



Kerrostalon maalämmön mitoittaminen saneerauskohteessa

Teemu Jokela

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

JOKELA, TEEMU:

Kerrostalon maalämmön mitoittaminen saneerauskohteessa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää mitoitus työkalu, jonka avulla voidaan selvittää maalämpöjärjestelmän soveltuvuus ja kannattavuus saneerattavassa kerrostalossa. Mitoitus työkalun avulla tarkasteltiin maalämmön soveltuvuutta Tampereella Härmälässä sijaitsevaan vuonna 1967 valmistuneeseen kerrostaloon, jonka lämmitys järjestelmänä toimii kaukolämpö. Maalämmön lisäksi tarkasteltiin poistoilman lämmöntalteenoton vaikutusta takaisinmaksu aikaan ja kokonaisenergian suuruuteen.

Työssä käytiin läpi kaukolämmön ja maalämmön toimintatavat. Tarvittavan maalämpöpumpun ja porattavien energiakaivojen mitoittamisessa käytettiin opinnäytetyössä laadittua maalämmön mitoittamiseen tarkoitettua työkalua. Investoinnin suuruus arvioitiin, jotta pystyttiin toteuttamaan takaisinmaksuajan laskenta.

Laskelmista voidaan todeta, että maalämpö soveltuu kohteen uudeksi päälämmitysmuodoksi kaukolämmön tilalle. Mitoitus työkalu ja elinkaarilaskelmat osoittivat maalämpöinvestoinnin olevan järkevä esimerkkikohteeseen.

Asiasanat: maalämpö, kaukolämpö, mitoitus työkalu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Building Services

JOKELA, TEEMU:

Geothermal Heating System Dimensioning in Renovation of an Apartment House

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 1 pages

May 2020

The purpose of this bachelor's thesis was to develop a tool for the dimensioning of geothermal heating system and establish system's suitability and cost-effectiveness in renovation of an apartment house. Suitability of the dimensioning tool was tested in an apartment house which was built in 1967 with district heating. In addition to geothermal heating system, the effect of exhaust air heat recovery on the payback period and the amount of total energy was examined.

The final year project examined functioning of district heating and geothermal heating energy. Created by the author of the bachelor thesis dimensioning tool for geothermal dimensioning was used to dimension the required geothermal pumps and energy wells. The size of the investment was estimated in order to be able to calculate the payback period. The source information of the building was obtained from the housing manager.

It was established that a geothermal heating system was a reasonable option instead of district heating. The life cycle calculations showed that geothermal investment was sensible in that case.

Key words: geothermal heating system, district heating, dimensioning tool

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	Kerrostalojen lämmitys.....	7
	2.1 Lämmityksen eri vuosikymmenet	7
	2.2 Lämmittäminen nykypäivänä.....	7
3	Mitä on kaukolämpö.....	9
	3.1 Kaukolämpö kerrostalossa	10
	3.2 Tuotanto ja jakelu	11
	3.3 Kaukolämmön hinnan muodostuminen	13
4	Lämpöpumput.....	15
	4.1 Toimintaperiaate	16
	4.2 Hyötysuhde	17
	4.2.1 Ilmalämpöpumppu	18
	4.2.2 Poistoilmalämpöpumppu	18
	4.2.3 Ulkoilma-vesilämpöpumppu	20
	4.2.4 Maalämpöpumppu.....	20
5	Maalämpöjärjestelmän lait ja määräykset	22
	5.1 Maalämpölupa Tampereella.....	23
	5.2 Äänihaitat	25
6	Maalämpö	26
	6.1 Keruuputkistotyypit.....	27
	6.2 Lämpökaivokenttä	29
	6.3 Maalämpökentästä saatava teho	30
	6.4 Keruuputkiston vienti lämmönjakohuoneeseen ja tilan tarve.....	31
7	Taloudelliset laskentamenetelmät.....	33
	7.1 Elinkaaritalous.....	33
	7.2 Diskonttaus	33
	7.3 Nykyarvomenetelmä	34
	7.4 Annuiteettimenetelmä	35
	7.5 Nimellinen- ja reaalikorko	36
8	Maalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun mitoittaminen ja alustava kustannuslaskelma esimerkkikohteeseen.....	37
	8.1 Esimerkkikohteen esittely.....	37
	8.2 Mitoituksen toteutus	38
	8.2.1 Lämmitysenergian- ja lämmitystehontarpeen määrittäminen	38
	8.2.2 Käyttöveden energiatarpeen määrittely	39
	8.2.3 Rakennuksen poistoilmasta saatava lämmitysteho	40
	8.2.4 Maalämpöpumpun valinta ja MUT	41

8.2.5 Energiakaivo.....	41
8.3 Maalämpöjärjestelmän vaikutus kiinteistön sähköverkkoon	42
8.4 Tulosten esittely	42
9 POHDINTA	45
LÄHTEET.....	46
LIITTEET	50
Liite 1. Takaisinmaksuajan määrittämisessä käytetty laskuri.....	50

1 JOHDANTO

Kaukolämmön hinnannousun seurauksena Pirkanmaalla yhä useampaa taloyhtiötä on alkanut kiinnostaa mahdollinen lämmitystavan muuttaminen kaukolämmöstä pois. Tämän takia erilaiset konsultti- ja insinööritoimistot ovat saaneet töikseen selvittää taloyhtiöiden rakennustyyppille kannattavimman, sekä energiayskävällisimmän lämmitysmuodon.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää mitoitustyökalu maalämmön kannattavuuden mittaamiseksi. Opinnäytetyössä tarkastellaan maalämmön kannattavuutta jo rakennettuun kerrostaloon opinnäytetyössä laaditun mitoitustyökalun avulla. Mitoitustyökalua kokeillaan esimerkkikohteeseen. Tarkastelu toteutetaan Excel-taulukon ja saatujen lähtötietojen avulla.

Mitoitustyökalua käytetään tulevaisuudessa taloyhtiöille tehtävässä hankesuunnitteluvaiheessa. Mitoituksen tulokset ovat esitetty tämän opinnäytetyön liitteenä.

2 Kerrostalojen lämmitys

Rakennuksen lämmitystavalla on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutukseen ja sen kustannuksiin. Lämmitystavalla tarkoitetaan rakennuksen lämmittämisessä pääasiallisesti käytettyä lämmitysmuotoa (Tilastokeskus 2020). Suomessa yleisimmin käytettyjä lämmitystapoja ovat öljy, sähkö, puu ja kaukolämpö. Lämpöpumput ovat kasvattaneet suosiotaan uudiskohteiden lämmitysmuotona. (LämpöYkkönen, 2017)

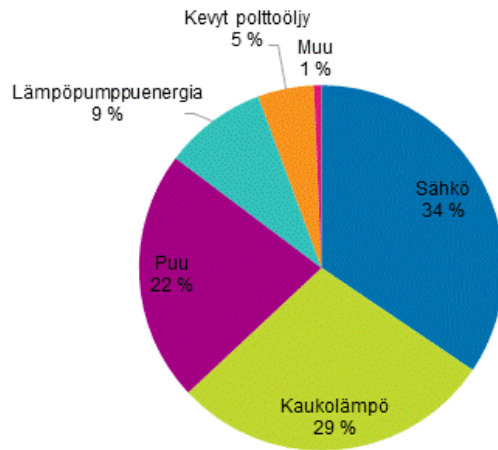
2.1 Lämmityksen eri vuosikymmenet

Aikanaan vielä 1900-luvun alussa rakennuksia lämmitettiin pelkästään polttamalla puuta keskellä huonetta olevassa uunissa. Samassa uunissa tehtiin myös ruokaa. Jos huoneita oli useampi, oli jokaisessa huoneessa oma uuni. Uunit olivat sijoitettuna siihen nurkkaan, josta oli yhteys asunnon savuhormiin. Savuhormi sijaitsi rakennuksen keskellä. (Harju, P. & Matilainen V. 2001)

Tämän jälkeen siirryttiin keskuslämmitykseen ja lämpöä tuotettiin puulla, kivihiilellä ja öljyllä ja noin 70-luvusta lähtien kaukolämpö on ollut hallitseva lämmönlähde kasvukeskuksissa.

2.2 Lämmittäminen nykypäivänä

Sähkö, kaukolämpö ja puu ovat yleisimpiä rakennusten lämmittämisessä käytettyjä lämmitysmuotoja (KUVIO 1).



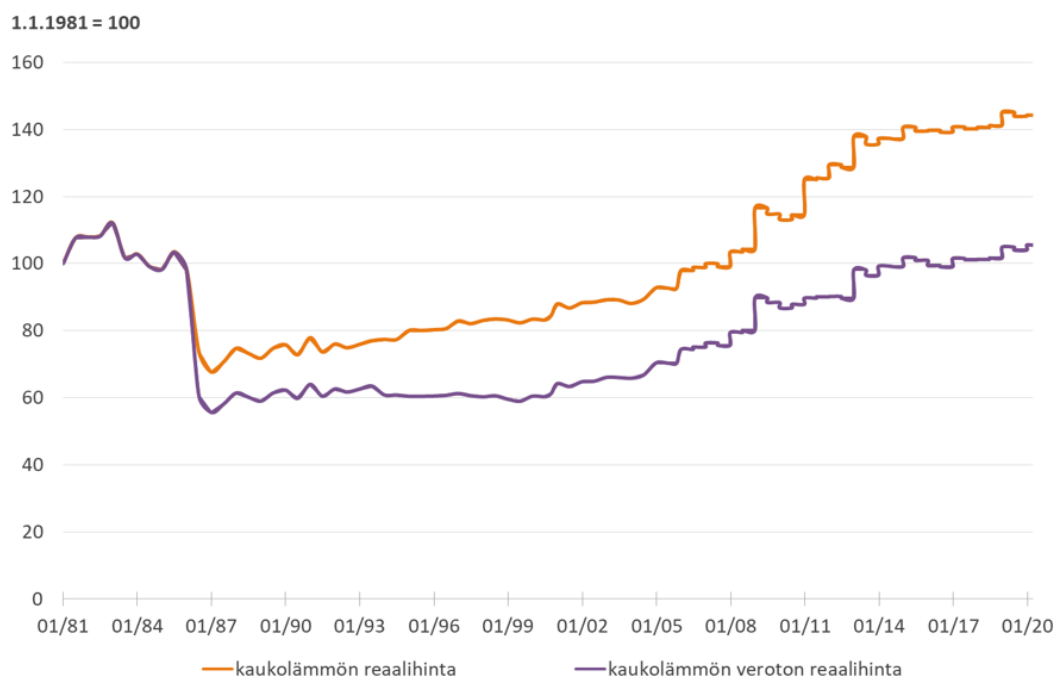
Kuvio 1. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2018 (Tilastokeskus 2019)

Kerrostaloja ja muita asuinrakennuksia lämmitetään edelleen myös puulla ja öljyllä. Uudiskohteista tehdään energiatehokkaita ja lämpöpumput ja lämmöntalteenotto ovat hyviä tapoja säästää energiaa. Auringon lämmön hyödyntäminen aurinkopaneeleilla ja aurinkokeräimillä ovat myös suuressa suosiossa markkinoilla, vaikka aurinkopaneelien hankintahinta onkin korkealla. Myös Suomen ilmasto-olosuhteet vaikuttavat suuresti aurinkopaneelien kannattavuuteen ja investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Varaavia takkoja käytetään myös asuinrakennusten lämmittämisessä, mutta usein varaava takka on suoran sähkölämmityksen rinnalla.

3 Mitä on kaukolämpö

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto kaupungeissa ja taajamissa (Kaukolämpö, Adato energia). Idea perustuu kuuman veden siirtämiseen sähköä ja lämpöä tuottavista voimalaitoksista maanalaisen kaksisuuntaisen (meno- ja paluujohto) putkiston avulla käyttäjille. Kuuma vesi johdetaan lämmönvaihtimeen, josta se siirretään kiinteistön lämmitykseen ja käyttöveden lämmittämiseen. Tämän jälkeen vesi palaa takaisin lämmöntuotantolaitokselle.

Suomessa noin 2,7 miljoonaa ihmistä asuu rakennuksessa, mikä lämpiää kaukolämmön avulla. Tämä tarkoittaa hieman alle 50 prosentin osuutta kaukolämmöllä lämmitysmarkkinoista. Kaukolämmön kannattavuus johtuu sen hinnasta, ja Suomessa on koko EU-alueen edullisinta kaukolämpöä ostovoimaan suhteutettuna (Kaukolämpö, Adato energia). Kuvio 2 nähdään, miten kaukolämmön hinta on kasvanut Suomessa viimeisen 20 vuoden aikana (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto). Hinnan jatkuvan nousun seurauksena kaukolämmön asiakkaat alkavat miettimään uuden lämmitystavan vaihtamista heidän kiinteistönsä esimerkiksi nykyisen lämmönsiirtimen tullessa tiensä päähän.

