

Mirkka Heiskanen

Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän  
kustannusvertailu pientalon lämmitys-  
järjestelmänä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

19.12.2013

## Tiivistelmä

<p>Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika</p>	<p>Mirkka Heiskanen Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän kustannusvertailu pientalon lämmitysjärjestelmänä 55 sivua 19.12.2013</p>
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK) -tutkinto
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	diplomi-insinööri, Klaus Heiskanen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kaukolämmön ja maalämmön hankinta- ja käyttökustannuksia toisiinsa verraten, sekä järjestelmän ympäristöystävällisyyttä hiilidioksidipäästöjen avulla. Vertailu tehtiin elinkaarikustannuksilla kannattavuuslaskelmina. Tarkasteluajakoina käytettiin 20 ja 50 vuotta.</p> <p>Kirjallisuusosassa käydään läpi lämmöntuottojärjestelmät, sekä niiden tarvitsemat tekniset laitteet ja tarvikkeet. Laskentaosassa käydään läpi elinkaarilaskentaa, jolla pystytään arvioimaan investoinnin kannattavuutta. Osiossa käydään myös läpi elinkaarikustannuslaskentaan oleellisesti liittyvät tekijät kuten inflaatio, korko ja energian hintakehitys.</p> <p>Järjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa eniten energian hinta. Maalämpö investointina on kalliimpi kuin kaukolämpö. Kuvaajilla havainnollistetaan kustannuseroja ja aikaa, joka kuluu kun järjestelmät ovat kustannuksiltaan yhteismitalliset.</p> <p>Työn tulokset osoittavat, että maalämpö on kaukolämpöä kustannustehokkaampi ratkaisu. Maalämpö oli halvempi vaihtoehto kaikilla lasketuilla tarkastelujaksoilla, suuremmista hankintakustannuksista huolimatta. Kaukolämmön vaihto maalämpöjärjestelmään 25 vuoden kohdalla tuli myös kokonaiskustannuksiltaan edullisemmaksi 50 vuoden tarkastelujaksolla.</p>	
Avainsanat	Kaukolämpö, maalämpö, elinkaarikustannukset

## Abstract

Author Title Number of Pages Date	Mirkka Heiskanen Cost comparison of district heating and geothermal heating systems for a one-family house 55 pages 19 <sup>th</sup> December 2013
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Klaus Heiskanen, Project Manager MSc Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The objective of the Master's thesis was to compare the investment and operating costs of district heating and geothermal energy, and calculate the carbon dioxide emissions of both systems to establish how environmentally friendly they are. Life cycles of 20 and 50 years were used for the comparison.</p> <p>The fundamentals of both systems were examined by literacy review that covered the heat dissipation systems, as well as the necessary technical equipment and installations, and their design principles. The economical aspect was studied with intensive life-cycle cost calculations to evaluate the profitability of the systems. The study took into account real life costs with an effect on the calculations such as inflation, interest rates and energy prices.</p> <p>The system's profitability is mostly affected by energy prices. According to the study, geothermal heating is more expensive than district heating in the investment phase. The results showed further that the environmental impacts of the systems were almost equal. Economically, geothermal heating was a more cost-effective solution than district heating. Geothermal heating was the cheaper alternative at all calculated reference periods, despite of its higher investment costs. An exchange from district heating to geothermal heating at the 25-year mark proved also to be more cost effective in the 50-year period.</p>	
Keywords	District heating, Geothermal heating, Geothermal energy, life-cycle cost calculation

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämmöntuotantotavat	2
2.1	Kaukolämpö	2
2.1.1	Kaukolämpölaitteet	3
2.1.2	Kaukolämpöön liittyminen	6
2.2	Maalämpö	7
2.2.1	Maalämpöpumpun laitteet	7
2.2.2	Maalämpöpumpun toiminta	8
2.2.3	Lämpökerroin	10
2.2.4	Maalämpöpumpun energiantuotto	13
2.2.5	Lämmönkeruu	14
2.3	Käyttömukavuus	16
3	Hankinta- ja käyttökustannukset	17
3.1	Kaukolämpö	17
3.1.1	Laitteet	17
3.1.2	Liittymät	18
3.1.3	Käyttömaksu	19
3.2	Maalämpö	21
3.2.1	Laitteet	21
3.2.2	Porakaivo	22
3.3	Sähkö	22
3.4	Laitteiden huolto ja käyttöikä	23
3.4.1	Kaukolämpölaitteet	24
3.4.2	Maalämpölaitteet	25
3.5	Laskentamenetelmät	25
3.5.1	Elinkaarilaskenta	25
3.5.2	Kaukolämmön energialaskenta	27
3.5.3	Maalämmön energialaskenta	27
3.5.4	Rahan arvo ja inflaatio	27
3.5.5	Nimelliskorko	29
3.5.6	Reaalikorko	29
3.6	Energian hinnannousu	30

4	Tutkimusmenetelmät	32
4.1	Tutkimuskohde	32
4.1.1	Lämmitysjärjestelmä	32
4.1.2	Energiankulutus	33
4.1.3	Energian hinnat	34
4.1.4	Huoltokustannukset	34
4.1.5	Elinkaarikustannusten laskenta	35
4.2	Hiilidioksidipäästöjen laskenta	36
4.3	Primäärienergian käyttö	38
5	Tulokset	38
5.1	Elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalla	38
5.2	Elinkaarikustannukset 50 vuoden ajalta	39
5.3	Herkkyystarkastelua	40
5.4	Hiilidioksidipäästöt 20 vuoden aikana	42
6	Tulosten analysointi	43
6.1	Elinkaarikustannukset ensimmäisen 20 vuoden aikana	43
6.2	Elinkaarikustannukset 20 – 50 vuoden aikana	43
6.3	Hiilidioksidipäästöt	46
7	Johtopäätökset	46
8	Suositukset rakentajille	48
	Lähteet	51

## 1 Johdanto

Energian kulutus lisääntyy ja fossiilisten polttoaineiden määrä vähenee maailmassa koko ajan. Tämä koskee myös Suomea, jossa tarvitaan suuri määrä energiaa rakennusten lämmittämiseen pohjoisen sijainnin vuoksi.

Energiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvien energialähteiden käyttö on avainasemassa fossiilisten polttoaineiden tarpeen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Maalämpö on yksi viime vuosina erityisesti pientaloissa merkittävästi yleistynyt energiamuoto, jolla voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa rakennusten lämmittämiseen. Maalämmön tuottamiseen tarvittavat laitteistot ovat kehittyneet viimeisen vuosikymmenen aikana merkittävästi ja kilpailu ja kasvaneet tuotantomäärät ovat laskeneet laitteistojen hintoja. Kysymys siitä, onko maalämpö jo vaihtoehto lämmönlähteenä kaukolämpöalueella, on tullut ajankohtaiseksi.

Tässä työssä selvitetään, mitkä ovat kaukolämmön ja maalämmön kustannukset taloudellisesta näkökulmasta, ja tarkastellaan vaihtoehtojen ympäristöystävällisyyttä syntyvien hiilidioksidipäästöjen valossa. Työssä myös vertaillaan kaukolämpöä ja maalämpöä lämmönlähteenä ja käsitellään niiden asumisviihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Työssä yritetään saada pohjaa pientalon lämmöntuotantotavan valintaan, avuksi suunnittelijalle sekä rakentajalle.

Tutkimus keskittyy pääkaupunkiseudulle. Lämmönlähteinä tutkitaan kaukolämpöjärjestelmää ja maalämpöjärjestelmää, jossa liuosputket ovat porakaivossa. Pintamaa-asenteista lämmönkeruuputkistoa ei huomioida kustannuslaskelmissa pääkaupunkiseudun tonttien pienen koon vuoksi. Työssä käytetään Espoossa sijaitsevan omakotitalon lämmönkulutustietoja energia- ja hiilidioksidilaskennan pohjana.

Luvussa 2 käsitellään lämmöntuotantotavat ja luvussa 3 perehdytään niiden hankinta- ja käyttökustannuksiin. Luvussa 4 kerrotaan tutkimusmenetelmät ja tulokset esitellään luvussa 5. Johtopäätökset esitetään luvussa 6 ja suositukset luvussa 7.

## 2 Lämmöntuotantotavat

Tässä luvussa käsitellään kaukolämmön ja maalämmön tuottamiseen tarvittavat laitteet ja tekniset ratkaisut.

### 2.1 Kaukolämpö

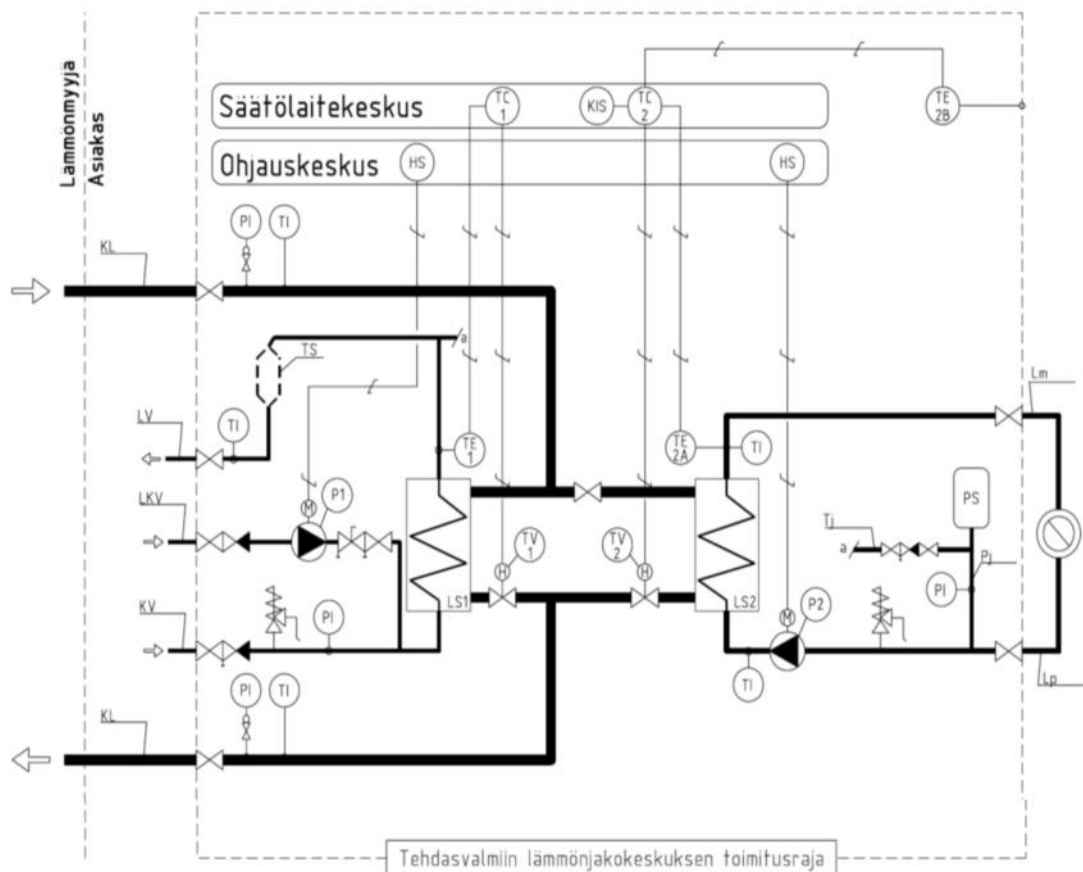
Kaukolämpöä voidaan tuottaa yhdessä sähkön tuotannon kanssa niin sanottuna yhteistuotantona, jossa lämpö tulee sähkön sivutuotteena tai teollisuuden prosessien hukkalämpönä. Lämpöä voidaan tuottaa myös pelkästään lämmöntuotantoon tarkoitetuissa lämpökeskuksissa. Prosessissa voidaan käyttää erilaisia polttoaineita. Fossiilisista polttoaineista käytetään esimerkiksi kivihiiltä, öljyä tai maakaasua. Uusiutuvina polttoaineina käytetään biopolttoaineita, joita ovat puista saatavat osat, peltokasvit ja biokaasu. Myös turvetta voidaan käyttää kaukolämpölaitosten polttoaineena (1, s. 6). Noin 80 % Suomen kaukolämmöstä saadaan yhteistuotantolaitoksista, teollisuuden ylijäämälämpönä tai kaatopaikkojen biokaasun poltosta (2).

Kaukolämpövesi kulkee omassa kaukolämpöverkostossa. Tätä verkostoa pitkin kaukolämpövesi jaetaan kuluttajille. Kuluttajalla on lämmönjakohuoneessa lämmönsiirtimet, joilla lämpö siirretään kuluttajan verkostoon. Kaukolämpövesi ja kuluttajan oman verkoston lämmitysvesi eivät sekoitu missään vaiheessa. (1, s. 5.)

Espoon tuotantoalueella, joka käsittää Espoon, Kauniaisen ja Kirkkonummen, yhteistuotantolaitos sijaitsee Espoon Suomenojalla. Laitos tuottaa kaukolämpöä alueen asukkaille ja sähköä valtakunnan verkkoon. Kun lämmöntarve on suurin, tuotetaan lämpöä myös erillisillä lämpölaitoksilla, jotka sijaitsevat eri puolilla kaukolämpöverkkoa. Suomenojalla yhteistuotanto tehdään viidessä voimalaitoksessa. Voimalaitostyyppit ovat höyryvoimalaitos, kombivoimalaitos, leijupolttokattilalaitos, kaasuturbiinilaitos ja apukattila. Suomenojan voimalaitos tuottaa tällä hetkellä sähköä noin 1 800 gigawattituntia vuodessa ja kaukolämpöä noin 2 200 gigawattituntia vuodessa. Espoossa, Kauniaisissa ja Kirkkonummella kaukolämpöverkostoa on yhteensä tällä hetkellä 800 km. (6.) Näistä suurin osa Espoon alueilla. Espoossa Kehä-III:n eteläisellä puolella verkko on hyvinkin kattava. Kehä-III:n ulkopuolella kaukolämpöverkostoa ei ole rakennettu kuin Juvanmalmin ja Kalajärven alueille. (7.) Suomenojan yhteistuotantolaitoksessa käytetään polttoaineina kivihiiltä, maakaasua sekä öljyä (6).

### 2.1.1 Kaukolämpölaitteet

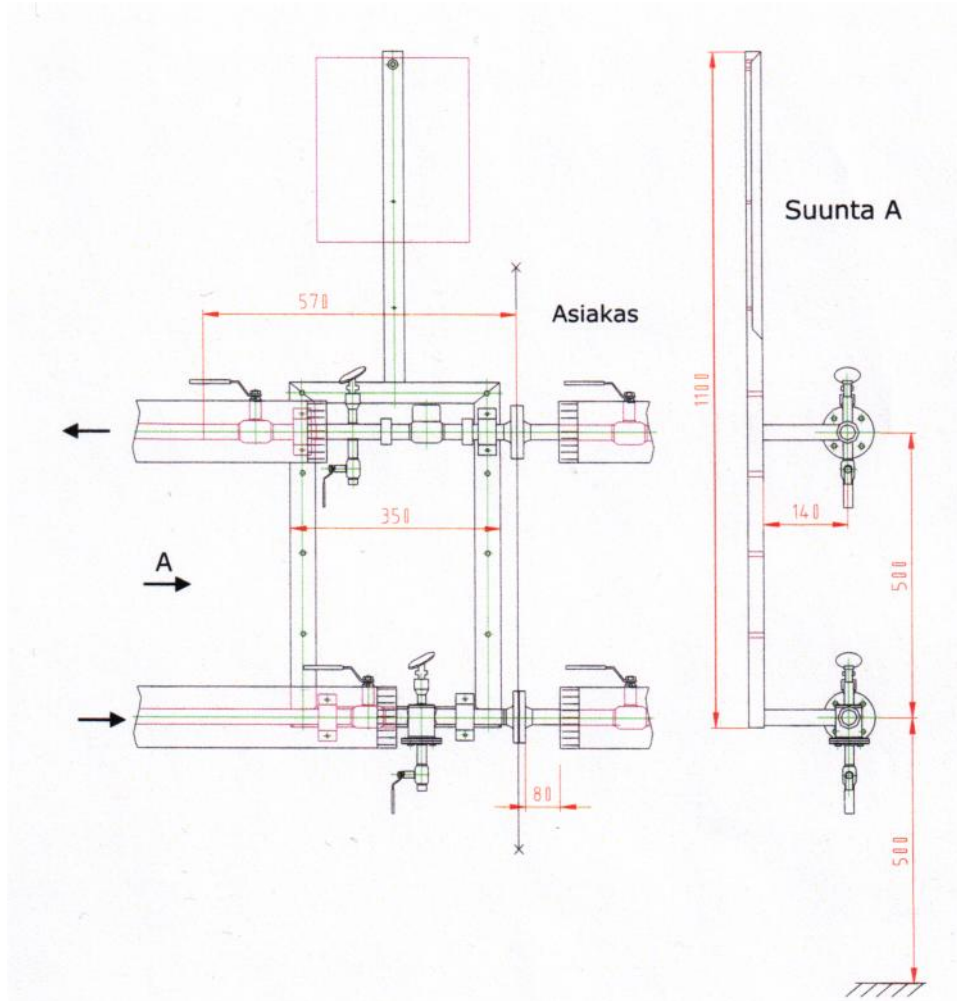
Kaukolämmön laitteisiin kuuluvat lämpölaitoksen mittauskeskus ja asiakkaan lämmönjakokeskus. Suomessa lämmönjakoverkkoon liitytään niin sanotulla epäsuoralla kytkennällä, järjestelmässä käytetään kiinteistökohtaisia lämmönsiirtimiä. Lämmönjakokeskukseen kuuluu lämmönsiirtimet, pumput, säätöventtiilit, sulkuventtiilit ja erilaiset tarkastuslaitteet esimerkiksi lämpö- ja painemittarit sekä putkitus. Lämmönjakokeskukset ovat yleensä tehtaalla koottuja valmiita paketteja, jotka sisältävät edellä mainitut laitteet ja tarvikkeet. Lämmönsiirtimien lukumäärä määräytyy asunnon lämmityspiirien määrän mukaan. Tavallisimmin niitä on kaksi, käyttöveden lämmönsiirrin ja lämmityksen lämmönsiirrin. Pumput ja säätölaitteet kertautuvat lämmönsiirrinten lukumäärän mukaan. (5.) Kuvassa 1 on esitetty lämmönsiirtimen kytkentäkaavio.



