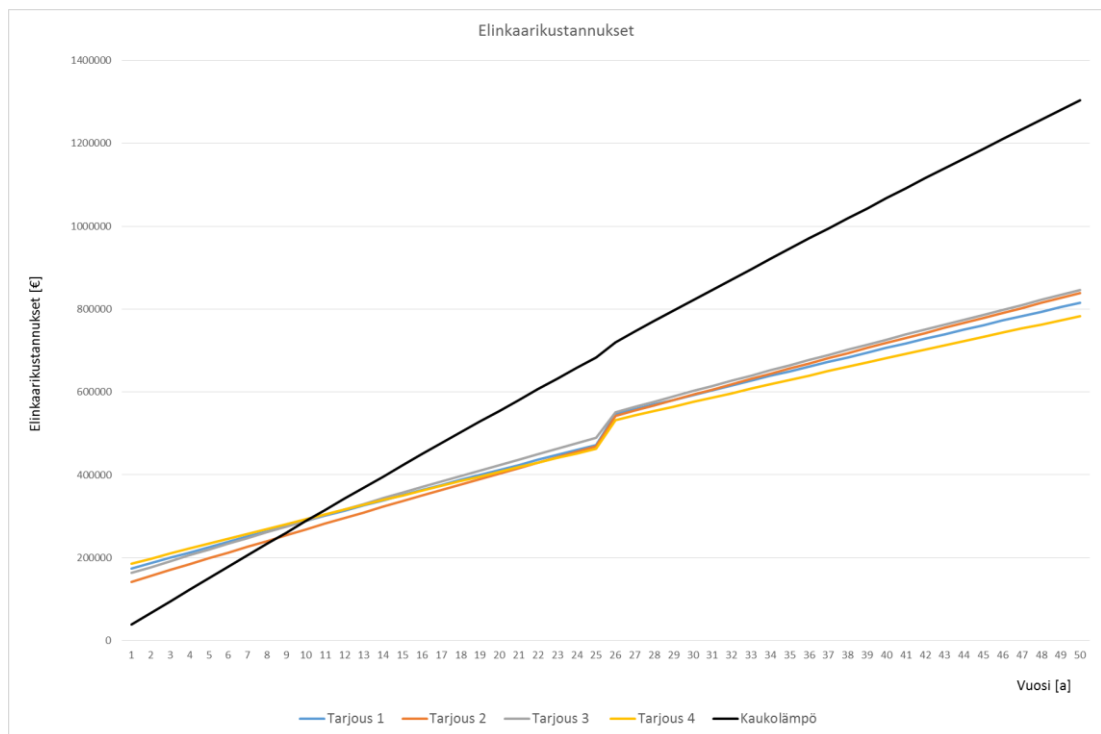
Elinkaarikustannuksien pysyessä nykyisellä tasolla on kaukolämpöön käytetty rahaa nykyarvoon muutettuna 25 vuodessa noin 680 000 €. Maalämpöön on käytetty vastaavasti noin 460 000–490 000 €, mikä vastaa noin 30 %:n säästöä maalämmön hyväksi.

50 vuoden tarkastelussa kaukolämmön nykyarvo on noin 1 300 000 € ja maalämmön vastaavasti noin 780 000–850 000 €. Säästöä on kertynyt maalämmön hyväksi 35–40 %. Lämmitysjärjestelmät halvimmasta kalliimpaan 50 vuoden tarkasteluväliltä ovat tarjous 4, tarjous 1, tarjous 2 tarjous 3 ja kaukolämpö. Tarkemmat ovat taulukossa 13.

Taulukko 13. Elinkaarikustannusten tarkastelut, kun hinnat pysyvät nykytasolla.