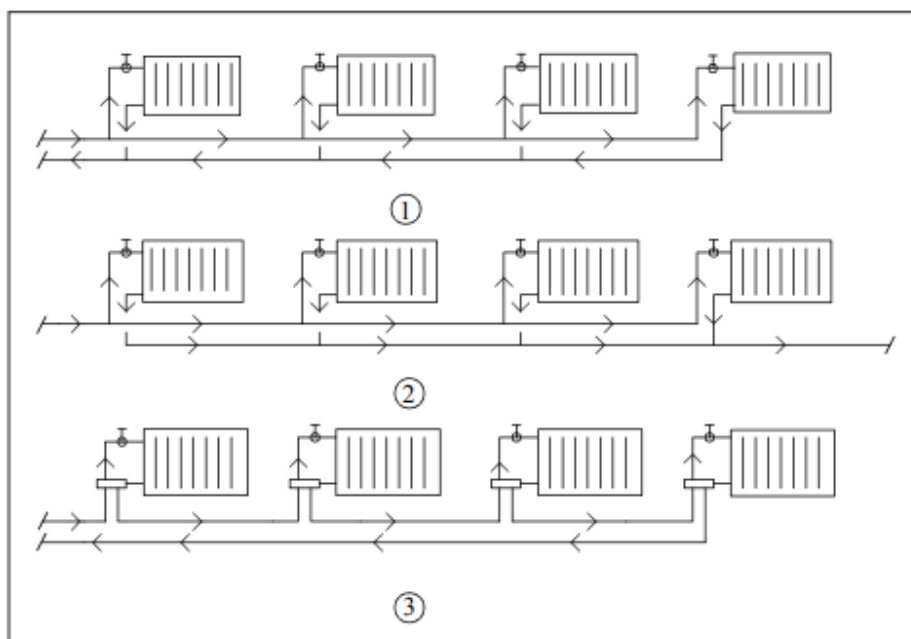


Kuvio 2. Kaukolämmön hinnan kehitys Suomessa (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto)

3.1 Kaukolämpö kerrostalossa

Kaukolämmön jakeluverkossa kiertävä vesi ohjataan kerrostalon lämmönjakuhuoneessa olevaan lämmönsiirtimeen. Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöverkossa kulkevan kuuman veden ja kiinteistön lämmönjakojärjestelmässä kulkevan veden toisistaan (Motiva, Energiatehokas koti).

Kerrostalon lämmönjakuhuoneessa sijaitsee lämmönjakokeskus. Se sisältää lämmönsiirtimet, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteet, pumpauslaitteet, venttiilit ja varusteet, sekä putkiston. Tämä laitekokonaisuus on liitetty lämmönmyyjän mittauskeskukseen, paisuntalaitteisiin sekä käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin.



Kuvio 3. Patteriverkoston suunnittelussa ja toteutuksessa käytettäviä malleja, 1. 2-putkijärjestelmä, 2. 2-putkijärjestelmä käännetyllä paluulla (Tichelman-kytkentä), 3. 1-putkijärjestelmä (Suomalainen kaukolämmitys, 84.)

Kerrostalossa vesikiertoisten patterein putkisto voidaan kytkeä kolmella tavalla. Perinteisessä 2-putkijärjestelmässä (KUVIO 3) huoneistojen patterit kytketään rinnan putkistoon. Haittapuolena tässä kytkennässä on jokaisen patterin eri paine-erotas, jolloin 2-putkijärjestelmä vaatii paljon tasapainotustyötä. Tichelman-kytkentä on myös 2-putkijärjestelmä, mutta erona siinä on käännetty pa-

luuputki. Kyseisellä verkoston rakenteella poistetaan verkoston tasapainottomuus ja järjestelmän jokaisella patterilla on lähes samat paineolosuhteet ja tasapainotus on helpompi ratkaista. Kuviossa 3 alin kytkentä on toteutettu 1-putki-järjestelmänä. 1-putkijärjestelmässä patterit ovat kytkettynä sarjaan ja haitta-
puolena on haastava mitoittaminen, koska pattereilla on eri mitoituslämpötilat. Tämä johtuu muuttuvasta tuloveden lämpötilasta. Tämän takia eri tiloissa saattaa olla erikokoisia pattereita ja niiden huoltamisesta tulee monimutkaisempaa. Jos pattereita kytketään sarjaan enemmän, tuloveden lämpötila laskee liikaa ja pattereiden koot kasvavat suuriksi.

3.2 Tuotanto ja jakelu

Kaukolämmön tuotanto tapahtuu polttolaitoksissa lämmön ja myös yhdessä sähkön kanssa. Lämmöntuotannossa käytetyt polttoaineet vaihtelevat Suomessa paikkakuntaakohtaisesti. Suomessa noin kolme neljäsosaa kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona (CHP) (Energiateollisuus ry, Yhteistuotanto). Yhteistuotannossa suurena hyvänä puolena on, että kaikista kylmimpänä aikana, kun lämmintä vettä tarvitaan kaikista eniten, saadaan myös sähköä tuotettua tällöin parhaiten. Taulukossa 1 on esitetty koko Suomessa polttoaineiden prosentuaalinen jakauma 2017.

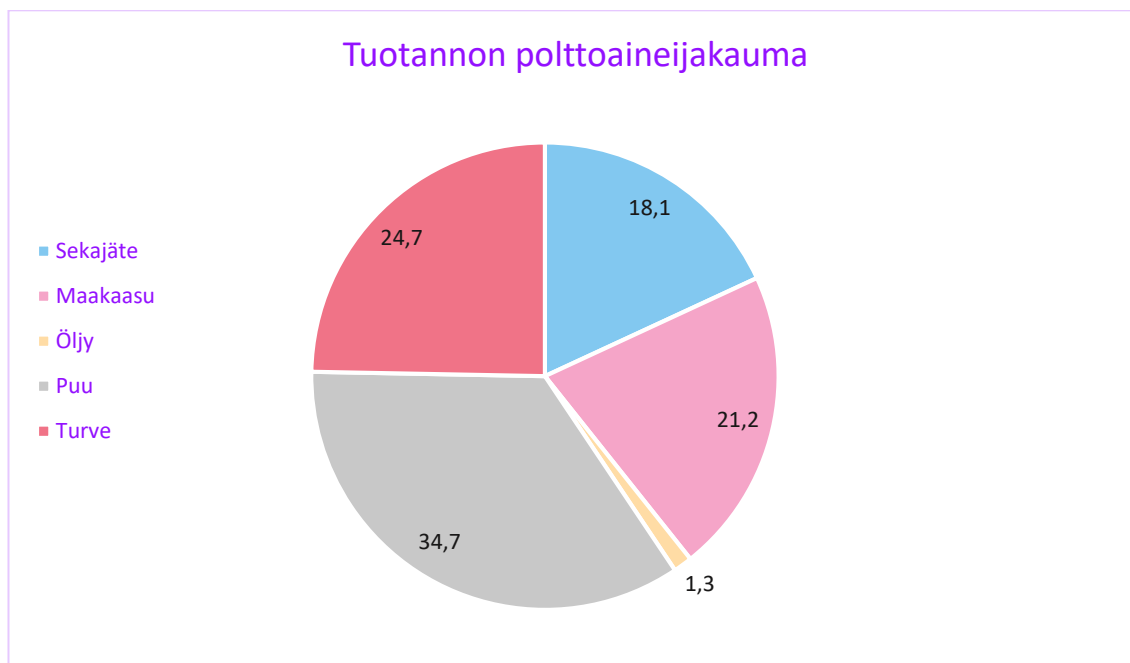
Taulukko 1. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden osuudet Suomessa (Energiateollisuus ry, Kaukolämpötilasto 2017.)

Polttoaine	2017
Maakaasu ja LNG	12,8 %
Kivihiili	27,8 %
Turve	15,5 %
Metsäpolttoaine	18,4 %
Teollisuuden puutähdde	11,1 %
Muut biopolttoaineet	3,6 %
Yhdyskuntajäte/sekajäte *	6,0 %
Sekapolttoaineet	2,0 %
Raskas polttoöljy	0,9 %
Kevyt polttoöljy	0,9 %
Muut	1,0 %

* = sisältää myös biohajoavan osan

Tampereella Tampereen sähkölaitoksen tuottama kaukolämpö tuotetaan pääosin Naistenlahden ja Lielahden voimalaitoksissa lämmön ja sähkön yhteistu-

tantona. Polttoaineen sisältämästä energiasta 90 prosenttia saadaan hyödynnettyä sähkönä ja lämpönä. Tamperelaisen kaukolämmön tuotannossa ei käytetä lainkaan kivihiiltä. Kuviossa 4 on esitetty Tampereen sähkölaitoksen käyttämien polttoaineiden jakauma.

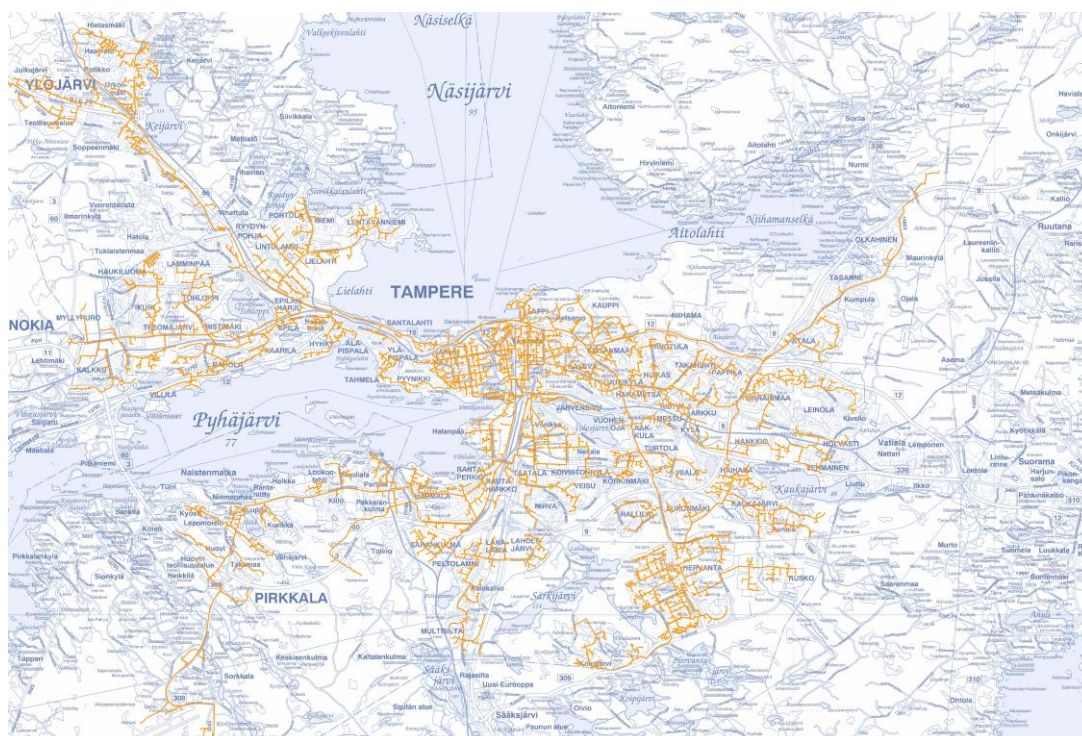


Kuvio 4. Tampereen Sähkölaitos Oy:n tuotannossa käytettyjen polttoaineiden jakauma. (Tampereen sähkölaitos 2019)

Kaukolämmön menoveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65 °C ja 115 °C välillä. Tuotantolaitokselle palaavan veden lämpötila on yleensä 40 °C ja 60 °C välillä. Putkistossa kiertävä vesi on värjätty mahdollisesti ympäristöä tai terveyttä vaarantamattomalla vihreällä väriaineella mahdollisten vuotojen paikantamiseksi. Samassa putkistossa on useampi tuotantolaitos, jotta riittävä määrä lämpöä pystytään siirtämään kaikille asiakkaille. Tämä mahdollistaa vastaamisen vaihtelevaan tarpeeseen ja tällöin taataan lämmöntuotanto myös häiriö- ja huoltotilanteissa.

Kaukolämpöverkkoa oli Suomessa vuoden 2018 loppuun mennessä rakennettu noin 15100 km (Energiateollisuus ry, Energiaverkot.). Vuosittain rakennetaan uutta verkkoa 250-500 km ja vanhoja vesijohtoja saneerataan 50-70 km. Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöverkoston pituus on noin 600 km (KUVIO 5) ja lämpöasiakkaita on reilut 5500 (Tampereen sähkölaitos oy, Kaukolämpöverkko).

Putket asennetaan yleensä noin 0,5-1 m syvyyteen katujen, jalkakäytävien ja kevyen liikenteen väylien alle maahan. Putket ovat hyvin eristetty, mutta asukastiheyden mukaan lämpöhäviöt ovat 5-15 prosenttia.



Kuvio 5. Kuvassa keltaisella Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöverkko (Tampereen sähkölaitos oy, Kaukolämpöverkko)

3.3 Kaukolämmön hinnan muodostuminen

Kaukolämmön hinta koostuu energiamaksusta ja kiinteästä maksusta, eli perusmaksusta. Energiamaksun suuruuteen vaikuttaa kaukolämmön kulutus kohteessa. Perusmaksun suuruuteen vaikuttaa Tampereen Sähkölaitoksen sivuilla olevan kaukolämpölaskurin mukaan kohteen asuntojen lukumäärä, kaukolämmön jäähtymälämpötila rakennuksessa, sekä kohteen kaukolämmön sopimusvesivirta (Tampereen sähkölaitos oy, Kaukolämpölaskuri).

Eräillä kaukolämpöyrityksillä on käytössään energiamaksun kausihinnoittelu. Kausihinnoittelulla tarkoitetaan, että energiamaksun suuruus riippuu vuodenaikasta ja kyseisen ajankohdan tuotantokustannuksista (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto). Tampereen Sähkölaitos Oy:n hinnoittelu perustuu kausihinnoitteluun. Taulukossa 2 on esitetty Energiateollisuus Ry:n kasaamat tiedot

vuodelta 2019 Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämmön energian hinnoista vuoden jokaiselta kuukaudelta.