Kuva 1. Pientalokytken säätökaavio (60).

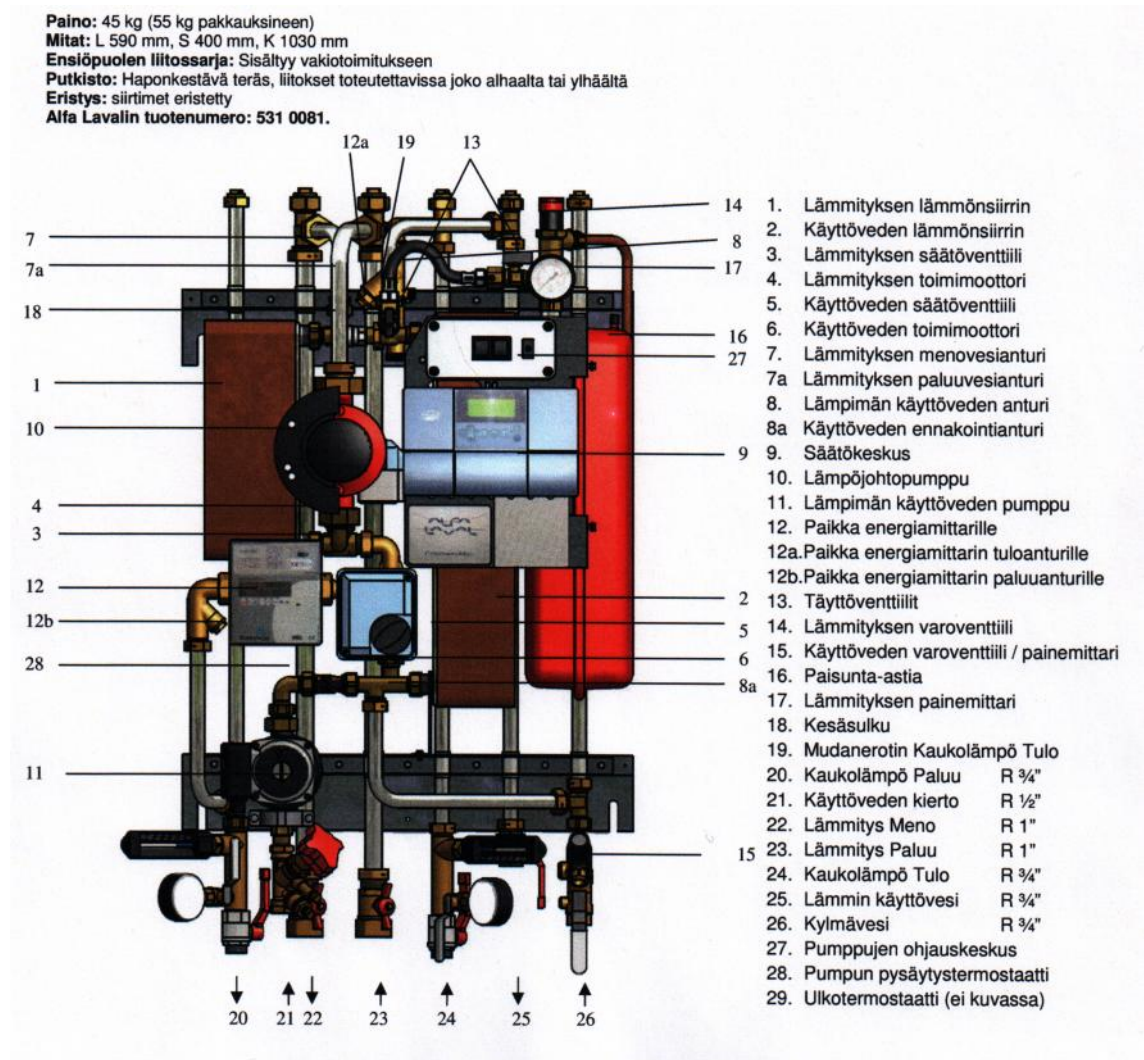


Mittauskeskuksen, (kuva 2), varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat pääsulkuventtiilit, kanakkeet, lämpömäärälaskin, mahdollinen virtauksen tai tehon rajoitin, lianerottimet, virtausanturi, lämpötila-anturit, putket ja putkiliitokset, sähköiset liitännät, sekä eristys. Mittauskeskuksen eteen on jätettävä huoltotilaa noin 800 mm ja sivuille 600 mm. Laitetilan korkeudeksi suositellaan vähintään 2000 mm korkeutta. Teknisen tilan lämpötilan pitää pysyä välillä 5...35 °C, missään oloissa lämpötila ei saa laskea alle 0 °C:n (17.)



Kuva 2. Mittauskeskus (17).

Lämmönjakokeskukset ovat yleensä tehtaalla valmiiksi koottuja paketteja, (kuva 3). (5). Lämmönjakokeskuksen varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat elektroniset säätölaitteet, lämmityksen ja käyttöveden kiertopumput, pistotulppa sähköliitääntä varten, sulku- ja säätöventtiilit, painemittarit, lämpömittarit, lämpötila-anturit, paine-erosäädin, paisunta-astia, varoventtiilit, täyttöventtiili sekä ohjauskeskus. (18).



Kuva 3. Lämmönjakokeskus (29).

Lämmönjakokeskukset on nykyään saatu pakattua hyvinkin pieneen tilaan, siitä huolimatta lämmönjakohuoneessa pitää olla tilaa huoltotöitä ja muita laitteita varten. Lämmönjakohuoneen kooksi suositellaan omakoti- ja pientalossa vähintään 1200 x 1600 mm:n kokoista tilaa. (30). Kuvassa 4 on esitetty laitteet, jotka voidaan sijoittaa lämmönjakohuoneeseen. Sähköpääkeskus, puhelinliitäntärasia ja antennilaitteet voidaan myös sijoittaa toiseen, niille osoitettuun tilaan.



Kuva 4. Lämmönjakohuoneen mitoitus (30).

### 2.1.2 Kaukolämpöön liittyminen

Yleensä kaukolämmön hankintakustannukset määräytyvät tilaustehon mukaan. Kustannuksiin lasketaan kiinteä liittymismaksu ja liittymistehoon sidonnainen kiinteä teho-maksu. Tästä poiketen esimerkiksi Espoo on vuoden 2012 lopussa siirtynyt kiinteään

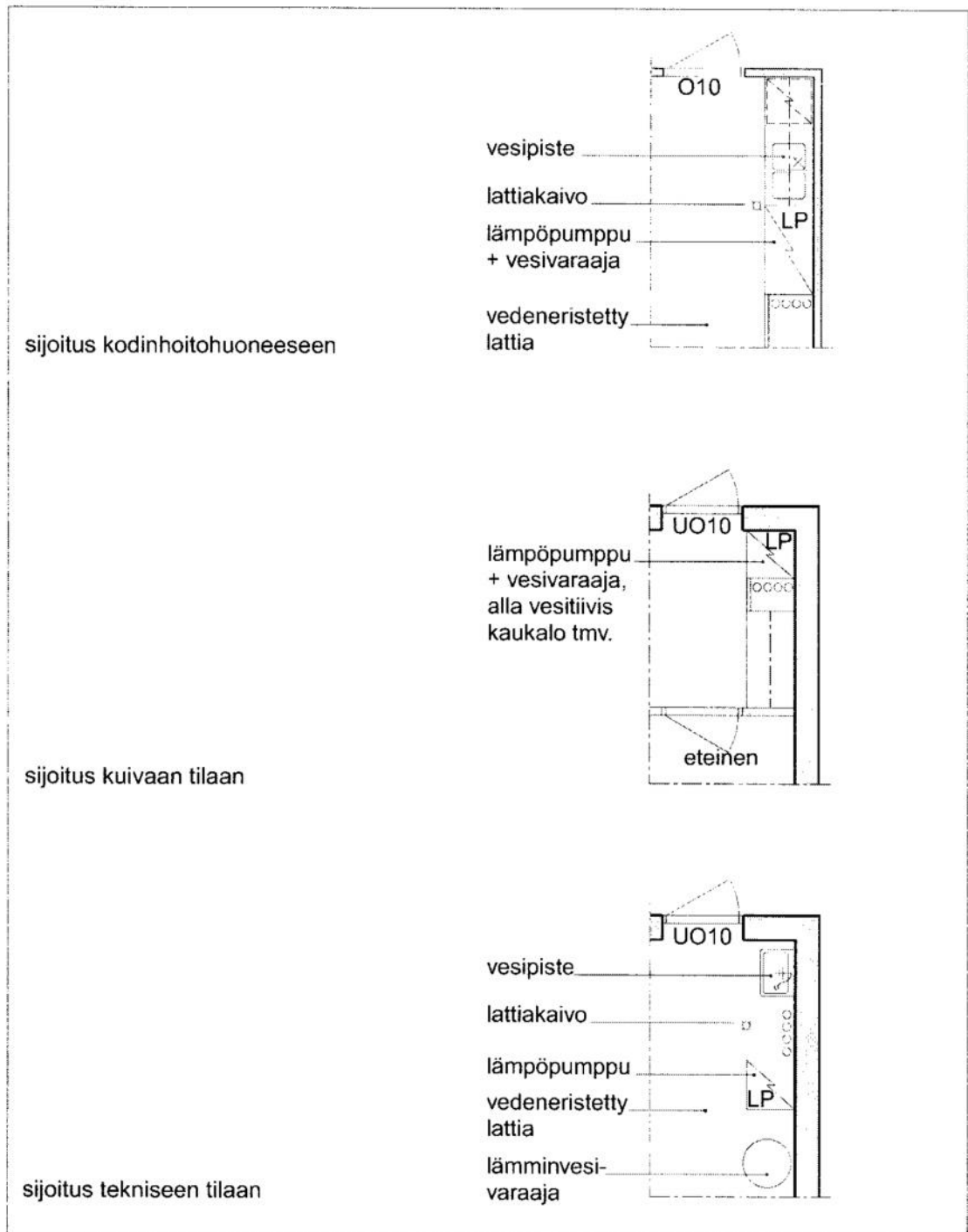
liittymismaksuun, joka kattaa kaukolämmön rakennuskustannukset, putkitukset ja mittalaitteistot (16).

## 2.2 Maalämpö

Maalämpöpumput hyödyntävät maahan varastoitunutta auringon energiaa. Lämpöä voidaan kerätä porakaivoon, pintamaahan tai vesistöön sijoitetulla putkistolla. (3). Geotermistä lämpöä ei voida käyttää maalämpöpumppujen lämpöenergiaksi Suomessa. Suomessa kallioperä on liian kylmä. Pientalon lämpökaivoilla olisi mahdotonta yltää tarpeeksi syvälle. Maissa, joissa on vulkaanista toimintaa, geotermisten kaivojen syvyys on minimissäänkin kaksi kilometriä. (52).

### 2.2.1 Maalämpöpumpun laitteet

Maalämpöpumpun laitteisiin kuuluvat kompressori, lauhdutin, varaajapiirin pumppu, nestesäiliö, paisuntaventtiili, höyrystin, lämminvesivaraaja, käyttövesikierukka ja mahdollinen sähkövastus. (31) Omakotitalolaitteisto saadaan mahtumaan tilaan, jonka mitat ovat seuraavat: leveys 600 mm, syvyys 645 mm ja korkeus 1800 mm (34). Lisäksi asunnoissa joissa veden kulutus on suuri, kuten talot joissa on kylpyamme, suositellaan erillistä lämminvesivaraaja (35), jonka koko on esimerkiksi syvyys 695 mm, leveys 695 mm ja korkeus 1700 mm (36). Lisäksi tarvitaan tilaa liuospiirin pumpulle ja paisuntasäiliölle. Maalämpöpumppulaitteistot voidaan sijoittaa erilliseen tekniseen tilaan, kodinhoitohuoneeseen tai vaikka talon eteiseen (33). Kuvassa 5 on esitetty vaihtoehtoisia maalämpöpumpun sijoituspaikkoja asunnossa.



Kuva 5. Maalämpöpumpputjärjestelmän sijoitus (33).

### 2.2.2 Maalämpöpumpun toiminta

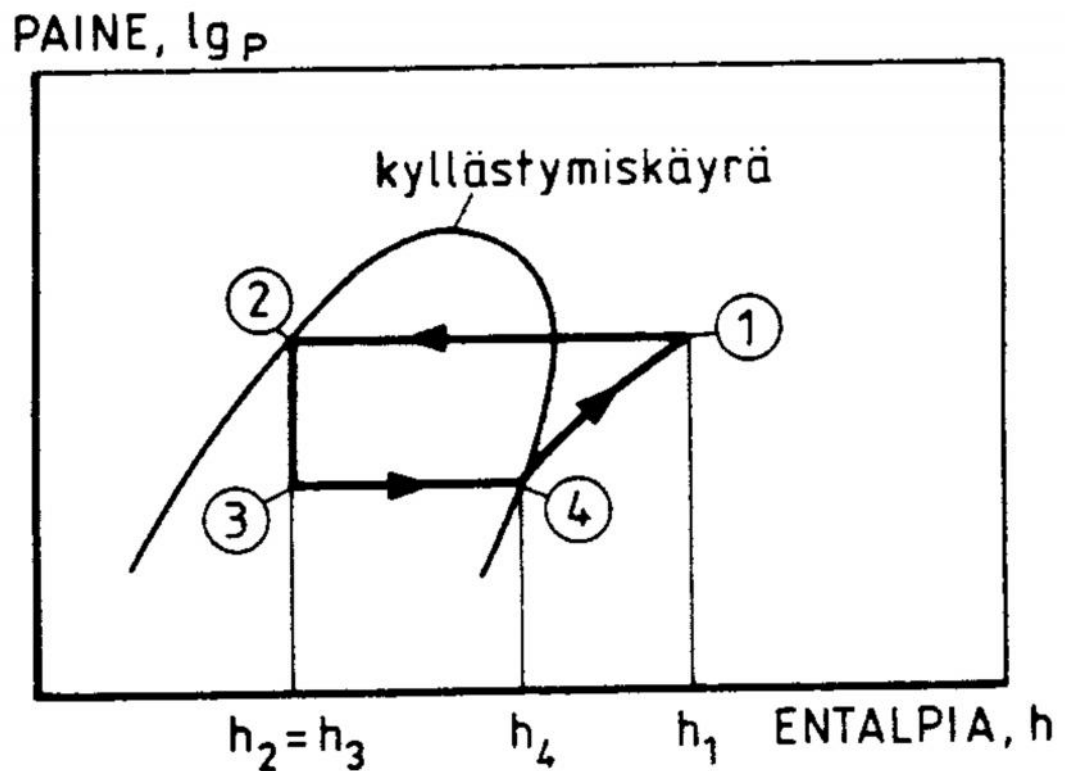
Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon suljetussa prosessissa. Lämmönkeruuneste lämpenee lämmönkeruu putkistossa, josta se johdetaan lämpöpumpulle. Lämpöpumpun lämmönsiirtoprosessiin kuuluvat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja

paisuntaventtiili. Keruupiirin liuoksen lämpö höyrystää lämpöpumpun kylmäaineen höyrystimessä. Tämän jälkeen kylmäaineen painetta nostetaan kompressorilla. Kompressorii imee höyryä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyryn lämpötila kohoaa. Seuraavaksi kuuma höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa kylmäaine lauhtuu eli muuttuu takaisin nesteeksi ja luovuttaa samalla lämpöä. Paisuntaventtiili säätelee nesteen virtausta lauhduttimelle. (3, 5, 53). Tämän jälkeen kierto alkaa alusta. Neljän pääkomponentin lisäksi lämpöpumpussa voi olla toimintaa tehostavia lisälaitteita, jotka eivät kuitenkaan ole välttämättömiä. Näitä ovat imukaasun lämmitin eli lauhteen alijäähdytin, sisäinen lämminvesivaraaja ja tulistin. Lisälaitteilla saadaan lämpöpumpusta ulos suuremmat tehot, parannetaan lämpökerrointa ja lämmitetään käyttövedettä. (12).

