



Maalämpöjärjestelmän hanke- suunnittelu

Alexi Salonen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2019

Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

SALONEN, ALEKSI:
Maalämpöjärjestelmän hankesuunnittelu

Opinnäytetyö 75 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Kesäkuu 2019

Opinnäytetyössä selvitettiin maalämpöjärjestelmien toimintaa ja niihin liittyvää hankesuunnittelua. Hankesuunnittelulla tarkoitetaan mahdollisen maalämpö-hankkeen toteutettavuuden ja kannattavuuden arviointia. Vaikka maalämpöjärjestelmät ovat investointikustannuksiltaan kalliita, ovat ne silti saavuttaneet suuren suosion niiden energiatehokkuuden ansiosta.

Työssä esiteltiin Suomen energiankulutuksen nykytilannetta ja uusiutuvien lähienergioiden mahdollisuutta rakennusten lämmitysenergianlähteenä. Nykyään etsitään vaihtoehtoisia lämmitystapoja perinteisten lämmitysjärjestelmien tilalle tai niiden rinnalle.

Työssä kuvattiin myös maalämpöjärjestelmän toimintaedellytykset sekä sen mitoituksessa, rakentamisessa ja toteutuksessa huomioitavat asiat. Maalämpöpumpun lämmönlähteenä toimivien energiakaivojen rakentamisessa on huomioitava paljon asioita, jotka eroavat muiden lämmitysjärjestelmien rakentamisesta merkittävästi, koska kaivot ovat yhteydessä pohjaveteen.

Työssä suoritettiin maalämpöhankkeen hankesuunnitelma Turussa sijaitsevaan esimerkkikohteeseen. Hankesuunnittelussa arvioitiin kohteen maalämpöjärjestelmän kannattavuutta, jossa järjestelmää verrattiin kohteen nykyiseen lämmitysjärjestelmään. Maalämpöjärjestelmän ja nykyisen kaukolämpöjärjestelmän energiakustannuksia vertailtiin 30 vuoden ajanjaksolla. Tällä ajanjaksolla maalämpöjärjestelmän todettiin olevan kannattavampi, koska investointikustannuksiin nähden järjestelmän säästöt olivat huomattavan suuret.

Lisäksi järjestelmän toteutettavuutta arvioitiin. Siinä huomioitiin esimerkkikohteen teknisten tilojen riittävyys, tontin koko tarvittaviin energiakaivoihin nähden sekä lämmön talteenoton rakentamisen edellytykset. Kohteen katselmuksen avulla arvioitiin järjestelmän toteutettavuutta ja siinä huomioitiin mahdollisen lisärakentamisen tarpeet. Hankesuunnittelun perusteella kohteeseen kannatti hankkia maalämpöjärjestelmä.

Asiasanat: maalämpö, hankesuunnittelu, uusiutuva energia

ABSTRACT

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

SALONEN, ALEKSI:
Project Planning of Geothermal Heat Systems

Bachelor's thesis 75 pages, appendices 2 pages
June 2019

This thesis deals with the operation of geothermal heat systems and their project planning. Project planning refers to assessing the feasibility and profitability of a potential geothermal heat system. Even though geothermal heat systems have expensive investment costs, they still have gained a big popularity thanks to their energy efficiency.

This thesis presents the current state of energy consumption in Finland and the possibility of renewable local energy sources as a source of heating energy for buildings. Currently alternative heating methods are searched for traditional heating systems or alongside them.

The thesis also includes a specification of ground-source heat system and its operating modes as well as points to be considered in its design, construction and implementation. The construction of energy wells, which function as the heat source of the ground-source heat system, requires a lot of attention to be paid to their construction because they differ significantly from regular heating systems.

A project planning of ground-source heat system in Turku was carried out. The feasibility and profitability of the system are estimated in this planning project.

Key words: geothermal heat pump, project planning, renewable energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAUSTAA	7
	2.1 Energiankulutuksen nykytilanne.....	7
	2.2 Energiankulutuksen jakautuminen	9
	2.3 Uusiutuvat lähienergiat.....	10
	2.4 Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen 11	
3	LÄMPÖPUMPUT	13
	3.1 Yleistä lämpöpumpuista	13
	3.2 Maalämpöpumppu	15
	3.2.1 Keruupiiri	17
	3.2.2 Lämmönkeruunesteet.....	20
	3.2.3 Energiakaivot.....	22
	3.2.4 Lämmityspiiri.....	25
	3.3 Lämmön talteenotto rakennuksen poistoilmasta	26
4	MAALÄMPÖJÄRJESTELMIIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	29
	4.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)	29
	4.2 Vesilaki (587/2011)	31
	4.3 Ympäristönsuojelulaki (86/2000).....	31
	4.4 Kiinteistönmuodostamislaki (554/1995).....	31
	4.5 Kemikaalilaki (744/1989).....	32
	4.6 Terveystoimintalaki (763/1994)	32
	4.7 Kuntien rakennusjärjestys ja suojele	33
	4.8 Muu lainsäädäntö.....	34
5	YLEISTÄ HANKESUUNNITTELUSTA.....	35
	5.1 Tarveselvitys	35
	5.2 Hankesuunnittelu	37
6	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS OLEMASSA OLEVIIN RAKENNUKSIIN	39
	6.1 Lähtötiedot	39
	6.2 Normitus.....	40
	6.2.1 Lämmitystarveluku ja sen käyttäminen.....	41
	6.2.2 Kulutuksen normitus	43
	6.2.3 Käyttöveden lämmityksen energiankulutus	46
	6.3 Maalämpöpumpun mitoitus	48
	6.3.1 Mitoituksen kulku	49

6.4 Energiakaivojen mitoitus	53
6.5 Mitoituksessa erityisesti huomioitavat asiat.....	54
6.5.1 Geologian tutkimuskeskus.....	55
6.5.2 TRT-mittaus.....	58
7 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN HANKESUUNNITTELUN TOTEUTUS	
60	
7.1 Toimeksianto.....	61
7.2 Lähtötiedot ja normitus.....	61
7.3 Katselmus ja toteutettavuuden arviointi.....	65
7.4 Mitoitus.....	66
7.5 Kannattavuuden arviointi.....	67
8 POHDINTA	70
LÄHTEET.....	72
LIITTEET	74
Liite 1. Esimerkkikohteen kustannuslaskelma.....	74

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan maalämpöjärjestelmän toimintaa ja siihen liittyvää hankesuunnittelua lämmityksen perusparannusta vaativissa rakennuksissa. Taloyhtiöt haluavat nykyään luopua käyttökustannuksiltaan kalliista kaukolämmöstä ja siirtyä muihin lämmitysjärjestelmiin, kuten maalämpöjärjestelmiin. Rakennusten lämmityksen perusparannuksella tarkoitetaan lämmitysjärjestelmän optimointia energiatehokkaammaksi ja mahdollisesti elinkaarensa lopussa olevan lämmitysjärjestelmän uusimista.

Työn tavoitteena on perehtyä maalämpöjärjestelmiin ja niiden toteutettavuuteen sekä järjestelmän hankesuunnitteluun. Hankesuunnittelulla tarkoitetaan maalämpöjärjestelmän toteutettavuuden ja kannattavuuden arviointia. Se on perustana varsinaiselle suunnittelulle. Hankesuunnitelma määrittää tarvittavat lähtötiedot rakennushankkeelle ja niiden on oltava kattavasti selvitettyinä, jotta vältytään hanketta toteutettaessa takaiskuilta ja ongelmilta. Työssä pohditaan myös maalämpöjärjestelmien hankesuunnittelun mahdollisia kehitystarpeita.

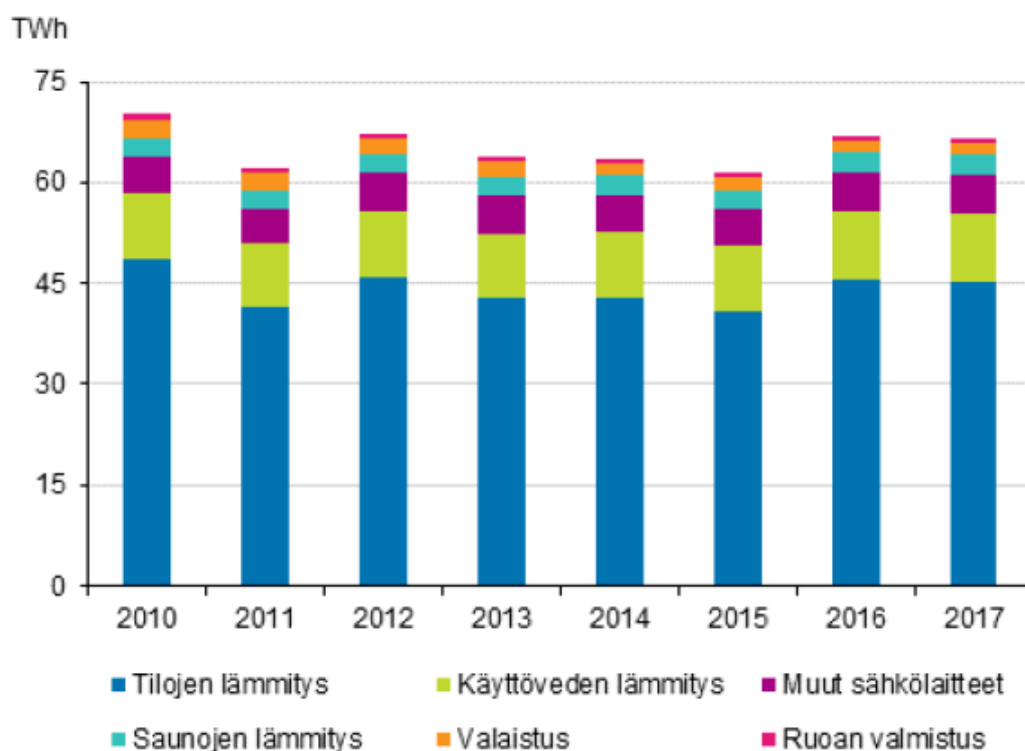
Työ on rajattu koskemaan vain korjausrakentamista eli uudisrakentamisen kannalta huomioitavat asiat on jätetty pois. Lisäksi työ on rajattu käsittelemään vain maalämpöpumppujärjestelmiä, jonka lisäksi käsitellään poistoilman lämmön talteenottojärjestelmiä. Opinnäytetyön aiheesta on saatavilla kattavasti yleistä tietoa niin uudis- kuin korjausrakentamiseen liittyen, mutta syventävää tietoa tarvitaan perusteellisen hankesuunnitelman toteuttamiseen ja sen vaiheiden tarkasteluun.

Työssä esimerkkikohteena toimii Turussa sijaitseva asunto-osakeyhtiö, joka on tilannut Sitowise Oy:lta maalämpöjärjestelmän hankesuunnittelun. Sitowise Oy toimii opinnäytetyön toimeksiantajana. Taloyhtiön rakennukset ovat valmistuneet vuonna 1964 ja siihen kuuluu kolme rakennusta, 8- ja 7-kerroksiset pistetalot ja yksi luhtitalo. Kohteen hankesuunnittelu sisältää katselmuksen kohteella, rakennuksien lämmitysenergian kulutuksen nykytilan arvioinnin ja lämpöpumppujärjestelmän toteutettavuuden sekä sen kannattavuuden arvioinnin.

2 TAUSTAA

2.1 Energiankulutuksen nykytilanne

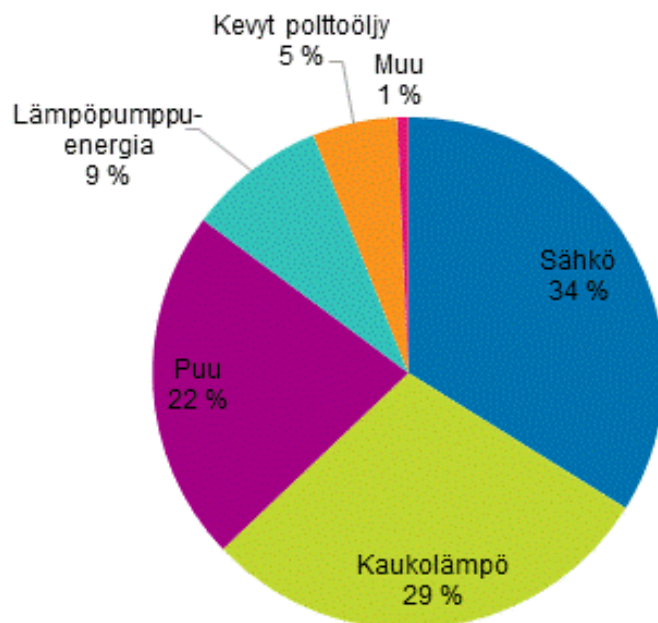
Vuonna 2017 asumisen energiankulutuksesta Suomessa kohdistui noin 68 % tilojen lämmittämiseen ja noin 15 % käyttöveden lämmitykseen. Muu asumisen energiankulutus muodostui saunojen lämmityksestä, ruoan valmistuksesta ja valaistuksesta (Tilastokeskus, 2018). Alla olevassa kuviossa 1 on esitetty asumisen energiankulutus vuosina 2010-2017.



KUVIO 1. Asumisen energiankulutus vuosina 2010-2017 (Tilastokeskus, 2018).

Useissa asuinkerrostaloissa lämmitys tapahtuu kaukolämmön avulla. Kaukolämpöä tuotetaan suurissa tai alueellisissa tuotantolaitoksissa ja sitä voidaan tuottaa monin eri keinoin, mutta nykyään suurimmat osat näistä tuotantovaihtoehdoista eivät ole kannattavia niistä tulevien kasvihuonepäästöjen takia. Tällaisia vaihtoehtoja ovat esimerkiksi fossiiliset ja uusiutumattomat polttoaineet. Energiayhtiöt ovat nykyään alkaneet etsiä em. polttoaineille korvaajia. Tavoitteena on pienen-

tää hiilijalanjälkeä päästöjä pienentämällä, mikä tarkoittaa fossiilisista polttoaineista luopumista. Kuviossa 2 on esitetty asumisen energiankulutus energialähteittäin Suomessa vuonna 2017.

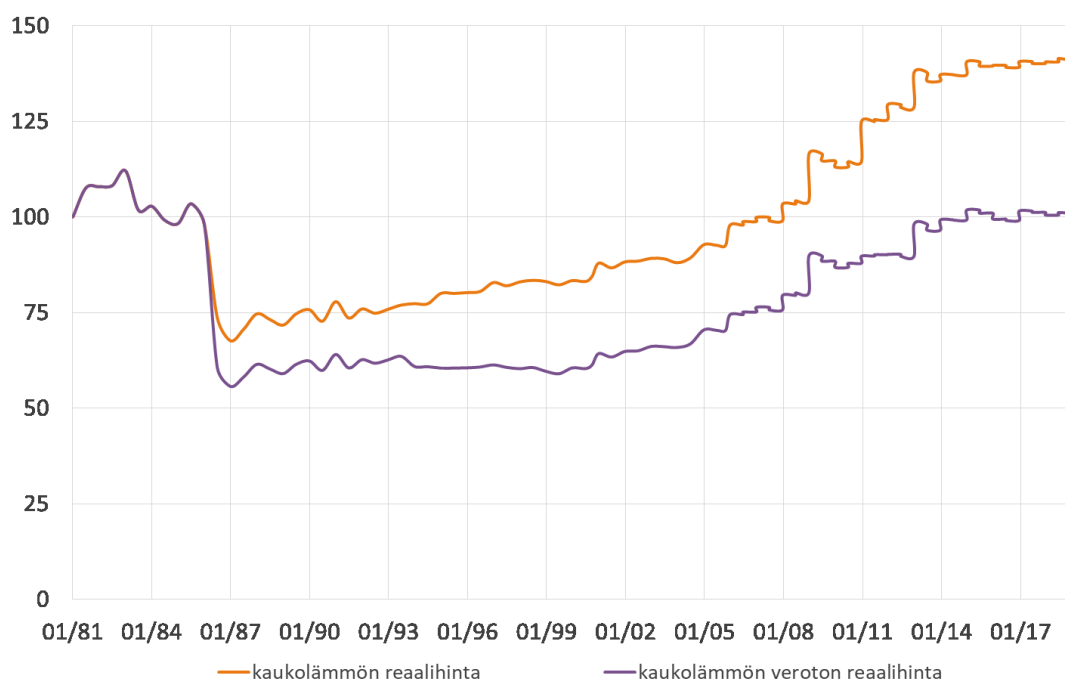


KUVIO 2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2017 (Tilastokeskus, 2018).

Kaukolämmön osuus asumisen kokonaisenergiankulutuksesta oli 29 %, mikä vastaa 19 310 GWh. Tästä kulutuksesta tilojen lämmittämiseen kului yhteensä 13 882 GWh, josta asuinkerrostalojen tilojen lämmityksen osuus oli 9 770 GWh. Tällöin asuinkerrostalojen tilojen lämmitys oli noin 50 % koko kaukolämmön energiankulutuksesta. Tämä on merkittävä osuus koko energiankulutuksesta (Tilastokeskus, 2018).