Taulukko 2. Tampereen Sähkölaitos Oy:n kausihinnoittelun energiamaksut vuodelta 2019 (sis. alv. 24%). (Energieateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto)

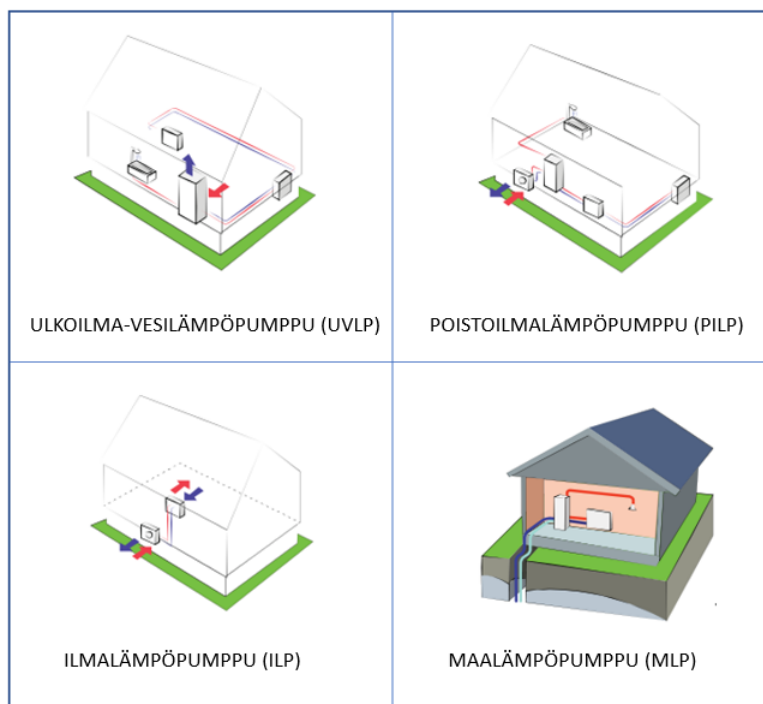
Kuukausi	€/MWh
Tammikuu	68,20
Helmikuu	68,20
Maaliskuu	62,00
Huhtikuu	62,00
Toukokuu	62,00
Kesäkuu	49,60
Heinäkuu	49,60
Elokuu	49,60
Syyskuu	62,00
Lokakuu	62,00
Marraskuu	62,00
Joulukuu	68,20

Ylläolevassa taulukossa ei ole huomioitu perusmaksua. Energieateollisuus Ry:n laatimassa taulukossa on ilmoitettu suuntaa antava luku perusmaksulle, ja se vaihtelee eri kokoisten rakennusten välillä. Kerros- ja rivitalo, missä on 15 asuntoa ja energiamaksun suuruus on 63,55 €/MWh, perusmaksu on tällöin 22,32 €/MWh. Kerrostalo, missä on 80 asuntoa ja energiamaksun suuruus on sama kuin aiemmassa esimerkissä eli 63,55 €/MWh, perusmaksun suuruudeksi on ilmoitettu 12,54 €/MWh. Tästä voidaan huomata, että perusmaksun suuruus pienenee kohteen kulutuksen kasvaessa.

4 Lämpöpumput

Lämpöpumpun tarkoitus on ottaa ulkoilmasta, ilmanvaihdon poistoilmasta, vedestä, maasta tai kalliosta lämpöenergiaa talteen ja näin saavuttaa taloudellisia säästöjä sekä olla hyödyksi ympäristölle (Motiva, Lämpöpumput). Lämpöpumpun hyödyntämä lämpöenergia siirretään käyttöveden sekä rakennuksen lämmittämiseen. Toiminta perustuu lämpöenergian siirtämiseen lämmönlähteestä ilmaan tai veteen. Lämpöpumppu toimii sähköllä, mutta sähkön kulutus kiinteistössä putoaa kohteesta ja kohteeseen asennettavasta lämpöpumpputyypistä riippuen siirryttäessä suorasta sähkölämmityksestä lämmittämään lämpöpumpulla.

Lämpöpumppuja on erilaisia erilaisiin käyttötilanteisiin. Maalämpöpumppu (MLP) hyödyntää maaperän pintakerrokseen tai vesistöön varastoitunutta auringon säteilyä eli lämpöä. Maalämpöpumpun tuotetusta lämmöstä saadaan 2/3 maaperästä saatavasta uusiutuvasta energiasta ja 1/3 tuotetaan sähköllä (Motiva, Maalämpöpumppu). Muita lämpöpumpputeknologioita ovat poistoilmalämpöpumppu (PILP), ulkoilma-vesilämpöpumppu (ULVP) ja ilmalämpöpumppu (ILP). Tässä työssä paneudutaan lähemmin maalämpöjärjestelmän maalämpöpumppuun ja poistoilmalämpöpumppuun. Kuviossa 6 on esitetty eri lämpöpumppujen toiminta periaatekuvana.



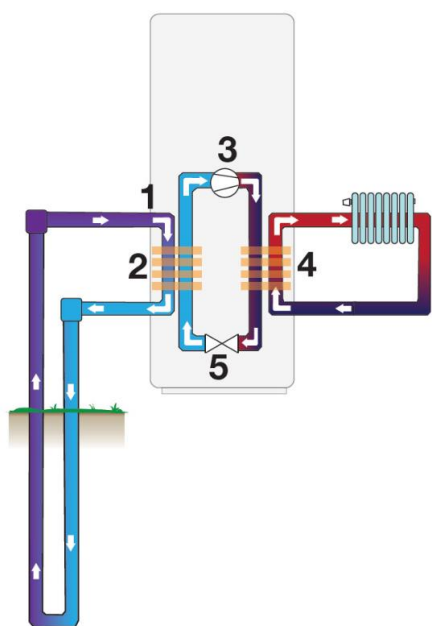
Kuvio 6. Lämpöpumppujen periaatekuva (Oulu Rakennusvalvonta 2013)

Lämpöpumppuun investoiminen on ymmärrettävää nykyisen energian hinnoittelun takia ja lämpöpumpun kustannustehokkuuden vuoksi. Lämmityksen kustannukset tippuvat lämpöpumpusta ja sen mitoituksesta riippuen 3-6 senttiin / kWh, kun öljyllä tai sähköllä lämmittäminen maksaa 12-18 senttiä / kWh. Tällöin saadaan 10-20 % vuotuinen tuotto investoinnille (Suomen lämpöpumppuyhdistys, Lämpöpumput).

4.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpun toiminta perustuu lämpöpumpussa kiertävän nesteen kykyyn siirtää ja luovuttaa lämpöä. Toiminta perustuu niin sanotusti kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Oli kyse sitten ilmalämpöpumpusta tai maalämpöpumpusta, lämpöpumpun toimintaperiaate on täysin sama. Ilmalämpöpumpussa lämpöpumppu hyödyntää ilmasta saadun lämmön ja maalämpöpumppu hyödyntää maankuoresta saatavan lämmön. Tässä luvussa tarkastellaan maalämpöpumpun toimintaa ja tarkastellaan lämpöpumpun eri osia.

Maalämpöpumpun rakenne (KUVIO 7) koostuu maankuoren sisällä olevasta keuruutkistosta (1), kahdesta lämmönvaihtimesta; höyrystin (2) ja lauhdutin (4), lämpöpumpun kompressorista (3) ja paisuntaventtiilistä (5).



Kuvio 7. Maalämpöpumpun kierron toimintaperiaate (Suomela, lämpöpumpun toimintaperiaate)

Keruupiirin tarkoitus on, että siinä kiertävä jäätymätön neste (esimerkiksi etyleeniglykoli tai etanoli) lämpenee matkansa aikana muutaman asteen. Maasta saatava lämpö siirtyy nesteen mukana lämpöpumpulle. Se nostaa lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen lämpötilaa muutamalla asteella, mikä saa aineen höyrystymään. Nyt lämpöpumpussa oleva kylmäaine on muuttanut olomuotonsa nestemäisestä kaasumaiseksi. Seuraavaksi kaasumainen kylmäaine siirtyy lämpöpumpun kompressorille, jolla puristetaan kaasua, mikä saa kaasun paineen kasvamaan, jolloin höyryn lämpötila nousee. Kompressorin avulla kaasumaisen kylmäaineen lämpötila nousee noin sata-asteiseksi (Motiva, Lämpöä ilmassa). Kompressorilta noin sata-asteinen höyrystynyt kylmäaine ohjataan lämpöpumpun lauhduttimeen. Lämpöpumpun lauhduttimessa kaasumainen kylmäaine muuttuu takaisin nestemäiseksi luovuttaen lämpönsä esimerkiksi lämminvesivaraajaan tai rakennuksen tuloilmaan.

Luovutettuaan lämpönsä rakennuksen lämmitysverkostoon kylmäaine palaa höyrystimelle paisuntaventtiin kautta. Paisuntaventtiin tarkoitus lämpöpumpussa on laskea kylmäaineen paine, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee (Motiva, Lämpöä ilmassa).

Lämpöpumpun tarvitsema sähköenergia kuluu kompressorin ja paisuntaventtiin. Esimerkiksi maalämpöpumpussa energiaa kuluu myös keruupiirissä kiertävän nesteen kierrosta huolehtivaan pumpun sähkömoottoriin, sekä järjestelmän säätölaitteisiin.

4.2 Hyötysuhde

Lämpöpumppujen kohdalla puhutaan alalla lämpöpumpun lämpökertoimesta, eli niin sanotusta COP-arvosta. Sen kolmekirjaiminen lyhenne tulee englanninkielen sanoista Coefficient Of Performance, ja se kertoo hyötysuhteen lämpöpumpulle. Jos lämpökerroin on esimerkiksi 4,5, se tarkoittaa, että lämpöpumppu tuottaa yhdellä kilowatilla sähköenergiaa 4,5 kilowattia lämpöenergiaa. Kyseinen COP-arvo mitataan 7°C lämpötilassa, jolloin luvun perusteella ei voida sanoa, kuinka hyvin lämpöpumppu toimii pakkasessa. (RefGroup 2020)

Nykyään lämpöpumppujen kohdalla puhutaan lämpöpumppujen SCOP-arvosta (Seasonal Coefficient of Performance), mikä tarkoittaa nimensä mukaisesti lämmityskauden lämpökerrointa. Sovellettavien lämpötilavälien, perusmitoituslämpötilojen, sekä mitoituskuormien takia SCOP lasketaan jokaiselle neljälle vuodentakajalle erikseen. Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, josta Helsinki kuuluu Pohjois-Euroopan kylmään alueeseen. Kaksi muuta vyöhykettä ovat Etelä-Euroopan lämmin alue ja Keski-Euroopan lauhkea alue. Suomessa asennettavien laitteiden SCOP-arvot tulee luonnollisesti olla ilmoitettu Helsingin, eli "colder climate":n mukaisesti. SCOP-arvon standardi on EN 14825 ja se on tällä hetkellä ainoastaan englanninkielisenä saatavana. (RefGroup 2020)

4.2.1 Ilmalämpöpumppu

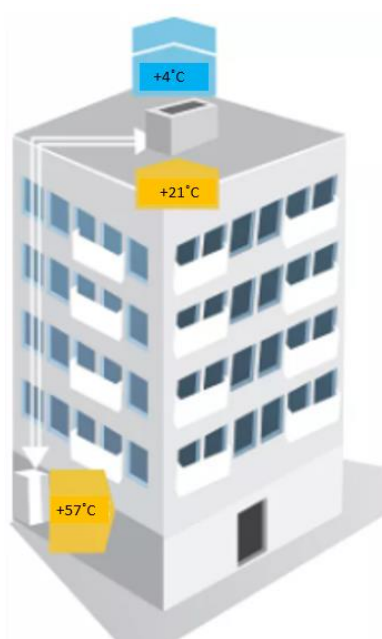
Ilmalämpöpumppu (ILP) on tukilämmitysmuoto, jonka toiminta perustuu ulkoilmasta otettavan lämmitysenergian hyödyntämiseen rakennuksen lämmittämisessä. ILP:n ulkoyksikkö asennetaan rakennuksen ulkopuolelle mahdollisesti rakennuksen seinälle tai maahan. Nykyään ilmalämpöpumppuja pystytään ohjaamaan kaukosäätimellä, jolloin asukas pystyy helposti säätämään ILP:n toimintaa. Talvella se puhaltaa rakennuksen sisälle lämmintä ilmaa ja lämmittää rakennusta, ja kuumana päivänä esimerkiksi kesällä ILP voidaan asettaa toimimaan päinvastoin, eli viilentämään rakennusta. Tällöin ILP toimii kuin jääkaappi tai pakastin, eli se puhaltaa rakennuksen sisältä kuumaa ilmaa rakennuksen ulkopuolelle viilentäen sisäilmaa. Ilmalämpöpumpulla pystytään tyypillisissä sääolosuhteissa tuottamaan 40-60 % rakennuksen lämmitysenergiatarpeesta nettona ulkoilmasta. Huomioiden taloussähkö ja käyttöveden lämmitys, suorasähkölämmitteisessä talossa sähkölaskua pystytään pienentämään kolmannes. Mikäli suorasähkölämmitteisen talon suuruus on 100-150 m² ja sen sähkölasku on 1200 – 1800 euroa vuodessa, voidaan ILP:n avulla säästää 400 – 600 euroa vuodessa. (Suomen lämpöpumppuyhdistys, Ilmalämpöpumppu).