Tulistusta käytettäessä käyttöveden lämpötilaa voidaan nostaa korkeammaksi. Esilämmitetty käyttövesi kuumennetaan lopulliseen lämpötilaansa tulistusvaihtimen lämmittämässä kattilan yläosassa. Kylmäaine kulkee kompressorin jälkeen tulistimelle, kun höyrynä oleva kylmäaine, on kuuminta. Sen jälkeen höyry jatkaa lauhduttimelle josta hieman jäähtyneenä. Tästä saadaan kuitenkin vielä käyttöveden esilämmitys ja lämmityspiirin lämmitys. Tulistuspiiriä käytettäessä ei tarvita erillistä sähkövastusta käyttöveden lisälämmitykseen. (13). Lämpimän käyttöveden lämpötilan ollessa liian alhainen, alle 46 °C astetta, vedessä alkaa kasvaa legionella-bakteeria. Lämpötilan ollessa yli 46 °C astetta legionella-bakteeri alkaa kuolla. Käyttövesijärjestelmässä on ylläpidettävä 50 °C asteen lämpötilaa, tällöin legionella-bakteeri on kuollut eikä lisääntynyt. Hetkittäinen lämpötilan nosto ei tapaa kaikkia bakteereita, jos lämminvesijärjestelmän lämpötilaa pidetään järjestelmällisesti alhaisempana kuin 46 °C astetta. (57).

Lämmönjakotavoista paras on vesikiertoinen lattialämmitys matalan toimintalämpötilansa takia. Perinteinen patterilämmitys on myös mahdollinen, mutta se ei ole lämpöpumpun tehokkaan toiminnan kannalta paras. (15). Kuvassa 6 on esitetty maalämpöjärjestelmän komponentit.





Kuva 7. Carnot-prosessi (ideaalinen) (5).

Prosessin lämpökerroin voidaan määrittää yhtälöllä 1 (41).

$$\varphi_C = \frac{T_L}{T_L - T_H} = 1 + \frac{T_H}{T_L - T_H} = \frac{\phi_L}{\phi_L - \phi_H} \quad (1)$$

Yhtälössä  $\varphi_C$  on prosessin lämpökerroin (-)

$T_L$  lauhtumislämpötila (K)

$T_H$  höyrystymislämpötila (K)

$\phi_L$  lauhdutinteho (W)

$\phi_H$  höyrystinteho (W).

Höyrystinteho voidaan määrittää kaavalla 2

$$\phi_H = q_m \Delta h_H \quad (2)$$

$q_m$  on kylmäaineen massavirta (kg/s)

ja  $\Delta h_H$  on kylmäaineen höyrystymiseen tarvittava entalpia (kJ/kg). (41).



Lauhdutinteho voidaan määrittellä kaavalla 3

$$\dot{\Phi}_L = \dot{q}_m \Delta h_L \quad (3)$$

jossa  $\Delta h_L$  on kylmäaineen lauhtumiseen tarvittava entalpia (kJ/kg). (41).

Todellinen prosessi ei kuitenkaan mene kuten ideaalinen Carnot-prosessi, jonka lämpökerroin esitettiin yhtälössä (1), koska todellisessa prosessissa on aina lämpöhäviöitä ja painehäviöitä sekä apulaitteiden häviöitä. (5).

Todellinen lämpökerroin täytyy määrittää yhtälöllä 4

$$\varphi = \frac{\dot{\Phi}_{lp}}{P_k + P_a} = \frac{\dot{\Phi}_{lp}}{P_{lp,otto}} = \frac{Q_{lp}}{W_k + W_a} \quad (4)$$

jossa  $\varphi$  on todellisen prosessin lämpökerroin (-)

$\dot{\Phi}_{lp}$  lämpöpumpusta hyödyksi saatu lämpöteho (W)

$P_k$  on kompressorin teho (W)

$P_a$  on apulaitteiden teho (W)

$P_{lp,otto}$  on maalämpöpumpun ottoteho (W)

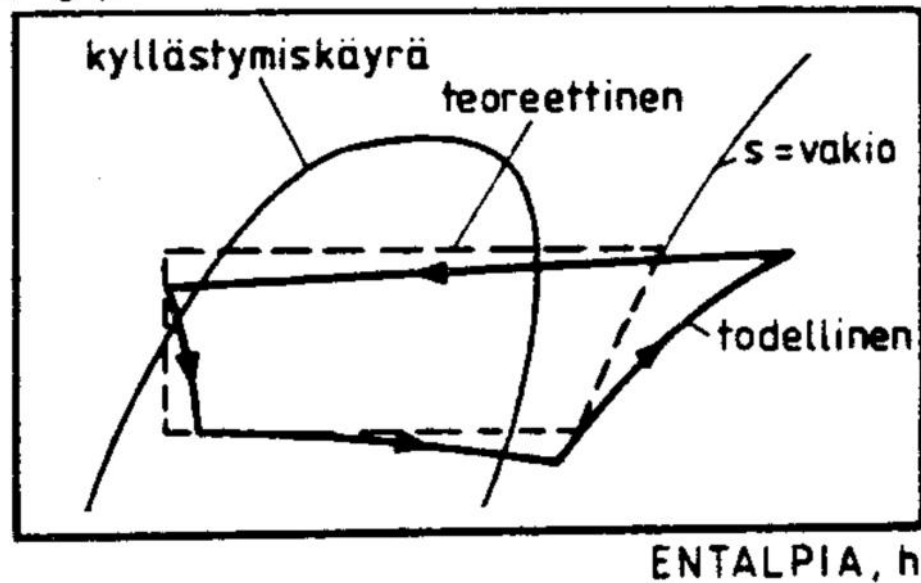
$W_k$  on kompressorin energia (kWh)

$W_a$  on apulaitteiden energia (kWh)

$Q_{lp}$  on lauhduttimesta saatava energia (kWh).

Apulaitteiksi voidaan laskea lauhdutin- ja höyrystinpiirien pumppujen ja puhaltimien tehot sekä maaliuosumpun teho, automatiikan teho ja kompressorin lämpövastusten teho. (5). Kuvassa 8 on esitetty todellinen Carnot-prosessi.

PAINE, lg p



Kuva 8. Carnot-prosessi (todellinen) (5).

#### 2.2.4 Maalämpöpumpun energiantuotto

Maalämpöpumpun energiantuotto muodostuu kompressorin kuluttamasta sähköenergiasta ja lämmönkeruupiiristä saatavasta lämmöstä. Maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia voidaan laskea kaavalla (5).

$$Q_{lp} = Q_{keruupiiri} + W_k + Q_{häviöt} \quad (5)$$

$Q_{lp}$  on lämpöpumpun tuottama energia (kWh)

$Q_{keruupiiri}$  on lämmönkeruupiirin luovuttama lämpöenergia (kWh)

$W_k$  on kompressorin sähköenergian kulutus (kWh)

$Q_{häviöt}$  on prosessissa tapahtuvat lämpöhäviöt (kWh). (42).

Lämpöpumppujärjestelmään kuuluvien muiden osien kontrolloimattomat häviöt saattavat olla suuret. Häviötä tapahtuu esimerkiksi huonosti eristetyistä lämmönsiirtoputkista ja kookkaista varaajista. Lämmityskaudella osa tästä lämmöstä saadaan kuitenkin hyödynnettyä. (15). Edellisistä syistä johtuen jätetään prosessissa tapahtuvat lämpöhäviöt huomioimatta, tällöin kaava 5 voidaan kirjoittaa muotoon 6, vaikka se aiheuttaa laskelmiin pientä virhettä.

$$Q_{lp} = Q_{keruupiiri} + W_k \quad (6)$$

Jos lämpöpumppu toimii niin, että se käy joko täydellä teholla tai ei käy ollenkaan niin sanotulla on-off-säädöllä voidaan lämpöpumpun tuottama energia laskea kaavalla 7.

$$Q_{lp} = \phi_{lp} \cdot \Delta t_{käynti} \quad (7)$$

$\phi_{lp}$  on lämpöpumpun teho (kW) ja

$\Delta t_{käynti}$  on lämpöpumpun käyntiaika (h)

### 2.2.5 Lämmönkeruu

Maalämpöpumpun lämmönkeruupiirinä voidaan käyttää pintamaahan asennettavaa piiriä. Pintamaahan asennettava piiri tarvitsee pinta-alaa noin  $1,5 \text{ m}^2$  putkimetriä kohden. Lämmönkeruuputki asennetaan noin metrin syvyyteen maan alle kohteen maantieteellisestä sijainnista riippuen. (8). Putkista saatava keskiteho on noin 5...15 W/m. Tehoon vaikuttavat maaperän laatu ja kosteus. (5). Keruupiiri mitoitetaan maaperän laadun ja kosteuden perusteella. Piiri pitäisi myös hieman ylittää, vaikka putkiston ja pumpun hankintakustannukset silloin kasvavatkin. Alimitoitettu lämmönlähde hiipuu ajan mittaan jolloin lämmöntuotto vähenee. (9).

Lämmönkeruupiirin voi asentaa myös vesistöön. Lämmönlähteenä käyvät merenranta, järvet ja lammet, joiden syväys jo rannan läheisyydestä olisi vähintään kaksi metriä. Syvyyttä vaaditaan siksi, että putket voidaan viedä veteen routarajan alapuolella. Vesistön syvyyden tulisi olla kuitenkin vähintään kolme metriä, etteivät jäät riko putkistoa. Putket on kiinnitettävä huolellisesti pohjaan, ja rantaan tulee pystyttää kyltit ankkurointikiellosta. (9).

Maalämpöä voidaan kerätä myös kallioperästä. Kallioon porataan lämpökaivo, johon lämmönkeruuputkisto lasketaan. (9). Kallioperän lämmönkeruukapasiteetti riippuu kalliion kivilaadusta. Geologian tutkimuskeskuksen GTK:n Termisen vastetestin eli TRT-mittauksien mukaan Suomen kallioperän kivilajien lämmönjohtavuuksissa on eroja. TRT-mittauksessa mitataan, kuinka paljon kallioperä pystyy vastaanottamaan lämpöä.

Mittaustuloksista saadun tiedon perusteella määritetään kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus. Esimerkiksi graniitin keskimääräinen lämmönjohtavuus on suurempi kuin liuskekiven. Tästä johtuen lämmönjohtavuus vaikuttaa lämmönkeruukaivojen määrään ja syvyyteen. (4).

Lämpökaivomitoituksessa vuotuiselle lämmöntuottokyvyille voidaan käyttää ohjeellista arvoa 100 kWh/m,r kaivon syvyysmetriä kohden. Kivilaatu vaikuttaa lämpökaivon lämmöntuottoon. Lämpökaivotoimittajilla on omat laskentaohjelmansa, eri yritykset käyttävät arvoja 120 – 150 kWh/m. Porareian syvyys määritellään rakennuksen tehontarpeen mukaan. (56).

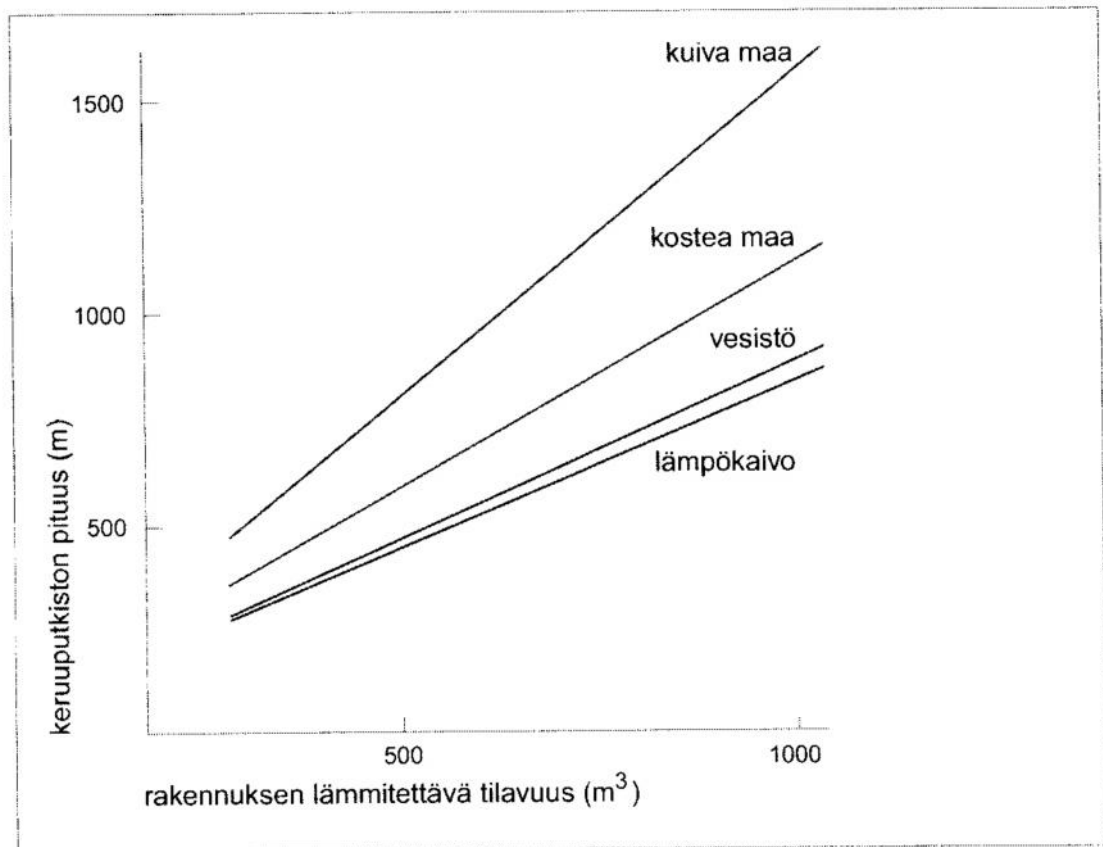
Lämpökaivo sijoitetaan yleensä rakennuksen viereen tehtävään porareikään, jonka syvyys voi olla noin 100 – 250 metriä. Lämpökaivossa on oltava vettä, jotta lämpö siirtyy kallioperästä lämmönkeruuputkistoon. Jos lämpökaivossa ei virtaa pohjavesi, voidaan kaivo täyttää vedellä. Lämpökaivon mitoitus tehdään vanhoihin rakennuksiin olemassa olevien kulutustietojen perusteella. Uudisrakennuksen lämpökaivomitoitus tehdään laskennallisilla perusteilla, esimerkiksi energiatodistuksen perusteella. (10).

Pääkaupunkiseudulla lämpökaivon poraaminen on luvanvaraista. Uudiskohteessa lämpökaivon porauslupa haetaan rakennusluvan yhteydessä. Lämmitystavan muutoksessa haetaan toimenpidelupa. (54). Taulukossa 1 on esitetty Espoon rakennusvalvonnan lupahakemusliitteen mukaiset lämpökaivon etäisyydet.

Taulukko 1. Lämpökaivon etäisyydet (55).

Kohde ympäristössä	Minimietäisyys
Lämpökaivo- ja kenttä	15 m
Porakaivo, talousvesi	40 m
Rengaskaivo, talousvesi	20 m
Rakennus	3 m
Tontin raja	7,5 m
Viemärit ja vesijohdot	5 m
Tunnelit ja luolat	25 m
Kaikki jätevedet, puhdistamot	30 m
Harmaat jätevedet, puhdistamot	20 m

Lämpökaivon etuina esimerkiksi vaakaputkistoon verrattuna on se, että lämpökaivosta saadaan kaksinkertainen energiansaanti putkimetriä kohden. Järjestelmä on helposti ilmattavissa. Se mahtuu pienellekin tontille, ja kesäaikaan lämpökaivoa on mahdollista käyttää jäähdytykseen. (9). Kuvassa 9 on esitetty eri putkipituuksien suhdetta rakennuksen lämmitettävään tilavuuteen.



Kuva 9. Putkipituuksia eri lämmönkeruujärjestelmillä (9).

### 2.3 Käyttömukavuus

Kaukolämpölaitteet pitää tarkastaa vuoden välein laitteistojen iän ollessa alle kymmenen vuotta. Kun kaukolämpölaitteiden ikä on 10 ja 20 ikävuoden välillä, kaukolämpölaitteiden kunto täytyy tarkastaa neljän kuukauden välein. Kaukolämpölaitteiston iän ylittäessä 20 vuotta laitteistot tulee tarkistaa kuukauden välein. Maalämpöpumppulaitteistojen kunto on hyvä tarkastaa kuukauden välein. (31).

Kaukolämpölaitteet eivät toimi sähkökatkon aikana, mittauskeskuksen venttiili sulkee kaukolämpöveden kierron, jolloin lämmitys ei toimi eikä lämmintä käyttövettä tule. Myös maalämpöjärjestelmä lakkaa toimimasta sähkökatkon aikana. Lämmintä käyttövettä saadaan kuitenkin niin pitkään kuin varaajassa riittää lämmintä vettä.

Kaukolämpölaitteille tarvitaan oma erillinen tekninen tila, kun taas maalämpölaitteiden sijoittelu on asunnossa vapaampaa. Erillistä teknistä laitetilaa ei välttämättä tarvita. Kumpikin järjestelmä on kuitenkin hyvä saada lattiakaivolliseen tilaan mahdollisten vuotojen varalta. Maalämpöjärjestelmälle saattaa riittää myös vesitiivis kaukalo, josta vuodot havaitaan. Kaupungin tai kunnan rakennusvalvonnasta annetaan tarkemmat ohjeet maalämpöjärjestelmän sijoittamisesta.

### 3 Hankinta- ja käyttökustannukset

Lämmönjakokeskusten ja maalämpöpumppujen hintatiedot eri yrityksiltä on pyydetty esimerkkitilanteena olevan omakotitalon tehotietojen mukaan. Esimerkkikohteen laskennalliset tehontarpeet ovat lämminkäyttövesi 57 kW, lattialämmitys 11 kW ja ilmanvaihto 5 kW.