Nykyään taloyhtiöt ovat kiinnostuneita käyttämästään energiasta. Yhä useampi kaukolämmössä oleva taloyhtiö on kiinnostunut selvittämään kaukolämmön tilalle vaihtoehtoisia lämmitystapoja. Kaukolämpö on taloyhtiöille investointikustannuksiltaan halpa, mutta sen vuotuiset käyttökustannukset ovat kalliita ja ne ovat nousseet vuosi vuodelta ja niiden ennustetaan nousevan entisestään. Tästä syystä uusiutuvilla lähienenergioilla tuotetut lämmitystavat ovat saaneet suosiota asuinrakennusten keskuudessa. Erityisesti maalämpöpumppujärjestelmät ovat saaneet suuren suosion kaukolämmön korvaajina, koska taloyhtiöt maksavat

vain käyttämästään sähköenergiasta ja ovat samalla myös lähes omavaraisia. Maalämpöjärjestelmä ottaa tarvitsemansa energian sähköverkosta, jolloin taloyhtiöt maksavat vain kulutetusta sähköenergiasta. Moni taloyhtiö on kiinnostunut tilaamaan tarveselvityksen tai hankesuunnittelun lämmitysjärjestelmän parannuksesta tai jopa suoraan selvityksen maalämpöjärjestelmän toteutettavuudesta ja kannattavuudesta. Kuviossa 3 on esitetty kaukolämmön reaalihinnan nousu eri vuosina.



KUVIO 3. Kaukolämmön reaalihinnan nousu eri vuosina (Energiateollisuus ry, 2019)

2.2 Energiankulutuksen jakautuminen

Rakennuskannan ilmanvaihdon ja ulkovaipan lämpöhäviöt ovat melkein yhtä suuret ja muodostavat suurimman osan rakennuskannan lämpöhäviöistä. Asuinrakennuksissa kuitenkin korostuu rakennuksien ulkovaipan lämpöhäviöt, jotka ovat noin 42 % rakennuksien koko lämpöhäviöstä. Rakennuksien lämpöhäviöt koostuvat kokonaisuudessaan ilmanvaihdon, ulkovaipan, vuotoilman ja jätevesien lämpöhäviöistä (RIL ry, 2014).

Kotitaloudet omistavat 60 % koko rakennuskannasta. Tällöin niiden energiatehokkuuden parantaminen vähentää merkittävästi kasvihuonepäästöjä ja samalla energiankulutusta. Kustannustehokkaimpia keinoja vähentää kasvihuonepäästöjä on rakennuksien energiatehokkuuden parantaminen. Olemassa olevien rakennuksien energiatehokkuutta on järkevintä parantaa suurien korjausten yhteydessä, kuten julkisivu- tai putkiremonttien yhteydessä. Etenkin rakennuksien lämmitysjärjestelmän muutos parantaa merkittävästi energiatehokkuutta esimerkiksi siirryttäessä kaukolämmöstä tai öljylämmityksestä maalämmön käyttöön (RIL ry, 2014).

Mikäli halutaan parantaa koko rakennuskannan energiatehokkuutta Suomen tasolla, tulisi koko rakennuskannan lämmöntarpeen pienentyä 30 %, jotta saataisiin 5 % muutos aikaan kokonaisenergiankulutukseen. Tämä vastaisi noin 15 TWh. Jotta kokonaisenergiankulutusta haluttaisiin pienentää Suomen tasolla 10 %, tulisi koko rakennuskannan lämmöntarpeen pienentyä 60 % (RIL ry, 2014).

2.3 Uusiutuvat lähienergiat

Uusiutuvilla lähienergioilla tarkoitetaan pienimuotoisesti tuotettavaa energiaa, joka tuotetaan rakennuksen, rakennusryhmän tai lähialueen käyttöön. Tuotettava energia hyödynnetään yleensä rakennusten lämmitysenergiaksi tai sähköenergiaksi. Lämpöpumpuilla tuotettava energia on uusiutuvaa lähienergiaa, lisäksi uusiutuviksi lähienergioiksi lasketaan aurinkoenergia ja tuulienergia. Tuulienergiaa tuotetaan pienillä paikallisilla tuulivoimaloilla ja aurinkoenergiaa tuotetaan joko aurinkopaneeleilla tai aurinkokeräimillä lämmitys- tai sähköenergiaksi. Edellä mainituilla tavoilla tuotettua energiaa kutsutaan myös omavaraisenergiaksi (RIL ry, 2014).

Lämpöpumpuilla energiaa voidaan tuottaa joko ilmasta, vesistöistä, maasta tai kallioista erilaisilla lämpöpumppujärjestelmillä. Vanhoissa rakennuksissa myös rakennuksien poistoilmasta saadaan energiaa. Poistoilmasta otetaan lämpöä talteen lämpöpumpun avulla ja tämä lämpö hyödynnetään rakennuksen lämmitykseen. Yleensä rakennuksen poistoilmaa puhalletaan suoraan ulos rakennuksesta, jolloin kylmällä kaudella poistoilma muodostaa suuren osan rakennuksen

lämpöhäviöistä. Lämpöpumpun avulla lämpöä voidaan ottaa myös talteen rakennuksien jätevedestä, mutta tällaisten järjestelmien investointikustannus on siitä saatavaan hyötyyn verrattuna suhteellisen suuri yksittäisen rakennuksen kohdalla (RIL ry, 2014).

Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain maalämpöpumppujärjestelmillä ja poistoilman lämmön talteen otolla tuotettaviin lähienergiaratkaisuihin. Nämä ratkaisut ovat osoittautuneet kustannustehokkaiksi niistä saatavaan hyötyyn nähden ja niiden toteutettavuuden kannalta (Tom Allen & Senera, 2019).

2.4 Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen

Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen riippuu aina rakennuksen tekniikan, järjestelmien ja rakennusosien ominaisuuksista, iästä ja kunnosta. Kustannustehokkain tapa parantaa rakennuksen energiatehokkuutta on edellä mainituista syistä jokaiselle rakennukselle yksilöllinen.

Merkittävimmät tavat parantaa rakennuksen energiatehokkuutta voidaan jakaa rakennusosa- ja järjestelmäkohtaisesti. Rakennusteknisiä tapoja energiatehokkuuden parantamisen kannalta ovat esimerkiksi ulkoseinän lisälämmöneristäminen, rakennuksen ilmatiiviyden parantaminen ja ikkunoiden vaihtaminen parantamalla niiden U-arvoa. Taloteknisiä tapoja parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ovat esimerkiksi epäedullisen lämmitysmuodon vaihtaminen tai parantaminen uusiutuvilla energioilla, vanhojen vesikalusteiden vaihtaminen, termostaattisten patteriventtiilien asentaminen ja vanhojen venttiilien uusiminen, sähkö- ja säätölaitteiden huoltaminen ja uusiminen sekä ilmanvaihdon parantaminen lisäämällä korvausilman saatavuutta. Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantamisessa tärkeässä osassa ovat myös niiden säätö ja automaatio. Näillä tarkoitetaan esimerkiksi järjestelmien oikeita säätöjä ja asetusarvoja, patteriverkoston perussäätöä, kulutusseurannan toteuttamista (käyttövesi, sähkö ja lämmitys) sekä laitteiden tarpeenmukaista käyttöaikataulutusta (RIL ry, 2014).

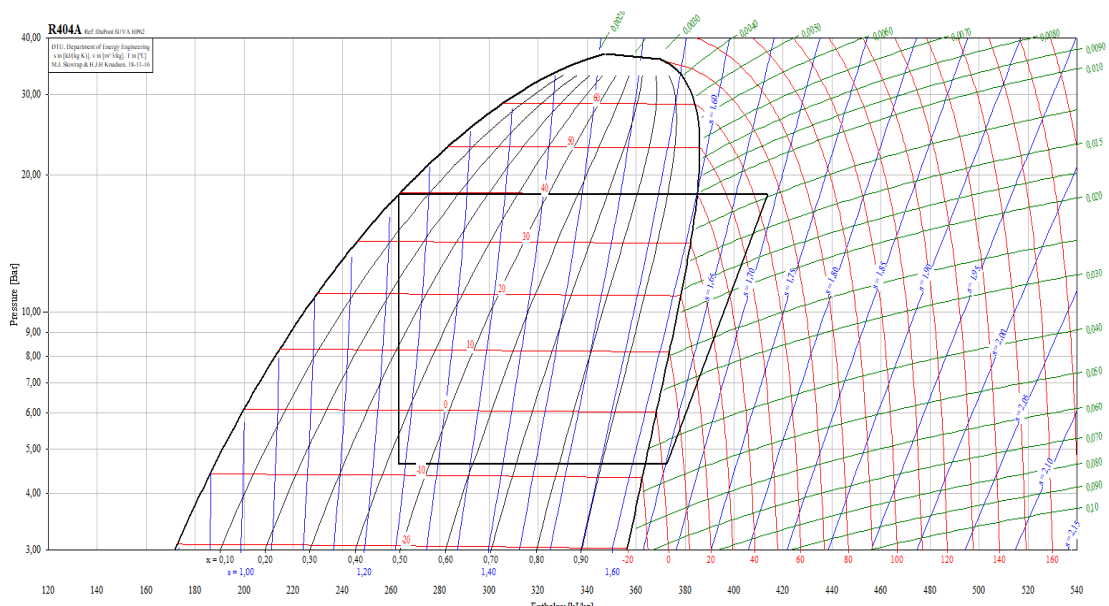
Kulutusseurannan avulla pystytään luomaan jo huomattavia säästöjä rakennuksen energiankulutuksen suhteen. Energiankulutuksen mittauksen on todettu vähentävän kulutusta 10-34 %, joka on huomattavan suuri säästö verrattuna sen investointikustannukseen. Lisäksi ohjaus- ja säätötekniikalla eli automaatiolla on pystytty vähentämään myös merkittävästi kulutusta (RIL ry, 2014).

Suuressa roolissa rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa ovat myös rakennuksen käyttäjät. Jotta kaikista rakennus- ja taloteknisistä parannuksista saadaan mahdollisimman suuri hyöty, tulee myös käyttäjien tottumuksiin vaikuttaa. Rakennuksen käyttäjien vaikutus on suuri rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen suhteen, sillä samana vuonna rakennettujen ja tekniikaltaan samanlaisten asuinrakennusten erot voivat olla 4-5 -kertaisia pelkän lämmitysenergiankulutuksen suhteen (RIL ry, 2014).

3 LÄMPÖPUMPUT

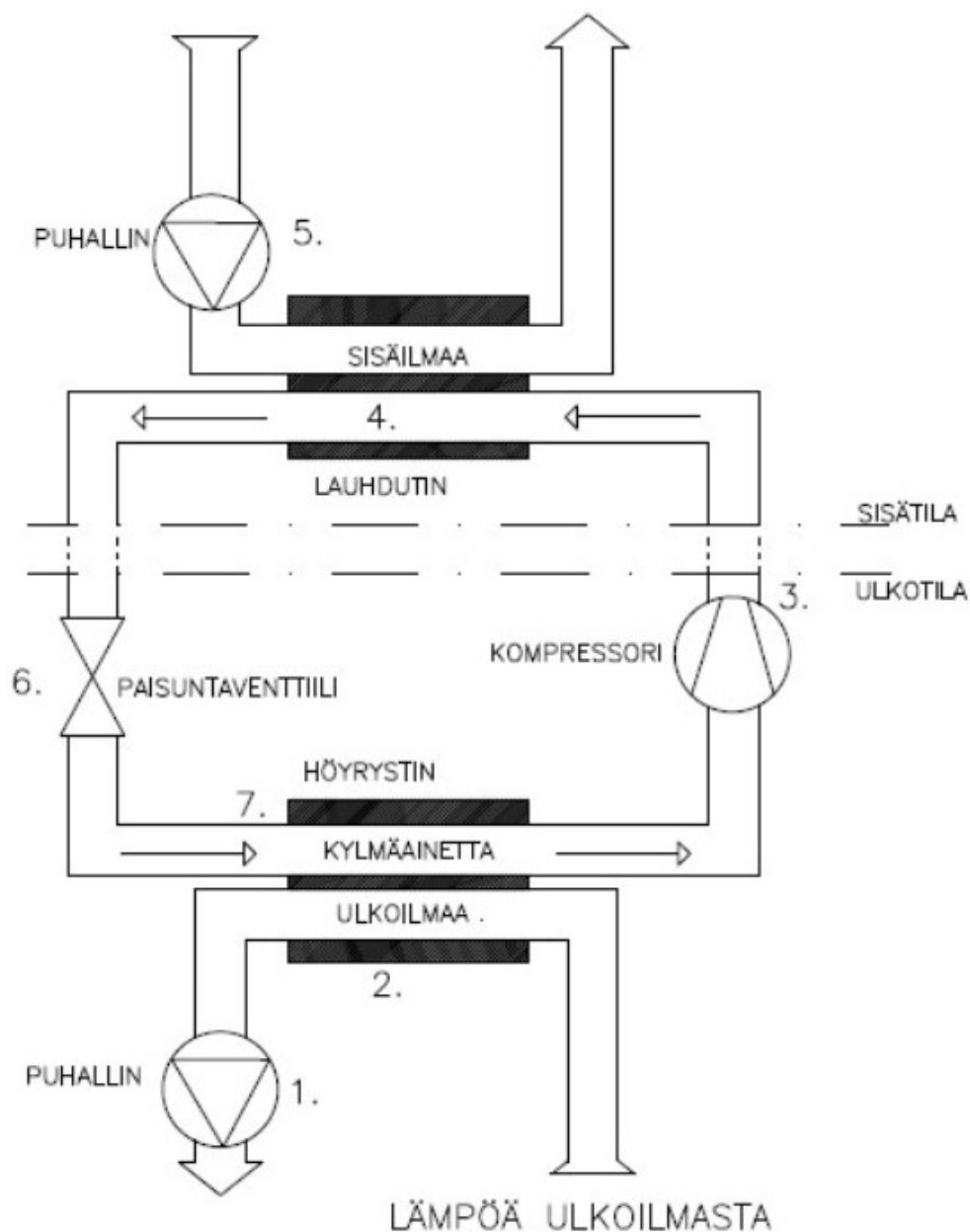
3.1 Yleistä lämpöpumpuista

Lämpöpumppujen toiminta perustuu suljettuun kylmäaineen kiertoprosessiin, jossa kompressorin ja paisuntaventtiilin avulla kylmäainevirta muuttaa olomuotoaan nesteen ja kaasun välillä sitoen ja luovuttaen lämpöä. Silloin kun kylmäainevirta höyrystyy, se sitoo lämpöä, ja kun se lauhtuu, se luovuttaa lämpöä. Tästä johtuen kylmäaineen kierron kyseisiä osia kutsutaan höyrystimeksi ja lauhduttimeksi. Höyrystimen ja lauhduttimen välissä sijaitsee kompressor, joka sähköä käyttämällä korottaa kylmäaineen paineen ennen lauhtumista. Paisuntaventtiili taas toimii päinvastoin alentaen kylmäaineen paineen ennen höyrystintä. Kylmäaineeseen höyrystimessä sitoutunut lämpö on paljon suurempi kuin kompressorin tekemä työ. Lauhduttimessa vapautuva lämpö on yhtä suuri kuin höyrystimessä sitoutuneen lämmön ja kompressorin tekemän työn summa. Tästä niin kutsutusta Carnot-prosessista pystytään luomaan häviöttömälle prosessille kylmäaineen paineen ja entalpian muodostama kuvaaja. Kuvaajan avulla pystytään määrittämään kylmäaineen eri ominaisuuksia ja siihen liittyvän laitteiston mitoituksia (Seppänen, 2001).



KUVA 1. R404A-kylmäaineen kiertoprosessi log p, h -diagrammissa.

Lämpöpumppujen kylmäaineen kiertoprosessi ei kuitenkaan ole koskaan kuvan 1 mukainen, koska kompressorissa tapahtuu häviöitä, putkisto aiheuttaa painehäviöitä ja lisäksi kompressoria suojellaan tulistamalla kylmäaine ennen sitä, jotta nestepisarat eivät vahingoita kompressoria (Seppänen, 2001).



KUVA 2. Ilmalämpöpumpun kylmäaineen kiertoprosessi osineen (Hengitysliitto, 2018).