Lämmöntuottaja	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4	Kaukolämpö
<b>Kokonaisurakkahinta</b>	161 000 €	127 490 €	149 098 €	173 723 €	11 090 €
<b>Nykyarvo (25 v)</b>	<b>471 726 €</b>	<b>469 210 €</b>	<b>488 987 €</b>	<b>463 067 €</b>	<b>683 874 €</b>
Erotus maalämmön hyväksi (25 v)	212 148 €	214 664 €	194 888 €	220 807 €	
Säästö %	31 %	31 %	28 %	32 %	
<b>Nykyarvo (50 v)</b>	<b>815 382 €</b>	<b>838 217 €</b>	<b>845 432 €</b>	<b>783 161 €</b>	<b>1 303 725 €</b>
Erotus maalämmön hyväksi (50 v)	488 342 €	465 507 €	458 292 €	520 564 €	
Säästö %	37 %	36 %	35 %	40 %	

Kuvasta 12 nähdään, että kaukolämmöllä on pienen alkuiinvestoinnin takia ensimmäisinä vuosina pienemmät elinkaarikustannukset kuin maalämmöllä. Vuosien 9–11 aikana on maalämpö saavuttanut kustannuksien osalta kaukolämmön. 26 vuoden kohdalla nähdään laitteiston uusimisesta aiheutuva kustannusten äkillinen kohoaminen. Ero kasvaa maalämmön hyväksi, mitä pidemmällä ajassa mennään. Keltaisella viivalla merkitty tarjous 4 on alkuiinvestoinniltaan kallein, mutta pidemmällä aikavälillä halvin vaihtoehto.



Kuva 12. Elinkaarikustannukset 50 vuoden ajalta, kun hinnat pysyvät nykytasolla.

### 5.3 Herkkyystarkastelut kaukolämpöhinnan nousulla

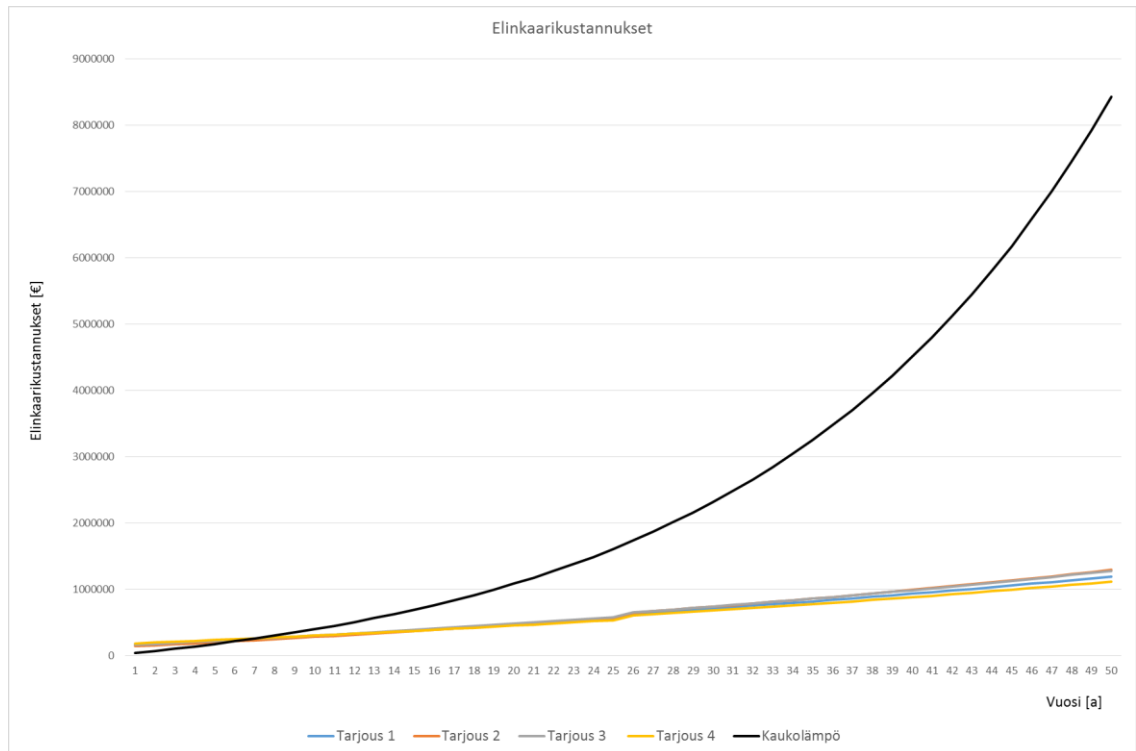
Taulukossa 14 tarkastellaan elinkaarikustannuksia, kun energiahinnan nousujen kehitykset jatkavat vuosien 2008–2015 tasoa. Kaukolämmön osalta vuotuinen hinnannousu on 6,5 % ja sähkön osalta 2,3 %.