#### 3.1 Kaukolämpö

##### 3.1.1 Laitteet

Lämmönjakokeskusten hinta määräytyy markkinatilanteen mukaan. Lämmönjakokeskuksen hintaan kuuluvat luvussa 2.1.1 mainitut laitteet ja varusteet. Taulukossa 2 on esitetty suurimpien valmistajien hinnat lämmönjakokeskukselle. Ilmanvaihdon jälkilämmitys on mahdollista hoitaa omalla siirtimellään, kuten on tehty esimerkkitilanteessa, joten hintavertailuun on otettu myös kolmipiirinen kaukolämmön alajakokeskus.

Taulukko 2. Lämmönjakokeskuksen hinta. (26, 27, 28).

	2-piirinen	3-piirinen
Yritys	€, alv 24 %	€, alv 24 %
Alfa Laval	2 852 €	4 216 €
Oy Danfoss Ab	3 100 €	3 968 €
HögforsGST Oy	3 038 €	4 154 €

### 3.1.2 Liittymät

Useimmilla lämmöntoimittajilla liittymän hinta määräytyy tilaustehon ja kiinteän liittymismaksun yhteen laskemisesta. Helsingissä Helsingin Energia määrittää liittymämaksun vesivirran ja perusmaksun mukaan, (ks. taulukko 3). (20, 21). Espoossa, Kauniiaisissa ja Kirkkonummella Fortum Oy on ottanut käyttöön vuoden 2012 lopussa kiinteähintaisen liittymämaksun, jossa liittymän hinta määräytyy rakennuksen tehontarpeen mukaan (taulukko 4). Vantaalla, Vantaan Energian liittymismaksu määräytyy sopimustehon mukaan, mikä määrittää maksun vakio-osan ja tähän lisätään muuttuva osa tehojen lisääntyessä (taulukko 5). Liittymismaksut sisältävät kaukolämpöjohdotusta tietyn metrimäärän. Tämän ylittyessä lisämetreille on oma hintansa hinnastossa. (19).

Taulukko 3. Kaukolämpöliittymät, Helsinki. (20, 21).

Helsinki		1.2.2013 alkaen			
Liittymä tyyppi	Vesivirta enintään m <sup>3</sup> /h	Liittymismaksu Perusmaksu € alv 24 %	Vesivirtamaksu €/m <sup>3</sup> /h alv 24 %	Liittymismaksuun kuuluva johtopituus, m	Johtomaksu Alv 24 % hinta €/m
Kotilämpöliittymä	0,3	5704,00	-	25	130,0
KL-liittymä 2	0,01-2,0	2728,00	5592,40	-	93,0
KL-liittymä 10	2,01-10,0	7774,80	3069,00	-	104,16
KL-liittymä 100	10,1-100,0	21476,80	1698,80	-	110,36

Taulukko 4. Kaukolämpöliittymät, Espoo. (22, 23, 51).

Espoo		30.11.2012	
Sopimusteho kW	Liittymismaksu € alv. 24 %	Liittymismaksuun kuuluva johtopituus, m	Johtomaksu Alv 24 % hinta €/m
0...30	5800	20	300
25-60	9052	20	300
61-190	15500	40	300
191-350	24800	40	300
yli 350	tapauskohtainen	tapauskohtaisesti	

Taulukko 5. Kaukolämpöliittymät, Vantaa. (24)

Vantaa		1.1.2013 alkaen			
Sopimusteho kW	Liittymismaksu		Liittymismaksuun kuuluva johto- pituus, m	Johtomaksu	
	Vakio-osa €	+ Muuttuva osa €/kW		Alv 0 % hinta €/m	Alv 24 % hinta €/m
0...30	4950	-	20	100	124,0
30...100	1860	103,0	20	100	124,0
100...250	2880	92,80	30	110	136,40
250...700	13680	49,60	40	120	148,80
700...	33840	20,80	50	160	198,40

### 3.1.3 Käyttömaksu

Kaukolämmön käyttömaksut koostuvat energiamaksusta ja tehomaksusta. Taulukko 6 on muokattu Energiateollisuus Ry:n ylläpitämästä taulukosta. (43). Taulukossa on esitetty pääkaupunkiseudun kaukolämmöntuottajat.



Taulukko 6. Käyttömaksutaulukko. (43).

		Energia- maksu	Tehomaksu energiayksikköä kohden	Kokonaishinta																								
LÄMMÖNMYYJÄ		€/MWh	€/MWh	€/MWh																								
148.26	Fortum Power and Heat Oy, Espoo	64,36	24,48	88,84																								
005	Helsingin Energia	48,09	28,36	76,45																								
016	Vantaan Energia Oy	63,49	27,23	90,72																								
	Laskennallinen tuntinen		Vuosienergia	Ohjeellinen																								
	tehontarve	vesivirta	MWh	rakennustilavuus																								
	kW	m <sup>3</sup> /h		m <sup>3</sup>																								
Pientalo	10	0,15	18	600																								
<p><b>HUOM!</b></p> <p>Fortum Power and Heat Oy: Fortum Kestolämpö. Tehomaksun perusteena 3 tunnin keskiteho (10, 62 ja 205 kW).</p> <p>Helsingin Energia: Energiamaksussa kausihinnoittelu, listahinta 59,04 €/MWh (1.1.2013)</p> <p>Vantaan Energia Oy: Energiamaksussa kausihinnoittelu, listahinta 73,59 €/MWh (1.1.2013)</p> <p><b>Kausihinnoiteltu energiamaksu</b></p> <p>Kun yrityksellä on energiamaksussa käytössä kausihinnoittelu, taulukkoon lasketaan tilastointijankohtaa vastaava vuosikustannuksia kuvaava energiamaksu.</p> <p>Kausihinnoittelussa energiamaksu riippuu vuodenaajasta ennalta määrättyjen kertoimien mukaisesti. Laskennassa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vuoden kullekin kuukaudelle lasketaan tilastointijankokohdan energiamaksua vastaava kuukausihinta</li> <li>• kuukausihinnoista lasketaan normaalivuoden kuukausikulutusten jakaumalla painotettu keskiarvo</li> <li>• laskennassa käytettävä normaalivuoden kulutusjakauma on:</li> </ul> <table style="margin-left: 40px;"> <tr><td>Tammikuu</td><td>14,5 %</td></tr> <tr><td>Helmikuu</td><td>13,5 %</td></tr> <tr><td>Maaliskuu</td><td>12,6 %</td></tr> <tr><td>Huhtikuu</td><td>9,5 %</td></tr> <tr><td>Toukokuu</td><td>5,5 %</td></tr> <tr><td>Kesäkuu</td><td>2,8 %</td></tr> <tr><td>Heinäkuu</td><td>2,5 %</td></tr> <tr><td>Elokuu</td><td>2,7 %</td></tr> <tr><td>Syyskuu</td><td>4,9 %</td></tr> <tr><td>Lokakuu</td><td>8,0 %</td></tr> <tr><td>Marraskuu</td><td>10,5 %</td></tr> <tr><td>Joulukuu</td><td>13,0 %</td></tr> </table>					Tammikuu	14,5 %	Helmikuu	13,5 %	Maaliskuu	12,6 %	Huhtikuu	9,5 %	Toukokuu	5,5 %	Kesäkuu	2,8 %	Heinäkuu	2,5 %	Elokuu	2,7 %	Syyskuu	4,9 %	Lokakuu	8,0 %	Marraskuu	10,5 %	Joulukuu	13,0 %
Tammikuu	14,5 %																											
Helmikuu	13,5 %																											
Maaliskuu	12,6 %																											
Huhtikuu	9,5 %																											
Toukokuu	5,5 %																											
Kesäkuu	2,8 %																											
Heinäkuu	2,5 %																											
Elokuu	2,7 %																											
Syyskuu	4,9 %																											
Lokakuu	8,0 %																											
Marraskuu	10,5 %																											
Joulukuu	13,0 %																											

## 3.2 Maalämpö

### 3.2.1 Laitteet

Maalämpöpumpun toimitukseen kuuluvat kuvassa 10 esitetyt varusteet ja laitteet. Laittevalmistajien hinnat on esitetty taulukossa 7. Koska esimerkkikohteessa on amme, hinnat on annettu erillisen lisälämminvesivaraajan kanssa.



Kuva 10. Maalämpöpumppu, IVT Greenline (59).

Taulukko 7. Maalämpöpumpun hinta. (35, 37).

#### Maalämpöpumppujen hintavertailu

Yritys	MLP	Erillisvaraaja	Hinta/€, sis. alv
IVT	Greenline He E11	DS 300 R rst	8200
Danfoss	DHP-L 10 kW	300 l	7400
Danfoss	DHP-L 10 kW+180 l	300 l	8200

#### 3.2.2 Porakaivo

Lämpökaivon hinta määräytyy hyvin pitkälti maa-aineksen mukaan ja siitä kuinka syväksi porakaivo on tehtävä. NB Scandinavia Oy Ab antaa porakaivon noin hinnaksi 200 metrin porauksella 6100 € ja asennukselle noin 3000 €, hinnat sisältävät 24 % alv:n (37).

#### 3.3 Sähkö

Essoossa sähköliittymän hintaan vaikuttaa pääsulakekoko ja kohteen etäisyys lähimmästä 20 kV:n johdosta tai jakelumuuntajasta (58). Kulutussähkön hinta määräytyy sopimushinnasta ja siirtohinnasta. Lisäksi sopimushintaan vaikuttaa sähkötuote. Tuotteena on valittavissa esimerkiksi perussähkö, aikaan perustuva (päivä ja yö) ja kausittainen sähkönkulutus (talvi / muu aika). Taulukossa 8 on Fortum Oy:n tarjoamat erilaiset sähkösopimusmallit. (40).

Taulukko 8. Sähkön hinta, Fortum Oy. (40).

	Yleissähkö	Perusmaksu	Energian hinta
Sähkösopimus	Tarkastelu aika	€/kk	c/kWh
Kesto	3 kk välein	4,02	5,98
Takuu	1 – 2 vuotta	4,02	5,99
Tarkka	4 krt/a	4,02	Pörssisähkö kk-hinta
Tuuli	4 krt/a	4,02	5,95
Vakaa	4 krt/a	4,02	5,89

	Yösähkö	Perusmaksu	Energian hinta, päivä	Energian hinta, yö
Sähkösopimus	Tarkastelu aika	€/kk	c/kWh	c/kWh
Kesto	3 kk välein	4,02	6,39	5,44
Takuu	1 – 2 vuotta	4,02	6,55	5,53
Tarkka	4 krt/a	4,02	Pörssisähkö kk-hinta	Pörssisähkö kk-hinta
Tuuli	4 krt/a	4,02	6,36	5,42
Vakaa	4 krt/a	4,02	6,45	5,43

	Kausisähkö	Perusmaksu	Energian hinta talvi-päivä	Energian hinta muu aika
Sähkösopimus	Tarkastelu aika	€/kk	c/kWh	c/kWh
Kesto	3kk välein	4,02	6,85	5,66
Takuu	1 – 2 vuotta	4,02	6,69	5,63
Tarkka	4 krt/a	4,02	Pörssisähkö kk-hinta	Pörssisähkö kk-hinta
Tuuli	4 krt/a	4,02	6,81	5,63
Vakaa	4 krt/a	4,02	6,86	5,53

### 3.4 Laitteiden huolto ja käyttöikä

Laitteiden säännöllinen huoltaminen pidentää laitteiden käyttöikää. Laitteiden huolto-tarkastus olisi hyvä suorittaa kaksi kertaa vuodessa, ennen lämmityskautta ja lämmityskauden jälkeen. Tarkastukset tehdään silmämääräisesti ja korvakuulolla. Tarkistetaan mahdolliset vuotokohdat, oudot käyntiäänit pumpuissa ja venttiileissä sekä paisunta-astian ja verkoston paineet, että ne ovat suunnitelluissa arvoissaan. (24).

Taulukossa 9 on listattu lämmöntuoton laitteiden tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

Taulukko 9. Tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. (31).

Tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot		
Määritelmä	Keskimääräinen tekninen käyttöikä, a	Tarkastusväli
Lämmönjakokeskus		12kk kun ikä <10 a 4kk kun ikä 10...20 a 1kk kun ikä >20 a
HST-Levyämmönsiirrin	20	
Kupariputkilämmönsiirrin	20	
Kumitiivisteellinen levyLS	10	
Teräspuutkilämmönsiirrin	20...30	
Maalämpöpumput (keräyspiiri ja lämpöpumppu laite)	25...30 Maapiiri, rakennuksen käyttöikä	1kk
Kompressori	10...15	
Laitteet		
Pumput	20...25	12kk
Venttiilit	20...25	12kk
Putkistovarusteet (lämpömittarit, painemittarit, ilmanpoistimet)	uusitaan kun tarve	12kk
Paisunta ja varolaitteet	20...25	12kk

### 3.4.1 Kaukolämpölaitteet

Levylämmönsiirtimien keskimääräinen käyttöikä on 20 vuotta, samoin pumppujen, venttiilien sekä paisunta- ja varolaitteiden. Putkistovarusteiden, joihin kuuluu lämpömittarit, painemittarit, ilmanpoistimet, joustavat liittimet ja lianerottimet, käyttöikä on yleensä vähemmän kuin muiden kaukolämpöpaketin varusteiden. Näiden kunto tarkistetaan vuoden välein ja uusitaan tarvittaessa. (31).

### 3.4.2 Maalämpölaitteet

Lämpöpumppulaitteistolle annetaan keskimääräiseksi käyttöiäksi 25-30 vuotta. Kompressori voidaan joutua vaihtamaan jo 10-15 vuoden käytön jälkeen. Pumppuille, venttiileille, paisunta sekä varolaitteille annetaan noin 20 vuotta keskimääräiseksi käyttöiäksi. (31).

### 3.5 Laskentamenetelmät

#### 3.5.1 Elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskelmilla pyritään arvioimaan järjestelmän kannattavuutta sekä elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia. Laskelmia varten täytyy selvittää investoinnin kulut ja säästöt. Kun tehdään investointipäätöstä on otettava huomioon vain investoinnista aiheutuvat kulut, ei niitä kuluja, jotka tulisivat maksettavaksi investoinnista huolimatta. (44).

Elinkaarikustannukset investoinnille voidaan laskea kaavalla 8.

$$LCC_{TOT} = K_i + K_e + K_h + K_{ku} \quad (8)$$

$LCC_{TOT}$  on investoinnin koko elinkaaren aikana aiheutuvat kustannukset (€)

$K_i$  on investointikustannus (€)

$K_e$  on energiakustannusten nykyarvo (€)

$K_h$  on huoltokustannusten nykyarvo (€)

$K_{ku}$  on kunnossapitokustannusten nykyarvo (€) (14).

Energiakustannusten nykyarvo saadaan kaavalla 9.

$$K_h = E \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = E \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (9)$$

$K_e$  on energiakustannusten nykyarvo (€)

$E$  on vuotuinen energiakustannus (€/a)

$n$  tarkastelujakson pituus (a)

$r$  on reaalikorko (%/100) (14).

Huoltokustannukset ovat järjestelmän ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia (14). Pientalossa huoltotoimenpiteet hoitaa yleensä asukas itse. Huoltokustannuksien nykyarvo voidaan laskea kaavalla 10.

$$K_h = H \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = H \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (10)$$

$K_h$  on huoltokustannusten nykyarvo (€)

$H$  on vuotuinen huoltokustannus (€/a)

$n$  tarkastelujakson pituus (a)

$r$  on reaalikorko (%/100) (14).

Kunnossapitokustannuksiin lasketaan esimerkiksi pumppujen, venttiilien ja muiden laitteiden uusimisesta aiheutuvat kustannukset. Nämä ovat kustannuksia, jotka eivät joka vuosi aiheuta lisäkustannuksia. (14).

Kunnossapitokustannukset diskontataan nykyhetkeen kaavalla 11.

$$K_{ku} = \frac{H_k}{(1+r)^k} = \alpha'_{y,k} H_k \quad (11)$$

$K_{ku}$  on kunnossapitokustannusten nykyarvo (€)

$H_k$  on yksittäinen kunnossapitokustannus (€)

$r$  on reaalikorko (%/100)

$\alpha'_{y,k}$  on inflaation huomioon ottava yksittäisen kunnossapitokustannuksen diskonttauskerroin (-)

$k$  on vuosi nykyhetkestä lukien, johon pääomaerä liittyy (-) (14).

### 3.5.2 Kaukolämmön energialaskenta

Kaukolämmön tarve riippuu rakennuksen energiatarpeesta.

Kaukolämmön **energiakustannukset** voidaan laskea kaavalla 12.

$$K_{energia\ KL} = E_{KL} \cdot H_{KL} \quad (12)$$

$K_{energia\ KL}$  on kaukolämmön kuluttaman energian kustannukset (€/a)

$E_{KL}$  on kaukolämmönenergian kulutus (kWh)

$H_{KL}$  on kaukolämmön energian hinta (€/kWh)

### 3.5.3 Maalämmön energialaskenta

Maalämmön **kuluttama energia** voidaan laskea seuraavasti;

$$K_{energia\ ML} = E_{sähkö} \cdot H_{sähkö} \quad (13)$$

$K_{energia\ ML}$  on maalämmön kuluttaman sähkön energiakustannukset (€/a)

$E_{sähkö}$  on maalämpöpumppujen kuluttama sähköenergia (kWh)

$H_{sähkö}$  on sähköenergian hinta (€/kWh),

Huomioitavaa on, että maalämpöpumppujen kuluttama sähköenergia on vain osa rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiamäärästä, joka määräytyy lämpöpumppujen energiatehokkuuden eli lämpökertoimen mukaan.