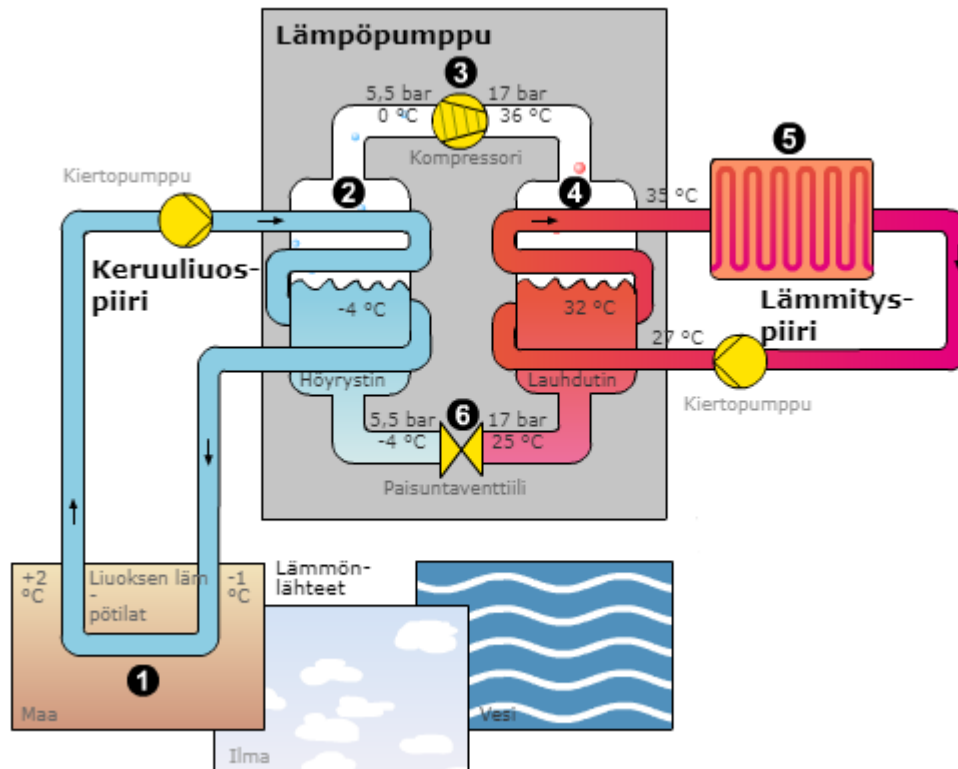
Lauhdutin ja hörystin toimivat lämmönsiirtiminä lämpöpumpuissa. Kuvan 2 mukainen ilmalämpöpumppu sitoo hörystinpiiristä lämpöä ja siirtää tämän lämmön

sisätiloihin lauhdutinpiirin avulla, josta sisäilma virtaa lauhduttimen läpi sisäyksikössä olevan puhaltimen avulla. Kaikkien lämpöpumppujen toiminta perustuu samankaltaiseen kylmäainekiertoon. Ilma-vesi-lämpöpumppu toimii samalla tapaa kuin ilmalämpöpumppu, ainut ero on, että lauhdutin siirtää lämpöä varaajaan, joka on täytetty vedellä. Peruseriaate lämpöpumpuilla on siis lähes sama. Lämmityksen lisäksi lämpöpumput kykenevät myös jäähdyttämään tiloja. Muutos lämmityksen ja jäähdytyksen välillä on toteutettu kylmäainepiirin kytkennällä, jolloin lauhdutin ja höyrystin niin sanotusti vaihtavat piirissä paikkaa. Tämä kytkentä on usein toteutettu monitieväventtiilillä.

Lämpöpumppujen energiatehokkuus perustuu kylmäaineiden ominaisuuksiin ja kompressorin tyyppiin. Jokaisella kylmäaineella on omat lämpötilansa ja paineensa höyrystymisen ja lauhtumisen suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, että kylmäainepiirin ulkopuolisen olosuhteiden on oltava tietyntaiset, jotta kylmäaineprosessi toimii mahdollisimman hyvin ja energiatehokkaasti. Suomen ilmastollisten olosuhteiden takia osa lämpöpumpputyypeistä ei sovellu ympärivuotiseen käyttöön lämmönlähteenä. Tällöin niiden kompressorit kuluttaa sähköä lähes saman verran, mitä sen avulla saadaan tuotettua lämpöä. Tästä johtuen lämpöpumppujärjestelmien käyttö lämmönlähteenä vaatii suunnittelulta paljon. Suunnittelijan on osattava hallita ja ymmärrettävä lämpöpumppuprosessin kaikki osa-alueet ja lisäksi prosessin olosuhteiden hallinta.

3.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu koostuu kolmesta eri osasta, jotka ovat kylmäainepiiri, keruupiiri eli höyrystinpiiri ja lämmityspiiri eli lauhdutinpiiri. Maalämpöpumpun avulla pystytään siirtämään maasta, kalliosta tai vesistöistä kerättyä energiaa rakennuksen lämmityksen käyttöön kompressorin käyttämän sähköavun avulla. Maalämpöpumpun toiminta on hyvin samanlainen kuin muilla lämpöpumpuilla, mutta maaperästä tai vesistöistä saatavaa energiaa pystytään Suomen olosuhteissa hyödyntämään läpi koko vuoden. Maalämpöpumppu ei siis ole yhtä riippuvainen ilmastollisista olosuhteista, kuin ilmaa lämmönlähteenä käyttävät lämpöpumput (Juvenen, J & Lapinlampi, T, 2013). Kuvassa 3 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate perusosineen.



KUVA 3. Maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Dimplex, 2019).

Yleisin tapa kerätä energiaa maalämpöpumpun avulla on energiakaivo. Energiakaivo koostuu noin 100-300 metrin kallioporakaivosta, johon on sisään asennettuna keruuputkisto. Suurten rakennusten, kuten asuinkerrostalojen, lämmitykseen vaaditaan useita energiakaivoja, jolloin ne muodostavat ns. energiakaivokentän. Maalämpöpumpun keruuputkisto voidaan myös asentaa noin metrin syvyydelle maaperään vaakatasoon. Tällöin keruuputkisto kerää energiaa vain pintamaasta ja tällöin se on alttiimpi ilmastosta johtuville olosuhteen muutoksille. Keruuputkisto vaatii tällöin myös suuren pinta-alan ja rakennuksien tontin koko yleensä rajoittaa tätä. Kolmas tapa kerätä energiaa maalämpöpumpun avulla on asentaa keruuputkisto vesistöön. Tällöin keruuputkisto ankkuroidaan vesistön pohjaan kiinni ja keruuputkisto ottaa lämpöä vesistön pohjasta (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Sopivimmin maalämpöpumppu soveltuu matalalämmitysjärjestelmiin, jolloin lämpöpumppu ei tee yli 60 °C vettä lämmitys- tai käyttövesiverkostoon. Matalalämmitysjärjestelmiä ovat esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmät, joissa lämmityksen mitoituslämpötilat ovat 35/30 °C. Myös matalalämmityspattereilla on mahdollista

toteuttaa lämmitys, jolloin lämmityksen mitoituslämpötilat voivat olla korkeammat kuin lattialämmityksessä. Tällöin mitoituslämpötilat voivat olla esimerkiksi 45/30 °C tai 50/35 °C. Mitoituslämpötilat voivat olla myös korkeammat, esim. 60/40 °C. Tällöin kyseessä ei ole enää matalalämmitysjärjestelmä.

Korjattavissa rakennuksissa on huomioitava lämmitysverkoston korkea meno-lämpötila mitoittavalla ulkolämpötilalla, koska lämmitysverkosto on alun perin tehty toimivaksi korkeille lämpötiloille. Korkeilla mitoituslämpötiloilla lämmityspatterit ovat kooltaan pienempiä, jolloin lämmityksen mitoituslämpötilojen pienentäminen vaikuttaa suoraan patterien tehoon alentaen sitä. Tällöin lämmityspatterit tulee vaihtaa pinta-alaltaan suurempiin pattereihin, jotta saadaan sama lämmitysteho kuin aikaisemminkin. Toinen vaihtoehto on käyttää lämpöpumpun lisäksi lisälämmitintä, kuten sähkökattilaa, jotta saadaan vuoden kylmimpinä aikoina vanhoista lämmityspattereista tarvittava lämmitysteho (Rakennustieto, 2018).

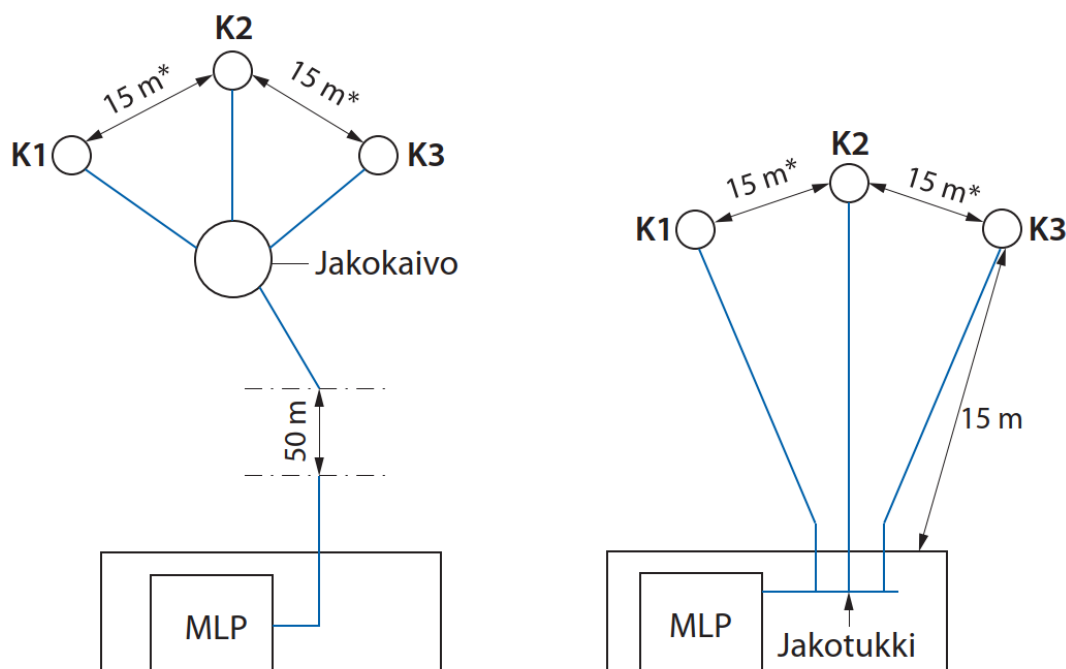
Lämpöpumput kuluttavat sitä vähemmän sähköä, mitä pienempi on lämmönluovutuksen ja lämmönlähteen välinen lämpötilaero. Toisin sanoen siis ne ovat sitä energiatehokkaampia, mitä lähempänä keruupiirin ja lämmitysverkoston mitoituslämpötilat ovat toisiaan. Tämän takia on suotavaa toteuttaa maalämpöpumppujärjestelmä yhdessä matalalämmitysverkoston kanssa. Maalämpöpumpun energiatehokkuuteen vaikuttaa myös koko prosessin hallinta automaation avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmälle on määrätty sen käyttöolosuhteet ja mitoituslämpötilat mahdollisimman tarkasti ja niitä ohjataan oikein (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

3.2.1 Keruupiiri

Keruupiirin eli liuospiirin muodostaa kokonaisuudessaan energiakaivo tai energiakaivokenttä, keruu- ja siirtoputkisto, kiertovesipumppu, säätö- ja varolaitteet, lämmönkeruunesteen täyttöryhmä sekä maalämpöpumpun kylmäainepiirin höyrystin, joka toimii lämmönsiirtimenä. Keruupiirissä virtaa lämmönkeruuneste, joka on jonkin jäätyneen estoaineen ja veden liuos (Rakennustieto, 2018). Lämmönkeruunesteistä on kerrottu paremmin kappaleessa 3.2.2.

Asuinkerrostalojen lämmönlähteenä toimii yleensä energiakaivokenttä, johon kuuluu useita energiakaivoja. Energiakaivoissa kulkee keruuputkisto. Keruuputkisto on materiaaliltaan muoviputkea, joka on joko maalämmölle tarkoitettua keruuputkea tai käyttöveteen tarkoitettua muoviputkea. Vaikka maalämmön keruuta ja siirto- ja keruuputkistolle ei ole erillisiä määräyksiä materiaalin suhteen, on siirto- ja keruuputkistona suositeltavaa käyttää PN8- tai PN10-paineluokkien muoviputkia. Tämä varmistaa energiakaivojen toimivuuden, koska varsinkin syvissä kaivoissa putki voi vahingoittua veden ja maaperän aiheuttamasta paineesta (Rakennustieto, 2018).

Siirto- ja keruuputkistoksi kutsutaan putkistoa, joka kulkee energiakaivoilta lämmönjakuhuoneeseen sijaitsevalle maalämpöpumpulle tai -pumpuille. Energiakaivojen maanpäälliselle osuudelle tulee ns. suojakaivo, joka suojaa energiakaivon päätä ja siinä olevan siirto- ja keruuputkiston liittoksia ulkoisilta vaikutuksilta. Kaivojen siirto- ja keruuputkisto voidaan koota yhteiseen jakokaivoon tai lämmönjakuhuoneeseen sijaitsevaan jakotukkiin riippuen energiakaivojen sijainnista. Kuvassa 4 on esitettyjä esimerkkejä siirto- ja keruuputkiston jakotavoista (Rakennustieto, 2018).



KUVA 4. Esimerkkejä keruuputkiston jakotavoista (Rakennustieto, 2018)

Jakokaivoissa on sisällä jakotukit, joihin siirtoputkisto kootaan. Jakokaivoja voi olla yksi tai useampia. Jakokaivojen määrä riippuu energiakaivojen sijoittelusta rakennuksen tontille ja etäisyydestä lämmönjakohuoneeseen. Jakokaivoilta tai jakotukilta liuosputket johdetaan maalämpöpumpun höyrystimelle (Rakennustieto 2018).

Siirtoputkisto on materiaaliltaan muoviputkea, joka on eristetty ja kulkee suoja-putkessa. Se voi olla myös valmiiksi eristettyä muoviputkea. Siirtoputkiston eristykselle ei ole erityisiä vaatimuksia, mutta ylimääräisen lämmönsiirtymisen takia se on suositeltavaa eristää. Tästä johtuen meno- ja paluuputket ovat eristetty joko EPS-eristekouruilla tai putket ovat valmiiksi eristettyä muoviputkea. Eristämällä siirtoputkisto pystytään vähentämään turhaa energiahäviötä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Siirtoputkiston toteutuksessa on otettava huomioon riittävä kaivannon syvyys. Normaalisti putkisto kaivetaan maahan noin 40 cm kaivuussyvyyteen, mutta liikennöidyillä alueilla tai vastaavilla tulee putkiston peittosyvyyden olla vähintään yhden metrin verran. Putkikaivantojen tiivyyteen tulee myös kiinnittää huomiota kaivuussa, jottei putkistoon tule sitä rasittavia painaumia, eikä putkikaivannossa oleva maa-aines roudi liikaa. Lisäksi putkiston toteutuksessa on huomioitava koko keruupiirin riittävä ilmaus, jolloin ilmausyhteitä tulee putkistossa moneen paikkaan. Näin varmistetaan keruupiirin toimivuus (Rakennustieto, 2018).