Elinkaarikustannukset 25 vuoden ajalta on kaukolämpö tullut maksamaan noin 1 600 000 € ja maalämpö tarjouksesta riippuen 1 020 000–1 070 000 €, mikä tuo 67 % säästöä maalämmön hyväksi. 50 vuoden tarkastelujaksolla kauko- ja maalämmön väliset erot vain kasvavat, jolloin maalämpö on tullut yli 7 000 000 € halvemmaksi.

Taulukko 14. Elinkaarikustannusten tarkastelut, kun kaukolämmön vuotuinen hinnan nousu on 6,5 % ja sähkön hinta 2,3 %.

Lämmöntuottaja	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4	Kaukolämpö
<b>Nykyarvo (25 v)</b>	555 055 €	569 223 €	584 699 €	536 642 €	1 607 518 €
Erotus maalämmön hyväksi (25 v)	1 052 463 €	1 038 295 €	1 022 819 €	1 070 876 €	
Säästö %	65 %	65 %	64 %	67 %	
<b>Nykyarvo (50 v)</b>	1 194 125 €	1 292 793 €	1 280 459 €	1 117 569 €	8 427 791 €
Erotus maalämmön hyväksi (50 v)	7 233 666 €	7 134 998 €	7 147 332 €	7 310 222 €	
Säästö %	86 %	85 %	85 %	87 %	

Kuva 13 esittää elinkaarikustannuksia 50 vuoden ajalta, kun kaukolämmön hinta nousee 6,5 % ja sähkön hinta 2,3 %, mikä on vuoden 2008–2015 vuotuinen nousuprosentti. Kuvassa näkee, miten kaukolämmön hinta kohoaa moninkertaiseksi maalämpöön nähden. Ero on niin suuri, että siitä voidaan päätellä, että energian hinnannousu ei voi jatkua samalla tasolla.



Kuva 13. Elinkaarikustannukset, kun kaukolämmön hinta nousee 6,5 % ja sähkön hinta 2,3 %.

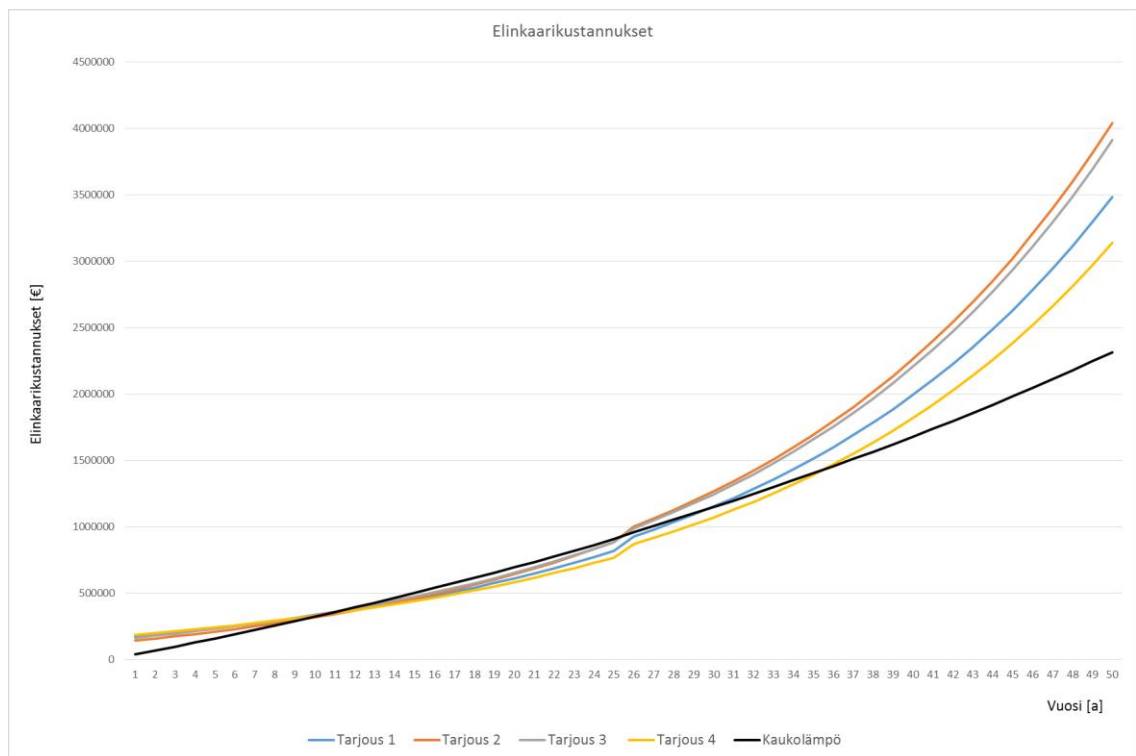
#### 5.4 Herkkyystarkastelut sähkön hinnan nousulla