### 3.5.4 Rahan arvo ja inflaatio

Rahan arvo muuttuu ajan kuluessa inflaation seurauksena. Inflaatiolla tarkoitetaan rahan ostovoiman heikkenemistä ja siitä johtuvaa hintojen nousua. Inflaation myötä rahan ostovoima heikkenee, eli samalla rahamäärällä ei saa enää ostettua yhtä paljon tuotteita ja palveluita tulevaisuudessa kuin nyt. Samalla rahamääräiset säästöt menettävät arvoaan. Siksi tulevaisuuden tuotot tai kustannukset eivät ole suoraan yhteismittaisia nykyhetken kanssa. Suomen vuotuinen inflaatio vuodesta 2000 alkaen on esitetty taulukossa 10.



Taulukko 10. Suomen vuotuinen inflaatio 2000 – 2012. (62).

Vuosi	Inflaatio
2000	3,4
2001	2,6
2002	1,6
2003	0,9
2004	0,2
2005	0,9
2006	1,6
2007	2,5
2008	4,1
2009	0
2010	0,2
2011	3,4
2012	2,8
Keskimäärin	1,85

Diskonttauksella eli nykyarvomenetelmällä saadaan rahan arvo yhteismitalliseksi nykyhetkeen. Toistuville maksuille ja yhden kerran maksettavalle erälle on eri diskonttauskaavansa. Yksittäisen erän diskonttaustekijä saadaan yhtälöllä 14.

$$a'_{y,k} = \frac{1}{(1+r)^k} \quad (14)$$

$a'_{y,k}$  on inflaation huomioon ottava yksittäisen kunnossapitokustannuksen diskonttauskerroin (-)

r on reaalikorko (%/100)

k vuosi nykyhetkestä lukien, johon pääomaera liittyy (45).

Useampia suorituksia tehtäessä diskonttauskerroin saadaan kaavalla 15.

$$a_n = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (15)$$

$a_n$  on jaksollisten suoritusten diskonttauskerroin (-)

n tarkastelujakson pituus (a)

$i$  on laskennassa käytettävä nimelliskorko (%/100) (45).

Jos laskennassa halutaan käyttää reaalikorkoa voidaan kaava kirjoittaa muotoon

$$a'_n = \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (16)$$

$a'_n$  on inflaation huomioon ottava jaksollisten suoritusten diskonttauskerroin (-)

$n$  tarkastelujakson pituus (a)

$r$  on reaalikorko (%/100) (45).

### 3.5.5 Nimelliskorko

Kannattavuuslaskelmissa käytetty nimelliskorko kertoo investoinnille asetetun tuotto-vaatimuksen (45). Nimelliskorossa huomioidaan rahan arvon aleneminen ajan kuluessa. Nimelliskorolla voidaan muuttaa eri aikajaksojen kassavirrat yhteismitallisiksi. Nimelliskorko ei ota huomioon inflaatiota. Nimelliskorko voidaan määrittää esimerkiksi pankkien koron mukaan. (14).

### 3.5.6 Reaalikorko

Reaalikorossa on inflaation vaikutus poistettu. Reaalikorossa otetaan huomioon inflaation vaikutus, jolloin se poistaa rahanarvon muutokset investointilaskelmista. Reaalikorko saadaan laskettua kaavalla 17 kun tiedetään inflaatio ja nimelliskorko. (45).

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (17)$$

$i$  on nimelliskorko (%/100)

$f$  on inflaatio (%/100) (45).

### 3.6 Energian hinnannousu

Sekä kaukolämmön että sähkön markkinahinta on noussut koko ajan tarkasteluun otettujen vuosien aikana. Vuonna 2011 valmisteveron muutos nosti energian hintoja merkittävästi. (46).

Taulukoissa 11, 12 ja 13 on esitetty hintojen muutos vuosina 2000 – 2011.

Taulukko 11. Kaukolämmön hintakehitys 2000 – 2011 (46).

Kaukolämmön hinnan nousu	
Tarkastelu aika	Hinta €/MWh
1.1.2000	38,2
1.1.2001	40,4
1.1.2002	42,1
1.1.2003	43,8
1.1.2004	44,7
1.1.2005	46,6
1.1.2006	49,3
1.1.2007	51,6
1.1.2008	54,9
1.1.2009	62,3
1.1.2010	62,5
1.1.2011	71,6
Hinnannousu vuodessa (2000 – 2011)	5,9 %
Reaalinen hin- nannousu (2000 – 2011)	2,9 %

Taulukko 12. Kaukolämmön energiamaksun (liittymän kiinteähintainen kuukausimaksu) hintakehitys 2005 – 2012 (47).

Kaukolämmön energiamaksu	
Tarkastelu aika	Hinta €
1.1.2005	33,06
1.1.2006	34,28
1.1.2007	37,58
1.1.2008	39,04
1.1.2009	42,70
1.1.2010	45,38
1.1.2011	55,23
1.1.2012	59,66
Hinnannousu vuodessa (2005 – 2012)	8,8 %
Reaalinen hin- nannousu (2005 – 2012)	2,7 %

Taulukko 13. Sähkön hintakehitys 2000 – 2011 (46).

Sähkön hinnan nousu	
Tarkastelu aika	Hinta c/kWh
1.1.2000	8,48
1.1.2001	8,42
1.1.2002	8,9
1.1.2003	9,39
1.1.2004	10,10
1.1.2005	9,81
1.1.2006	9,97
1.1.2007	10,69
1.1.2008	11,29
1.1.2009	12,45
1.1.2010	12,74
1.1.2011	15,02
Hinnannousu vuodessa (2000 – 2011)	5,3 %
Reaalinen hin- nannousu (2000 – 2011)	2,5 %

## 4 Tutkimusmenetelmät

Työssä vertaillaan kahta eri lämmitysvaihtoehtoa pientaloille pääkaupunkiseudulla kaukolämpöalueella. Tarkasteltavina lämmitysratkaisuina ovat kauko- ja maalämpö. Tarkastelu toteutetaan esimerkkikohteen avulla, jonka toteutuneet energiankulutukset ovat tiedossa. Lämmitysjärjestelmiä vertaillaan toisiinsa niin kustannusten kuin  $CO_2$ -päästöjen osalta.

### 4.1 Tutkimuskohde

Tutkimus tehdään esimerkkikohteen perusteella. Kohteena on omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 2005, sen aikaisia rakentamismääräyksiä noudattaen. Talo sijaitsee pääkaupunkiseudulla Espoossa. Talossa on kerrosalaa  $229 m^2$  ja tilavuutta  $790 m^3$ . Esimerkkikohteessa on kaukolämpö, ja lämmönjakona käytetään vesikiertoista lattialämmitystä. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti lämmöntalteenotolla ja ilmanvaihdon jälkilämmitys hoidetaan vesikiertoisena omalla siirtimellä. Kaukolämmön liittymisteho on 14 kW. Talo sijaitsee niin lähellä kaukolämpölinjaa, että kaukolämmön liittymismaksuun kuuluva 20 metrin johdonpituus ei ylity. Sähköliittymän pääsulakkeet ovat 3 x 25 A. Talossa on kaksi varaavaa tulisijaa, joita on seurantajaksolla käytetty satunnaisesti. Kulutustietojen keruun ajankohtana talossa on asunut ympärivuotisesti nelihenkinen perhe.

#### 4.1.1 Lämmitysjärjestelmä

Esimerkkikohteen vertailtavat lämmitysjärjestelmät koostuvat luvun 2.1.1 mukaisista komponenteista. Vertailussa käytetyt hankintakustannukset on esitetty taulukossa 14. Kaukolämmön osalta liittymismaksu koostuu Fortumin kaukolämpöliittymästä 14 kW:n teholla. Maalämmön osalta liittymismaksut sisältävät Fortumin sähköliittymän lisäkustannuksen siirryttäessä 3 x 25 A pääsulakkeista 3 x 35 A pääsulakkeisiin (47). Pääsulakkeiden mitoitus on esitetty taulukossa 15, joka on tehty huipputehon pohjalta (48).

Taulukko 14. Hankintakustannukset.

Lämpölaitteet	Malli / Toimittaja	Hinta € sis. alv 24%	
		Kaukolämpö	Maalämpö
Lämmönsiirrin	Oy Danfoss Ab 3-piirinen	3968	0
Liittymismaksut	Espoo	5800	600
Maalämpöpumppu	DHP-L 10 kW + 180 l	0	8200
Porakaivo 200m	NB Scandinavia Oy	0	6100
Asennus		3000	3000
Asennustarvikkeet		500	800
<b>Yhteensä</b>		<b>13 268</b>	<b>18 700</b>

Taulukko 15. Sähköliittymän pääsulakkeen mitoitus.

	Kaukolämpö	Maalämpö
Teho: Valaistus (10 w/neliometri)	1,9 kW	1,9 kW
Teho: Lämmitys	0 kW	6 kW
Teho: Sähkölaitteet (6 kW + 20 w/neljometri)	9,8 kW	9,8 kW
Teho: kiuas	6 kW	6 kW
Teho yhteensä	17,7 kW	23,7 kW
Teho per vaihe	5,9 kW	7,9 kW
Virta per vaihe (P/U)	25,6 A	34,3 A

Maalämpöpumpun valmistaja antaa standardin EN14511 mukaiseksi lämpökertoimeksi eli COP arvoksi laitteistolle luvun 3,3. Käytännössä COP-luku jää kuitenkin tätä pienemmäksi. Useat lämmitysjärjestelmän maalämmöksi vaihtaneet ovat raportoineet energiakulutuksen vähentyminen noin 2,5 – 3 osaan aikaisemmasta. Tästä syystä laskelmissa käytettiin COP-arvoa 2,7.

#### 4.1.2 Energiankulutus

Esimerkkikohteesta on saatavissa yksityiskohtaiset mitatut energiakulutustiedot. Energia- ja kannattavuuslaskelmien perustana käytetään viimeisimpien kolmen vuoden keskiarvoa. Toteutuneita lukuja käytetään kaukolämmön ja maalämmitysjärjestelmän vertailussa toisiinsa. Vertailussa on oletettu, että kohteen muuhun kuin lämmitykseen kuluvan sähkön osuus pysyy aikaisemman kulutuksen mukaisena. Vertailussa käytetyt energiankulutukset löytyvät taulukosta 16.

Taulukko 16. Esimerkkikohteen energiankulutus viimeisimpien kolmen vuoden ajalta.

Kaukolämpö				
Vuosi	2010	2011	2012	Keskiarvo
Kulutus MWh	26,20	24,94	24,88	25,34

Sähkö				
Vuosi	2010	2011	2012	keskiarvo
Kulustus kWh	9772	9439	9765	9659

#### 4.1.3 Energian hinnat

Laskelmissa käytettiin taulukon 17 mukaisia sähkön ja kaukolämmön hintoja ja liittymien kuukausimaksuja.

Taulukko 17. Laskelmissa käytetyt energian hinnat.

Energiakustannukset	Energia €/MWh	Siirtohint €/MWh	Sähkövero €/MWh	<b>Yhteensä</b> €/MWh
Sähkö	59,8	31,3	20,95	<b>112,05</b>
Kaukolämpö	64,36			<b>64,36</b>
Kuukausimaksut	€/kk	€/kk		
Sähkö	4,02	2,93		<b>6,95</b>
Kaukolämpö	53,42			<b>53,42</b>

#### 4.1.4 Huoltokustannukset

Laskelmissa oletetaan, että asukas itse tekee normaalit tarkastukset ja tarvittavat puhdistus- ja pienet huoltotoimenpiteet. Käytännössä maalämpöpumput ja lämmönsiirtimet on tehty kestämään aikaa ja ne ovat lähes huoltovapaita. Tästä syystä vuotuiset huoltokustannukset laskettiin melko pieniksi. Maalämmön osalta vuotuisina huoltokustannuksina käytettiin 150 €:a, minkä katsottiin kattavan elinkaaren aikana mahdolliset pienet korjaustyöt.

Kaukolämmön laitteistojen yksinkertaisemmasta rakenteesta johtuen huoltokustannukset arvioitiin hieman pienemmiksi. Kaukolämmön osalta vuotuisina huoltokustannuksina käytettiin 100 €, minkä niin ikään katsottiin riittävän tarvittaviin pieniin korjaustöihin.

#### 4.1.5 Elinkaarikustannusten laskenta

Elinkaarikustannukset lasketaan ensimmäisessä tarkastelussa 20 vuoden jaksolle. Jakson kesto on valittu sen perusteella, että laitteiden tekninen ikä on noin 20 vuotta. Elinkaarikustannukset lasketaan myös 50 vuoden ajalle sillä olettamalla, että järjestelmä uusitaan 25 vuoden kohdalla. Uusintainvestoinnin hintana käytettiin taulukon 14 hintoja. Järjestelmää uusittaessa ajatellaan, että olemassa oleva porakaivo voidaan hyödyntää eikä liittyviä tarvitse uusia, joten näistä ei synny kustannuksia. Laitteistojen asennuksen ja hankintakustannusten on oletettu pysyvän reaalisesti nykyisellä tasolla.

Vertailun vuoksi elinkaarikustannukset lasketaan 50 vuoden ajalle niin, että kaukolämpö vaihdetaan maalämpöjärjestelmään. Kaukolämpölaitteet vaihdetaan toiseen järjestelmään käyttöiän mennessä umpeen.

Elinkaarikustannuksia laskettaessa käytetään kaavaa 9, jolla lasketaan investoinnin koko elinkaaren kustannukset. Sähkön ja energian kustannusten odotetaan nousevan hieman hitaammin kuin viimeisen kymmenen vuoden aikana. Taulukosta 11 nähdään, että kaukolämmön hinta on noussut keskimäärin 2,9 % viimeisen kymmenen vuoden aikana. Sähkön hinta, taulukon 13 mukaan, on noussut 2,5 %. Elinkaarikustannuslaskennassa on kuitenkin käytetty maltillisempia arvioita energian hintakehitykselle. Tämä siitä syystä, että viimeisen kymmenen vuoden aikana hintakehitys on ollut historiallisesti tarkasteltuna erittäin nopeaa. Oletusarvoisesti energian hinta tulee kuitenkin tulevaisuudessa kallistumaan. Näköpiirissä ei ole sellaisia tekijöitä, jotka laskisivat energian hintaa tulevaisuudessa.

Sähkölle laskelmissa on käytetty reaalisena hinnan nousuna 1,0 %:a, joka on siis noin kolmasosa verrattuna viimeisen kymmenen vuoden hintakehitykseen. Kaukolämmön osalta kilpailuvirasto on tutkinut useiden kaukolämpöyhtiöiden hinnankorotuksia. Kilpailuvirasto on ohjeistanut kaukolämpöyhtiöitä hinnankorotuksissa. Tästä syystä kaukolämmön hintakehitys on todennäköisesti hieman sähkön hintakehitystä maltillisempaa ja laskelmissa on käytetty hinnankorotuksena arvoa 0,9 %. Samoja hinnankorotuksia



käytettiin myös energiayhtiöiden perimien kuukausimaksujen osalta. Sähköveron osalta hintakehityksen arveltiin noudattelevan yleistä hintakehitystä, joten sen reaalin hintakehitys on laskelmissa 0 %

Reaalikorkona laskelmissa on käytetty arvoa 0,15 %. Käytetty reaalikoro määriteltiin rakentajan lainakustannusten pohjalta. Lainakustannuksiksi arvioitiin noin 12 kk:n euri-bor (0,5 %) lisätynä pankkien marginaalilla, joka arvioitiin 1,5 %:ksi. Inflaatio määritettiin 2000-luvun keskimääräisen inflaation mukaan, joka on 1,85 %. Laskennassa käytetyt lukuarvot löytyvät koottuna taulukosta 18.

Taulukko 18. Laskennassa käytetyt lukuarvot.

Inflaatio	1,85 %
Korko	2,0 %
Reaalikorko	0,15 %
Sähkön reaalin hinnannousu	1 %
Kaukolämmön reaalin hinnannousu	0,9 %

#### 4.2 Hiilidioksidipäästöjen laskenta

Hiilidioksidipäästöjen laskenta on monimutkaista ja haastavaa sähkön ja lämmöntuotannon dynamisesta tilasta johtuen. Sähkön ja lämmönkulutuksen vaihteluilla on iso merkitys syntyviin päästöihin. Elinkaaren (50 vuotta) aikana myös sähkön- ja lämmöntuotannon rakenne muuttuu.

Suomen yhteistuotantovoimaloiden keskiarvo hiilidioksidipäästöille vuonna 2011 oli 217 kg/MWh. Vastaavasti sähköntuotannon osalta keskiverto hiilidioksidipäästö oli 210 kg/MWh. (61).

Lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna näitä arvoja ei kuitenkaan voida käyttää, vaikka se yksittäisen kulutuskohteen osalta yleistä onkin ja Motiva jopa antaa ohjeet käyttää kyseessä olevia arvoja (61). Lisääntynyt sähköntarve on kuitenkin tuotettava vaihtuvakapasiteettisilla voimaloilla. Suomessa tämä tarkoittaa käytännössä hiili-, kaasu- tai öljylauhdevoimaloita. Näiden voimalaitosten hiilidioksidipäästöt ovat merkittävästi Suomen

keskiarvoja korkeammat. Näin laskettuna lisääntyneen sähkönkulutuksen hiilidioksiini-päästöille saadaan 680 kg/MWh. (49).