Lämmönjakohuoneessa keruupiirin putkisto-osuus tehdään lämmönkeruunestettä kestävästä materiaaleista, esimerkiksi kuparista tai ruostumattomasta teräksestä. Lämmönjakohuoneeseen tultaessa siirtoputkistolla on myös otettava huomioon riittävä läpivientien tiiviys. Tällöin estetään esimerkiksi kosteuden, lämmön ja radonin siirtyminen eri rakenneosien välillä. Lisäksi läpiviennit eivät saa heikentää olemassa olevia rakenteita ja niiden tulee olla paloteknisesti oikein tehtyjä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

3.2.2 Lämmönkeruunesteet

Keruupiirissä käytetään yleisimmin lämmönkeruunesteena vesi-etanoli-liuosta, jossa etanolipitoisuus on koko liuoksen massasta noin 30 %. Tällöin liuoksen alin käyttölämpötila on -17 °C . Etanoli toimii lämmönkeruunesteessä jäätymisen estoaineena, koska liuoksen lämpötila voi laskea alle 0 °C . Suomessa yleisimmin käytetty lämmönkeruuneste on etanoli ja muita käytössä olevia lämmönkeruunesteitä ovat kaliumformiaatti sekä betaiini (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Kaliumformiaattia käytetään enemmän jäähdytysjärjestelmissä kuin maalämpöjärjestelmissä. Muihin lämmönkeruunesteisiin verrattuna kaliumformiaatti on korrosiivisempaa, jolloin sitä ei ole kannattavaa käyttää esimerkiksi galvanoitujen tai alumiinisten osien yhteydessä. Myös betaiinin käyttö maalämpöjärjestelmissä on huomattavan vähäistä. Sen huonona puolena maalämpöjärjestelmissä on sen hajoaminen trimetyyliamiiniksi, joka aiheuttaa epämiellyttävää hajua pohjaveeseen. Tästä johtuen betaiinin käyttö ei ole niin yleistä maalämmön yhteydessä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Vanhemmissa maalämpöjärjestelmissä käytettiin lämmönkeruunesteena etyleeni- ja propyleeniglykolia sekä metanolia. Nämä aineet ovat ympäristölle haitallisia ja esimerkiksi metanoli luokitellaan myrkylliseksi aineeksi. Lisäksi edellä mainitut aineet ovat ihmiselle haitallisia. Näistä syistä johtuen niiden käytöstä on luovuttu nykyään (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Etanoli on itsessään helposti syttyvää ainetta, mutta se ei ole kuitenkaan ympäristölle ja ihmiselle haitallista ainetta. Etanolia myydään valmiiksi sekoitettuna liuoksena veden kanssa, jolloin sen jäätymispiste on -17 °C ja liuoksen leimahduspiste on 29 °C . Etanolia käytettäessä lämmönkeruunesteena on kiinnitettävä huomiota paloturvallisuuteen. Eri lämmönkeruunesteiden jäätymispisteet vaihtelevat tuotteiden mukaan ja riippuen niiden käyttökohteesta (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Hyvän ja toimivan lämmönkeruunesteen tärkeitä ominaisuuksia ovat mm. alhainen jäätymispiste ja viskositeetti, hyvä lämmönjohtavuus ja korkea ominaislämpökapasiteetti. Lisäksi sen tulisi olla yhteensopiva useiden eri materiaalien kanssa, kemiallisilta ominaisuuksiltaan stabiili ja pitkäaikainen, palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava. Lämmönkeruuneste ei myöskään saisi aiheuttaa korroosiota muissa materiaaleissa. Yleisimmin käytetyistä lämmönkeruunesteistä etanolilla on korkein ominaislämpökapasiteetti. Kaliumformiaatilla on korkein lämmönjohtavuus ja alhaisin viskositeetti (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Lämmönkeruunesteisiin sekoitetaan myös lisäaineita, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Etanolia sisältäviin liuoksiin sekoitetaan alkoholilaissa määrättyjä denaturointiaineita, jotka tekevät liuoksesta juomakelvotonta. Denaturointiaineita on etanoliliuoksessa yleensä vain muutama prosentti (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Lisäksi lämmönkeruunesteissä käytetään korroosiota estäviä aineita, joita kutsutaan myös ns. korroosioninhibiiteiksi. Korroosion estoaineita on yleensä hyvin pieni osa lämmönkeruunesteessä, alle 1 %. Nämä aineet voivat olla hitaasti biologisesti hajoavia ja samalla vaikuttaa myös koko liuoksen biologiseen hajoamiseen merkittävästi. Nykyään keruupiireissä käytetään pääosin ruostumattomia materiaaleja, joten lämmönkeruunesteestä voidaan jättää korroosion estoaineet pois kokonaan. Näissä tapauksissa tulee varmistua, että lämpöpumpun komponentit ja keruupiirin kiertovesipumppu kestävät lisäaineettomat nesteet (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Lämmönkeruunesteillä on niiden eri ominaisuuksista johtuen laadittu käyttöturvautiedotteet. Suomessa käytettävistä aineista etanoliliuoksella tulee olla käyttöturvallisuustiedote sen helpon syttyvyyden takia. Lämmönkeruunesteitä ei suositella sekoitettaviksi keskenään, koska niiden käyttäytyminen ympäristöön joutuessaan voi tällöin olla arvaamatonta. Näin varmistutaan, että niiden käyttöturvallisuustiedote pitää paikkansa (Rakennustieto, 2018).

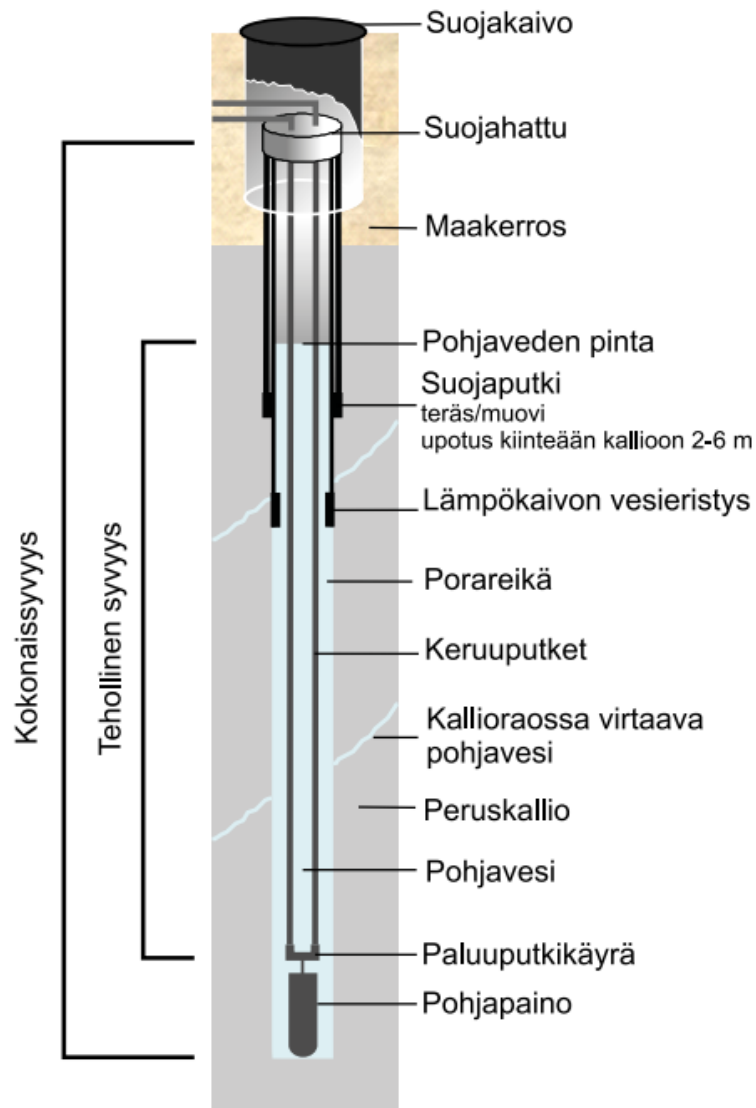
3.2.3 Energiakaivot

Energiakaivot toimivat lämmönlähteenä rakennuksen lämmitykselle ja ovat osa maalämpöpumpun keruupiiriä. Niiden syvyys ja lukumäärä riippuvat rakennuksen energiantarpeesta. Yleensä energiakaivojen syvyys on noin 100-350 metriä ja ne ovat sitä syvempiä mitä enemmän energiaa rakennus vaatii. Kokonaisuudessaan energiakaivo koostuu kallioon poratusta porakaivosta, lämmönkeruuputkistosta ja sen pohjapainosta, teräksisestä tai muovisesta suojaputkesta, vesieristyksestä, suojahatusta sekä suojakaivosta. Kuvassa 5 on esitettynä energiakaivon rakenne. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Koska energiakaivo on yhteydessä pohjaveteen, tulee varmistua, ettei pintavesiä, saastunutta maa-ainesta tai muita ulkoisia haittoja pääse kaivoon. Tämä varmistetaan energiakaivon rakenteen avulla, joka estää ulkoisten haittojen pääsyn pohjaveteen. Energiakaivoon asennetaan suojaputki, joka ulottaa maan pinnan yläpuolelta aina kallioon asti. Suojaputki upotetaan kallioon yleensä noin 2-6 metrin syvyyteen pintamaan ominaisuuksista riippuen. Pohjavesialueilla suojaputki asennetaan aina 6 metrin syvyyteen kiinteään kallioon (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Suojaputken lisäksi energiakaivolle tehdään vesieristys vähintään 6 metrin syvyyteen maanpinnasta. Vesieristys voidaan toteuttaa joko muovisella suojaputkella tai betonoimalla. Vesieristyksen tehtävänä on estää hule- ja kuivatusvesien pääsy porakaivon sisään. Pohjavesialueilla vedeneristys asennetaan kallioon asti. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Tavallisesti energiakaivo täyttyy itsestään vedellä. Mikäli näin ei tapahdu, joudutaan se täyttämään vedellä. Tällöin tarkastetaan vedenpinnan korkeus täytön jälkeen ja arvioidaan sen vaikutus energiakaivon teholliseen syvyyteen ja lämmön saantiin. Mikäli kaivon yläosa jää ns. kuivaksi, voidaan kaivon porareikä täyttää keruuputkien asennuksen jälkeen bentoniitilla, joka parantaa kallion ja energiakaivon välistä lämmön siirtymistä. Bentoniitti toimii kiinteänä täyteaineena energiakaivossa, jolloin lämpöä siirtyy vain johtumalla, kun taas vedessä lämpöä siirtyy luonnollisella konvektiolla (Oksanen, Henri, 2015).



KUVA 5. Energiakaivon rakenne. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Keruuputkisto asennetaan porakaivoon pohjapainon avulla, koska keruuputkistona oleva muoviputki ja lämmönkeruuneste ovat vettä kevyempiä aineita, jolloin veden noste vaikuttaa putkistoon. Mikäli halutaan estää eri pohjavesikerrosten sekoittuminen, asennetaan porakaivoon tulppia halutulle korkeudelle. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Kohde	Suositteltu 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

* porareiän ollessa pystysuora

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

KUVA 6. Energiakaivon porareiän suositeltuja minimietäisyyksiä eri kohteista. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Energiakaivon pinta-osia varten asennetaan sen päälle suojahattu. Tämä estää hulevesien ja irtoaineksen pääsyn kaivoon ja lisäksi suojaa pinta-osia ulkoisilta vaikutuksilta. Alueilla, joissa esiintyy paineellista pohjavettä, tulee suojahatun olla paineen kestävä ja lisäksi se tulee varustaa ylijouksutuksella. Ylijouksutettava vesi on ohjattava pintavesien mukana sopivaan paikkaan, jottei vedestä aiheudu haittaa rakennuksille tai lähiympäristölle. Energiakaivoille on määrättyjä ja suositeltuja etäisyyksiä eri rakennuksista, rakenteista ja rakennelmista. Nämä ovat esitettyinä kuvassa 6. (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013)

Tavallisesti energiakaivot ovat pystysuoria, mutta kaivoja voidaan porata myös vinoporauksena. Vinoporaus toteutetaan yleensä tilan puutoksen takia eli ts. rakennuksen tontin koko on tarvittavalle kaivomäärälle liian pieni. Tällöin kaivoja voidaan porata alle 15 metrin etäisyydelle toisistaan, mutta reikien lähtöpisteet eivät saa olla 5 metrin päässä toisistaan, koska työturvallisuus on huomioitava. Yleisesti vinoporaukset toteutetaan käyttäen 5-30 asteen kulmaa (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Energiakaivojen etäisyydet toisistaan vaikuttavat niiden tehokkuuteen. Jos energiakaivot ovat lähellä toisiaan, ne ns. ottavat toisiltaan energiaa. Tällöin kaivojen välisen maan tai kallion lämpötila alkaa laskea nopeammin, jolloin myös kaivoista

saatava teho laskee. Esimerkiksi liian lähellä toisiaan olevat energiakaivot voidaan mitoituksen kannalta arvioida jopa yhdeksi kaivoksi, koska ne vaikuttavat toistensa energiansaantiin niin merkittävästi (Rakennustieto, 2018).

Mikäli kaivojen sijoittelun voi toteuttaa vapaasti ja rakennuskohteen tontilla on riittävästi tilaa, olisi kaivojen välisen matkan hyvä olla toisistaan noin 20-25 metriä. Tällöin kaivojen keskinäinen vaikutus toisiinsa on vähäistä tai lähes olematonta. Myös maa- tai kallioperän lämpötilat pysyvät tasaisempina (Rakennustieto, 2018).

3.2.4 Lämmityspiiri

Lämmityspiiri koostuu yleisesti rakennuksen lämmitysverkostosta ja lämmityspattereista, säätö- ja varolaitteista, kiertovesipumpusta sekä maalämpöpumpun lauhduttimesta, joka toimii lämmönsiirtimenä. Maalämpöjärjestelmässä tarvitaan lisäksi varaajia, joita kutsutaan myös usein puskurivaraajiksi. Varaajia tarvitaan lämpöpumpun toiminnan takia.

Maalämpöjärjestelmien ja myös muiden lämpöpumppujärjestelmien yhteydessä käytetään varaajia. Lämpöpumput eivät pysty toimintaperiaatteestaan johtuen vastaamaan nopeisiin energiantarpeisiin, joten lämpöenergiaa varataan varaajiin. Tällöin lämpöpumppu varaa energiaa suoraan varaajaan, josta saadaan lämmintä vettä tarpeen mukaan rakennuksen lämmityksen ja käyttöveden tarpeisiin. Näin lämpöpumppu pystyy tasaisesti tuottamaan lämpöä varaajiin tietyn ajan verran, jonka jälkeen se sammuu ja käynnistyy tarvittaessa uudelleen. Tällä parannetaan myös energiatehokkuutta ja lämpöpumppujen teknistä käyttöikää.

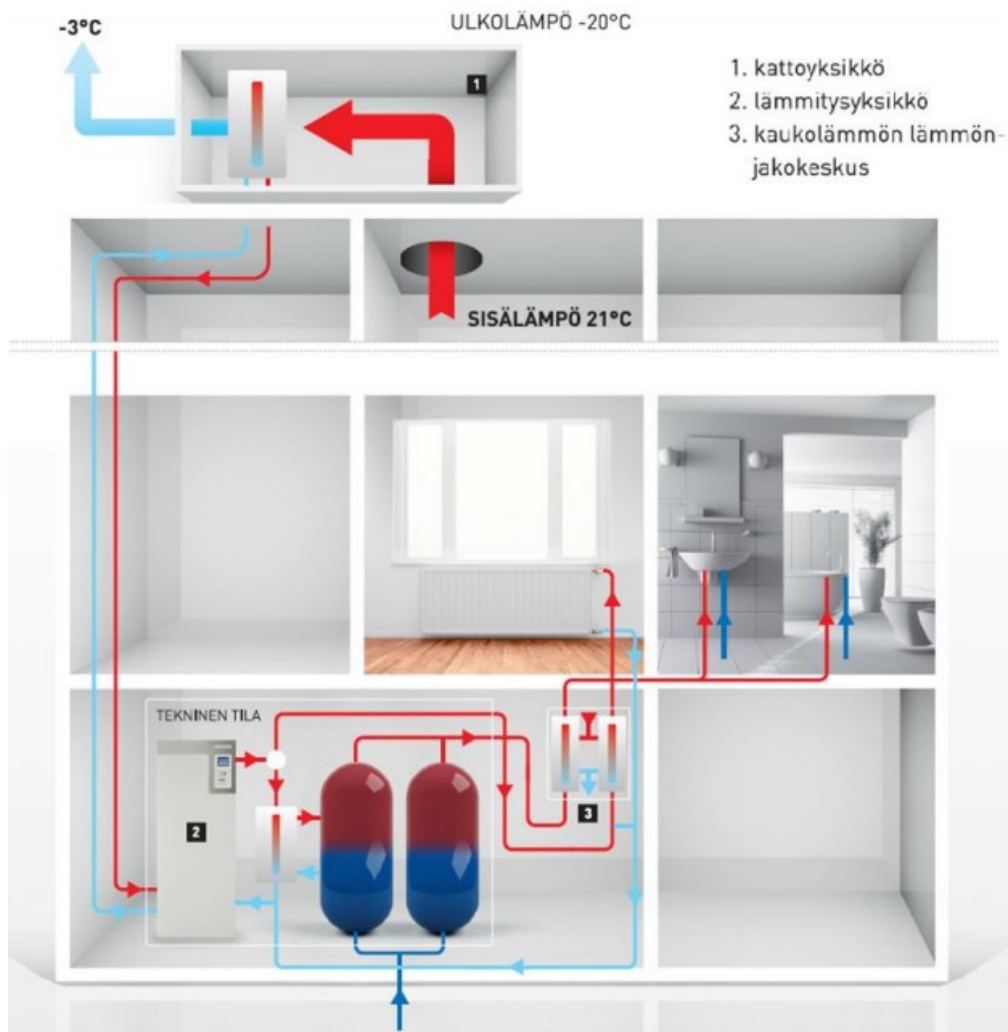
Käyttöveden varaajissa on automatiikan avulla huomioitava lämpimän käyttöveden riittävä lämmitys, jotta vältetään terveysriskeiltä. Tällä estetään mm. terveydelle vaarallisten bakteerien muodostuminen käyttöveteen, esim. legionella-bakteeri. Automatiikalla varmistetaan käyttöveden riittävä lämmitys. Sen avulla ohjataan myös lämmitysjärjestelmän varaajien lataamista.

Olemassa olevassa rakennuksessa on tärkeää, että putkiston kunto on riittävän hyvä maalämpöjärjestelmään vaadittaviin liitoksiin. Maalämpöjärjestelmää hankittaessa olemassa olevaan rakennukseen, on suositeltavaa samalla varmistaa, että lämmitysjärjestelmä on säädetty oikein. Tällöin saadaan suurin hyöty irti uuden lämmitysjärjestelmän käyttöönotosta. Vanhoissa rakennuksissa on yleensä lämmityspatterit mitoitettu korkeammille lämpötilatasoille, kuin mitä maalämpöjärjestelmä suosii. Hankkeen alussa on hyvä huomioida pattereiden kokonaisvaltainen uusiminen, jotta pattereista saataisiin suurempi teho matalammalla lämpötilatasolla. Lämmityspattereiden vaihto on kuitenkin vaativa työ ja aina pattereiden vaihtaminen ei ole mahdollista riippuen pattereiden asennuksesta ja sijoittelusta.