Viimeiseksi tarkastelussa ovat elinkaarilaskelmat taulukossa 15, jossa sähkön hinnan nousu on 6,5 % ja kaukolämmön 2,3 %. 25 vuoden elinkaaritarkastelussa kaukolämpö on tullut maksamaan taloyhtiölle noin 910 000 € ja maalämpö 770 000–890 000 €. Säästöä on 2–15 % maalämmön hyväksi. 50 vuoden jälkeen erotus on kääntynyt kaukolämmön hyväksi, jolloin säästetty osuus on noin 26–43 % kaukolämmön hyväksi.

Taulukko 15. Elinkaarikustannusten tarkastelut, kun kaukolämmön vuotuinen hinta nousee 2,3 % ja sähkön hinta 6,5 %.

Lämmöntuottaja	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Tarjous 4	Kaukolämpö
<b>Nykyarvo (25 v)</b>	817 777 €	884 584 €	886 463 €	768 610 €	906 287 €
Erotus maalämmön hyväksi (25 v)	88 510 €	21 703 €	19 824 €	137 677 €	
Säästö %	10 %	2 %	2 %	15 %	
<b>Nykyarvo (50 v)</b>					
<b>Nykyarvo (50 v)</b>	3 484 472 €	4 041 721 €	3 911 167 €	3 139 816 €	2 314 626 €
Erotus kaukolämmön hyväksi (50 v)	1 169 846 €	1 727 095 €	1 596 541 €	825 190 €	
Säästö %	34 %	43 %	41 %	26 %	

Kuvassa 14 nähdään, kuinka maalämpö ottaa noin 9 vuodessa kaukolämmön kiinni, minkä jälkeen kustannukset jatkuvat melko tasaisina 25 vuoden loppuun asti. Vuoden 26 korjausinvestoinnin jälkeen alkavat maalämmön kustannukset nousemaan reilusti kaukolämmön yli, jolloin kaukolämmöstä tulee edullisempi lämmitysmuoto.



Kuva 14. Elinkaarikustannukset, kun kaukolämmön hinta nousee 2,3 % ja sähkön hinta 6,5 %.

## 5.5 Maalämmön pääsulake

Maalämpöjärjestelmä kuluttaa paljon sähköenergiaa, joten sille on tehtävä tarvittavat sähkötyöt. Maa joudutaan kaivamaan auki kaapeleiden asentamisen takia. Maalämmölle joudutaan ottamaan oma arviolta 3 x 125–160 A:n liittymä suoraan muuntamolta. Taulukossa 16 on laskettu sulakekoko ottotehon mukaan.

Taulukko 16. Maalämpöjärjestelmän pääsulakkeen mitoitus.