Lämmöntuotannon osalta keskiarvoinen hiilidioksidipäästö ei myöskään ole vertailukelpoinen. Tarkempaan lopputulokseen päästään tarkastelemalla tilannetta säästyneiden päästöjen kautta. Laitoksen lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt vastaavat niitä päästöjä, jotka olisi vältetty tuottamalla pelkästään sähköä. Näin laskettuna kaukolämmön päästöjen keskiarvo Suomessa on 40 kg/MWh. On kuitenkin huomioitava, että alueelliset erot ovat merkittäviä ja vastaava laskenta antaa Espoon Suomenojan CHP-voimalaitoksen lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöiksi 138 kg/MWh. Suomenojan hiilivoimalan päästöt olisivat vielä tätäkin korkeammat, mutta kaasukombivoimala on kaukolämmön osalta käytännössä päästötön. (49).

Pitkällä aikavälillä tilanne tasoittuu ja hiilidioksidipäästöjen arvot tasoittuvat kohti keskiarvoja. Tosin keskiarvojen kehitys pitkällä aikavälillä on haastavaa arvioida. Sähkön- tuotannossa ydinvoiman ja uusiutuvien energiamuotojen osuus tulee lisääntymään, mikä vähentää keskimääräisiä päästöjä. Kaukolämmön osalta tämä laskee myös päästöjä, mutta sähkön päästöjä vähemmän. (49).

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa käytettiin ensimmäisen viiden vuoden aikana sähkölle arvoa 680 kg/MWh ja tästä eteenpäin Suomen nykyisen tuotannon keskiarvoa 200 kg/MWh. Kaukolämmölle käytettiin ensimmäisen 15 vuoden ajan päästöarvoa 138 kg/MWh. Tästä eteenpäin arvioitiin Suomenojan tuotantolaitoksen uudistuneen vastaamaan nykyistä keskiarvoa 40 kg/MWh. Päästöjen pienentymistä ei otettu huomioon. Yleiskommenttina voidaan todeta, että päästöjen pienentyminen suosii kaukolämpöä (49). Vastaavat luvut on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Hiilidioksidipäästöjen laskennassa käytetyt vuotuiset päästöt.

	Sähkö	Kaukolämpö
0 – 5 vuotta	680 kg/MWh	138 kg/MWh
5 – 15 vuotta	200 kg/MWh	138 kg/MWh
15 – 25 vuotta	200 kg/MWh	40kg /MWh

Alkuinvestoinnista syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei ole huomioitu. Tämä johtuu siitä, että arviot laitteiden valmistukseen ja asennukseen kuluvista päästöistä ovat lähinnä suuntaa antavia ja kokonaisuuden kannalta merkityksettömiä. Lisäksi laitteiden sisältämät raaka-aineet ovat saman tyyppisiä ja määriltään samansuuntaisia. Tästä syystä laitteiden valmistuksessa syntyvät päästöt voidaan ajatella yhteismitallisiksi.

#### 4.3 Primäärienergian käyttö

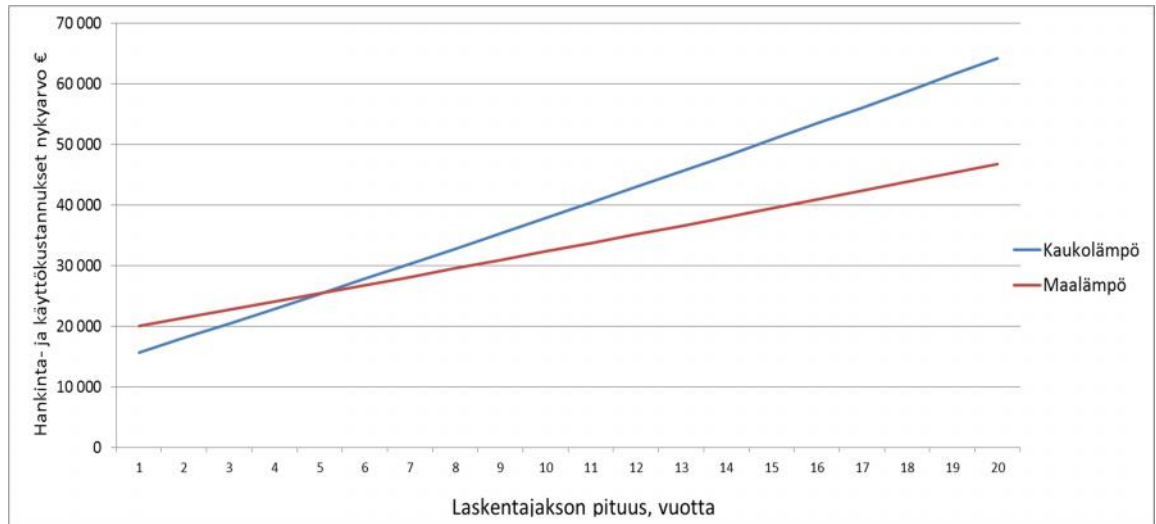
Hiilidioksidipäästöjen laskennan lisäksi laskelmissa on tarkasteltu primäärienergian käyttöä. Tarkastelut on tehty käyttämällä primäärienergiakertoimia. Sähkön primäärienergiakerroin on 1,7 ja kaukolämmön primäärienergiakerroin 0,7 (50). Primäärienergiakertoimia on käytetty määrittämään esimerkkikohteen primäärienergian kulutus eli niin sanottu E-luku.

## 5 Tulokset

Tässä luvussa esitetään tulokset 20 ja 50 vuoden elinkaarikustannusten osalta sekä hiilidioksidipäästöjen laskelmat.

#### 5.1 Elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalla

Elinkaarikustannukset ovat suuremmasta alkuinvestoinnista johtuen maalämmöllä alkuvuosina suuremmat kuin kaukolämmöllä. Kuvasta 11 nähdään, että maalämpö saavuttaa samat kokonaiskustannukset kaukolämmön kanssa viidennen vuoden aikana. Tästä eteenpäin maalämpö on kaukolämpöä edullisempi vaihtoehto. Eron kasvaen sitä enemmän, mitä pidemmälle aika kuluu.



Kuva 11. 20 vuoden elinkaarikustannukset kauko- ja maalämmölle esimerkikohteessa.

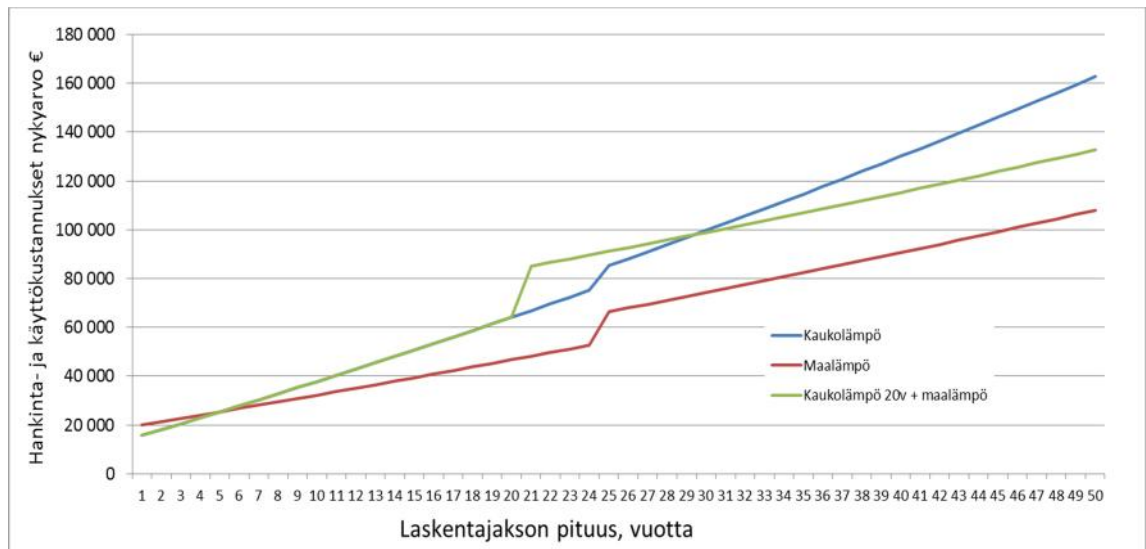
Kokonaisuudessa kaukolämmön elinkaarikustannukset ovat noin 17 500 € suuremmat kuin maalämmön koko 20 vuoden elinkaaren ajalta. Elinkaarikustannukset on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Lämmitysmuotojen elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta

20 vuoden LCC	LCC
Kaukolämpö	64 171 €
Maalämpö	46 735 €
Erotus maalämmön hyväksi	17 436 €
Maalämpö halvempi %	27,2 %

## 5.2 Elinkaarikustannukset 50 vuoden ajalta

Elinkaarikustannukset ovat alkuvuosina maalämmöllä suuremmat kuin kaukolämmöllä samalla tavalla kuin 20 vuoden ajalle laskettuna. Kuudennen vuoden jälkeen maalämpö alkaa olla halvempi vaihtoehto kuin kaukolämpö. Lämmöntuottojärjestelmää vaihdettaessa 20 vuoden päästä käyttöönotosta kaukolämmöstä maalämpöjärjestelmään saavutetaan kaukolämmön kanssa sama kustannustaso 30 vuoden kohdalla. Tämä on esitetty kuvassa 12 vihreällä.



Kuva 12. 50 vuoden elinkaarikustannukset kauko- ja maalämmölle esimerkkikohteessa.

50 vuoden elinkaarikustannukset on esitetty taulukossa 21. Maalämpöjärjestelmä tulee maksamaan noin 54 000 € vähemmän 50 vuoden ajan jaksolla kuin kaukolämpö.

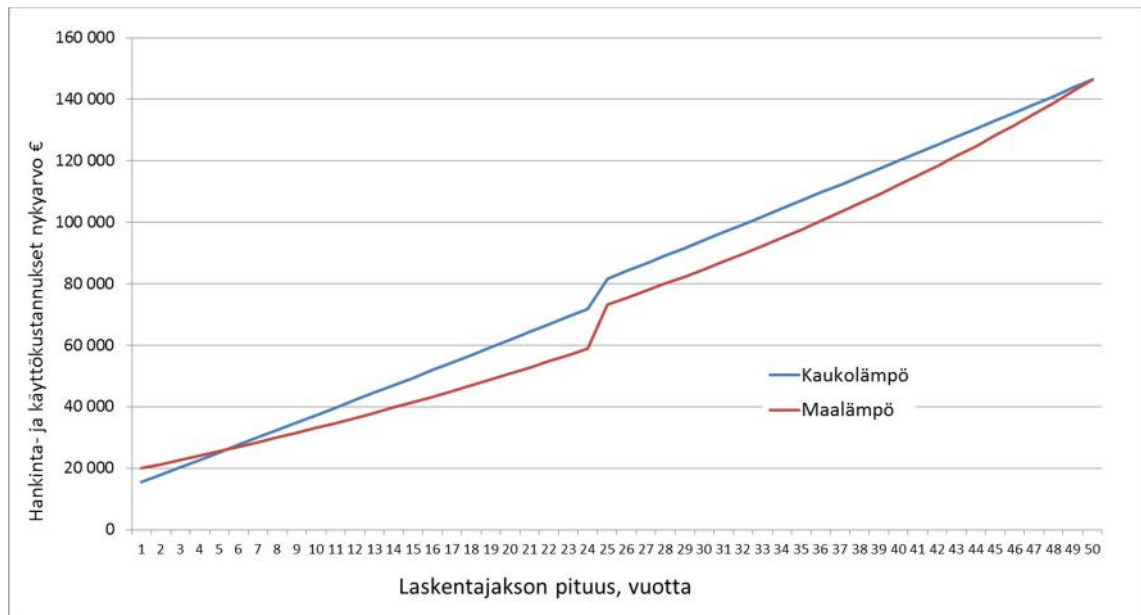
Taulukko 21. Lämmitysmuotojen elinkaarikustannukset 50 vuoden ajalta

50 vuoden LCC	LCC
Kaukolämpö	162 767 €
Maalämpö	108 101 €
Erotus maalämmön hyväksi	54 666 €
Maalämpö halvempi %	33,6 %

### 5.3 Herkkyystarkastelua

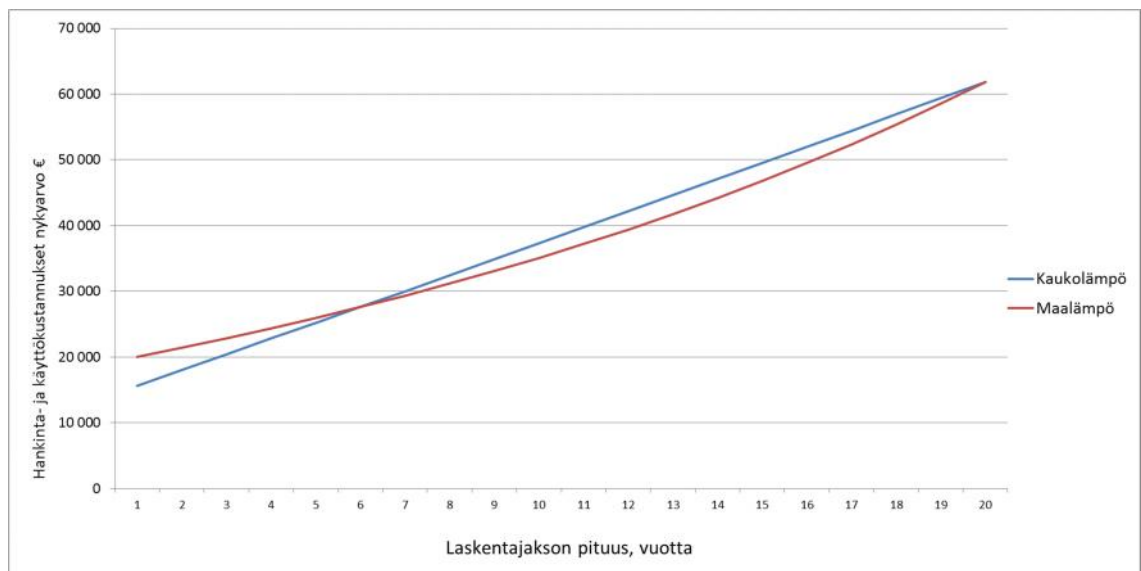
Tarkasteltaessa elinkaarikustannuksia on selvää, että energian hinnalla ja sen kehityksellä on merkittävä vaikutus kokonaiskustannuksiin ja järjestelmien keskinäiseen kustannusrakenteeseen. Tästä syystä on merkityksellistä ymmärtää, mitä tapahtuisi, jos energianhinnan kehitys ei ole ennustetun kaltaista.

Mikäli kaukolämmön hinta nousisi vain puolet oletetusta eli 0,4 % vuodessa, saisi sähkön hinta nousta enintään 2,8 % vuodessa, jotta 50 vuoden kokonaiskustannukset olisivat yhtenevät. Vastaavat kokonaiskustannukset on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. 50 vuoden elinkaarikustannukset kauko- ja maalämmölle mikäli kaukolämmön hinnannousu olisi 0,4 % vuodessa ja sähkön 2,8 % vuodessa.

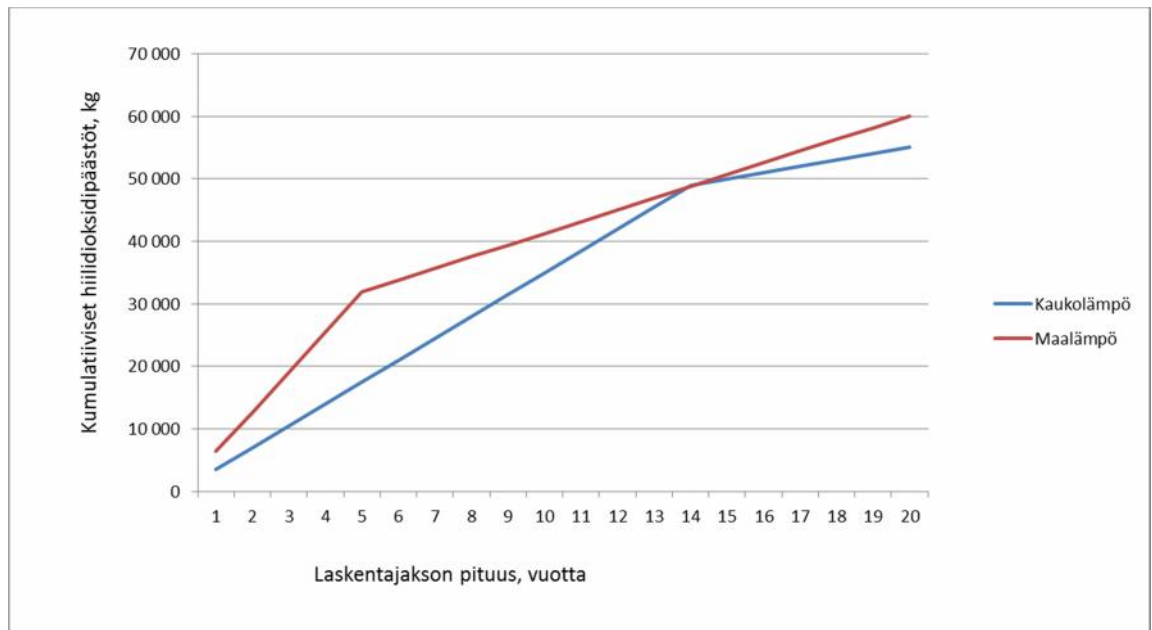
Vastaavasti 20 vuoden jaksolla sähkön hinnannousu saisi olla 6,2 %, jotta kokonaiskustannukset olisivat yhtenevät 0,4 %:n kaukolämmön hinnannousulla. 20 vuoden kokonaiskustannukset on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. 20 vuoden elinkaarikustannukset kauko- ja maalämmölle mikäli kaukolämmön hinnannousu olisi 0,4 % vuodessa ja sähkön 6,2 % vuodessa.