3.3 Lämmön talteenotto rakennuksen poistoilmasta

Lämmön talteenotto rakennuksen poistoilmasta käyttää lämmönlähteenään rakennuksen lämmintä poistoilmaa, josta se ottaa lämpöä talteen jäähdytyspatterin avulla. Siitä käytetään myös nimitystä LTO. Patterissa virtaa yleensä sisällä jokin lämmönkeruuneste. Toimintaperiaatteena siis on, että lämmönkeruupatteri jäähdyttää rakennuksesta ulos puhallettavaa poistoilmaa ottaen siitä lämpöä talteen patterissa kiertävän lämmönkeruunesteen avulla (RIL ry, 2014). Kuvassa 7 on esitetty lämmön talteenoton toimintaperiaatetta.

Kuten kuvasta näkyy, patteri on sijoitettuna poistoilmakammioon. Se voidaan sijoittaa myös suoraan huippuimurin yhteyteen tai ilmanvaihtokonehuoneeseen. Jos patteri on huippuimurin yhteydessä, sijaitsee se yleensä rakennuksen katolla. Patterilta kulkee siirtoputkisto lämmönjakohuoneessa sijaitsevalle lämpöpumpulle, jossa lämpöpumpun kylmäainepiirin höyrystin toimii lämmönsiirtimenä. Talteen saatu lämpö siirretään kylmäainepiirin kompressorin ja lauhduttimen avulla lämpimän käyttöveden tai rakennuksen lämmityksen käyttöön.



KUVA 7. Naavatair-poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate. (Luopa, Niko, 2015)

Lämmön talteenottoa voidaan käyttää myös maalämpöpumpun rinnalla itsenäisenä lämpöpumpuna tai katolla sijaitseva patteri voidaan hyödyntää maalämpöpumpun keruupiiriin. Tällöin rakennuksessa on vain maalämpöpumppujärjestelmä ja katolla sijaitseva patteri on liitettyä maalämmön keruupiirin paluupuolelle. Tällöin patterissa virtaa sama lämmönkeruuneste kuin energiakaivoissa (RIL ry, 2014).

Patterin siirtoputkisto on liitettyä keruupiirin putkiin siten, että osa kaivoilta tulevasta lämmönkeruunesteestä virtaa patterin läpi ja palaa takaisin patterilta. Tällöin saadaan nostettua lämmönkeruupiirin paluulämpötilaa, jolloin saadaan parannettua maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta. Toisin sanoen tässä tilanteessa poistoilman lämmön talteenottoa hyödynnetään suoraan maalämpöjärjestel-

mässä ja poistoilmalle ei tarvita erillistä lämpöpumppua. Samalla pystytään kompensoimaan tarvittavaa energiakaivojen määrää, koska poistoilman lämmön talteenotosta saatava teho on huomattavasti suurempi kuin yksittäisestä kaivosta saatava teho. Esimerkiksi, jos tontin pinta-ala on hyvin pieni, eikä sille saa sijoitettua tarvittavaa määrää energiakaivoja, voidaan silloin poistoilmasta saatavaa lämpöä hyödyntää (RIL ry, 2014).

4 MAALÄMPÖJÄRJESTELMIIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

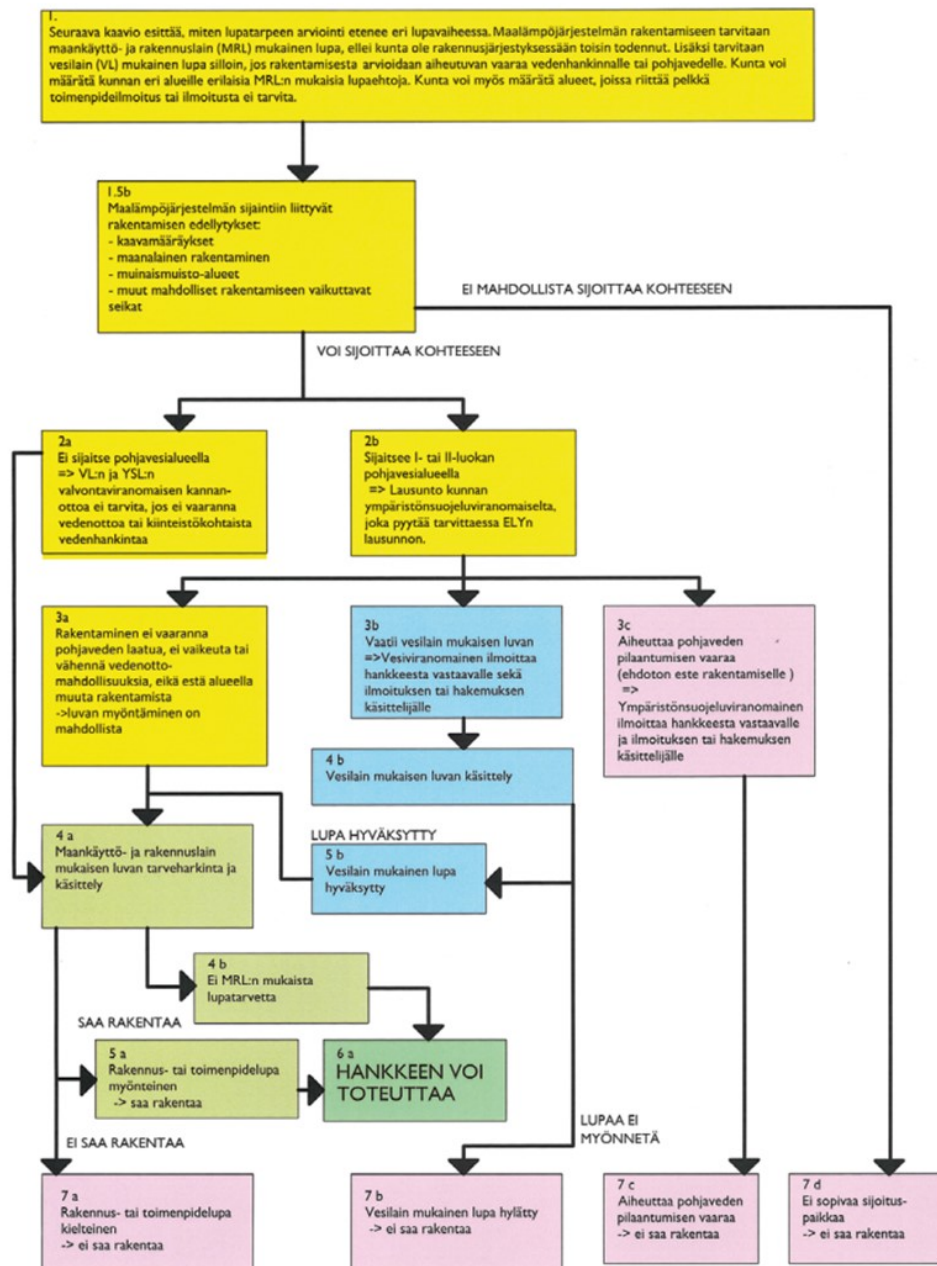
Maalämpöjärjestelmän rakentamista koskee lainsäädäntö samalla tapaa kuin muutakin rakentamista, mutta maalämmön rakentamista on rajoitettu enemmän kuin ns. perinteisiä lämmöntuotantotapoja. Tämä johtuu lähinnä käytettävistä lämmönlähteistä, kuten vesistöistä ja energiakaivoista. Pääsääntöisesti maalämpöhankkeelle vaaditaan maankäyttö- ja rakennuslain mukainen lupa. Kaikkia tarvittavat lupa-asiat on yleensä hyvä varmistaa kunnan rakennusvalvonnasta (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Lakien lisäksi kunnat ovat voineet rajoittaa tai vapauttaa maalämpöjärjestelmään liittyviä rajoitteita tai lupakäytäntöjä alueellaan. Rajoittavia tekijöitä ovat usein pohjavesialueet ja voimakas rakentaminen kunnan alueella, joka tuo painetta maanalaiselle rakentamiselle. Rajoitukset kunta on yleensä ilmoittanut rakennusjärjestyksessään. Mikäli rajoituksia ei ole kunnan alueella, voi kunta vapauttaa rakennusjärjestyksessään energiakaivojen rakentamisen ilman toimenpidelupaa. Lupien tarvetta voidaan arvioida erilaisten työkalujen avulla esimerkiksi kuvassa 8 olevan lupatarvekaavion avulla (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013). Jatkossa on kerrottu tarkemmin eri laeista, määräyksistä ja asetuksista, jotka vaikuttavat maalämpöjärjestelmien rakentamiseen.

4.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)

Uudisrakentamisessa rakennuksen lämmitysjärjestelmän rakentaminen käsitellään osana rakennuslupaa. Rakennuslupa tarvitaan myös eräisiin korjaus- ja muutostöihin sekä rakennuksien tai sen osan käyttötarkoituksen muutoksiin. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennuslupa tarvitaan sellaiseen vaipan tai teknisen järjestelmän korjaus- ja muutostöihin, jotka vaikuttavat merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Tämä koskee erityisesti rakennuksia, joihin tehdään niiden lämmitysjärjestelmien muutoksia tai perusparannus. Tällöin lupa tarvitaan maalämpöjärjestelmiin liittyvissä töissä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Olemassa olevien rakennuksien maalämpöjärjestelmien rakentamiseen vaaditaan toimenpidelupa, jollei kunta ole rakennusjärjestyksessään toisin määrännyt. Kunnan rakennusvalvonta on yleensä antanut tarkat ohjeet lupakäytäntöä koskevista asiakirjoista. Yleisesti ottaen vähimmäisvaatimuksena on hallintaoikeus selvityksen lisäksi Väestörekisterikeskuksen rakennushankeilmoitusta koskeva RH1 ja asemapiirros. Asemapiirros on yksityiskohtainen ja tarkka piirros, johon on merkittynä energiakaivojen sijainnit sekä siirtoputkistojen reititykset (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).



KUVA 8. Lupatarvekaavio maalämpöjärjestelmän rakentamisen selvittämiseen. (Juvonen, J & Lapinlampi T, 2013)

4.2 Vesilaki (587/2011)

Maalämpöhankkeeseen ryhdyttäessä on suositeltavaa hakea aina ensin vesilain mukainen lupa aluehallintovirastolta, koska kielteisen päätöksen johdosta ei maalämpöhanketta voi toteuttaa. Tämä lupa tarvitaan aina, kun kyseessä on vesitaloushanke, joka voi aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia pohjavesiesiintymiin. Lupa haetaan aina aluehallintoviranomaiselta. Tarvittaessa aluehallintovirasto antaa lisäohjeita tarvittavista lupa-asiakirjoista ja selvityksistä sekä mitä niiden tulisi sisältää (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Vesilain uudistuksen myötä sen ja ympäristönsuojelulain välinen suhde on muuttunut siten, että ympäristönsuojelulain kaikkia pilaantumisen torjumista koskevia säännöksiä sovelletaan kaikissa vesilain mukaisissa luvissa ja lupa-asioissa (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

4.3 Ympäristönsuojelulaki (86/2000)

Ympäristönsuojelulaissa on säädetty pohjaveden pilaamista estäviä määritelmiä ja rajoituksia laajasti. Lain perusteella pohjaveden laadun vaarantaminen ja sen pilaaminen on kiellettyä. Tällöin pohjavesialueelle ei voida myöntää lupaa, eikä lupiin sallita myöskään poikkeuksia (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Tämä rajoittaa suuresti maalämpörakennushanketta pohjavesialueilla, koska rakennushanketta toteutettaessa on pohjaveden saastuminen mahdollista. Lisäksi ympäristönsuojelulaki on kytköksissä vesilain kanssa. Lupa-asioissa, jotka vaativat vesilain mukaisen luvan, sovelletaan aina kaikkia ympäristönsuojelulain mukaisia säännöksiä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

4.4 Kiinteistönmuodostamislaki (554/1995)

Kiinteistönmuodostamislaki koskee lähinnä energiakaivojen rakentamista. Laki rajoittaa energiakaivojen poraamista tontin rajojen läheisyydessä. Esimerkiksi ti-

lanteen vaatiessa energiakaivoja voidaan porata naapuritontin puolelle vain naapurikiinteistön omistajan luvalla. Sama koskee myös kaivojen vinoporausta. Mikäli vinoporaus ulottuu naapurin puolelle, on tähän saatava naapurin lupa (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Tapauksissa, joissa joudutaan menemään naapuritontin puolelle tai sen välittömään läheisyyteen, perustetaan rasite. Rasitteella turvataan maalämpöjärjestelmän ulottaminen ja sen sijoituksen pysyvyys naapurikiinteistön puolella, vaikka sen omistaja vaihtuisi. Rasitteesta laaditaan rasitesopimus, joka liitetään maalämpöjärjestelmän toimenpidelupahakemukseen (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

4.5 Kemikaalilaki (744/1989)

Kemikaalilaki säädetään maalämpöjärjestelmissä käytettäviin lämmönkeruunesteisiin. Säännökset koskevat lämmönkeruunesteiden määristä ja vaarallisuudesta johtuvaa riittävän huolellisuuden ja varovaisuuden mukaisuutta, jotta vältetään terveys ja ympäristöongelmilta ja -haitoilta (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Lämmönkeruunesteitä käsiteltäessä on huomioitava, että täyttääkö sen käsittely ilmoitus- ja lupavelvollisuuden rajat. Lisäksi on huomioitava, onko kyseessä vaarallinen kemikaali. Laissa määritellään myös valintavelvollisuus, jolloin toiminnanharjoittajan on valittava kohtuutta käyttäen mahdollinen kemikaali, josta aiheutuu vähiten haittaa ja vaaraa (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

4.6 Terveysturvallisuuslaki (763/1994)

Laissa on säädetty maalämpöjärjestelmiä koskevia määräyksiä, jotka liittyvät järjestelmän mitoittamiseen, käyttöveden laatuun ja lämpimän käyttöveden lämpötilaan. Lain säädökset koskevat mm. asuintilojen lämpötila- ja kosteusolosuhteita, mikä tarkoittaa, etteivät niiden muutokset saa aiheuttaa terveydelle haittaa. Li-

säksi laissa säädetään riittävästä lämpimän ja kylmän veden saannista rakennuksessa, sopivasta odotusajasta sekä lämpimän käyttöveden lämpötiloista (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Maalämpöjärjestelmää yleensä käytetään rakennuksen lämmitykseen sekä sen käyttöveden lämmitykseen. Tällöin järjestelmän on täytettävä terveydensuojelulain määräykset. Tämä koskee erityisesti maalämpöjärjestelmän mitoitusta, rakennetta ja koko järjestelmän säätöä (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

4.7 Kuntien rakennusjärjestys ja suojelu

Kunta voi asettaa erilaisilla ympäristönsuojelumääräyksillä ja rakennusjärjestyksellään erilaisia määräyksiä ja rajoituksia koskien maalämpöjärjestelmiä ja niiden rakentamista. Nämä voivat koskea esimerkiksi energiakaivojen sijoitusta tai maalämpöjärjestelmän rakentamista yleisesti. Lisäksi muinaismuistolaki rajoittaa energiakaivojen sijoittamista (Juvonen, J & Lapinlampi, T, 2013).

Kunta voi määrätä rakennusjärjestyksessään, että joillakin sen alueilla maalämpöjärjestelmän rakentamista on helpotettu ja lupaprosessi on vapautettu esim. energiakaivojen toimenpideluvasta. Kunta voi myös tehdä päinvastoin ja kieltää rakentamisen kokonaan. Esimerkiksi Turun kaupunki on asettanut keskusta-alueensa porauskieltoon vuoden 2019 joulukuun loppuun saakka, koska maanalainen asemakaava on vielä kesken.

4.8 Muu lainsäädäntö

Maalämpöjärjestelmien ja energiakaivojen rakentamista koskevat myös rakentamiseen yleisesti sovellettava lainsäädäntö. Mm. ympäristöministeriön asetukset ja Suomen rakentamismääräyskokoelma koskevat maalämpöjärjestelmien ja energiakaivojen rakentamista (Rakennustieto, 2018). Alla on lueteltuna lista ympäristöministeriön asetuksista:

- ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista
- ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta
- ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä
- ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta
- ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä

5 YLEISTÄ HANKESUUNNITTELUSTA

5.1 Tarveselvitys

Yleisesti ottaen tarveselvityksellä perustellaan erilaisten tilahankintojen tarpeellisuus tai olemassa olevien tilojen muutostarve. Lisäksi siinä määritetään alustavasti tarvittavat tilat ja niille asetettavat vaatimukset hankkeen kannalta. Samalla määritetään vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet sekä arvioidaan eri vaihtoehtojen kustannuksia (LVI 03-10620).