4.2.2 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) hyödyntää lämmitysenergian rakennuksesta poistettavasta ilmasta. Kerrostaloissa poistettavan ilman mukana häviää 30 – 40

% lämmitysenergiasta (Omataloyhtiö 2020). Pumpun tarkoitus on siirtää poistoilmasta lämpö rakennuksen tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen patteriverkostoon. Lämmönlähteenä on aina talon tai rakennuksen noin 21 °C sisäilma ja tällöin PILP tuottaa lämpöä vakioteholla vuodenajasta riippumatta. Poistoilmalämpöpumppu ei itsessään riitä rakennuksen päälämmönlähteeksi eikä sillä pystytä tuottamaan kaikkea rakennuksen tarvitsemaa energiaa. Lämmitystarpeen kasvaessa lämpöpumpulle liian suureksi, tuotetaan tarvittava lisälämmitysteho sähkövastuksilla. Verrattuna suoraan sähkölämmitykseen, PILP:in avulla saavutetaan noin 40 % ostoenergian säästö. Poistoilmalämpöpumpun hankintahinta on huomattavasti alhaisempi kuin esimerkiksi maalämpöpumpulla tai ilma-vesilämpöpumpulla (Suomen lämpöpumppuyhdistys, Poistoilmalämpöpumppu).

Kerrostalossa lämmöntalteenotto poistoilmalämpöpumpulla toteutetaan asentamalla uudet lämmönkeruupatterit varustetut poistoilmapuhaltimet rakennuksen katolle. Puhaltimista kerätty lämpö siirtyy putkien avulla lämmönvaihtimesta lämpöpumpulle. Katolle menevät lämmönsiirtonesteen putkistot voidaan asentaa koteloituna rakennuksen seinälle (KUVIO 8), mutta ne pystytään asentamaan esimerkiksi linjasaneerauksen tai putkiremontin yhteydessä vesiputkien ja viemäriputkien kanssa kulkemaan samassa kotelossa rakennuksen sisällä. (Omataloyhtiö 2020)



Kuvio 8. Lämmöntalteenoton periaatekuva kerrostalossa (Omataloyhtiö 2020)

4.2.3 Ulkoilma-vesilämpöpumppu

Ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP) eli ilma-vesilämpöpumppu hyödyntää lämmitysenergian ulkoilmasta vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. UVLP ei pysty tuottamaan koko rakennuksen lämmitystehontarvetta kylmimpinä aikoina. Ulkoilma-vesilämpöpumpun hyöty lakkaa kovimmilla pakkasilla (-20 °C) ja sillä ei voida kattaa rakennuksen koko lämmitysenergiatarvetta. Tästä syystä se tarvitsee rinnalleen toisen täydelle lämmitysteholle mitoitettun lämmitysjärjestelmän. Yleensä lämpöpumpun rinnalle ei hankita toista järjestelmää, vaan kylmimpinä ajanjaksoina käytetään lämpöpumpun omia sähkövastuksia kattamaan lämmitystarve kylmimpinä ajanjaksoina. Muissa kuin pientaloissa lämpöpumpun rinnalla voidaan käyttää myös öljylämmitystä, kaukolämpöä tai maalämpöä lisälämmönlähteenä. Mikäli pitkiä kylmiä jaksoja on paljon, on pelkästään UVLP lämmitysjärjestelmänä huono, sillä pelkällä sähköllä lämmittäminen on kallista. Rakennuksen sijainnilla on suuri merkitys, sillä talvella 2019 ilmatieteenlaitoksen mukaan ei Etelä-Suomessa saavutettu kertaakaan -20 °C rajaa. UVLP verrattuna maalämpöpumppuun on halvempi hankintahinnaltaan, ja se pystytään asentamaan kohteisiin, jossa esimerkiksi maaperän takia ei pystytä asentamaan maalämpöä. (Motiva, Ilmavesilämpöpumppu)

4.2.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu (MLP) toimii samalla periaatteella kuin muutkin lämpöpumput. Maalämpöpumppu ottaa keruuputkistossa kiertävän jäätymättömän nesteen avulla kallioperästä, pintamaasta tai vedestä varastoitunutta auringonlämpöä (Motiva, Maalämpöpumppu). Maalämpöpumppujärjestelmän suunnittelussa on tärkeä ottaa huomioon maan sisällä olevan keruuputkiston mitoitus.

Maalämpöpumppu suositellaan asennettavaksi erilliseen tekniseen tilaan huollettavuuden ja meluhaitan vuoksi, mutta se on mahdollista asentaa myös esimerkiksi omakotikohteessa kodinhoitohuoneeseen. Kerrostaloon sijoitettavan lämpöpumpun sijoittamisessa tulee miettiä mahdollisia meluhaittoja teknisen tilan yläpuolella sijaitsevaan asuntoon.

Maalämpöpumput ovat kasvattaneet lämmitysjärjestelmistä suosiotaan eniten (Suomen lämpöpumppuyhdistys, Maalämpöpumppu). Suurista investointi kustannuksista huolimatta maalämpöpumppuja asennetaan runsaasti. Järjestelmän käyttökustannukset ovat oikein mitoitettuna edulliset. Järjestelmä on myös helppo ylläpitää vähäisten huolto- ja tarkastustoimien vuoksi. (Motiva, Maalämpöpumppu)

5 Maalämpöjärjestelmän lait ja määräykset

Kun kyseessä on jo olemassa olevan rakennuksen lämmitysjärjestelmän vaihto maalämpöjärjestelmäksi, riittää tällöin maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) mukaan toimenpidelupa (MRL 132/1999, 126 a §). Toimenpideluvan lisäksi voidaan tarvita vesilain (VL) mukainen lupa, jos kohde sijaitsee I- tai II-luokan pohjavesialueella ja porakaivoista epäillään aiheutuvan vaaraa alueen pohjavedelle tai vedenhankinnalle (Ympäristöopas 2013). Maalämpöön liittyviä lakeja on MRL:n ja VL:n lisäksi ympäristösuojelulaki, kiinteistönmuodostamislaki, kemikaalilaki ja terveydensuojelulaki.

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrää maalämpöhankkeelle haettavan toimenpideluvan, ellei kunta rakennusjärjestyksessään ole toisin määrännyt. Myös silloin, kun halutaan käyttää maalämpöä lisälämmönlähteenä, tulee kohteelle hakea toimenpidelupaa. Luvan edellyttämistä toimenpiteistä ja rakennustyön laadusta vastaa vastaava työnjohtaja. Toimenpidelupahakemus jätetään kunnan rakennusvalvontaan. (Ympäristöopas 2013)

Jos rakennushanke tarvitsee vesilain mukaisen luvan, haetaan se ensin aluehallintovirastosta. Tämä lupa tulee hakea ensin, sillä kielteisen vastauksen myötä maalämpöä ei saa rakentaa. Vesilain mukaisen luvan voi hakea aluehallintovirastolta ja sieltä annetaan tarkemmat ohjeet hakijalle muun muassa siihen, mitä tietoja, selvityksiä ja eri asiakirjoja lupahakemukseen tulee sisällyttää. (Ympäristöopas 2013)

Ympäristösuojelulaki kattaa pohjaveden laadun varmistamisen siten, että se kielteää keruuputkistossa kiertävän aineen pääsyn pohjaveteen. Ympäristösuojelulain 133§ mukaan se, jonka toiminnasta on aiheutunut maaperän tai pohjaveden pilaantuminen, on velvollinen puhdistamaan pilaantuneen maaperän ja pohjaveden siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (YSL 527, 133§)

Jos maalämpöhanke sijaitsee tiheään asutulla alueella, esimerkiksi keskusta-alueella, joudutaan mahdollisesti poraamaan energiakaivo vinoreikänä naapurin tontille. Porattaessa vinoreikä naapurin tontille, olisi hyvä perustaa rasite. Tämä

tarkoittaa sitä, että vaikka naapurikiinteistön omistaja vaihtuu, rasite turvaa laitteiston ulottamisen ja pysyvyyden naapurikiinteistön puolella. Naapurilta saatu lupa ja mahdollinen rasite on liitettävä toimenpidelupahakemukseen. (Ympäristö-opas 2013)

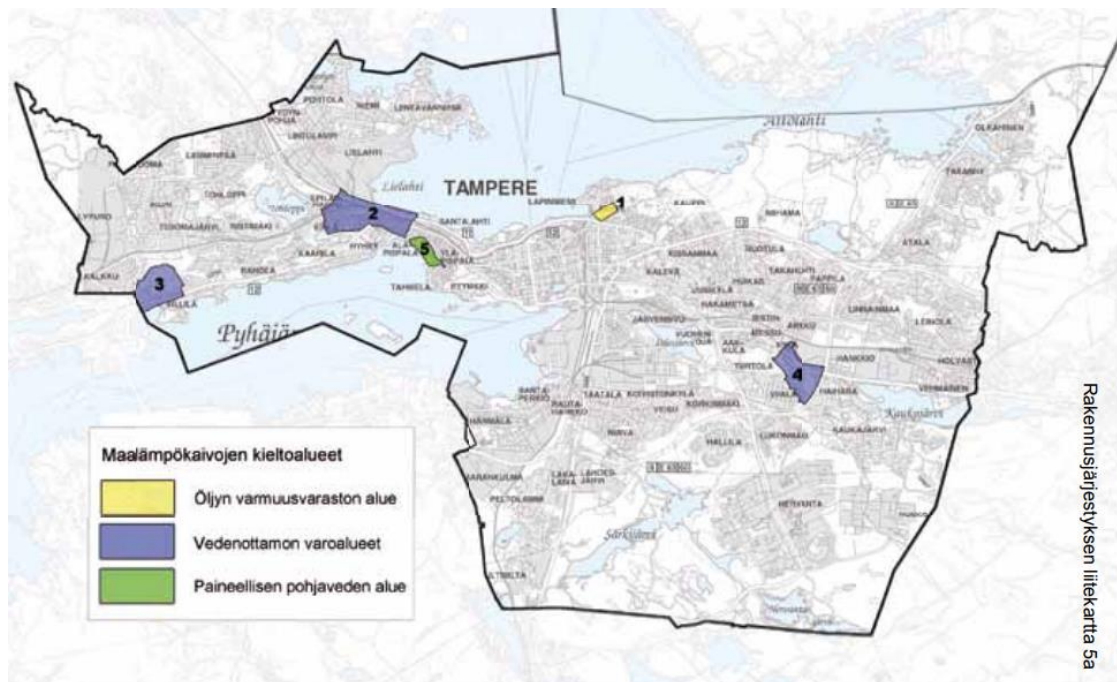
Kemikaalilaki liittyy maalämmössä keruuputkistossa kiertävään lämmönke-ruunesteeseen. Laki määrää, silloin kun se on kohtuudella mahdollista, valitsemaan sellaisen nesteen, josta aiheutuu vähiten vaaraa. (Kemikaalilaki 599, 19§)

5.1 Maalämpölupa Tampereella

Maalämpöluvun hakemiseen on Tampereen kaupungin kotisivuilla annettu selkeät ohjeet. Maalämpöjärjestelmän rakentaminen edellyttää toimenpidelupaa, paitsi silloin kun rakennuskohde sijaitsee kantakaupungin ulkopuolisilla asema-kaavoittamattomilla alueilla. Mikäli kohde sijaitsee kyseisellä alueella, mutta sijaitsee samalla pohjavesialueella, tulee kohteelle tällöin hakea toimenpidelupa. (Tampereen kaupunki 2020)

Mikäli maalämmön keruuputkisto sijoitetaan vesistöön, vaaditaan tällöin vesialueen omistajan suostumus. Tästä tulee tehdä myös vesirakennusilmoitus Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. (Tampereen kaupunki 2020)

Ennen hankkeeseen ryhtymistä tulee selvittää poraamisen edellytykset, jos energiakaivon mahdollinen sijoituspaikka sijaitsee lähellä kaatopaikkaa tai alueella, jossa on tai on ollut pilaantunutta maata. Poraaminen Tampereen kaupungin alueella ei ole sallittua vedenottamon varoalueilla, eikä myöskään paineellisen pohjaveden alueella. Kielletyistä alueista on esitetty kartta Tampereen kaupungin rakennusjärjestyksessä (KUVIO 9). (Tampereen kaupunki 2020)



Kuvio 9. Maalämpökaivojen kieltoalueet Tampere. (Tampereen kaupunki 2014)

Maalämpölupaa pitää hakea Lupapiste.fi -palvelusta. Jos kohde on asunto-osa-
keyhtiö, tulee lupahakemukseen liittää taloyhtiön hallituksen päätöspöytäkirja
maalämpöhankkeesta ja kiinteistön kaupparekisteriote. Lisäksi tulee liittää ase-
mapiirustus, jossa on merkitty porattavien porareikien sijainnit numeroituna. Mi-
käli porataan vinoreikiä, tulee asemapiirustuksessa olla merkittynä porauskulma.
Porareikien sijaintien lisäksi tulee kuvaan merkitä reikien etäisyydet tontin lähira-
joista, sekä reikien sidontamitat tunnetuista pisteistä. Jos vinoreikä porataan naa-
purin puolella, tulee asemapiirustuksessa olla lupaa hakiessa naapurin suostu-
mus. Kohteen lämmönjakohuoneen pohjapiirustus ja lämmitysjärjestelmän kyt-
kentäkaavio tulee myös liittää hakemukseen, ellei kyseessä ole pientalo. Suun-
nitelmat tulee varustaa suunnittelijan nimikirjoituksella. Jokaiselle kohteelle tulee
hyväksyttävä rakennusvalvonnassa erityinen työnjohtaja, jonka tehtävänä on val-
voa työn suorittamista. Erityisenä työnjohtajana voi toimia hankkeen suunnittelija
tai poraustyön/lämpöpumpun asennuksen suorittavan urakoitsijan edustaja.
(Tampereen kaupunki 2020)