#### 5.4 Hiilidioksidipäästöt 20 vuoden aikana

Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt ovat kahdenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla pienemmät kuin maalämmön. Kuvassa 15 on esitetty hiilidioksidipäästöt kumulatiivisesti 20 vuoden ajalta.



Kuva 15. 20 vuoden hiilidioksidipäästöt (kg) kauko- ja maalämmölle esimerkkikohteessa.

Hiilidioksidipäästöt ovat 9,1 % pienemmät kaukolämmöllä kuin maalämmöllä. Taulukossa 22 on esitetty hiilidioksidipäästöt kumulatiivisesti 20 vuoden ajalta.

Taulukko 22. Hiilidioksidipäästöt 20 vuoden ajalta.

20 vuoden hiilidioksidipäästöt	CO2
Kaukolämpö	55 038 kg
Maalämpö	60 065 kg
Erotus kaukolämmön hyväksi	5026 kg
Kaukolämmöllä vähemmän päästöjä %	9,1 %

E-lukulaskenta antaa hieman poikkeavat tulokset. Pääenergiaankulutus on maalämmöllä pienempi kuin kaukolämmöllä. Pääenergiaankulutukset on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Pääenergiaankulutus 20 vuoden ajanjaksolla.

	Primäärienergian kulutus
Kaukolämpö	355 MWh
Maalämpö	319 MWh
Erotus maalämmön hyväksi	36 MWh
Maalämpö kuluttaa vähemmän %	-10 %

## 6 Tulosten analysointi

Tutkimuksen perusteella maalämmön valinta näyttää kannattavalta investoinnilta, vaikka se on alkuinvestointina kalliimpi kuin kaukolämpö. Maalämpö saavuttaa kaukolämmön kustannukset kuudentena vuotena, jolloin kokonaiskustannukset ovat samat, ja siitä lähtien maalämpö on käyttökustannuksiltaan halvempi.

### 6.1 Elinkaarikustannukset ensimmäisen 20 vuoden aikana

Kaukolämmön pienempi alkuinvestointi tasoittaa 20 vuoden ajanjakson kustannuseroa vielä kohtuudella, kuten kuvasta 11 nähdään. Kymmenen vuoden tarkastelujaksolla lämmitysjärjestelmän valinnalla ei ole suurta merkitystä kustannusten osalta. Tästä eteenpäin maalämmön pienemmät energiakustannukset tekevät eron järjestelmien välille. Muiden kustannusten merkitys tarkasteltaessa väliä kymmenestä kahteenkymmeneen vuoteen on lähes merkityksetön ja kustannukset kertyvät lähes kokonaan energiakustannuksista. Kokonaiskustannukset käytettäessä maalämpöä ovat noin 17 500 € pienemmät 20 vuoden tarkastelujaksolla, kuin käytettäessä kaukolämpöä.

### 6.2 Elinkaarikustannukset 20 – 50 vuoden aikana

50 vuoden aikajaksoa tarkastelemalla näemme, että kuudentena vuonna kaukolämmön ja maalämmön kustannukset ovat samalla tasolla. Vaikka laitteiden uusinta suoritetaan 25 vuoden kohdalla, eivät kaukolämmön pienemmät uusimiskustannukset riitä elinka-

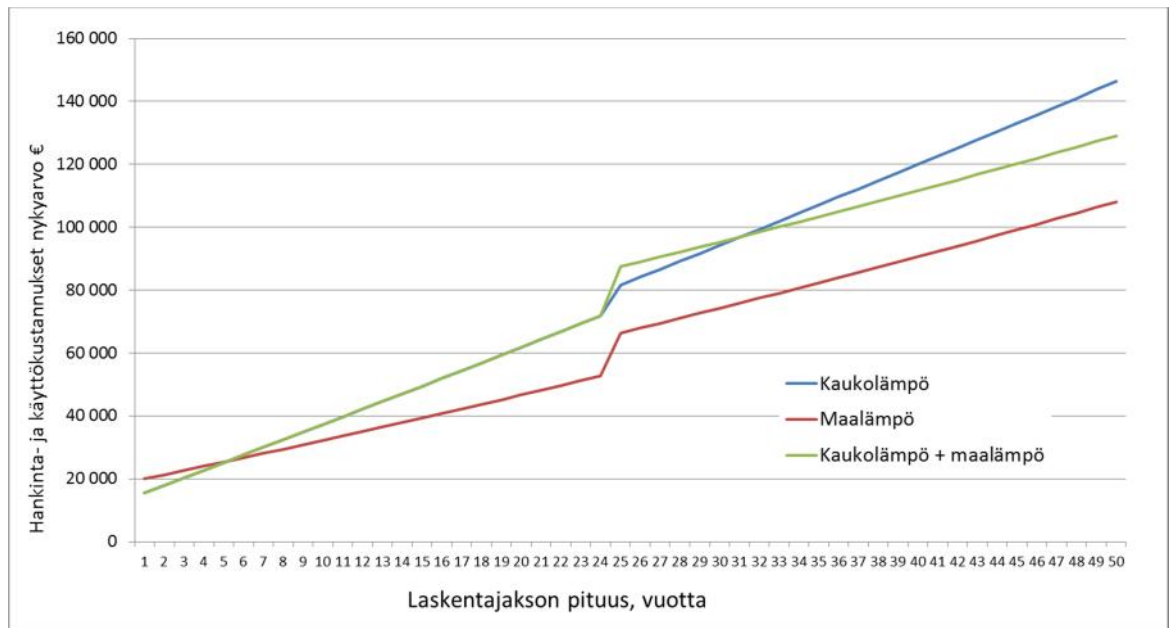


ritarkastelussa olemaan edullisempi vaihtoehto kuin maalämpö. Toisin sanoen maalämpö on säästänyt uusintakustannusten verran rahaa jo merkittävästi aikaisemmin, kuin uusinta on tarpeellinen.

Elinkaarikustannusten ero maalämmön hyväksi jatkuu tasaisesti kasvavana vuosien kuluessa. Tämä johtuu maalämmön halvemmista energiakustannuksista. 50 vuoden kohdalla ero maalämmön ja kaukolämmön välillä on merkittävä. Laskelmat osoittavat, että eroa kertyy nykyrahassa mitattuna viidessäkymmenessä vuodessa lähes 55 000 euroa maalämmön hyväksi.

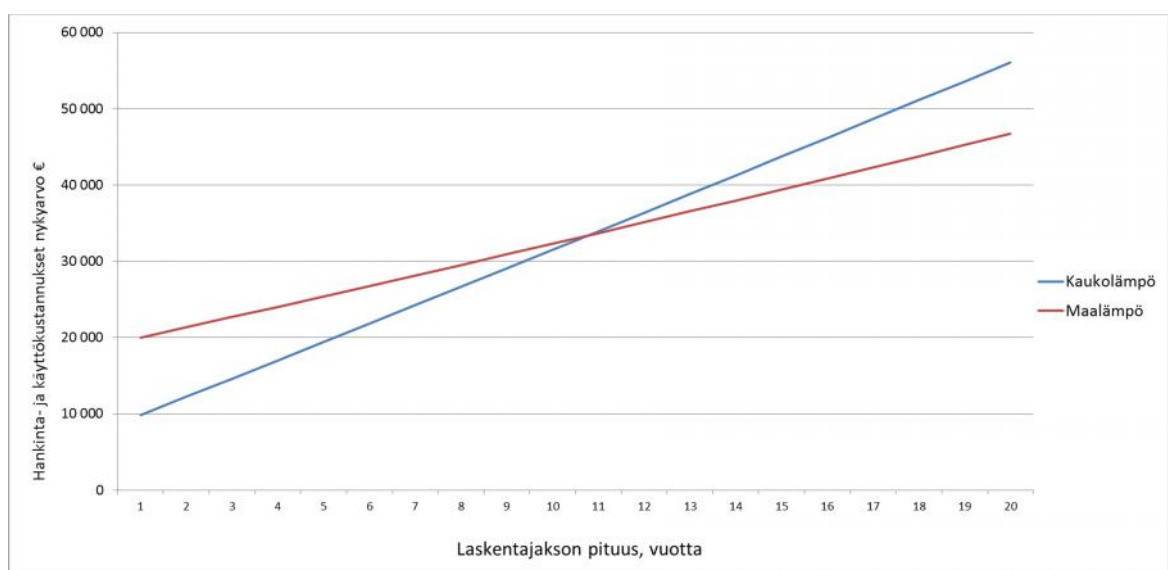
Kaukolämpöjärjestelmän uusiminen maalämpöön 20 vuoden kohdalla näyttää maksavan itsensä takaisin 10 vuoden aikana, kuten kuvasta 12 nähdään. Kaukolämpölaitteiden tullessa teknisen käyttöikänsä päähän tekniikka vaihdetaan maalämpölaitteisiin ja lämpökaivoon. Järjestelmän vaihdon kustannus näkyy selvänä kustannuspiikkinä 20 vuoden kohdalla.

Tästä herää kysymys, kannattaisiko vanhaa järjestelmää käyttää mahdollisimman pitkään ennen uusintaa. Mikäli kaukolämpö uusitaan maalämpöön vasta laitteiden teknisen käyttöiän loppuessa eli 25 vuoden kohdalla jää uusinnan takaisinmaksuaika kuuteen vuoteen, kuten kuvasta 16 nähdään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vanhaa kaukolämpöjärjestelmää ei taloudellisessa mielessä kannata uusia, ennen kuin kaukolämpöjärjestelmä on tullut uusimisikänsä.



Kuva 16. Kaukolämmön ja maalämmön elinkaarikustannusten vertailu yhdistelmä lämmitukseen. (kaukolämpö + maalämpö).

Näyttää siltä, että jopa olemassa oleva kaukolämpöliittymä kannattaa tulevaisuudessa vaihtaa maalämpöön. Samalla herää kysymys, kannattaisiko esimerkiksi vastaava vanha talo, jossa kaukolämpöjärjestelmä on nyt uusimisikäinen, muuttaa maalämpöaloksi. Kuvassa 17 nähdään tätä tilannetta vastaavat elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta. Kyseisessä tilanteessa takaisinmaksuaika venyy 11 vuoteen ja 20 vuoden jaksolla kertyisi noin 9 500 euron säästöt.



Kuva 17. Kaukolämmön ja maalämmön elinkaarikustannusten vertailu tilanteessa, jossa vanha kaukolämpöjärjestelmä uusitaan tai vaihdetaan maalämpöön.

### 6.3 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöjen laskenta luotettavasti on erittäin haastavaa, ellei jopa mahdotonta. Käytännössä energian tuotanto on dynaaminen järjestelmä, joka koostuu useista tuotantolaitoksista, joiden päästöt eroavat merkittävästi toisistaan. Se mitä päästömäärää pitäisi käyttää, riippuu monesta tekijästä. Esimerkiksi ajanjaksona jolloin vesivarannot ovat isot ja talvi leuto, olisivat maalämmön päästöt pienet. Tämä johtuisi siitä, että maalämpöpumpun aiheuttama sähkön kulutuksen lisäys pystyttäisiin tuottamaan pienipäästöisillä voimaloilla. Vastaavasti niukat vesivarannot ja kylmä talvi suosisivat kaukolämpöä.

Laskennan vaikeutta kuvaa hyvin se, että käytetyllä kahdella menetelmällä saadaan toisistaan eroavat lopputulokset. Käyttäen hiilidioksidilaskennan tuloksena näyttäisi kaukolämpö tuottavan päästöjä noin 10 % maalämpöä vähemmän. Primäärienergia tarkastelu taas osoittaa, että maalämpö käyttää noin 10 % vähemmän primäärienergiaa kuin kaukolämpö.

Monissa tutkimuksissa käytetty suorilla hiilidioksidipäästöjen keskiarvoilla laskeminen johtaa harhaan, eikä sitä tulisi käyttää. Esimerkkikohteen tapauksessa keskiarvopäästöt lämmityksessä ovat kaukolämmöllä 220 kg/Mwh ja maalämmöllä 74 kg/Mwh. Näillä luvuilla laskettuna maalämpö näyttäisi merkittävästi ympäristöystävällisemmältä, mitä se ei ole.

## 7 Johtopäätökset

Kaukolämmöllä on halvan lämmönlähteen maine. Maine on säilynyt, vaikka maailma kaukolämmön ympärillä on muuttunut merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vielä kymmenen vuotta sitten kaukolämpö nähtiin ainoana vaihtoehtona kaukolämpöalueilla. Maalämpöjärjestelmätkin olivat investointina merkittävästi nykyisiä kalliimpia.

Tutkimusten perusteella maalämmön hankintakustannus on kalliimpi kuin kaukolämmön. Maalämpöjärjestelmän hankintahintaan sisältyvät maalämpöpumppu mahdollisine

lisävaraajineen ja lämmönkeruukaivo sekä liuosputket. Kaukolämmön hankintahintaan sisältyvät kaukolämmön alajakokeskus sekä liittymismaksu, joka sisältää mittauskeskuksen ja liitosputket taloon kaukolämmön runkoputkista.

Samaan aikaan kaukolämmön hinnannousun kanssa on maalämpölaitteiden kehitys ollut merkittävää. Nykyiset maalämpöjärjestelmät mahdollistavat energiatehokkaat ja kustannuksiltaan kilpailukykyiset järjestelmät. Maalämpöpumppujen kysynnän kasvaessa tarjontakin on lisääntynyt ja kilpailu maalämpöalalla on painanut hintoja entisestään.

Tutkittaessa kävi ilmi, että maalämmön käyttökustannukset ovat selvästi halvemmat kuin kaukolämmön. Laskelmia tehtäessä maalämmön hyötysuhteeksi ei valittu parasta mahdollista lämpökerrointa, minkä valmistaja antaa, vaan maltillinen 2,7. Vertailun vuoksi mainittakoon, että nykyään valmistajat antavat lämpöpumpuilleen lämpökertoimia väliltä 3,0 – 4,5.

Maalämpö osoittautui elinkaarikustannuksiltaan kaukolämpöä halvemmaksi vaihtoehdoksi kaikilla tarkastelluilla seurantajaksoilla. Kahdessakymmenessä vuodessa maalämpö oli halvempi vaihtoehto, ja sama kehitys jatkui vuosien kuluessa. Kaukolämmön hinnan ollessa korkea kannattaa harkita maalämpöön vaihtamista, kun lämmönsiirtimen uusiminen tulee ajankohtaiseksi.

Kokonaisuudessaan energiakustannukset dominoivat lämmityksen elinkaarikustannuksissa, ollen noin 86 % kaukolämmön kokonaiskustannuksista ja 65 % maalämmön kokonaiskustannuksista. Tästä johtuen pienikin ero energiakustannuksissa merkitsee valtavaa eroa kokonaisuudessa. Maalämmöllä saadaan merkittävä osa energiasta maaperästä käytännössä ilmaiseksi. Tämä ilmainen energia kompensoi kalliimpaa sähkön hintaa.

Tutkimuksen esimerkkikohteen energiankulutus vastaa hieman keskikokoa suurempaa pientaloa, mutta asetelma ei merkittävästi muutu, vaikka energiankulutus olisi vähän pienempi. Maalämpö olisi kannattavampi vaihtoehto, vaikka talon energiankulutus olisi vain puolet esitetystä. Maalämmön takaisinmaksuaika olisi tässä tapauksessa yhdeksän vuotta. Pienempi energiankulutus suosii siis hieman kaukolämpöä, koska energiankulu-

tuksen suhteellinen osuus pienenee ja siten maalämmöllä saatava säästö on pienempi. Vastaavasti pienemmän talon alkuinvestoinnit eivät laske vastaavassa suhteessa.

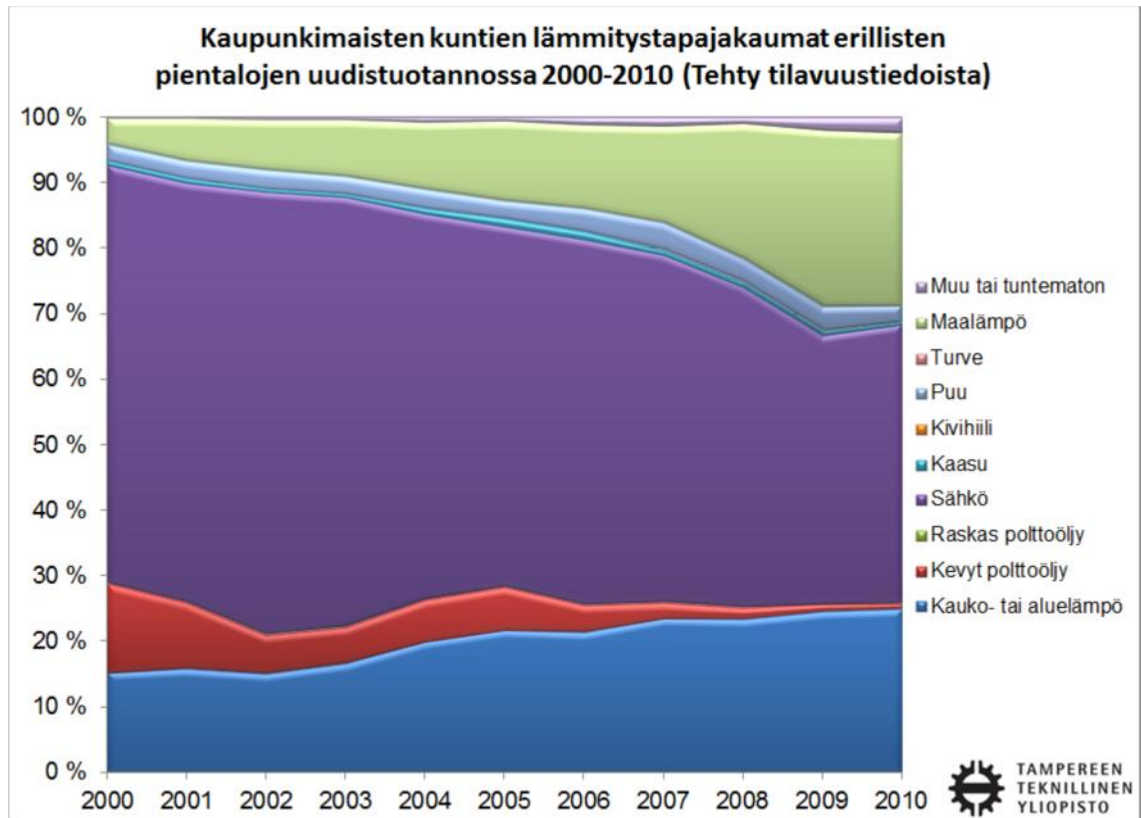
Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että taloudellisessa mielessä maalämpö on parempi vaihtoehto. Tarkasteltaessa vain kymmenen vuoden elinkaarta ovat järjestelmät käytännössä tasavahvoja, mutta tästä eteenpäin maalämpö on taloudellisempi.