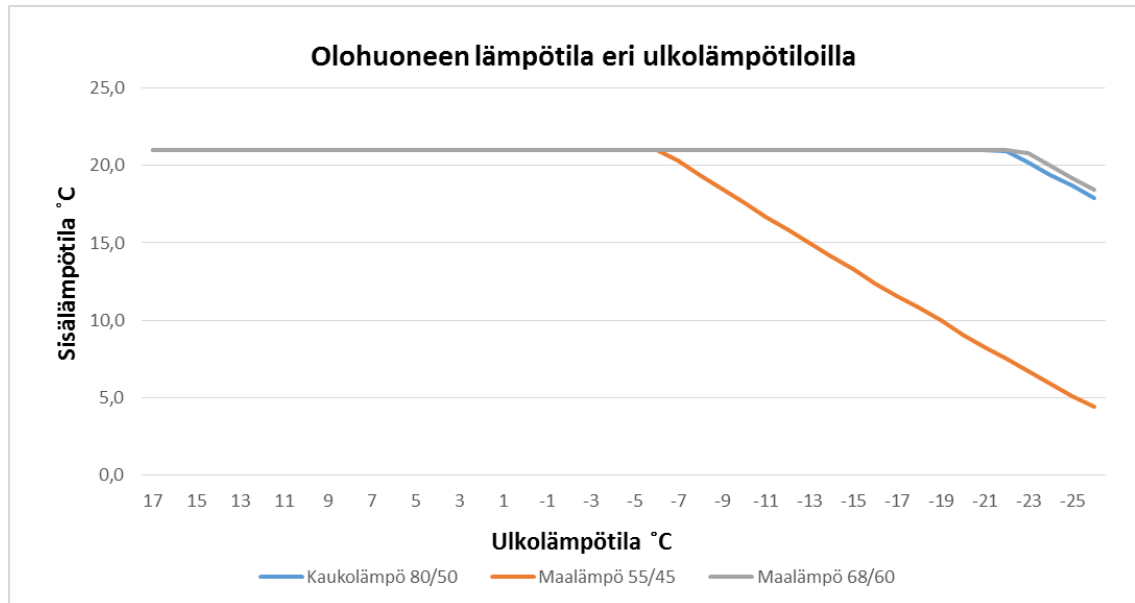
	<b>Tarjous 1</b>	<b>Tarjous 2</b>	<b>Tarjous 3</b>	<b>Tarjous 4</b>
Ottoteho, pumput	30,8 kW	25,2 kW	24,7 kW	26,1 kW
Ottoteho, vastukset	9 kW	9 kW	9 kW	9 kW
Ottoteho, sähkökattila	42 kW	42 kW	42 kW	42 kW
Ottoteho yhteensä	81,8 kW	76,2 kW	75,7 kW	77,1 kW
<b>Virta/vaihe</b>	<b>118,6 A</b>	<b>110,4 A</b>	<b>109,7 A</b>	<b>111,7 A</b>

## 5.6 Lämpöjohdot ja lämpötilat

Olohuoneen lämpöjohdon kokoluokka on DN 10 (ulkohalkaisija 17,2 mm) ja patterin huipputeho on 1 037 W, mistä saadaan virtausnopeudeksi kaukolämmön lämpötilaerolla 0,105 m/s. Maalämpöjärjestelmässä huipputehontarpeella lämpötilan ollessa 68/60 on virtausnopeus putkessa 0,394 m/s. Maalämpöjärjestelmän virtausnopeus alittaa häiritsevää kohinaa aiheuttavan nopeuden 0,5 m/s.

Maalämpöjärjestelmän hyötysuhde on hyvä, kun tulo- ja paluulämpötilat ovat 55/45 astetta. Kuvasta 15 nähdään, että maalämmön 55/45 (oranssi viiva) käyrä alkaa hiipumaan ulkolämpötilan ollessa noin -6 pakkasastetta. Jos meno- ja paluulämpötilat pysyisivät hyvän hyötysuhteen arvoissa, olisi olohuoneen sisälämpötila vain hieman yli 4 lämpöastetta Etelä-Suomen -26 asteen mitoituspakkasilla. Kuvasta nähdään, että -6 °C:n jälkeen kompressori alkaa käyttämään enemmän sähkövirtaa lämmitysverkoston lämpötilan nostamiseen.

Kaukolämmityksellä (sininen viiva) alkaa sisälämpötila tippumaan noin  $-22\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa. Huippupakkasilla  $-26\text{ °C}$ :ssa sisälämpötila olohuoneessa on noin 18 astetta. Vastaavasti maalämmön huipputehoilla (harmaa viiva) alkaa sisälämpötila tippumaan  $-23\text{ °C}$ :n lämpötiloilla ja huippupakkasilla sisälämpötila on noin  $18,5\text{ °C}$ .