Porauksen yhteydessä syntyvä maasta tuleva kiintoaines ja porausvesi tulee joh-
taa umpisäiliöön. Sitä ei saa johtaa sellaisenaan vesistöön, yleisiin viemäriin,
lähiojiin, katu- tai puistoalueelle. Työn aikana syntyvä kiviaines on varastoitava
sitien, ettei se leviä ympäristöön pölynä tai lietteenä. (Tampereen kaupunki 2020)

Kun työ on saatu loppuun ja lämpöpumppu on asennettu ja toiminnassa, tulee työnjohtajan tilata kohteeseen rakennusvalvonnasta loppukatselmus. Loppukatselmuksen tarkoitus on selvittää, että työ on suoritettu myönnetyn luvan ja ehtojen mukaisesti. Katselmuksen yhteydessä työnjohtaja luovuttaa porausraportin arkistointia varten tarkastusviranomaiselle. (Tampereen kaupunki 2020)

5.2 Äänihaitat

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132) lukee, että rakenteiden äänieristävyyden ja taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on oltava sellaisia, että rakennuksessa oleskelevien uni ja lepo eivät häiriinny, ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta on ääniolosuhteiden puolesta mahdollista (Maankäyttö ja rakennuslaki 132/1999). Lain lisäksi ympäristöministeriö on laatinut lausunnon koskien ääniympäristöä rakennuksessa. Ympäristöministeriön ohjeessa sanotaan: *”Korjausrakentamisessa ja muutostyössä rakennuksen ääniympäristöä koskevat vaatimukset määräytyvät ensisijaisesti rakennuksen valmistumisaikana voimassa olleiden säännösten mukaisesti. Ääniympäristöä ei saa rakennuksen korjaus- ja muutostöissä heikentää”*. (Ympäristöministeriö 2018, 14)

Vaihdettaessa rakennuksen päälämmitysmuoto kaukolämmöstä maalämpöön, ei rakennuksessa yleensä tarvitse tehdä rakenteellisia muutoksia, jotka voisivat heikentää rakennuksen äänieristävyyttä. Ainoa rakenteellinen muutos saattaa olla ulkoseinään porattavat keruupiirin putkien läpiviennit ja mahdolliset läpiviennit kellarikerroksessa ulkoseinältä lämmönjakohuoneelle.

Valittaessa rakennukseen taloteknisiä laitteita, esimerkiksi tässä tapauksessa maalämpöpumppu, tulee valita äänitasoltaan mahdollisimman hiljainen laite. Mikäli on epäilystä äänen eristävyydestä lähimmän asunnon kanssa, tulee jo lämmönjakohuoneeseen laitteiden sijoittelua suunniteltaessa ottaa huomioon maalämpöpumpun asentaminen. Se voidaan esimerkiksi asentaa erilliselle alustalle, jolloin ääni ei kulkeudu rakenteita pitkin lähimpään huoneistoon.

6 Maalämpö

Maalämmöllä eli geoenergialla tarkoitetaan auringon tuottamaa lämpöenergiaa, mikä on varastoitunut maaperään. Lämpöenergian hyödyntäminen tapahtuu maankuoren sisään asennettavan suljetun keruupiirin ja maalämpöpumpun avulla. (Pekkala, R. 2012, 14)

Maanpinnan keskilämpötilaan vaikuttaa ilman lämpötila, mutta se vakiintuu Etelä-Suomessa n. 14-15 metrin syvyydessä 5-6 celsiusasteeseen. Syvemmällä kallioperässä geoterminen energia nostaa lämpötilaa keskimäärin 0,5/1 celsiusastetta 100 metriä kohden. Näin ollen Suomen eteläosissa kallioperän lämpötila on 300 metrin syvyydessä on noin 6,5-9 celsiusastetta. (Ympäristö-opas 2013)

Maalämpöjärjestelmä mitoitetaan sen mukaan, paljonko lämmitysenergiaa ja -tehoa lasketaan taloon tarvittavan. Mitoitukseen vaikuttaa myös olennaisesti lämpimän käyttöveden tarve. Mikäli lämpökaivo on liian matala tai valittu lämpöpumppu on teholtaan liian pieni, siirtyy maalämpöpumppu nopeasti käyttämään sähkövastuksia, jotka ovat lämpöpumpussa tarkoitettu hoitamaan kulutuspiikkejä. Ylimoitettu lämpöpumppu käy puolestaan lyhyempiä jaksoja ja tällainen kuluttaa enemmän kompressoria. (Tom Allen Senera Oy 2019)

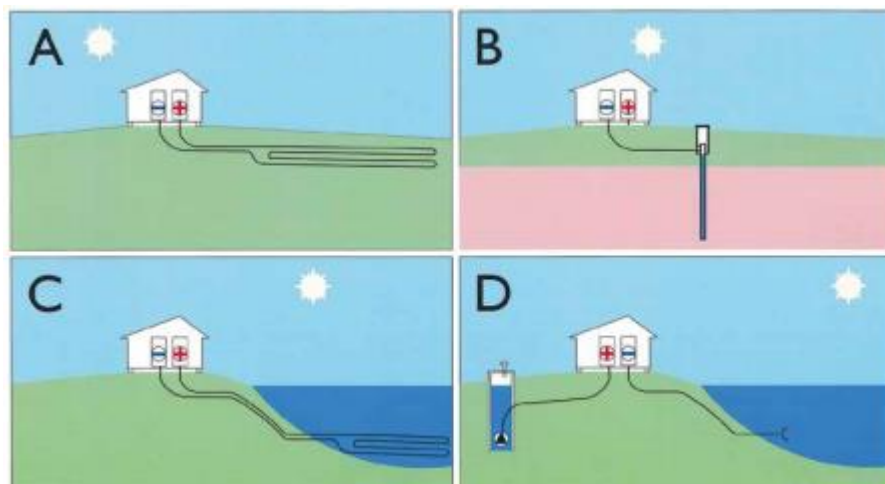
Maalämpöpumppu mitoitetaan täysiteholle tai osateholle. Molemmat tavat johtavat hyvin toimivaan maalämpöjärjestelmään. Lämpöpumppu, joka on mitoitettu osateholle eli 60-80 %, tuottaa vuotuisesta lämpöenergiasta noin 95 %. Maalämpöpumpun varaajan sähkövastuksilla tuotetaan lämpöenergian loppuosa etenkin kovilla pakkasilla. Täydelle teholle mitoitettuna lämpöpumpulla saadaan katettua energiantarve kokonaisuudessaan lämmitykselle sekä lämpimälle käyttövedelle ja kovimmillakaan pakkasilla ei tarvita sähkövastuksia. (Motiva, Lämpöä omasta maasta)

Lähdettäessä mitoittamaan maalämpöä kerrostaloon, tulee selvittää rakennuksen sijainti ja rakennuksen maksimilämmitystehontarve. Rakennuksen lämpimän veden tarve, sekä patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötila tulee myös

tietää. Maalämpölaitteistoille tarvittava tila on hieman kaukolämpöpakettia suurempi normaalissa asuinkerrostalossa. Tästä syystä lähtötietona tulisi myös olla rakennuksen pohjapiirustus mittakaavassa. Jos sitä ei ole saatavilla, tulee kohteen kartoittamisen yhteydessä suunnittelijan selvittää tilojen riittävyys mittamalla.

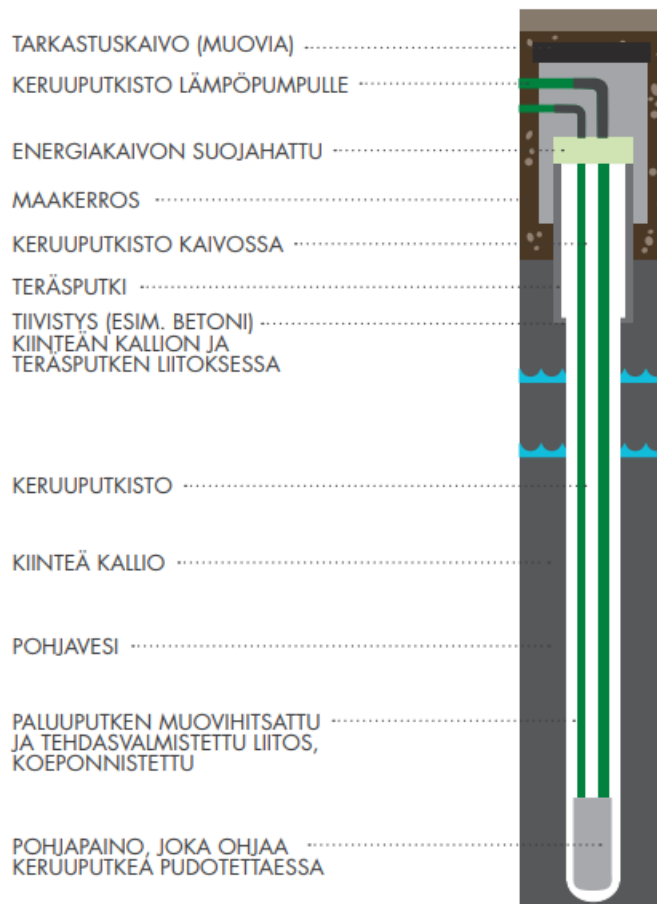
6.1 Keruuputkistotyypit

Lämmönkeruuputkistona voidaan käyttää erityisesti keruuputkistoksi tarkoitettua putkea, mutta myös tavallista muoviputkea saa käyttää. Suoraan maalämmön keruuputkistolle tarkoitettulle putkityypille sen materiaalin tai paineluokan puolesta ei ole asetettu vaatimuksia. (LVI11-10624, 2018)



Kuvio 10. Maapiiri (A), energiakaivo (B), maapiiri upotettuna veteen (C) ja avoin keruupiiri (D). (Ympäristöopas 2013)

Kuviossa 10 on esitetty erilaisia maalämmön keruuputkistotyyppejä. Yleisin ja varmimpana pidetty keruuputkistotyyppi on suoraan maaperään porattu 100-300 metriä syvä energiakaivo (KUVIO 11). Se on helpoin toteuttaa, sillä sen tarvittava maanpäällinen pinta-ala on keruuputkistotyypeistä pienin. Mikäli rakennuskohde sijaitsee vedenottamon läheisyydessä, voi riskien minimoimiseksi olla tarpeen täyttää porareian keruuputkiston ulkopuolisen osan täyttämisen sementillä tai betoniitilla. Tällöin estetään porareiässä pohjaveden virtaus. (Ympäristöopas 2013)



Kuvio 11. Energiakaivon läpileikkaus. (Rototec 2020)

Maalämpöjärjestelmä voidaan asentaa myös pintalämpötilajärjestelmänä (KUVIO 10). Silmukka asennetaan vaakasuoraan routarajan alapuolelle. Järjestelmä vaatii suuremman maapinta-alan. Maa-aineksen tulee tyypiltään olla sellaista, että se kerää vettä. Vaakaputkiston asennukseen tästä syystä ideaali asennuspaikka on pellot ja niityt. Jos maalämmön keruuputkisto toteutetaan vaakaputkistona, tulee huomioida muista asennustyypeistä poiketen maanpinnan ennallistamisesta aiheutuva työmäärä. (Ympäristöopas 2013)

Mikäli rakennustontti sijaitsee vesistön rannassa, on keruuputkisto mahdollista asentaa suoraan veteen (KUVIO 10). Järvilämpö luokitellaan myös maalämmöksi, koska keruuputkistolla kerätään vesistön pohjasta samalla tavalla varastoitunutta lämpöenergiaa samalla tavalla kuin maaperästä. Keruusilmukka ankuroidaan vesistön pohjaan, missä veden lämpötila on 4-5 celsiusastetta. Jos keruuputkisto asennetaan järveen, tulee järven olla riittävän syvä, että se ei jäädy pohjaan asti talvella, koska tällöin järjestelmä ei toimi (Pekkala, R. 2012, 16)

Maalämpöä pystytään myös hyödyntämään ilman erillistä putkistossa virtaavaa lämmönkeruunestettä. Lämmönkeruunesteen sijaan putkistossa kierrätetään pohjavettä. Kyseistä järjestelmää kutsutaan avoimeksi keruupiiriksi (KUVIO 10). Järjestelmä toimintaperiaate perustuu pohjaveden pumppaamiseen maanpinnalle siirtoputkiston avulla. Tämän jälkeen pohjavedestä saatu lämpö hyödynnetään maalämpöpumpussa. Maalämpöpumpusta vesi palautetaan takaisin pohjavedeksi tai pintavesiin. (Ympäristöopas 2013)

Suunniteltaessa energiakaivojen sijoitusta, tulee ottaa huomioon myös porakaluston paikalle päästävyys. Lisäksi huomioitavia asioita ovat etäisyys viereisiin rakennuksiin, etäisyys alueen muihin energiakaivoihin, mahdollinen talousvesikaivo sekä tontin raja. Taulukossa 3 on esitetty energiakaivon porareian suositeltavia minimietäisyyksiä eri kohteisiin.