Hiilidioksidipäästöjen osalta tutkimuksen perusteella ei pysy sanomaan mitään varmaa. Molemmat lämmitysmuodot ovat kiistatta ympäristöystävällisiä, mutta niiden laittaminen paremmuusjärjestykseen on mahdotonta. Päästöjen käyttäytymistä ja ympäristövaikutuksia on jatkossa tutkittava kokonaisuutena. Erityistä painoarvo tässä tutkimuksessa on annettava skenaariolle, jossa maalämmön käyttö lisääntyy merkittävästi kaukolämpöalueella. Kyseisen tutkimuksen tekeminen tulee entistä merkityksellisemmäksi, kun kerrostalot alkavat suuressa mittakaavassa miettiä maalämpöä kaukolämmön vaihtoehtona.

Herkkyystarkastelut osoittavat, että taloudellisessa mielessä maalämmön valinta on turvallinen vaihtoehto. Sähkön hinta saa kallistua tulevaisuudessa merkittävästi kaukolämmön hintaa enemmän, ennen kuin kaukolämmöstä tulee edullisempi vaihtoehto.

## 8 Suositukset rakentajille

Kaukolämmön halvan lämmönlähteen maine elää vahvasti rakentajien ja suunnittelijoiden keskuudessa. Moni rakentaja valitsee lämmönlähteeksi kaukolämmön ilman lähempää tarkastelua. Ilmeisen moni suunnittelija myös suosittelee sitä rakentajille. Lämpöyhtiöt ovat myös laajentaneet kaukolämpöverkkojaan määrätietoisesti. Tästä syystä kaukolämmön suhteellinen osuus lämmitysmuotona on kaupunkialueilla lisääntynyt vahvasti koko 2000-luvun, kuten kuvasta 16 nähdään (47). Kuitenkin tämän tutkimuksen mukaan yksittäisen rakentajan olisi syytä miettiä maalämpöä kaukolämmön sijaan.



Kuva 16. Kaupunkimaisten kuntien lämmitystapajakauma pientalojen uudistuotannossa. (48).

Tutkimuksen pohjalta voidaan suositella rakentajia valitsemaan lämmitysmuodoksi maalämmön, jos rakennuksessa on aikomus asua pidemmän aikaa. Rakentajan saamat säästöt pitkällä aikavälillä ovat merkittävät.

Herkkyysanalyysi myös tukee maalämmön valintaa, kuten kuvista 13 ja 14 nähdään. Sähkön hinnannousu saa olla moninkertainen verrattuna kaukolämmön hinnannousuun, ennen kuin kustannukset tasoittuvat yhteneviksi. Tässäkin tapauksessa maalämmön kustannukset ovat lähes koko tarkastelujakson kaukolämpöä edullisemmat. Maalämmön valinta on siis rakentajalle taloudellisesti tarkasteltuna varsin kannattava valinta.

Kaukolämpö on toki vaivaton lämmitysmuoto. Kaukolämmöllä saadaan rajattomasti lämmintä käyttövedettä, kun taas maalämpöjärjestelmässä on lämminvesivaraajan koko rajattu. Oikein mitoitetusta varaajasta ei lämmin vesi lopu kesken. Tieto lämpimän ve-

den rajallisuudesta voi tuoda myös käyttöveden kulutukseen säästöjä. Kaukolämpö on lähes huoltovapaa järjestelmä, mutta toisaalta niin on maalämpökin.

## Lähteet

- 1 Lämpöä kotiin keskitetysti – kaukolämpö. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa\\_kotiin\\_keskitetysti\\_-\\_kaukolampo.3808.shtml](http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_kotiin_keskitetysti_-_kaukolampo.3808.shtml). Luettu 6.10.2012.
- 2 Kaukolämmitys. 2012. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys>. Luettu 6.10.2012.
- 3 Rakentaminen – Maalämpöpumppu. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitysmuodot/maalampo](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampo). Luettu 6.10.2012.
- 4 Terminen vastetestit eli TRT-mittaus (Thermal Response Test). 2012. Verkkodokumentti. Geologian tutkimuskeskus. <http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/energia/trtmittaus.html>. Luettu 6.10.2012.
- 5 Seppänen, Olli: Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry, 2001.
- 6 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto Suomessa. 2012. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/s%C3%A4hk%C3%B6n-ja-l%C3%A4mm%C3%B6n-yhteistuotanto/suomessa/pages/default.aspx>. Luettu 4.12.2012.
- 7 Toimitusalueet. 2012. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/toimitusalueemme/pages/default.aspx>. Luettu 4.12.2012.
- 8 Juvonen Janne: Lämpökaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus, 2009.
- 9 Rakennussäätiö: Maalämmitys, RT 50-10755, 2001.
- 10 Lämpökaivo, porakaivo. 2013. Verkkodokumentti. Senera. [http://www.senera.fi/Lampokaivo\\_\\_porakaivo](http://www.senera.fi/Lampokaivo__porakaivo). Luettu 2.1.2013.
- 11 Kaukolämmön hinnat tyyppitaloissa eri paikkakunnilla. 2013. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyypitaloissa-eri-paikkakunnilla>. Luettu 12.1.2013.
- 12 Hakala Pertti, Kaappola Esko: Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus, 2005.
- 13 Motiva Oy, Lämpöä omasta maasta. Motiva Oy, 2012 Digipaperiversio <http://www.digipaper.fi/Motiva/102449/>. Luettu 13.1.2013.
- 14 Huhta Timo: Hotellin maalämpöjärjestelmän kannattavuuden tarkastelu. Aalto-Yliopiston teknillinen korkeakoulu, 2010.
- 15 Aittomäki A., Kianta J., Haapalainen H., Simppala M.: Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1999.



- 16 Liittymismaksu. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
<https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/liity-asiakkaaksi/liittymismaksu/pages/default.aspx>. Luettu 29.3.2013.
- 17 Energiateollisuus ry: Kaukolämmönkäsikirja. Helsinki, 2006.
- 18 Hertta-100/Hertta-200. 2009. Verkkodokumentti. Danfoss.  
[http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/VLKSP220\\_Hertta\\_100\\_200-0905.pdf](http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/VLKSP220_Hertta_100_200-0905.pdf).  
Luettu 31.3.2013.
- 19 Kaukolämmön liittymishinnasto. 2013. Verkkodokumentti. Vantaan Energia.  
[http://www.vantaanenergia.fi/fi/Kaukolampo/hinnastotjaehdot/Documents/KL-liittymishinnasto\\_01.01.2013\\_alkaen.pdf](http://www.vantaanenergia.fi/fi/Kaukolampo/hinnastotjaehdot/Documents/KL-liittymishinnasto_01.01.2013_alkaen.pdf). Luettu 31.3.2013.
- 20 Kaukolämmön liittymishinnasto. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin Energia.  
[http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut\\_lampo.pdf](http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut_lampo.pdf). Luettu 31.3.2013.
- 21 Kaukolämmön liittymishinnasto omakoti- ja paritaloille. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin Energia.  
[http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut\\_lampo\\_omakoti.pdf](http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut_lampo_omakoti.pdf).  
Luettu 31.3.2013.
- 22 Liittymismaksu. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
<http://www.fortum.com/countries/fi/yrityisasiakkaat/kaukolampo/tarjous--ja-sopimusasiat/liittymismaksu/pages/default.aspx>. Luettu 1.4.2013.
- 23 Liittymismaksu – omakotitalon liittymismaksu. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/liity-asiakkaaksi/Liittymismaksu/Pages/default.aspx>. Luettu 1.4.2013.
- 24 Kaukolämmön liittymishinnasto. 2013. Verkkodokumentti. Vantaan Energia.  
[http://www.vantaanenergia.fi/fi/Kaukolampo/hinnastotjaehdot/Documents/KL-liittymishinnasto\\_01.01.2013\\_alkaen.pdf](http://www.vantaanenergia.fi/fi/Kaukolampo/hinnastotjaehdot/Documents/KL-liittymishinnasto_01.01.2013_alkaen.pdf). Luettu 1.4.2013.
- 25 Käyttöohje – Lämmönjakokeskus kaukolämmitykseen Lämmönjakokeskus lämmitys-, lämmin käyttövesi-, ilmanvaihto ja jäähdytysjärjestelmiin. 2013. Verkkodokumentti. Danfoss.  
[http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/DH\\_Compact\\_SubstationFI\\_1110.pdf](http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/DH_Compact_SubstationFI_1110.pdf).  
Luettu 1.4.2013.
- 26 Suomalainen Kari, Aluepäällikkö, Alfa Laval Nordic Oy, Luoteisrinne 4 C, 02270 Espoo. Sähköposti 22.4.2013.
- 27 Niemelä Kim, Myynti, Etelä Suomi, Oy Danfoss Ab, Valimotie 22, 01510 Vantaa. Sähköposti 11.4.2013.
- 28 Hakonen Jari, Piiripäällikkö, HögforsGST Oy, Puutarhatie 20B, 01300 Vantaa. Sähköposti 16.4.2013.
- 29 Sampo Eco 8G, Pientalon kaukolämmityksen lämmönjakokeskus –esite, Alfa Laval Nordic Oy, 2013.

- 30 Suomen Kaukolämpö ry: Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet. Helsinki, 2003.
- 31 LVI KH-kortti: LVI 01-10424 KH 90-00403. Ohjetiedosto, Tammikuu 2008.
- 32 Viita Ilkka, Aho Ilari, Kauppila Kari, Aittomäki Antero, Haapalainen Heimo: Pientalon lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluohjeet. Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1996.
- 33 RT-kortti: RT 50-10755. Ohjetiedosto, Elokuu 2001.
- 34 IVT Greenline HE. 2013. Verkkodokumentti. IVT <http://www.ivt.fi/pages/product.asp?lngID=204&lngLangID=1>. Luettu 21.5.2013.
- 35 Takanen Teemu, Myyjä, ST1 energiamarket, Falläker 1 C, 02740 Espoo. Sähköposti 29.4.2013.
- 36 IVT:n käyttövesivaraajat. 2013. Verkkodokumentti. ST1 Energiamarket. [http://www.ivtuusimaa.fi/muut\\_tuotteet/kayttovedenlammittimet.php](http://www.ivtuusimaa.fi/muut_tuotteet/kayttovedenlammittimet.php). Luettu 21.5.2013.
- 37 Nylund Daniel, Myyjä, NB Scandinavia Oy Ab, Neitsytpolku 16, 10210 Inko. Sähköposti 21.5.2013.
- 38 Maalämpöpumput – Jousenmerkityt kallio-, pintamaa- ja vesistölämpöpumput. 2013. Verkkodokumentti. IVT. <http://www.senera.fi/files/EsiteIVTmaalampopumput2012.pdf>. Luettu 8.6.2013.
- 39 Lämpöpumput ja lämminvesivaraajat. 2013. Verkkodokumentti. Danfoss. [http://lampo.danfoss.com/Product/086U5065\\_MNU17532351.html](http://lampo.danfoss.com/Product/086U5065_MNU17532351.html). Luettu 8.6.2013.
- 40 Fortum, Hinnastot. 2013. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/hinnastot/pages/default.aspx>. Luettu 8.6.2013.
- 41 Wikstén Ralf: Lämpövoimaprocessit. Otatieto Helsinki, 2005.
- 42 Kalema Timo, Palm Jarmo: Aurinko- ja lämpöpumppulämmityksellä varustettu pientalo, energiakulutuksen seuranta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo 1984.
- 43 Energiateollisuus, Kaukolämmön hinta. 2013 Verkkodokumentti, Energiateollisuus. <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/kaukolammon-hinta>. Luettu 23.6.2013.
- 44 Lehtonen J-M., Karjalainen J.: Tuotantotalous. WSOY, Porvoo 2004.
- 45 Sirén Kai: Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Teknillinen korkeakoulu, Espoo 2008.
- 46 Tilastokeskus: Energiatilasto Vuosikirja 2012. Edita Prima Oy, Helsinki 2012.

- 47 Liittymismaksuhinnasto, Fortum Espoo Distribution Oy, 1.6.2013. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
[http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FED\\_Liittymishinnasto\\_1.6.2013\\_fi.pdf](http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FED_Liittymishinnasto_1.6.2013_fi.pdf). Luettu 13.10.2013
- 48 Vihola Jaakko, Heljo Juhani: Lämmitystapojen kehitys 2000–2012 aineistoseelvitys, Tampere 2012.
- 49 Rinne Samuli, Syri Sanna: Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä. Suomen ilmastopaneeli Raportti 3/2013.  
[http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20ja%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6%20energij%C3%A4rjestelm%C3%A4ss%C3%A4\\_29-1-2013.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20ja%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6%20energij%C3%A4rjestelm%C3%A4ss%C3%A4_29-1-2013.pdf). Luettu 13.10.2013
- 50 Kalema Timo: Pientalojen energiankulutuksen laskenta uusien energiamääräysten mukaan. 2011. Verkkodokumentti. Tampereen Tekninen Yliopisto.  
<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.rakennusteollisuus.fi%2Fdownload.aspx%3FintFileID%3D2578%26intLinkedFromObjectID%3D13296&ei=3ANtUtPrAomh4gT3zIGICg&usq=AFQjCNHnLiKEeb3Wh3xHLHBMI2Z2Dejs-Q&sig2=ROdgPLwNtNP43w76f7LqLg>. Luettu 13.10.2013
- 51 Fortum, Hinnat, Kaukolämmönhinnoittelu. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/tuotteet-ja-hinnat/hinnat/pages/default.aspx>. Luettu 30.10.2013.
- 52 Geolämpö ei lopu. 2008. Verkkodokumentti. Tiede-lehti.  
[http://www.tiede.fi/artikkeli/937/geolampo\\_ei\\_lopu](http://www.tiede.fi/artikkeli/937/geolampo_ei_lopu). Luettu 1.11.2013.
- 53 Kaappola Esko: Energiantuotanto uusiutuvilla energialähteillä Lämpöpumput, Luentomoniste, Espoo 2011.
- 54 Rakennusvalvonnan ohje – Lämpökaivon poraus tai lämmönkeruuputkiston asentaminen. 2012. Verkkodokumentti. Rakennusvalvontakeskus Espoo.  
<http://www.espoo.fi/download/noname/%7BEA9EF947-0592-4F55-9607-C660E5C3A8FB%7D/12137>. Luettu 3.11.2013
- 55 Maalämpökaivon etäisyydet –lupahakemuksen liite. 2013. Verkkodokumentti. Rakennusvalvontakeskus Espoo.  
[http://www.espoo.fi/download/Maalampokaivon\\_etaisydet/ff2131ae-79af-43de-9aba-2c1bceaa02ca/16115](http://www.espoo.fi/download/Maalampokaivon_etaisydet/ff2131ae-79af-43de-9aba-2c1bceaa02ca/16115). Luettu 3.11.2013
- 56 Kempainen Joni: Lämpökaivojen käyttö rakennuksen lämmityksessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2012.
- 57 The Swedish District Heating Association: District heating substations, design and installation. Svensk Fjärrvärme AB, 2004.

- 58 Fortum, Sähköliittymät, Liittymänhinnat ja toimitusalueet. 2013. Verkkodokumentti. Fortum.  
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkon-siirto-ja-liittymat/tilaa-sahkoliittyma/liittyma-hinta-ja-toimitusalueet/pages/default.aspx>.  
Luettu 4.11.2013.
- 59 IVT Greenline, HT Plus. 2013. Verkkodokumentti. IVT.  
[http://www.ivt.fi/upload/fi/pdf/IVT\\_Greenline\\_HT\\_Plus\\_C\\_E\\_esite.pdf](http://www.ivt.fi/upload/fi/pdf/IVT_Greenline_HT_Plus_C_E_esite.pdf).  
Luettu 5.11.2013
- 60 Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013. Energiateollisuus ry, 2013.
- 61 CO<sub>2</sub>-laskentaa yksittäinen kohde. 2013. Verkkodokumentti. Motiva.  
[http://motiva.fi/files/6817/CO2-laskentaa\\_yksittainen\\_kohde.pdf](http://motiva.fi/files/6817/CO2-laskentaa_yksittainen_kohde.pdf).  
Luettu 30.10.2013.
- 62 Tilastokeskus: Inflaatio. Edita Prima Oy, Helsinki 2013.