Lämmityksen perusparannushankkeen tarveselvityksessä tämä tarkoittaa hankkeen tavoitteiden asettamista ja samalla arvioidaan erilaisten järjestelmien kustannustehokkuutta. Teknisesti selvitettävät asiat pitää ottaa myös huomioon. Näitä ovat mm. rakennuksien energiantarve, lämpöpumppujärjestelmän alustava mitoitus ja karkea tilantarpeen määrittäminen mahdollisille järjestelmille. Lisäksi suunnittelijan on hyvä selvittää tiloihin kohdistuvat erilaiset olosuhde-, toiminnallisuus- ja turvallisuusvaatimukset (LVI 11-10624). Perusparannushankkeessa tarveselvitys perustuu usein tilaajalta saatuihin lähtötietoihin ja kohteen katselmukseen. Lähtötietoina ovat yleensä isännöitsijän todistus ja lisäksi kiinteistön kulutustiedot, mikäli niitä on saatavilla. Kulutustietoja ovat esimerkiksi kaukolämmön, veden ja sähkön kulutustiedot vuosi- tai kuukausitasolla. Kohteen katselmuks tehdään aistinvaraisin havainnoin ja aikaisempien asiakirjojen sekä suunnitelmien perusteella, mistä saadaan lisää tarvittavia lähtötietoja selvityksen tekemiseen. Katselmuksella kartoitetaan kiinteistön nykyisten tilojen koko ja niiden riittävyys uutta tekniikkaa varten.

Tarveselvitys tehdään tilaajan pyynnöstä ja se on kannattavaa tehdä ennen hankepäätöstä. Tarveselvityksen alkuvaiheessa on ensiksi selvitettävä, että onko tilaajan tontille mahdollista rakentaa energiakaivokenttä. Maalämpöpumppujärjestelmän rakentamiseen ja etenkin energiakaivojen poraamiseen vaikuttaa vahvasti lainsäädäntö. Lisäksi on hyvä selvittää jo tarveselvitysvaiheessa, että miten suuren energiakaivokentästä voi tehdä. Tämä on yksi merkittävimmistä tekijöistä maalämpöhankkeen kannalta. Esimerkiksi tilaajan tontilla voi olla poraamista rajoittavia alueita tai tekijöitä tai tontti voi olla hyvin ahdas. Tällöin ei välttämättä

saada energiakaivojen kautta riittävästi energiaa ja on mietittävä muita vaihtoehtoja maalämmön rinnalle tai sen tilalle.

Kun energiakaivoihin liittyvät luvanvaraiset ja tekniset asiat on selvitetty, tulee tarveselvityksessä seuraavaksi selvittää lämmitysverkoston mitoituslämpötilan muutoksen vaikutus lämmityspattereiden lämmitystehoon. Maalämpöpumppujärjestelmällä ei ole kannattavaa tuottaa lämmitysverkostoon niin kuumaa menovettä kuin kaukolämmöllä tuotetaan. Kaukolämmöllä tuotettavat mitoituslämpötilat ovat yleensä (menoveden lämpötila/paluuveden lämpötila) 70/40 °C ja joissakin vanhoissa rakennuksissa ne voivat olla hieman korkeammat (Energiateollisuus ry, 2014). Yleensä maalämpöjärjestelmää ei mitoiteta näihin lämpötiloihin, koska tämä laskee lämpöpumppujen lämpökerrointa eli COP-arvoa (Coefficient Of Performance). Mitoituslämpötilan menoveden lämpötila on hyvä mitoittaa hieman matalammaksi kuin kaukolämpöä käytettäessä. Tällöin ei kuitenkaan pystytä vastaamaan pelkällä maalämpöjärjestelmällä mitoittavan ulkolämpötilan (MUT) olosuhteisiin, vaan maalämmön rinnalle on otettava esimerkiksi sähkökattila, jotta vuoden kylmimpinä aikoina pystytään vastaamaan lämmön kulutushuippuihin. Tällöin maalämpöpumpun mitoituslämpötila on 60/40 °C ja lämpöpumppu pystyy tuottamaan tämän suotuisalla COP-arvolla. Kun lämmityspatterit vaativat lisää lämmitystehoa, tuotetaan menoveden lämpötilan nosto yli 60 °C sähkökattilalla.

Koska lämmityskaudella tarvittava lämmityksen huipputeho tulee tuottaa jollakin muulla lämmönlähteellä, kuin maalämpöpumpulla, tulee jo tarveselvitysvaiheessa kartoittaa kiinteistön sähköjärjestelmän riittävyys. Jo pelkkä maalämpöpumppujärjestelmä vaatii kiinteistön sähköjärjestelmältä enemmän kuin mihin kiinteistössä ollaan sen suunnitteluvaiheessa varauduttu. Lämpöpumppujärjestelmän lisäksi tulee ottaa huomioon sähkökattilan tarvitsema sähköteho.

Tarveselvityksessä tehdään myös hankkeen alustava kustannustarkastelu. Maalämpöpumppujärjestelmään ja mahdollisiin vaihtoehtoisin järjestelmiin tehtävien investointien kannattavuutta tarkastellaan yleensä 25-50 vuoden ajalta tai jopa rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Tällainen kustannustarkastelu antaa paljon kattavamman arvion järjestelmästä kuin pelkkä investoinnin takaisinmaksuajan

laskeminen. Investointikustannuksissa eli hankintahinnassa huomioidaan järjestelmän kaikki osat asennuksineen. Käyttökustannuksissa huomioidaan energian hinta ja sen vaihtelut. Energian hinnassa otetaan huomioon sähkö- ja muiden liittymien perusmaksut. Järjestelmän ylläpidon ja huollon kustannuksiin sisällytetään mm. suodattimien vaihtaminen, kylmäainepiirin vuototarkastukset, yleiset huollot ja muut vastaavat toistuvat toimenpiteet (LVI 11-10624). Maalämpöjärjestelmän kustannustarkastelussa tehdään vertailua eri lämmitysjärjestelmien välillä, joita on mahdollista toteuttaa kiinteistöön. Kustannusvertailu tehdään esimerkiksi maalämpöjärjestelmän, maalämpö- ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän, kaukolämpö- ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän ja pelkän kaukolämpöjärjestelmän välillä.

Talotekniikan osuus hankkeen investointi- ja ylläpitokustannuksista sekä työmäärästä on huomattavan suuri, joten tarveselvityksessä on tehtävä hyvin laaja-alaista selvitystyötä, jotta saadaan tarkennettua hankkeen kustannustavoitteita ja vähennettyä yllätyksiä jatkosuunnittelun kannalta. Kun tarveselvitys on saatu valmiiksi kokonaisuudessaan, tilaaja hyväksyy tarveselvityksen ja tekee hankepäätöksen (LVI 03-10620).

5.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelun tarkoituksena on asettaa rakennushankkeelle tarkat ja täsmälliset tavoitteet. Näitä asetetaan mm. laadulle, laajuudelle, toimivuudelle, aikataululle, kustannuksille ja ylläpidolle. Näistä päätetään tilaajan kanssa ja samalla nämä muodostavat suunnittelutavoitteet sekä pohjan jatkosuunnittelua varten (LVI 03-10620).

Maalämpöhankkeen hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään viranomaislupien tarve. Samalla selvitetään myös erilaisten maanalaisten rakenteiden, kaivojen ja pohjavesialueiden sijainnit. Lisäksi on tärkeää selvittää maaperän koostumus, jotta pystytään selvittämään energiakaivoista saatava teho tarkasti. Edellä mainitut asiat olisi kuitenkin hyvä sisällyttää jo tarveselvitysvaiheeseen, mutta mikäli niitä ei ole selvitetty, selvitetään ne viimeistään tässä vaiheessa suunnittelua.

Hankesuunnitteluvaiheessa siis voidaan samanaikaisesti toteuttaa tarveselvityksen osa-alueita, jollei tarveselvitystä ole rakennuskohteesta tehty. Maalämpöjärjestelmä vaatii pääsääntöisesti maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen toimenpideluvan ja vesilain mukaisen luvan.

Koska hankesuunnitelmassa asetetaan tarkat tavoitteet rakennushankkeelle, tulee siinä tarkastella perusparannushankkeen kannalta myös muita parannusta tai korjausta vaativia asioita. Tällöin on hyvä tehdä laaja-alaiset kuntokartoitukset sekä talo- että rakennustekniikan näkökulmasta. Kartoituksilla selvitetään mm. rakennuspaikan talotekniset rasitteet (putkistot, kaapelit jne.) ja olemassa olevan talotekniikan kunto, hyödynnettävyys ja laajennettavuus. Perusparannushankkeessa on varmistuttava, että olemassa oleviin taloteknisiin järjestelmiin pystytään liittymään uudella tekniikalla. Samalla on hyvä varmistaa myös, että olemassa olevat rakenteet kestävät uuden tekniikan.

Kartoitusten ja selvitysten valmistuttua laaditaan niiden perusteelta eri tasoisia vaihtoehtoja suunnittelua varten. Nämä suunnittelutasovaatimukset on voitu määrittää jo hankesuunnittelun alkuvaiheessa yhdessä tilaajan kanssa. Nämä koskevat esimerkiksi järjestelmien ja korjauksien laajuutta ja laatua. Näiden pakettien sisällöt voivat olla melko erilaisia ja samalla myös niiden kustannukset ja säästöt ovat erisuuruisia. Esimerkiksi perusparannushankkeessa voidaan uusia koko lämmitysjärjestelmä tai tehdä vain välttämättömät korjaukset järjestelmän toiminnan kannalta.

6 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS OLEMASSA OLEVIIN RAKENNUKSIIN

Olemassa olevaan rakennukseen tehtävä mitoitus eroaa melko paljon maalämpöjärjestelmänä mitoittaessa verrattuna muihin lämmitysjärjestelmiin sekä uudisrakentamiseen. Mitoituksen perustana toimivat rakennuksen lähtötiedot, joita ovat rakennuksen energian ja käyttöveden kulutus, rakennuksen tiedot, nykyiset suunnitelmat sekä lämmitysjärjestelmän lämpötilatasot. Lisäksi olisi hyvä tietää myös rakennuksen korjaushistoria.

Jotta mitoitus voidaan tehdä mahdollisimman hyvin ja tarkasti, tulisi rakennuksesta olla tietoja saatavilla useammalta vuodelta. Tämä on tärkeää, jotta saadaan selville rakennuksen käyttäytyminen niin kylminä kuin lämpiminä vuosina. Yksittäisien vuosien energian kulutuksissa voi olla suuriakin eroja ilmastollisten olosuhteiden takia.

Kulutustietojen perusteelta tehdään normitus. Sen avulla pystytään arvioimaan energian kulutusta ja vertailemaan sitä eri vuosiin. Mitoituksessa normitus on suuressa roolissa, koska sen avulla saadaan rakennukselle laadittua tietynlainen ominaiskulutus, jolla maalämpöjärjestelmä saadaan mitoitettua.

Itse mitoituksessa käytetään yleisesti eri lämpöpumppuvalmistajien mitoitusohjelmia. Niiden avulla pystytään arvioimaan tarvittavaa maalämpöpumppujen sekä energiakaivojen määrää. Samalla saadaan kuvaus järjestelmän koosta ja pystytään tekemään tämän perusteella alustava kustannuslaskelma maalämpöpumppujärjestelmälle.

6.1 Lähtötiedot

Kuten edellä mainittiin, mitoituksen lähtötietoina ovat rakennuksen energian ja veden kulutustiedot. Näihin tietoihin perustuu koko maalämpöjärjestelmän mitoitus, joten tietojen oikeellisuuden kanssa on oltava tarkkana. Lisäksi lähtötietoja

ovat rakennuksen tiedot, nykyisen lämmitysjärjestelmän lämpötilatasot, korjaushistoria ja nykyiset suunnitelmat. Tärkeää on selvittää rakennuksen korjaushistoria. Rakennusta on voitu korjata tai jopa laajentaa vuosien saatossa siten, että ne ovat merkittävästi vaikuttaneet rakennuksen energian kulutukseen. Tällaisia korjauksia ovat esimerkiksi lämmönsiirtimen tai lämmönlähteen uusiminen, julkisivuremontti tai putkiremontti.

Yleensä kaikki tarvittavat lähtötiedot saa suoraan rakennuksen isännöitsijältä. Isännöitsijä antaa rakennuskohteesta isännöitsijän todistuksen, jossa on yleisimmät tiedot rakennuksesta. Isännöitsijän todistuksesta löytyvät yleensä rakennuksen sijainti, asuntojen määrä, asuintilojen pinta-ala, rakennuksen tilavuus ja kerrosala ja tontin pinta-ala. Lisäksi isännöitsijän todistuksessa on lueteltuna rakennuksen korjaushistoria. Lisäksi isännöitsijältä saa rakennuksen kulutustiedot. Mikäli hänellä ei ole saatavilla kulutustietoja tai niitä ei ole kattavasti saatavilla, saa kulutustiedot pyydettyä myös suoraan energiayhtiöltä ja vesilaitokselta.

Kulutustiedot sisältävät yleensä energian ja veden vuosittaiset kulutukset. Vuosittaiset tiedot kulutuksista ovat riittävät energian kulutuksen arviontiin ja mitoitukseen. Mikäli saatavilla on kuukausitason tietoja kulutuksista, on se aina parempi mitoituksen ja energian kulutuksen arvioinnin kannalta. Energian kulutustiedot sisältävät yleensä vain energian kulutuksen kokonaisenergian tiedon. Harvemmin on saatavilla erittelyä, jossa olisi erikseen ilmoitettu rakennuksen lämmityksen ja sen käyttöveden lämmityksen kuluttamat energia. Sama pätee myös käyttöveden kulutustietoihin. Kulutuksesta on suunnittelijan itse arvioitava lämpimän käyttöveden kulutus joko asukasmäärän tai olemassa olevien ja hyväksi todettujen menetelmien avulla. Tämä tulee ottaa huomioon rakennuksen kokonaisenergian kulutuksessa ja sen arvioinnissa.

6.2 Normitus

Normitus on avainroolissa maalämpöjärjestelmän mitoituksessa. Sen avulla saadaan arvioitua rakennuksen energiankulutusta eri ajanjaksoina ja lisäksi voidaan vertailla eri rakennuksien kulutuksia, vaikka ne sijaitisivat eri paikkakunnilla.

Koska maalämpöjärjestelmän avulla pyritään parantamaan olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuutta, tulee rakennuksen energiankulutusta seurata ja arvioida (Motiva, 2016).

Normituksella tarkoitetaan rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen korjaamista lämmitystarveluvun avulla. Jotta rakennuksen energiankulutus voidaan normittaa, tulee tiedossa olla sen toetutuneet energiankulutukset. Toteutuneessa energiankulutuksessa on huomiota kiinnitettävä lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutukseen ja sen arviointiin. Normitusta käytetään siis arvioimaan rakennuksen tilojen lämmittämisen energiankulutusta (Motiva, 2016).

Normituksessa käytettävän lämmitystarveluvun avulla pystytään tekemään rakennuksen energiankulutuksen normitus. Ilmatieteen laitos määrittää Suomessa joka vuotiset lämmitystarveluvut 16 eri paikkakunnalle. Lisäksi se on määrittänyt normitusta varten ns. normaalivuoden, joka perustuu vuosien 1981-2010 lämmitystarvelukuihin (Rakennustieto, 2014).