TAULUKKO 3. Energiakaivon porareian suositeltavia minimietäisyyksiä (Ympäristöopas 2013)

Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ^[14]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystysuora

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

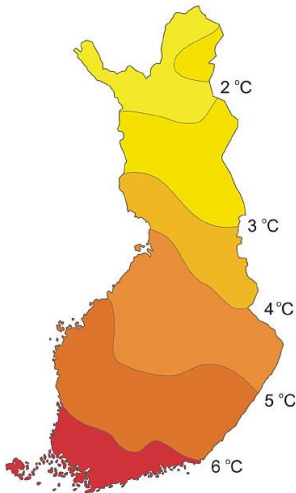
6.2 Lämpökaivokenttä

Kerrostalokiinteistön mittakaavassa toteutuva maalämpöjärjestelmä vaatii maalämpökaivoilta enemmän. Kun esimerkiksi pientalon pihalle riittää yksi lämpökaivo kattamaan talon lämpöenergian tarpeen, kerrostalossa niitä tulee porata useampi. Useamman kaivon järjestelmää kutsutaan lämpökaivokentäksi. Jos kohde on energiantarpeeltaan niin suuri, että kaivojen lukumääräksi saadaan

enemmän kuin kolme, suositellaan kohteeseen tehtävän tarkempi maaperän tutkimus. Maaperätutkimuksen suorittaa maalämpöurakoitsija mitoittaessaan kaivokenttää. Lämpökaivokentän käytännön mitoitukseen vaikuttaa kaivojen ryhmitely. Harvat avoryhmitykset esimerkiksi rivi tai U-muoto ovat huomattavasti tehokkaampia, kuin tiheät matriisimuodot. Matriisimuotoon poratut kaivot soveltuvat silloin, kun maaperän nettolämpötase on lähes neutraali. Nettolämpötaseella tarkoitetaan arvoa, mikä saadaan, kun vähennetään maaperään annetusta lämpömäärästä maaperästä otettu lämpömäärä. Nettolämpötase lasketaan usein kuuksittaisten nettolämpökuorimien perusteella. Energiakaivojen välinen etäisyys tulee olla vähintään 20 metriä toisistaan. Mikäli kaivot on porattava lähemmäksi toisiaan, tulee mitoittaessa ottaa huomioon kaivojen pitkäaikaissaannon pieneneminen kaivojen välimatkan pienentyessä. Energiakaivoja voidaan porata myös vinoon, mikä mahdollistaa useamman kaivon poraamisen yhdelle tontille. Yksittäinen energiakaivo jäädyttää ympäröivää kalliota noin 100 metrin säteellä ja tämän takia kaivot alkavat jäädyttää toisiaan. Tästä syystä kaivokentän suunnittelulla on suuri merkitys lopputuloksen kannalta. (Gebwell Oy 2020)

6.3 Maalämpökentästä saatava teho

Maaperällä on myös suuri merkitys mitoittaessa kaivokenttää. Maaperän tehollinen lämmönjohtavuus voidaan mitata TRT-mittauksella eli maaperän lämmönvastetestin avulla. Mitoituksen työkaluksi Geologian tutkimuskeskus GTK on laatinut geoenergiakartan, joka kertoo kallioperän paikallisen geopotentialin (Gebwell Oy 2020). Maaperän luonnollinen alkulämpötila (KUVIO 12) on otettava myös huomioon suunnittelussa. Se vaihtelee vyöhykkeittäin Suomessa ja eteläisessä Suomessa saanto on selvästi suurempi.



Kuvio 12. Maan pinnan keskilämpötilat Suomessa. (Ilmastointitekniikka osa 1)

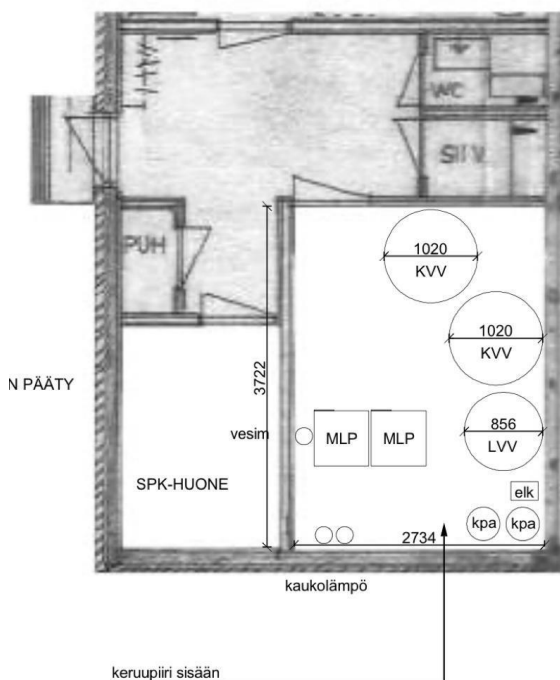
Yksittäisen lämpökaivon osalta nettolämpökuorma voidaan ilmoittaa nettolämpömääränä tehollista porakaivometriä kohti yksiköllä kWh/m_{eff}V. Yksittäisen kaivon oletettu kuormitettavuus Etelä-Suomessa ja oletus saatavasta energiamäärästä on 100 kWh/m_{eff}V, mutta vaihtelualue on 50-130 kWh/m_{eff}V. Vaihtelevuus riippuu kentän muodosta ja maaperästä. Tehollisella porakaivometrillä tarkoitetaan veden täyttämää kallion sisällä olevaa osuutta. Kalliassa veden täyttämällä osuudella on kolme kertaa parempi lämmönsiirtokyky, kuin mikä sillä on irtomaaosuudella. Yksittäisestä energiakaivosta pystytään hetkellisesti ottamaan yhtä metriä kohti 40-50 W/m_{eff}, mutta jatkuva tehon otto voi johtaa energiakaivon jäätymiseen. Kaivon jäätyminen voi johtaa kollektoriputkien jäätymiseen ja rikkoutumiseen. Jäätymistä välttämiseksi energiakaivosta saatava teho porattua metriä kohti pidetään laskelmissa 30W/m_{eff}. Rakennuksen lämmitysenergiantarpeesta saadaan laskettua tarvittavien kaivojen lukumäärä ja syvyys. Lämmitysenergiantarve voidaan uudiskohteissa laskea Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 (2012) mukaisella tasauslaskumenetelmällä, mutta jos kyseessä on saneerauskohte, voidaan lämmitysenergiantarve selvittää todentuneiden kulutustietojen perusteella esimerkiksi kaukolämmön kulutustiedoista. (Ilmastointitekniikka osa 1)

6.4 Keruuputkiston vienti lämmönjakohuoneeseen ja tilan tarve

Maalämmön keruuputkistosta ja energiakentästä vastaa maalämpöurakoitsija. Maalämpöurakoitsija toimittaa poraukseen tarvittavat työkonet rakennustontille ja huolehtii kaivojen poraamisesta ja porausjätteen keräämisestä. Urakkarajana

toimii usein rakennuksen lämmönjakohuone, jonne viedään keruuputkisto kokoomakaivolta. Keruuputkiston meno- ja paluuputket viedään rakennuksen julkisivun läpi, jonka jälkeen läpiviennit tulee asianmukaisesti tiivistää. Lämmönjakohuoneeseen asennetaan venttiilit, mihin kytketään rakennuksen lämmönjakojärjestelmästä huolehtiva maalämpöpumppu.

Maalämpöpumppu suositellaan asennettavaksi erilliseen lämmönjakohuoneeseen sen huollettavuuden ja meluhaitan takia. Maalämpöpumpun tai maalämpöpumppujen lisäksi lämmönjakohuoneeseen asennetaan tarvittavat varaajat. Tästä syystä mitoituksen yhteydessä tulee suunnitella tilan tarve kaikille laitteille ja komponenteille. Kuviossa 13 on esitetty suunnitelma lämmönjakohuoneen laitteiden sijoittelusta suunnitteluvaiheessa.



Kuvio 13. Esimerkki lämmönjakohuoneen tilantarpeen suunnittelusta

7 Taloudelliset laskentamenetelmät

Lämmitystavan muuttamisessa tarkoitus on tuottaa sama määrä energiaa eri lämmönlähteellä siten, että lämmityskustannukset pienentyvät lähtötilanteeseen nähden. Lämmityskustannuksiin vaikuttaa kulutuksen lisäksi myös energian hinta sekä esimerkiksi huolto- ja ylläpitokulut. Investoinnin kannattavuus on tärkeä esittää suunnitteluvaiheessa ja takaisinmaksussa käytetty laskentakorko tulee myös esittää laskelmissa. Tässä luvussa käydään läpi eri laskentamenetelmät.

7.1 Elinkaaritalous

Termillä elinkaari (LC=Life Cycle) tarkoitetaan ajanjaksoa, joka alkaa laitteen valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden hankkimisesta ja päättyy laitteen käytön jälkeiseen hävittämiseen. Normaalisti elinkaarella tarkoitetaan jonkun tietyn järjestelmän tai järjestelmän laitteen aikaa lähtien hetkestä, kun se tuodaan työmaalle ja päättyen hetkeen, kun laite hajoaa tai vaihdetaan jostain muusta syystä toiseen laitteeseen. (Jussi-Pekka Juvela, 2019)

Elinkaarikustannustarkastelun (LCC = Life Cycle Cost) tavoitteena on selvittää investoinnin elinkaaren aikana aiheutuvat kustannukset (Jussi-Pekka Juvela, 2019). Tarkastelun avulla voidaan vertailla esimerkiksi sitä, onko nykyisen järjestelmän tai laitteen korjaaminen taloudellisesti järkevämpää kuin sen korvaaminen uudella laitteella.

Elinkaaritaloustarkastelun (LCE = Life Cycle Economics) tavoitteena on selvittää laskemalla investoinnin kannattavuus valitulle tarkastelujaksolle huomioon ottaen kaikki elinkaaren (tarkastelujakson) aikaiset tuotot ja kustannukset.

7.2 Diskonttaus

Diskonttauksella tarkoitetaan tulevaisuuden rahavirran laskemista nykyarvoon. Diskonttauksella pystytään laskemaan rahan arvon heikentyminen eli inflaation vaikutus rahavirtaan. Inflaation vuoksi reaaliarvoltaan saman suuruinen rahamäärä on saajalle arvokkaampi nyt kuin tulevaisuudessa (Jussi-Pekka Juvela,

2019). Diskonttaustekijään vaikuttaa korkokanta ja tarkastelu-aika. Seuraavaksi on esitetty diskonttaustekijän laskeminen (1).

$$dis_i = \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \quad (1)$$

jossa

dis_i	diskonttaustekijä
r	korko (%)
i	aikajänne eli tarkasteluväli (vuotta)

7.3 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmän avulla pystytään laskennallisesti muuttamaan vuotuiset tuotot ja kustannukset nykyhetkeen diskonttaamalla. Tämä mahdollistaa niiden vertailukelpoisuuden investointikustannuksissa. Seuraavaksi on esitetty nykyarvomenetelmän kaavan käyttö diskonttauskaavan avulla (2).

$$K_{NA} = \sum K_i \cdot dis_i = \sum K_i \cdot diK_i \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \quad (2)$$

jossa

K_{NA}	kustannuksen nykyarvo
K_i	kustannus vuonna i
r	korko (%)
i	aikajänne eli tarkasteluväli (vuotta)

Mikäli vuotuiset tulot tai kulut ovat toistuvia, voidaan käyttää toistuvien suoritusten diskonttaustekijöitä. Laskennassa käytettävä kaava on esitetty seuraavaksi (3).

$$K_{NA} = K \cdot \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i - 1}{\frac{r}{100} \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} = K \cdot d_{nr} \quad (3)$$

jossa

K_{NA}	kustannusten nykyarvo
K	vuosittain toistuva tuotto/kustannus
d_{nr}	toistuvien suoritusten diskonttaustekijä
r	korko (%)
i	aikajänne eli tarkasteluväli (vuotta)

7.4 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmä mahdollistaa vertailun eri vuosien tuotoista ja kustannuksista määritellyn laskenta-ajanjakson ajalta. Jotta menetelmää pystytään käyttämään, tulee vuotuiset tuotot ja kustannukset olla suhteellisen saman suuruisia. Mahdollinen jäännösarvo tulee diskontata nykyarvoon ja vähentää investointikustannuksista. Jäännösarvolla tarkoitetaan kyseisen laitteen tai järjestelmän mahdollista käytön jälkeistä jälleenmyyntiarvoa. Jäännösarvo voi olla myös negatiivinen, jos kyseisen laitteiston käytöstä poistaminen tuottaa lisäkustannuksia. Kaavassa 4 on esitetty annuiteettimenetelmän käyttö.

$$K_{ANN} = K_{NA} \cdot \frac{\frac{r}{100} \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i - 1} = K_N \cdot ann \quad (4)$$

jossa

K_{ANN}	kustannusten annuiteetti eli vuosikustannus
K_{NA}	kustannuksen nykyarvo
ann	annuiteettitekijä vuoden n ajanjaksolle
r	korko (%)
i	aikajänne eli tarkasteluväli (vuotta)

7.5 Nimellinen- ja reaalikorko

Nimelliskorolla tarkoitetaan korkoa, joka esitetään lainasopimuksessa. Nimelliskoron maksaa velan ottaja velan antajalle. Taloyhtiölle lainan myöntää pankki, joka myös määrittää lopullisen nimelliskoron suuruuden. Nimelliskorko ei huomioi inflaation vaikutusta rahan arvoon, vaan tästä syystä lainalle pitää laskea reaalikorko. Reaalikorko lasketaan seuraavalla kaavalla (5).

$$r = \frac{i - f}{(1 + f)} \quad (5)$$

jossa

r	reaalikorko (%)
i	nimelliskorko (%)
f	inflaatio (%)

Laskettaessa jonkun järjestelmän energiansäästöä, voidaan käyttää inflaatiota nopeammin kallistuvaa hintaa eli energian hintaa. Kun lasketaan energian hinnan vaikutusta nimelliskorkoon, puhutaan spesifisestä inflaatiosta eli eskalaatiosta. Seuraavaksi on esitetty eskalaation laskenta (6).

$$r_e = \frac{i - e}{(1 + e)} \quad (6)$$

jossa

r_e	reaalikorko (%)
i	nimelliskorko (%)
e	eskalaatio (%)

8 Maalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun mitoittaminen ja alustava kustannuslaskelma esimerkkikohteeseen

Opinnäytetyössä kehitetyn mitoitusvälineen toiminnallisuutta testattiin kerrostalokohteeseen Tampereella. Mitoitukseen sisältyy huomattava määrä muuttujia, joiden hallitseminen täysin tarkastelujaksolla on mahdotonta ja laskennan tulokset perustuvat oletettuihin arvoihin. Muuttuvia tekijöitä ovat lainan korko, sähkön ja kaukolämmön hinnan muutos, sekä maalämpökentän tuotto. Mitoituksessa ei oteta huomioon niin sanottua hybridijärjestelmää, jossa kaukolämpö jätettäisiin maalämpöjärjestelmän rinnalle.