Kuva 15. Olohuoneen lämpötilat eri ulkolämpötiloilla (11).

Taulukossa 17 on eritelty eri lämmitysjärjestelmien huipputehot. Maalämpöpumppuja voidaan verrata nykyisen kaukolämmön tehoarvoihin, jotka on esitetty ensimmäisessä sarakkeessa. IVT Geo -lämpöpumput tuottavat pattereille tarpeeksi tehoa lämpötiloilla 68/60. Gebwell -lämpöpumput eivät aivan saavuta kaukolämmön tehoja, joten ylimääräinen lämmitystarve tuotetaan sähkövastuksilla.

Taulukko 17. Eri järjestelmien patteritehot (13).

HUONE/ RADIAATTORIT	Kauko- lämpö (80/50)	Gebwell Gemini 52 (60/50)	IVT Geo G238 (68/60)	IVT Geo G272 (68/60)	Gebwell Taurus 90S (63/53)
KEITTIÖ	963	725	980	980	808
WC	355	267	361	361	297
MH 1	1011	759	1029	1029	846
MH 2	1011	759	1029	1029	846
AULA	677	508	689	689	566
KPH	667	500	680	680	558
SAUNA	473	356	482	482	397

HUONE/ KONVEKTORIT	Kauko- lämpö (80/50)	Gebwell Gemini 52 (60/50)	IVT Geo G238 (68/60)	IVT Geo G272 (68/60)	Gebwell Taurus 90S (63/53)
OH	971	724	989	989	809
ETEINEN	694	517	707	707	578

<b>ASUNTO</b>	6822	5115	6946	6946	5705
---------------	------	------	------	------	------

## 6 Päätelmät

Tutkimusten perusteella maalämpö soveltuu uutena lämmitysmuotona taloyhtiölle. Lämmönjakohuoneen alustavalla laitesijoittelulla varmistettiin tilojen riittävyys.

Esimerkkihuoneen lämpöjohdon koko on riittävä virtausnopeuden perusteella. Virtausnopeus kaukolämpöjärjestelmällä on huippupakkasilla 0,105 m/s ja maalämmöllä 0,394 m/s. Maalämpöjärjestelmällä lämpöjohdon virtausäänet ovat nykyistä suuremmat. Liian suuri nopeus aiheuttaa melua ja kuluttaa putkistoa. Häiritsevän kohinan raja on noin 0,5 m/s.

Maalämpöjärjestelmää soveltuu parhaiten vesikiertoiseen lattialämmitykseen, koska huonetta lämmittävä pinta on suuri, jolloin kiertävän veden ei tarvitse olla niin lämmintä kuin pattereissa. Lämpökerroin on sitä parempi, mitä vähemmän kompressori joutuu tekemään työtä lämpötilan nostamiseen. Tarkasteluissa ilmeni, että lämpöpumpun tarvittava ottoenergia alkaa kasvamaan, kun ulkolämpötila laskee  $-6\text{ °C}$ :n alapuolelle. Tämä tarkoittaa, että lämpökerroin tippuu kovilla pakkasilla ja lämmitysmuoto alkaa



muistuttamaan käytännössä sähkölämmitystä suuren sähkönkulutuksen takia huippupakkasilla. Lämmitysteho on siis riittävä, mutta täytyy huomioida, että kovilla pakkasilla kompressorin tai erilliset sähkövastukset nostavat lämmityskustannuksia huomattavasti.

Lisäksi itseäni mietitytti lämpöpumpun kestävyys kovilla pakkasilla. Lauhduttimessa lämpötilan täytyisi olla noin 75–80 astetta, jotta patteriverkoston saataisiin 68-asteista menovettä. LOG P-H diagrammin perusteella kylmäaineen R410 lämpötila nousisi kompressorin jälkeen noin 110 asteeseen, mikä on erittäin korkea lämpötila. Lämpöpumpun edustajalta sain vastaukseksi, että heidän kompressoreissa on sisäänrakennettuna nestemäisen kylmäaineen väliruiskutus kompressorin scrolliin, minkä ansiosta kompressorilla voidaan tehdä matalilla höyrystymislämpötiloilla korkeaa lauhdelämpöä, joten kompressorin kestävyys ei joudu koville maalämpökäytössä.

Maalämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 10–12 vuodessa tarjouksesta riippuen. Lisätöiden mahdollisuus, koron nousut, kompressorin käyttöiän loppuminen ja sähkön hinta saattavat lisätä takaisinmaksuaikoja jopa muutamalla vuodella.

Herkkyystarkasteluissa maalämpö osoittautui edullisemmaksi vaihtoehdoksi kuin kaukolämpö nykyisillä energiahinnan kustannuksilla. Säästöä tulisi 25 vuoden ajalta maalämmön hyväksi noin 200 000 €. Kaukolämpö tulisi halvemmaksi vain, jos sähkön hinta nousisi merkittävästi ja kaukolämpötoimittajat laskisivat energiahintoja alemmaksi. Tarjous 4 on alkuinvestoinneiltaan isoin, mutta pidemmällä aikavälillä halvin vaihtoehto.

## Lähteet

- 1 Kaukolämpö. 2016. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo). Päivitetty 22.9.2016. Luettu 19.12.2016
- 2 Lämpöä kotiin keskitetysti. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa\\_kotiin\\_keskitetysti\\_Kaukolampo.pdf](http://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf). Luettu 21.12.2016.
- 3 Voimalaitokset. 2016. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-maailmalla/suomi/Pages/default.aspx>. Päivitetty 26.2.2016. Luettu 21.12.2016.
- 4 Harju, Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola. Penan tieto-opus.
- 5 Lämpöpumput. 2002. Rakennustieto Oy. LVI 11-10332. LVI-kortti. Ohjetiedosto
- 6 Lämpöä omasta maasta. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf). Luettu 27.12.2016
- 7 Maalämpöpumppu. 2016. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu\\_mlp](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp). Päivitetty 23.9.2016. Luettu 27.12.2016
- 8 Lämpökaivo, porakaivo. 2016. Verkkodokumentti. Senera. [http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo\\_\\_porakaivo/](http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo__porakaivo/). Luettu 28.12.2016
- 9 Energiakaivo. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöopas 2013. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4). Luettu 28.12.2016
- 10 Legionella, ympäristötekijät ja torjuntamahdollisuudet 2016. Verkkodokumentti. Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinnin laitos. <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet>. Luettu 30.12.2016
- 11 Lankinen Antti. 2017. Kylmäpätevyyskoulutus ja uusiutuvan energian asentaja – lämpöpumput. Kurssimateriaali. Amiedu
- 12 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. Rakennustieto Oy. LVI 01-10424. LVI-kortti. Ohjetiedosto

- 13 Radiaattoreiden tehonlaskenta ohjelmat. 2016. Verkkodokumentti. Purmo. <http://www.purmo.com/fi/ladattavat-tiedostot/teholaskentaohjelmat.htm>. Luettu 21.12.2016.
- 14 Stammeier Hanna. 2016. Talotekniikan elinkaaritalous. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 15 Reaalikorko ja nimelliskorko. 2016. Verkkodokumentti. Euroopan keskuspankki. [https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me/html/nominal\\_and\\_real\\_interest\\_rates.fi.html](https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me/html/nominal_and_real_interest_rates.fi.html). Päivitetty 25.5.2016. Luettu 13.1.2017
- 16 Korkokustannus. 2016. Verkkodokumentti. Valtiokonttori. <http://www.valtiokonttori.fi/kasikirja/Public/download.aspx?ID=92764&GUID={C7FC49B4-9120-4BA7-ADC4-19A5F23A4230}>. Päivitetty 15.1.2016. Luettu 13.1.2017
- 17 Kaukolämmön hintatilasto. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. [http://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon\\_hintatilasto.html#material-view](http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view). Päivitetty 15.9.2016. Luettu 18.1.2017
- 18 Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. 2017. Verkkodokumentti. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ene\\_\\_ehi/050\\_ehi\\_tau\\_105\\_fi.px/?rxid=83e4b9db-1325-4570-b186-6cb6ccd09f6c](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehi/050_ehi_tau_105_fi.px/?rxid=83e4b9db-1325-4570-b186-6cb6ccd09f6c). Luettu 18.1.2017