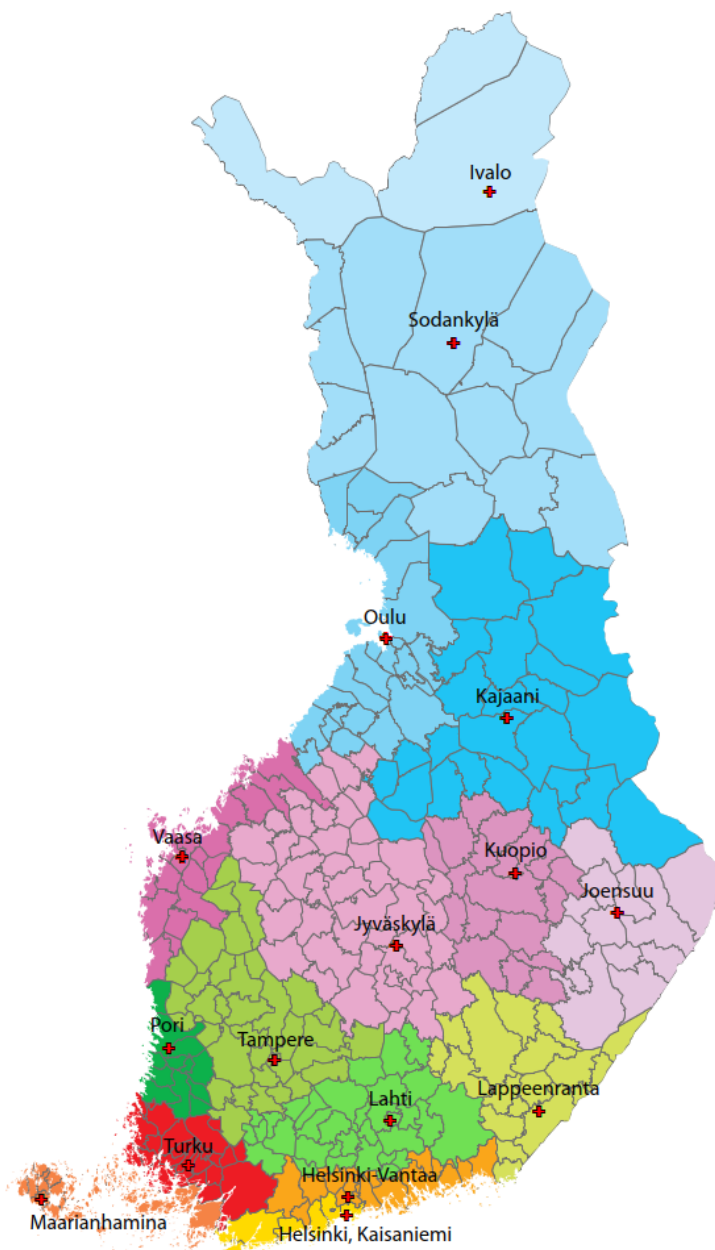
6.2.1 Lämmitystarveluku ja sen käyttäminen

Lämmitystarvelukua käytetään normitukseen eli sillä korjataan rakennuksen toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia, jotta niitä pystytään vertailemaan saman rakennuksen kulutuksiin eri ajankohtina. Normituksen avulla pystytään myös eri ajanjaksojen lisäksi vertailemaan eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten ominaisenergiankulutuksia. Lämmitystarvelukua käytetään, koska rakennuksen lämmitysenergian kulutus on lähes verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. Tähän perustuu luvun käyttö normituksessa. Lämmitystarveluvusta käytetään myös nimitystä astepäiväluku ja sen yksikkönä käytetään ilmausta °Cvrk tai °Cd (Rakennustieto, 2014).

Lämmitystarveluku saadaan, kun lasketaan yhteen jokaisen kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Näin laskettu lämmitystarveluku ilmoitetaan yleisesti joko kuukausi- tai vuosikohtaisesti. Yleisenä tapana on käyttää lämmitystarvelukua S17. Se on laskettu + 17 °C oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotusten perusteella. Lämmitystarveluvussa S17

on huomioitu rakennuksen lämmitysenergiaan vaikuttavat ulkoiset ja sisäiset lämpökuormat, joita ovat auringonsäteily, laitteet ja ihmiset. Näiden lämpökuormien on oletettu kattavan todellisen sisälämpötilan ja sisälämpötilan + 17 °C välisen lämpötilaeron (Motiva, 2016).

Yksittäisen kuukauden lämmitystarveluku on sen päivien lämmitystarvelukujen summa ja vastaavasti vuoden lämmitystarveluku on sen kuukausien lukujen summa. Lämmitystarveluvulla pystytään osoittamaan, että mitä kylmempi vuosi on, sitä suurempi on kyseisen vuoden lämmitystarveluku (Rakennustieto 2014).



KUVA 9. Normituksessa käytettävät vertailupaikkakunnat. (Rakennustieto, 2014)

Lämmitystarveluvut on määritetty 16 eri paikkakunnalle. Näistä paikkakunnista käytetään nimitystä vertailupaikkakunta. Jokaiselle paikkakunnalle on määritetty normituksessa vertailuarvona käytettävä normaalivuoden lämmitystarveluku, joka vastaa vuosien 1981-2010 keskimääräistä vertailupaikkakunnan lämmitystarvelukua. Kuvassa 9 on esitettyä vertailupaikkakunnat. Normaalivuosi on erikseen sovittu käytettäväksi normituksessa ja sen lämmitystarveluvuissa on otettu huomioon vertailuajanjakson 1981-2010 lämpötiloja eri ajankohtina. Normaalivuodelle on siis omat lämmitystarvelukunsa, joita käytetään normituksessa. Kuvassa 10 on esitettyä normaalivuoden lämmitystarveluvut vertailupaikkakunnittain (Rakennustieto, 2014).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	592	567	551	406	216	34	3	17	135	308	432	542	3803
Vantaa	682	640	586	376	146	16	2	21	158	348	497	625	4097
Helsinki	647	612	566	383	153	11	1	12	125	316	464	588	3878
Pori	677	633	585	389	181	26	3	25	171	352	497	622	4161
Turku	663	625	575	377	161	19	2	18	149	338	486	608	4021
Tampere	724	675	612	400	176	28	5	34	192	382	529	667	4424
Lahti	726	677	610	395	159	20	4	31	191	383	528	668	4392
Lappeenranta	759	699	621	403	165	22	5	28	184	386	546	692	4510
Jyväskylä	785	721	646	440	206	40	10	56	227	414	569	718	4832
Vaasa	719	666	619	424	214	29	5	35	192	377	526	663	4469
Kuopio	812	741	653	445	198	31	7	38	194	400	571	735	4825
Joensuu	826	753	665	456	216	39	10	47	215	416	589	752	4984
Kajaani	864	777	695	479	251	57	17	75	245	441	618	785	5304
Oulu	824	742	677	465	249	47	9	55	224	423	593	749	5057
Sodankylä	946	838	760	548	345	106	49	136	316	523	722	891	6180
Ivalo	923	819	755	557	377	146	69	147	318	523	722	875	6231

KUVA 10. Normaalivuoden lämmitystarveluvut ja vastaavat kuukausikohtaiset lämmitystarveluvut vertailupaikkakunnittain. (Rakennustieto, 2014)

Lämmitystarveluvuissa jätetään huomioimatta ne päivät, joiden keskilämpötila on keväällä yli + 10 °C ja vastaavasti syksyllä + 12 °C. Tällöin on oletettu, että rakennuksissa ei tarvita lämmitysenergiaa tilojen lämmittämiseen. Lämmitystarveluku on näinä ajanjaksoina nolla (Rakennustieto 2014).

6.2.2 Kulutuksen normitus

Rakennuksen energiankulutuksen normitus tehdään erilaisten kaavojen avulla riippuen siitä, että mitä halutaan vertailla. Tärkeintä normituksessa on huomioida

toteutuneiden kulutustietojen avulla käyttöveden energiankulutus. Normituksessa käyttöveden energiankulutus vähennetään kokonaisenergiankulutuksesta, jonka jälkeen lämmitysenergiankulutus normitetaan ja tähän normitettuun kulu-
tukseen lisätään käyttöveden lämmityksen energiankulutus (Rakennustieto, 2014).

Kun halutaan vertailla saman rakennuksen energiankulutusta eri ajanjaksoina, käytetään kaavaa 1 eli ns. peruskaavaa normitukseen.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (1)$$

jossa Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
 $Q_{toteutunut}$ = rakennuksen tilojen lämmityksen energiankulutus
 $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ = lämpimän käyttöveden energiankulutus
 $S_{N \text{ vpkunta}}$ = normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
 $S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$ = vuoden tai kuukauden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

Kaavassa 1 on otettava huomioon toteutunut rakennuksen tilojen lämmityksen energiankulutus, joka saadaan laskettua kokonaisenergiankulutuksesta. Kaavan 2 avulla pystytään laskemaan rakennuksen tilojen lämmityksen energiankulutus (Rakennustieto, 2014).

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (2)$$

jossa Q_{kok} = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

Mikäli halutaan verrata eri puolilla Suomea sijaitsevien rakennusten energiankulutuksia, normitetaan kulutus valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään. Tämä on yleinen käytäntö normituksessa. Kaavan 3 avulla pystytään vertailemaan kulutuksia (Rakennustieto, 2014).

$$Q_{norm} = k_2 \cdot \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (3)$$

jossa k_2 = paikkakuntaakohtainen korjauskerroin valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään

$S_{N\ vpkunta}$ = normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$ = vuoden tai kuukauden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

Kaavan 3 muut muuttujat ovat samat kuin kaavassa 1.

Kun halutaan vertailla samalla alueella sijaitsevien rakennusten energiankulutuksia, tehdään normitus alueen vertailupaikkakuntaan. Tämä normitus tehdään kaavan 4 avulla (Rakennustieto, 2014).

$$Q_{norm} = k_1 \cdot \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (4)$$

jossa k_1 = paikkakuntaakohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan

Kaavan 4 muut muuttujat ovat samat kuin kaavassa 1 ja 2.

Kulutuksen normitus voidaan tehdä myös omalle paikkakunnalle. Tällöin tulisi olla käytössä rakennuskohtainen kiinteistöautomaatiojärjestelmän laskema toteutunut lämmitystarveluku. Oman paikkakunnan normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku saadaan kertoimen k_1 ja vertailupaikkakunnan normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluvun avulla. Kaavan 5 avulla saadaan määritettyä oman paikkakunnan normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku (Rakennustieto, 2014).

$$S_{N\ kunta} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{k_1} \quad (5)$$

jossa $S_{N\ kunta}$ = oman paikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku

Kaavan 5 muut muuttajat ovat samat kuin kaavoissa 1, 2 ja 3.

Kun omalle paikkakunnalle on määritetty normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku kaavan 5 avulla, voidaan normitettu kulutus laskea kaavan 6 avulla (Rakennustieto, 2014).

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ kunta}}{S_{toteutunut\ kunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (6)$$

jossa $S_{toteutunut\ kunta}$ = rakennusautomaatiojärjestelmän laskema toteutunut lämmitystarveluku omalla paikkakunnalla

Kaavan 6 muut muuttajat ovat samat kuin edellä esitetyissä kaavoissa.

6.2.3 Käyttöveden lämmityksen energiankulutus

Koska käyttöveden lämmittämisen energiankulutus ei ole riippuvainen ulkolämpötilasta, tulee käyttöveden lämmityksen energiankulutus aina ennen normitusta erottaa kokonaisenergiankulutuksesta. Lämmin käyttövesi kuluttaa energiaa myös muilla tavoin, kuin vain veden lämmitykseen vaaditulla energialla. Lämpimän käyttöveden kiertovesijohdossa aiheutuu lämpöhäviöitä, jolloin myös kierrolta palaavaa vettä tulee lämmittää. Tällöin lämpimän käyttöveden kokonaisenergiankulutuksessa ovat molemmat lämmitysenergian tarpeet huomioituina (Rakennustieto 2014).

Joissakin vanhoissa rakennuksissa on käytössä hyvin paljon erilaisia kiertovesipattereita, joita käytetään myös osittaiseen tilojen lämmitykseen ja kuivatukseen. Tällöin lämpimän käyttöveden kierrosta aiheutuvat lämpöhäviöt ovat merkittävän suuret ja ne voivat olla lämmitykseen vaadittavan energian kanssa jopa saman suuruiset.

Lämpimän käyttöveden aiheuttamaa kulutusta voidaan arvioida monilla erilaisilla kaavoilla tai muilla menetelmillä. Yleisesti ottaen vanhoista rakennuksista on harvoin saatavilla erikseen kylmän ja lämpimän käyttöveden kulutustietoja. Mikäli

niitä on saatavilla, on silloin taloyhtiöön tehty kattava saneeraus ja samalla on uusittu rakennusautomaatio. Ensisijaisesti on aina käytettävä rakennusautomaation ilmoittamaa energiankulutuksen lukemaa, mikäli se on saatavilla rakennuskohteesta. Muutoin käytetään arviointikeinoja, jotka on todettu hyväksi (Rakennustieto, 2014).

Kun rakennuksesta ei ole saatavilla rakennusautomaation ilmoittamaa energiankulutusta, voidaan kaavan 7 avulla laskea lämpimän käyttöveden lämmittämisen energiankulutus (Rakennustieto, 2014).

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 58 \cdot V_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (7)$$

jossa $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ = veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
 $V_{\text{lämmin käyttövesi}}$ = kulutettu lämpimän käyttöveden määrä vuotta tai kuukautta kohden (m^3/a tai m^3/kk)
 58 = veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos $50\text{ }^\circ\text{C}$) tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden (kWh/m^3)

Jos rakennuksessa ei ole mitattu erikseen lämpimän käyttöveden kulutusta, voidaan sen kulutus olettaa olevan mitatusta kokonaiskulutuksesta asuinrakennuksissa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 %. Tällöin voidaan lämpimän veden määrä laskea kaavan 8 avulla (Rakennustieto, 2014).

$$V_{\text{lämmin käyttövesi}} = V_{\text{kokonais}} \cdot 0,4 \quad (8)$$

jossa V_{kokonais} = kulutettu veden määrä vuotta tai kuukautta kohden (m^3/a tai m^3/kk)
 0,4 = lämpimän käyttöveden oletettu osuus kokonaiskulutuksesta prosentteina

Mikäli rakennuksessa ei ole ollenkaan mitattu vuosittaista veden kokonaiskulutusta, voidaan oletusarvona lämpimän käyttöveden kulutukselle käyttää asuinrakennuksissa $0,6\text{ m}^3/\text{brm}^2$ vuodessa. Tämä pätee vain asuinrakennuksiin.

Mikäli rakennuksessa ei tarvita lämmitystä kesä-elokuun aikana, voidaan lämpimän käyttöveden osuus, kiertovesijohdon lämpöhäviöt mukaan arvioituna, määrittää tältä ajanjaksolta keskimääräisen energiankulutuksen perusteella. Tällä ajanjaksolla harvoin tarvitaan rakennuksen tilojen lämmitykseen energiaa, jolloin kaikki käytetty energia kuluu käyttöveden lämmitykseen ja kiertovesijohdon lämpöhäviöihin (Rakennustieto, 2014).

Mikäli rakennuksessa on erikseen mitattu lämpimän käyttöveden määrä, voidaan sen lämmityksen energiankulutus laskea kaavan 9 avulla.

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = \frac{r \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (9)$$

jossa

- r = veden tiheys (1000 kg/m³)
- c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
- V = lämpimän käyttöveden määrä (m³)
- t₂ = lämmitetyn veden lämpötila, yleensä 55-60 °C
- t₁ = lämmitettävän veden lämpötila, yleensä noin 5-10 °C
- 3600 = yksikkömuunnos kilojouleista kilowattitunneiksi

6.3 Maalämpöpumpun mitoitus

Kun kaikki tarvittavat lähtötiedot on koottu, rakennuksen energiankulutus on normitettu ja sen avulla on arvioitu energiankulutusta eri ajankohtina sekä korjaushistorian vaikutusta on myös arvioitu energiankulutukseen, voidaan aloittaa maalämpöpumpun mitoitus. Maalämpöpumppu mitoitetaan tyypillisesti eri lämpöpumppuvalmistajien omilla mitoitusohjelmilla. Niitä on kattavasti saatavilla ja ne ovat myös yleisesti todettuja hyväksi käyttää. Yleisesti ottaen ne ovat myös toimintoiltaan melko samanlaisia keskenään.

Mitoitusta varten on erittäin tärkeää selvittää lähtötietojen ja normituksen avulla rakennukselle keskimääräinen energiankulutus, jossa huomioidaan myös energiankulutus keskimääräistä kylmempinä vuosina. Tässä korostuu erityisesti normituksen vaikutus mitoitukseen, etenkin silloin, kun kulutustietoja rakennuksesta

ei ole kattavasti saatavilla. Tämä voi johtaa maalämpöjärjestelmän alimitoitukseen, jolloin normaalia kylmempinä aikoina järjestelmästä ei saada tarpeeksi tehoa ja rakennus ei pahimmassa tapauksessa lämpiä. Vaikka riskinä on järjestelmän alimitoitus, on maalämpöjärjestelmää rakennettaessa kyseessä kuitenkin energiatehokkuusprojekti. Tällöin järjestelmän eri saisi myöskään ylimitoittaa. Ylimitoituksessa on myös omat riskinsä, jotka yleensä nostavat merkittävästi koko järjestelmän hankintahintaa. Mitoituksessa on siis kiinnitettävä erityistä huomiota rakennuksen energiatehokkuuteen. Olemassa olevaan rakennukseen mitoittamista tehtäessä, sen lähtökohtana toimii normituksen avulla arvioitu keskimääräinen ominaisenergiankulutus vuotta kohden.

6.3.1 Mitoituksen kulku

Tässä kappaleessa mitoitusohjelmalla käytetään Thermian HPC 2 -mitoitusohjelmaa. Kyseiseen mitoitusohjelmaan päädyttiin, koska Thermialla on tällä hetkellä markkinoilla invertteri-lämpöpumppu, joka on tarkoitettu asuinkerrostalo-kokoluokan kiinteistöihin. Invertteri-lämpöpumppua halutaan käyttää, jotta lämpöpumppua pystytään ajamaan portaittain ja täten pystytään säästämään energiakustannuksissa verrattuna perinteisiin kaksiportaisiin eli ns. on/off-lämpöpumppeihin.

Yleisimmin mitoituksen kulku useilla mitoitusohjelmilla on melko samanlainen. Mitoitusta varten perustetaan projekti, johon syötetään aluksi yleistiedot rakennuskohteesta sekä asiakastiedot. Nämä eivät ole kovin oleellisia tietoja itse mitoituksen kannalta.