Tarvittavaan energiamäärään vaikuttaa poistettavasta ilmasta talteen saatava lämmitysenergian määrä. Mitoituksessa otetaan huomioon poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde mitoitusilanteessa.

8.1 Esimerkkikohteen esittely

Opinnäytetyössä mitoitetaan maalämpö sekä poistoilmalämpöpumppu Tampereella sijaitsevaan kerrostaloon. Kerrostalo sijaitsee Härmälässä ja se on valmistunut vuonna 1967. Siinä on 27 huoneistoa ja koko rakennuksen lämmitetty nettoala on 2064 m². Rakennuksen tilavuus on 6150,0 m³. Kohteessa on kolme erillistä porrasmuotoa, mutta kaikilla kolmella rapulla on yhteinen poistoilmapuhallin.

Kohteen nykyinen lämmitysmuoto on kaukolämpö ja se kuuluu Tampereen kaukolämmön piiriin. Kohteen alkuperäinen lämmitysmuoto on ollut öljylämmitys. Tämä on hyvä lähtötieto lähdettäessä mitoittamaan maalämpöjärjestelmää, sillä öljykattiloiden tilan tarve on suurempi mitä esimerkiksi kaukolämpöpakettilla on. Kiinteistössä lämmönjakojärjestelmä on perinteinen vesikiertoinen patterijärjestelmä. Kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto ja ilmanvaihto on puhdistettu ja tasapainotettu vuonna 2011. Kohteen kulutustiedot on saatu 15.2.2020 laaditusta energiatodistuksesta. Taulukossa 4 on esitetty mitoituksen apuna käytettyjä lähtötietoja.

TAULUKKO 4. Esimerkkikohteen lähtötiedot ja kulutuslukemat

Osoite	Härmälänkatu 10, 33900 Tampere
Rakennustyyppi	Kerrostalo
Valmistumisvuosi	1967
Huoneisto ala	2064 m ²
Rakennuksen tilavuus	6150 m ³
Ilmanvaihto	Koneellinen poistoilmanvaihto
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö, vesikiertoinen patteriverkosto
Kaukolämmön kulutus	376 308 kWh/vuosi
Kiinteistösähkön kulutus	79 051 kWh/vuosi
Yhteensä energian kulutus	455 360 kWh/vuosi
Ilmavirta tulo/poisto	0.000/1.032 m ³ /s
Järjestelmän SFP-luku	1.5

8.2 Mitoituksen toteutus

Esimerkkikohteeseen mitoitettiin maalämpöjärjestelmä ja poistoilmalämpöpumppu opinnäytetyössä kehitetyllä mitoitustyökalulla. Työkalu on rakennettu Excelliin, ja tarvittavien lähtötietojen sijoittamisen jälkeen ohjelmasta pystyy suoraan tulostamaan mitoituksen yhteenvedon. Mitoituksen yhteenvedo on esitetty opinnäytetyön liitteenä (Liite 1). Mitoitus on tehty kohteen tilavuuden ja aikaisemman energiamuodon eli kaukolämmön kulutuslukemien perusteella. Mitoitustyökalun tarkoitus on olla työkaluna kohteen hankesuunnitteluvaiheessa.

8.2.1 Lämmitysenergian- ja lämmitystehontarpeen määrittäminen

Kohteen lämmitysenergian tarpeen määrittämiseen tulee kohteesta saada kaukolämmön kulutuslukemat. Kohteen kulutuslukemat saatiin pyytämällä Tampereen sähkölaitokselta valtakirjaa vastaan, mikä saatiin kohteen isännöitsijältä. Kaukolämmön kulutuksesta nähdään, kuinka paljon energiaa tarvitaan energiakaivoista ja kuinka suuri osa tarvittavasta energiasta joudutaan tuottamaan erillisellä sähkökattilalla.

Lämmitystehontarpeen tarkkaan määrittämiseen suositellaan käytettäväksi Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 (2012) mukaista laskentamenetelmää. Koska tämän mitoituksen tarkoituksena on saada suuntaa antavia arvoja, käytetään laskennassa kokemusperäisiä sekä kirjojen taulukkoarvoja. Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöasiantuntijan mukaan kohteen lämmitystehontarve saadaan laskemalla kohteen tilavuus 16 W/m³:lla. Energiategollisuus ry:n laatimassa Kaukolämmön käsikirja -kirjassa ohjeistetaan käytettäväksi vanhoissa kerrostaloissa vastaavana arvona 22-28 W/m³ (Koskelainen 2006, 154). Tässä kohteessa ominaislämpötehon arvona käytettiin 18 W/m³. Tällöin kohteen lämmitystehon tarpeeksi saatiin 110,7 kW.

8.2.2 Käyttöveden energiatarpeen määrittely

Jotta pystytään määrittämään lämpimän käyttöveden osuus tilojen lämmitystarpeesta, lasketaan käyttöveden energiantarve. Laskenta toteutetaan lämpimän veden kulutuksen perusteella, mikä on laskettu kokonaisvedenkulutuksesta.

Esimerkkikohteesta on saatavilla veden kulutus vuodessa, mikä on 1655 m³/a. Tästä arvosta saadaan lämpimän käyttöveden osuus kertomalla kulutus 0,4:lla. Lämpimän käyttöveden kulutukseksi saadaan näin 0,4*1655 m³/a = 662 m³/a. (Motiva, lämmin käyttövesi)

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan D5 (2012) mukaan seuraavasti (7).

$$Q_{lkv,netto} = p_v \cdot c_{pv} \cdot V_{lkv} \cdot (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (7)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
p_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/ (Kg K)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 (2012) kerrotaan, että lämpimän veden nettotarpeen laskemisessa ei ole huomioitu mahdollisten lämmityslaitteiden, varaajien tai putkistojen lämpöhäviöitä. Lämpimän veden piirin häviöt huomioidaan laskennassa lisäämällä piirin häviöt laskettuun käyttöveden energiantarpeeseen. Ohjeessa kerrotaan myös, että jos ole ei tarvetta perustelluista syistä käyttää muita arvoja, käytetään kylmän ja lämpimän veden lämpötilaerona 50 °C. Lämpimän veden ottama teho kilowatteina saadaan jakamalla veden lämmittämiseen kuuluva energia vuoden tunneilla 8760 h.

8.2.3 Rakennuksen poistoilmasta saatava lämmitysteho

Rakennuksen poistoilmasta saatava lämmitysteho pohjautuu rakennuksen poistoilmavirran suuruuteen. Mitä suurempi määrä ilmaa poistetaan sekunnissa, sitä suurempi määrä energiaa siitä saadaan talteen. Myös lämpötilaerolla on merkitys saatavan tehon määrään. Mikäli ilmaa jäähdytetään liian paljon, on riskinä poistoilmalämpöpumpun jäätyminen. Seuraavalla kaavalla on laskettu esimerkkikohteen poistettavasta ilmasta saatava teho (Heinonen, J. & Sandberg, E. 2016, 634).

$$\phi = q_v \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta t \quad (8)$$

jossa

ϕ	Teho, kW
q_v	Rakennuksen poistoilmavirta, m ³ /s
c_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
ρ	Ilman tiheys, kg/m ³
Δt	ilman lämpötilaeri, paljon poistoilmavirtaa voidaan jäähdyttää, K

Tämän jälkeen, kun kerrotaan saatu arvo vuoden tunneilla, saadaan energiamäärä vuodessa. Mitoituksessa ilmaa jäähdytetään 21°C sisäilman lämpötilasta 5 °C. Poistoilmasta saatavaksi lämmitystekoksi laskettiin koko vuodelle 185 011 kWh/a. Kohteen poistoilmanmääräksi oletettiin laskennassa 1,1 m³/s. Poistoilmalämpöpumpulla saatava lämmitysenergian määrä kasvaa, mikäli rakennuksen poistoilmamäärä olisi suurempi tai poistettavan ilman lämpötilaa pienennettäisiin nollaan celsiusasteeseen.

8.2.4 Maalämpöpumpun valinta ja MUT

Kun laskettu lämmitystehontarve on kohteessa 110,7 kW, valitaan kaksi 60 kW maalämpöpumppua. Kohteeseen valittavat maalämpöpumput ovat NIBE F1345-60. Lämpöpumppujen tuottama energia vuodessa on 377 433 kWh/a ja niiden kuluttama energia on 126 048 kWh/vuodessa. Lämpöpumppujen lämpökerroin on 3,0 ja järjestelmän vuosilämpökerroin on 2,9. Energianpeittoasteeksi tulee näin 100%.

Mitoitusulkolämpötila on -29°C ja vuoden keskilämpötila on $4,6^{\circ}\text{C}$. Tällöin rakennuskohteen menoveden lämpötila on 63°C ja paluueden lämpötila on 47°C . Lämpöpumppujen lämpöteho kyseisessä mitoitusulkolämpötilassa on 104,6 kW ja niiden ottama sähköteho on 39,8 kW. Verrattaessa lämpöpumppujen antotehoa tarvittavaan lämmitystehoon 110,7 kW, huomataan lisätehontarpeen olevan 6,1 kW. Tällä mitoituksella järjestelmän tehopeittoasteeksi saadaan 94%.

8.2.5 Energiakaivo

Energiakaivojen lukumäärään ja niiden aktiivisyvyyteen vaikuttaa maasta tarvittavan energian määrä ja rakennuskohteen sijainti Suomessa. Mitä etelämmässä ollaan, sitä suurempi on maasta saatava energiamäärä kaivometriä kohden vuodessa. Laskennassa käytetään arvona 100 kWh/m maasta saatavan energian määrää per metri. Tämä on turvallinen arvo ja varmistutaan mitoitusvaiheessa siitä, että kaivokenttä ei jäädy sen elinaikana. Asiaa käsitellään tämän työn luvussa 6.3. Opinnäytetyössä laaditun mitoitustyökalun avulla voidaan määrittää tarvittavien kaivojen lukumäärä, sekä kaivojen aktiivisyvyys eli syvyys, jolloin kaivot ovat kallion sisällä.

Esimerkkikohteeseen mitoitettiin energiakaivoja seitsemän kappaletta ja niiden aktiiviseksi porausyvydeksi saatiin 1913,0 metriä. Yksittäisen kaivon aktiiviseksi porausyvydeksi tulee tällöin 273,3 metriä. Tulokset on ilmoitettu kuviossa 14.

8.3 Maalämpöjärjestelmän vaikutus kiinteistön sähköverkkoon

Lähdettäessä mitoittamaan maalämpöjärjestelmää kerrostaloon, tulee kohteeseen tehdä kiinteistön sähkönkäytön selvitys. Selvityksen jälkeen tiedetään nykyisen kiinteistön sähköverkon kapasiteetti. Jotta selvitys pystytään tekemään, tulee paikalliselta verkkoyhtiöltä, tässä tapauksessa Tampereen Sähkölaitos oy, saada kohteen tuntitehomittaustiedot. Tuntitehomittaustiedot pyydettiin sähkölaitokselta isännöitsijän valtakirjaa vastaan. Jos kohteen sähköliittymän kokoa täytyy kasvattaa ja asentaa uusi liittymiskaapeli, tulee sähköliittymän muutoksista aiheutuva kustannus huomioida järjestelmän investointikustannuksissa.

Mikäli kohteeseen sähköverkon kapasiteetti ei riitä kattamaan uuden järjestelmän sähkötehontarvetta, tulee kohteen liittymäkokoa kasvattaa. Liittymäkoon kasvattamisella tarkoitetaan kiinteistön pääsulakkeiden suuruuden kasvattamista, mutta uudet pääsulakkeet saattavat vaatia myös uuden liittymiskaapelin ja pääkeskuksen. Tarvittavan liittymiskaapelin kasvattamisen tarpeen näkee verkkoyhtiön kotisivuilta. Usein kerrostalokohteissa uusi liittymiskaapeli tuodaan kohteen uudelle pääkeskukselle, mistä viedään jännitekiskoston tai nousukaapelin avulla sähkö vanhaan pääkeskukseen. Tällöin vanhaan pääkeskukseen ei tarvitse tehdä muutoksia ja vanhan keskuksen tilantarve säilyy ennallaan. Uuden liittymiskaapelin suunnittelusta ja uuden pääkeskuksen suunnittelusta vastaa kohteen pääurakoitsija.

Esimerkkikohteen pääkeskuksen pääsulakkeet ovat 3x160 A. Kiinteistön liittymiskaapeli on alkuperäisten suunnitelmien mukaan AXMK 4x120. Kohteeseen asennettavien lämpöpumppujen suuren tehontarpeen myötä, kiinteistön sähköliittymän kokoa tulee oletettavasti kasvattaa. Uuden pääkeskuksen pääsulakkeiksi mitoitettiin 3x200 A ja uudeksi liittymiskaapeliksi tulee näin AXMK 4x185 S.

8.4 Tulosten esittely

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda hankesuunnitteluvaiheessa apputyökaluna käytettävä mitoitustyökalu, jolla pystytään arvioimaan maalämpöjärjestelmän ja

poistoilmalämpöpumpun kannattavuutta ja mahdollista takaisinmaksuaikaa. Mitoitustyökalusta tulostettu yhteenveto-osio laskentatuloksista on esitetty kuviossa 14.

Energialaskelma ja yhteenveto

Kohteen tiedot	
Tilojen lämmityksen tarve	376308 kWh
josta käyttöveden osuus	66999 kWh
Lämmitystehontarve	110,7 kW

Energiankulutus	Kaukolämpö	Sähkö*	Kustannukset	Säästö (a)
Kaukolämpö**	376 MWh/a	79 051 kWh/a	37 333 €	0 €
Kaukolämpö + PILP	191 MWh/a	140 418 kWh/a	27 636 €**	9697 €
Maalämpö + PILP	0 MWh/a	209 393 kWh/a	25 127 €	12206 €

* Sähkön kulutukseen on huomioita kohteen aiempi mitattu sähkönkulutus

** PILP pienentää kaukolämmön tehomaksua kolmanneksen. Tämä korjattu kustannuksissa kertoimella 0,8

Sähkön hinta 0,12€/kWh, Kaukolämmön hinta 74€/MWh

Takaisinmaksuaika	Investointi (€)	Laskenta-aika (vuotta)
Kaukolämpö + PILP	120000	11,6
Maalämpö + PILP	185000	14,5

Laskennassa käytetty energiahinnamuutos 4%

Laskennassa käytetty inflaation arvona 1,5%

Nimelliskorkona käytetty 2%

Energiakaivo	
Aktiivinen porausvyvyys	1913,0 m
Kaivojen lukumäärä kpl	7
Energian otto	100 kWh/m
Tehon otto	30 W/m

Kuvio 14. Mitoituksen yhteenveto

Tulosten perusteella nähdään, että lisäämällä poistoilmalämpöpumppu nykyisen kaukolämpöjärjestelmän rinnalle, säästetään energiakuluissa 9697 euroa vuodessa. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin laskemalla 11,6 vuotta. Järjestelmän investointikustannukseksi arvioitiin 120 000 euroa. Kustannukset sisältävät mm. poistoilmalämpöpumpun, lisävarusteet kuten käyttövesivaraajan ja sähkökeskukset. Lisäksi työstä aiheutuvat kustannukset ovat sisällytetty kokonaiskustannusarvioon. Investointikustannusten suuruus saatiin vertailemalla eri urakoitsijoiden tarjouksia vastaavanlaisissa kohteissa.

Toisessa vertailtavassa vaihtoehdossa asennettaisiin maalämpöjärjestelmä poistoilmalämpöpumpulla nykyisen kaukolämpöjärjestelmän tilalle. Järjestelmän avulla laskennallisesti säästetään 12 206 euroa vuodessa kiinteistön energiakustannuksissa. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin laskemalla 14,5 vuotta. Järjestelmän investointikustannukseksi arvioitiin 185 000 euroa. Kustan-

nukset sisältävät maalämpöpumppujen ja poistoilmalämpöpumpun lisäksi tarvittavat varaajat ja sähkökattilan. Energiakaivojen porauksesta ja lämpöpumppujen asennuksesta aiheutuvat kustannukset ovat sisällytetty kokonaiskustannusarvioon. Investointikustannusten suuruus saatiin vertailemalla eri urakoitsijoiden tarjouksia vastaavanlaisissa kohteissa.

Laskiessa järjestelmien takaisinmaksuaikoja, otettiin laskennassa huomioon energianhinnanmuutos, rahan arvon heikentyminen eli inflaation vaikutus, sekä nimelliskorko. Takaisinmaksuajan määrittämiseen käytetty laskentataulukko on tämän opinnäytetyön liitteenä (Liite 1).

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää maalämmön ja poistoilmalämpöpumpun kannattavuuden tarkasteluun soveltuva mitoitustyökalu. Esimerkkikohteena käytettiin Tampereella sijaitsevaa 27 asunnon kaukolämmöllä lämpiävää kerrostaloa. Mitoitustyökalua voidaan käyttää hankesuunnitteluvaiheessa, kun tarkastellaan mahdollisen lämmitystavan muutoksen kannattavuutta.

Mitoituksen tulokset ovat suuntaa-antavia johtuen laskennassa käytettävistä oletetuista lähtöarvoista, kuten lainan korko ja energian hinnan muutos. Laskennan tulokset näyttävät, että lämmöntalteenotto poistoilmalämpöpumpulla nykyisen kaukolämmön rinnalle maksaa itsensä nopeammin takaisin, kuin maalämpöjärjestelmä varustettuna poistoilmalämpöpumpulla. Suurin syy tähän on toteutuksien eri suuruiset investointikustannukset.

Opinnäytetyön lopputuotosta voidaan pitää luotettavana ja sitä voidaan hyödyntää eri kokoisten kerrostalojen hankesuunnitteluvaiheessa tehtävään tarkasteluun. Mitoitustyökalun tulokset ovat suuntaa-antavia, eikä sitä tule käyttää varsinaiseen mitoittamiseen.

Työkalua voidaan kehittää lisäämällä vertailuun ulkoilmavesi-lämpöpumppu, mikä on kasvattanut suosiotaan kerrostaloihin tehtävissä energiaremonteissa. Mitoitustyökaluun vertailtavaksi osioksi tulee myös lisätä mahdollinen hybridijärjestelmä, jolloin kaukolämmön tai öljylämmityksen jättäminen maalämmön rinnalle onnistuu.

LÄHTEET

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.

Energiateollisuus ry. Energiaverkot. Kaukolämpöverkot. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Luettu 24.2.2020. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Energiateollisuus ry. Energiasta. Yhteistuotanto. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto on energiatehokasta. Luettu 13.3.2020. <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/yhteistuotanto>

Energiateollisuus ry. Julkaisut. Tilastot. Kaukolämpötilastot. Kaukolämmön hinta. Kaukolämmön hintatilasto. Luettu 15.4.2020. https://energia.fi/julkaisut/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammon_hinta

Energiateollisuus ry. Kaukolämpö. Kaukolämpötilasto 2017. https://energia.fi/files/2949/Kaukolampotilasto_2017.pdf

Gebwell Oy. Maalämpö. Kaivokentän suunnittelu kerrostalokiinteistössä. Luettu 20.4.2020. <https://gebwell.fi/maalampo/kerrostalojen-maalampojarjestelmiin-tehokkuutta-kaivokentan-suunnittelulla/>

Harju, P. & Matilainen, V. 2001. LVI-tekniikka: korjausrakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.

Heinonen, J. & Sandberg, E. 2016. Ilmastointitekniikka. Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät : perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille . Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy

Heinonen, J. & Sandberg, E. 2016. Ilmastointitekniikka Osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus: opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. 2. painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.

Jussi-Pekka Juvela. 2019. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja elinkaari-talous. Luentomoniste. Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Kaukolämpö. Adato Energia. Suomi on kaukolämmön edelläkävijä. Luettu 24.2.2020. <https://xn--kaukolmp-5zac1r.fi/tuotanto/suomi-on-kaukolammon-edellakavija/>

Koskelainen, L. et al. 2006 Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus.

LämpöYkkönen 2017. Fakta 18: Talon lämmitys – esittelyssä eri lämmitysjärjestelmät ja niiden hinnat. Luettu 27.5.2020. <https://lampoykkonen.fi/100faktaa/fakta-18-uudisrakentaja-tunnetko-taman-hetken-suosituimmat-lammitysmuodot/>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Motiva 2020. Lämpöä omasta maasta. Luettu 9.4.2020.

https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Motiva. Energiatehokas koti. Suunnittelu. Talotekniikan suunnittelu. Lämmitys. Kaukolämpö. Päivitetty 17.3.2020. Luettu 24.2.2020. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/kaukolampo

Motiva. Koti ja asuminen. Rakentaminen. Lämmitysjärjestelmän valinta. Lämmitysmuodot. Ilma-vesilämpöpumppu Päivitetty 29.8.2019. Luettu 17.2.2020. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp

Motiva. Koti ja asuminen. Rakentaminen. Lämmitysjärjestelmän valinta. Lämmitysmuodot. Maalämpöpumppu. Päivitetty 29.8.2019. Luettu 17.4.2020. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp

Motiva. Kiinteistön energiankäyttö. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Päivitetty 6.2.2019. Luettu 13.2.2020. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

Motiva. Lämpöä ilmassa. Ilmalämpöpumput. <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Motiva. Ratkaisut. Uusiutuva energia. Lämpöpumput. Lämpöpumpputeknologiat. Maalämpöpumppu. Päivitetty 13.2.2020. Luettu 14.1.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppu_teknologiat/maalampopumppu

Motiva. Ratkaisut. Uusiutuva energia. Lämpöpumput. Päivitetty 18.2.2020. Luettu 2.3.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Motiva. Uusi avustus asuinrakennusten energiaremontteihin. Päivitetty 29.4.2020. Luettu 4.3.2020. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energia-avustus

Omataloyhtiö 2020. Poistoilman lämmöntalteenotto vähentää hukkalämpöä ja säästää energiaa jopa 40%. Luettu 10.4.2020. https://www.omataloyhtio.fi/artikkelit/12473/poistoilman_lammontalteenotto_nibe.htm

Oulu Rakennusvalvonta 2013. Energiakorjaus. Tekninen kortti. Kortti 16. Lämpöpumput. Luettu 27.5.2020. http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo_16_Lampopumput_2013_02_01.pdf

Pekkala, R. 2012. Oman talon käsikirja . Helsinki: Readme.fi.

Rakennustieto 2018. LVI11-10624. Maalämpö.

RefGroup 2020. Ilmalämpöpumput & ilmastointilaitteet. Luettu 28.5.2020.
<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>

Rototec 2020. Geoenergia koteihin. Pienkohde. Esite. Pdf

Suomalainen kaukolämmitys. Veli-Matti Mäkelä. Jarmo Tuunanen. Oppimateriaalia. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumput. Ilmalämpöpumput. Luettu 2.1.2020. <https://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumput. Poistoilmalämpöpumppu. Luettu 3.1.2020. <https://www.sulpu.fi/poistoilmalampopumppu>

Suomela. Lämpöpumpun toimintaperiaate. Luettu 4.1.2020. <https://www.suomela.fi/lampopumpun-toimintaperiaate-tutustu/>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumput. Maalämpöpumppu. Luettu 5.1.2020. <https://www.sulpu.fi/maalampopumppu>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumput. Luettu 4.3.2020.
<https://www.sulpu.fi/lampopumput>

Tampereen kaupunki. Ajankohtaista. Tiedotteet. Tampereen Hiedanrannassa tuotetaan hiilidioksidinegatiivista kaukolämpöä ensimmäisenä Suomessa. Julkaistu 23.10.2018. Luettu 28.2.2020. https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2018/10/23102018_3.html

Tampereen kaupunki 2020. Asuminen ja ympäristö. Rakentaminen. Rakennusvalvonta. Rakentamiseen tarvittavat luvat. Maalämpölupa. Luettu 14.2.2020
<https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/rakentamiseen-tarvittavat-luvat/maalampolupa.html>

Tampereen kaupungin rakennusjärjestys 2014. Voimaantulo 1.10.2014. Rakennusjärjestyksen liitekartta 5a.

Tampereen Sähkölaitos Oy. Lämpöä ja viileyttä. Lämpöratkaisut. Kaukolämpöverkko. Kaukolämpöverkosto. Luettu 25.2.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/lampo-ja-viileytta/lamporatkaisut/kaukolampoverkko>

Tampereen Sähkölaitos Oy 2019. Kaukolämpölaskuri. Luettu 16.4.2020.
<https://www.sahkolaitos.fi/kaukolampolaskuri/>

Tampereen Sähkölaitos Oy. Lämpöä ja viileyttä. Lämpöratkaisut. Alkuperä. Polttoainejakauma. Luettu 23.2.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/lampo-ja-viileytta/lamporatkaisut/alkupera/>

Tilastokeskus 2019. Asumisen energiankulutus 2018. Päivitetty 21.11.2019. Luettu 27.5.2020. http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_kuv_001_fi.html

Tilastokeskus 2020. Tilastot. Käsitteet ja määritelmät. Luettu 27.5.2020.
<https://www.stat.fi/til/rak/kas.html>

Tom Allen Senera Oy 2019. Maalämpöopas.

Ympäristöministeriö 2018. Ääniympäristö. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Voimaantulo 1.1.2018.

Ympäristöopas 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientalossa. Ympäristöministeriö. Juvonen, J. Lapinlampi, T. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

Ympäristönsuojelulaki 26.7.2014/527

LIITTEET

Liite 1. Takaisinmaksuajan määrittämisessä käytetty laskuri

	Kaukolämpö + PILP	Maalämpö +PILP
Investointi €	120000	185000
Jäännösarvo €		
Energiansäästö €	9697	12206
Käyttökulujen lisäys €	700	1500
Laskenta-aika	11,6	14,5
Nimelliskorko i	2 %	2 %
Inflaatio f	1,5 %	1,5 %
Energian hinnannousu e	4,0 %	4,0 %
Reaalikorko r	0,49 %	0,49 %
Reaalikorko r,e	-1,92 %	-1,92 %
Jaksollisten maksujen dis	11,29	13,93
Jaksollisten maksujen dis,e	13,19	16,87
Energiasäästön nykyarvo	127901	205899
Käyttökulujen nykyarvo	7901	20899
Nettotuotto	120000	185000
Jäännösarvo		
Investoinnin nykyarvo	0	0