Perustietojen täyttämisen jälkeen projektille määritetään ilmastotiedot. Ohjelmassa on yleistä karttapohjaa käyttävä sijainnin osoitus, johon määritetään kartalta rakennuskohteen sijainti. Tämän avulla mitoitusohjelma luo ilmastolliset paikkatiedot mitoitusta varten.

Rakennuksen teknisten tietojen avulla ohjelma määrittää lämpöpumpulle tehon tarpeen ja muut tekniset edellytykset. Kuitenkaan pelkillä rakennuksen tiedoilla ei

pysty mitoitusta tekemään, vaan lämpöpumpun lämmönlähteet on myös mitoitet-tava. Mitoitusohjelmaan syötetään tiedot käytettävistä lämmönlähteistä, joita maalämpöpumpun tapauksessa ovat yleensä energiakaivot ja lämmön talteen-otto rakennuksen poistoilmasta.

Ilmastotietojen määrittämisestä seuraava askel on rakennuksen teknisten tietojen määrittäminen ohjelmaan. Niitä ovat mm. seuraavat asiat:

- rakennuksen lämmitettävä pinta-ala
- rakennustyyppi
- kerrosten lukumäärä
- ikkunapinta-ala
- sisälämpötila
- asumisesta tuleva lämpötila
- mitoittava ulkolämpötila
- lämmitysjärjestelmän lämpötilatasot ja järjestelmän tyyppi
- aikaisemmin käytetty lämmitysjärjestelmä
- normituksen avulla arvioitu lämmityksen ominaisenergiankulutus
- arvioitu keskimääräinen lämpimän käyttöveden energiankulutus

Mitoituksessa energiakaivoille määritetään niiden tekniset tiedot. Tarvittavia tek-nisiä tietoja mitoitusohjelmaan ovat mm. seuraavat tiedot:

- kallioperän koostumus ja sen ominaisuudet
- energiakaivojen maanpinnan ja kallion välinen etäisyys
- tarvittavien energiakaivojen enimmäissyvyys
- energiakaivojen välinen keskimääräinen etäisyys
- energiakaivojen/-kentän sijoittelu
- pohjaveden pinnan korkeus maanpinnasta eli energiakaivon tehollinen sy-vyys
- energiakaivon täyteaine
- lämmönkeruuputkien tyyppi ja koko
- lämmönkeruunesteen tyyppi
- energiakaivojen syvyys ja määrä

Hankesuunnittelua varten tehtävässä mitoituksessa edellä mainituista asioista suurin osa on oletuksien varassa. Mikäli rakennuskohteeseen on aikaisemmin

teetetty TRT-mittaus tai siinä on tehty muita tutkimuksia maalämpöä varten, voi osa tiedoista olla selvitettyä tarkasti. Yleensä TRT-mittauksia ei kuitenkaan ole tehtynä ja kallioperän ominaisuudet ovat oletuksien varassa. Suomessa kuitenkin pidetään hyvin kattavaa tietokantaa kallioperän koostumuksesta ja pohjavesialueiden sijainneista. Näistä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 6.5.

Kallioperän ominaisuuksiin kuuluu sen lämmönjohtokyky ja lämpökapasiteetti sekä sen tyyppi. Eri tyyppisille maa- ja kallioperille on erilaiset ominaisuudet lämmönjohtokyvyn ja lämpökapasiteetin suhteen, jolloin niillä on vaikutusta lämmönlähteen tehokkuuteen. Esimerkiksi graniittiperäinen kallio on huomattavasti parempi lämmönlähteenä kuin savimaa. Tästä johtuen on mitoituksessa määritettävä kallio- ja maaperän ominaisuudet mahdollisimman tarkasti.

Kallioperän lisäksi energiakaivojen ominaisuudet ja tekniset tiedot ovat oleellisessa osassa mitoituksessa. Määrittämällä kaikki energiakaivoihin liittyvät tiedot, pysytään mitoitusohjelman avulla määrittämään riittävän tarkasti energiakaivojen määrä ja syvyys. Näin saadaan muodostettua alustava energiakenttä tarkempaa mitoitusta varten. Jotta mitoitusohjelman avulla saadaan luotua ja mitoitettua alustava energiakenttä, vaatii se muutaman iteroitukierroksen tehtäväksi mitoitusohjelmalla.

Hankesuunnittelua varten valmistajien mitoitusohjelmat ovat riittävä työkalu koko energiakentän mitoituksessa. Energiakentän mitoitus sitä varten tarkoitettulla ohjelmalla ei ole välttämätöntä hankesuunnittelussa, jollei siitä ole sovittu erikseen tilaajan kanssa.

Kun maaperän ja energiakaivojen tiedot ovat määritettyinä, määritellään mahdollisen lisälämmönlähteen tiedot. Maalämpöjärjestelmien tapauksessa yleisesti käytettävä lisälämmönlähte on lämmön talteenotto rakennuksen poistoilmasta.

Mitoitusohjelmaan voidaan määrittää keskimääräinen ilmamäärä, jossa on huomioituna tehostuksen ja normaalikäytön ilmamäärät keskiarvona. Mahdollista on myös määrittää ja laskea itse suoraan lämmön talteenotosta saatava teho. Ohjelmaan voidaan myös määrittää ilmanvaihdon aikaohjelma, jossa on huomioituna päivittäinen ilmanvaihdon tehostus ja normaalikäyttö.

Kun lämmönlähteet ovat määritettyinä ohjelmaan, valitaan seuraavaksi järjestelmää varten lämpöpumput. Ohjelmassa valitaan käytettävät lämpöpumppumallit ja niiden määrä. Lämpöpumppumalleja on myös mahdollista suodattaa lämmönlähteiden aikaisemmin syötettyjen tietojen avulla joko energian tai tehon peittoasteen perusteella. Etenkin vanhoissa rakennuksissa maalämpöjärjestelmä on tarkoitus mitoitaa osateholle johtuen rakennuksen lämmityksen lämpötilatavoista. Tällöin tarvittava huipputeho tuotetaan maalämpöpumpun ja lisälämmittimen avulla, joka yleensä on sähkökattila. Energianpeittoaste on vuotuisesta energiamäärästä yleensä noin 90-98 %, jolloin lisälämmittintä tarvitaan melko vähän ja sen energiankulutuksen osuus on vuotuisesta kokonaisenergiankulutuksesta pieni. Lämpöpumppujen lisäksi siis valitaan käytettävän lisälämmittimen teho.

Kun kaikki tiedot on määritetty mitoitusohjelmaan, ajetaan varsinainen mitoitus läpi. Mitoitus määrittää koko järjestelmän tiedot kattavasti. Mitoituksesta saadaan mm. seuraavat tiedot:

- tuotetun energian kokonaismäärä (kWh)
- lämmityksen vaatima energia (kWh)
- käyttöveden lämmityksen energia (kWh)
- lämpöpumpun tuottama energia (kWh)
- lämpöpumpun käyttämä sähköenergia (kWh)
- kiertopumpun käyttämä sähköenergia (kWh)
- vuotuinen hyötysuhde ilman lisälämpöä
- lisälämmittimen energiantarve (kWh)
- käytetyn sähköenergian kokonaismäärä (kWh)
- vuotuinen hyötysuhde lisälämmittimen kanssa
- energiansäästö (kWh)
- tehontarve mitoittavalla ulkolämpötilalla
- lisälämpöteho
- energianpeittoaste
- tehonpeittoasteet
- energiakaivojen toteutuneet tiedot
- lämmön talteenoton toteutuneet tiedot

Mitoitusohjelmaan määritetään lämmityksen varaajien sekä käyttövesivaraajien koot. Tällöin suunnittelijan on tunnettava maalämpöjärjestelmän toiminta ja lisäksi hänellä tulee olla kokemusta ja tietämystä varaajien koon määrittämisestä sekä niiden toiminnasta. Niiden valinta vaikuttaa huomattavasti koko maalämpöjärjestelmän toimintaan.

Näiden tietojen perusteella voidaan mitoitusohjelmaan tehdä muutoksia ja suorittaa iterointikiertoja, jotta nähdään, miten muutokset vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan ja energiatehokkuuteen. Kun on päästy haluttuun tarkkuuteen, tehdään mitoitusohjelmasta raportti, jossa on tarkempi erittely koko mitoitusohjelmasta. Raportissa on esitetty järjestelmän, rakennuksen ja lämmönlähteiden tiedot. Lisäksi raporttiin saadaan laskettua myös takaisinmaksuaika sekä säästöselitys. Mitoitusohjelmasta on tarkkaan eritelty kaikki tiedot järjestelmästä.

6.4 Energiakaivojen mitoitus

Kuten edellä mainittiin, hankesuunnittelussa riittävään energiakaivojen mitoitusohjelmaan päästään maalämpöpumppuvalmistajien mitoitusohjelmien avulla. Mikäli energiakaivojen mitoitusohjelmasta on sovittu erikseen, tulee sen mitoitusohjelmassa käyttää sitä varten olevia mitoitusohjelmia. Energiakaivojen mitoitusohjelma on merkittävässä osassa maalämpöjärjestelmän suunnittelussa, sillä energiakaivojen mitoitusohjelmasta johtuen ehtyä vuosien varrella, jolloin siitä ei saada enää riittävää lämmitystehoa.

Energiakaivojen ehtymistä pystytään mallintamaan erilaisilla ohjelmilla. Tällaisia ohjelmia ovat mm. EED, GHLEPro ja IDA-ICE Boreholes. Ohjelmat mahdollistavat energiakaivojen lämpötilatason mallinnuksen halutulle ajanjaksolle ja lisäksi ohjelmat esittävät lämpötilatason kehityksen valitulla ajanjaksolla. Valittu ajanjakso voi olla esimerkiksi 20-25 vuotta (LVI 11-10624, 2018).

Mitoitusohjelma ottaa huomioon mm. maa- tai kallioperän lämmönsiirtoon vaikuttavat ominaisuudet (lämmön johtokyky ja lämpökapasiteetti), energiakaivojen väliset etäisyydet, energiakaivojen muodostaman energiakaivojen mallin eli niiden konfiguraation ja lisäksi energiakaivojen ladattavan ja siitä otettavan energian.

Kentän mitoituksen lähtökohtana on maalämpöpumppujärjestelmään liitettävän rakennuskohteen energiantarve ja järjestelmän koko sekä sen vuosihyötysuhde eli SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Näiden tietojen avulla mitoitusohjelma arvioi energiakentästä otettavan huippukuorman sekä vuosittaisen lämmitysenergian tarpeen (LVI 11-10624, 2018).

Mitoitusohjelman tarkoituksena on löytää maalämpöjärjestelmälle ja energiakentälle optimaalinen koko. Yleensä optimaalisen järjestelmän löytäminen vaatii useita iterointikiertoja ohjelman avulla. Mitoituksessa erityistä huomiota on kiinnitettävä tontin kokoon, koska tämä voi rajata energiakentän kokoa merkittävästi. Lisäksi rakennuskohteen lämmitysjärjestelmän lämpötilataso vaikuttaa energiakenttään. Ohjelman avulla mitoitetaan maalämpöpumput ja energiakenttä vastaamaan rakennuskohteen edellytyksiä (LVI 11-10624, 2018).

Myös energiakentän koko vaikuttaa suuresti mitoituksen tarpeeseen. Mitä suurempi energiakenttä on, sitä enemmän tulisi panostaa sen mitoitukseen ja optimointiin. Näin voidaan välttää energiakentän ylimitoitus ja siitä koituvat liian suuret investointi- ja käyttökustannukset. Jos energiakenttä on liian suuri rakennuskohteen tarpeisiin verrattuna, tarkoittaa tämä ylimääräisten energiakaivojen teettämistä ja ylimääräisiä pumppauskustannuksia (LVI 11-10624, 2018). Energiakentän mitoituksen tueksi olisi hyvä suunnitteluvaiheessa saada erilaisia tutkimuksia. Näistä on tarkemmin kerrottu kappaleessa 6.5.

6.5 Mitoituksessa erityisesti huomioitavat asiat

Energiakaivot ja niistä muodostuva energiakenttä ovat pääasiallinen lämmönlähde koko maalämpöjärjestelmälle. Tällöin erityistä huomiota tulee kiinnittää maa- ja kallioperän ominaisuuksiin. Niiden ominaisuudet vaikuttavat eniten järjestelmän toimintaan ja energiakentästä saatavaan energiaan. Tällöin maa- ja kallioperästä tulisi olla suunnitteluvaiheessa saatavilla kattavasti tietoa.

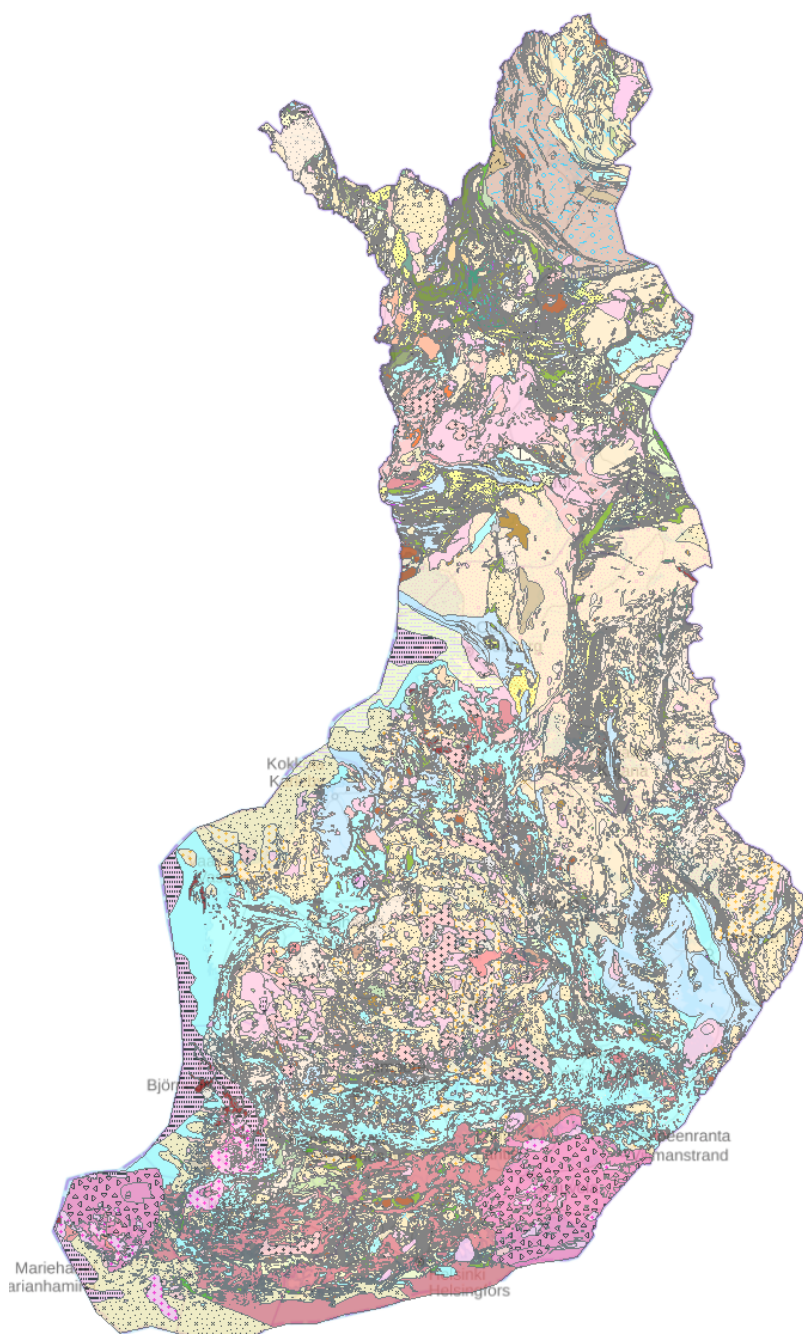
6.5.1 Geologian tutkimuskeskus

Geologian tutkimuskeskuksella eli GTK:lla on kattavasti koottua materiaali ja karttapalveluja erilaisista Suomen maa- ja kallioperän koostumuksista ja ominaisuuksista. GTK on työ- ja elinkeinoministeriön alainen asiantuntijaorganisaatio ja sen toiminta on valtakunnallista ja kansainvälisesti aktiivista (Geologian tutkimuskeskus, 2019).

Maalämpöjärjestelmän suunnittelua varten GTK:n karttapalveluista on erittäin paljon hyötyä. Esimerkiksi hankesuunnitteluvaiheessa tehtävään energiakentän arviointiin palvelusta saa paljon tietoa maa- ja kallioperän koostumuksesta ja ominaisuuksista. Palvelun avulla pystytään määrittämään kallioperän koostumus ja jopa arvioimaan kallion päällä olevan maaperän paksuutta, jolloin on mahdollista arvioida energiakaivojen tehollista syvyyttä. Kuvassa 11 on esitettyä kallioperän koostumus.

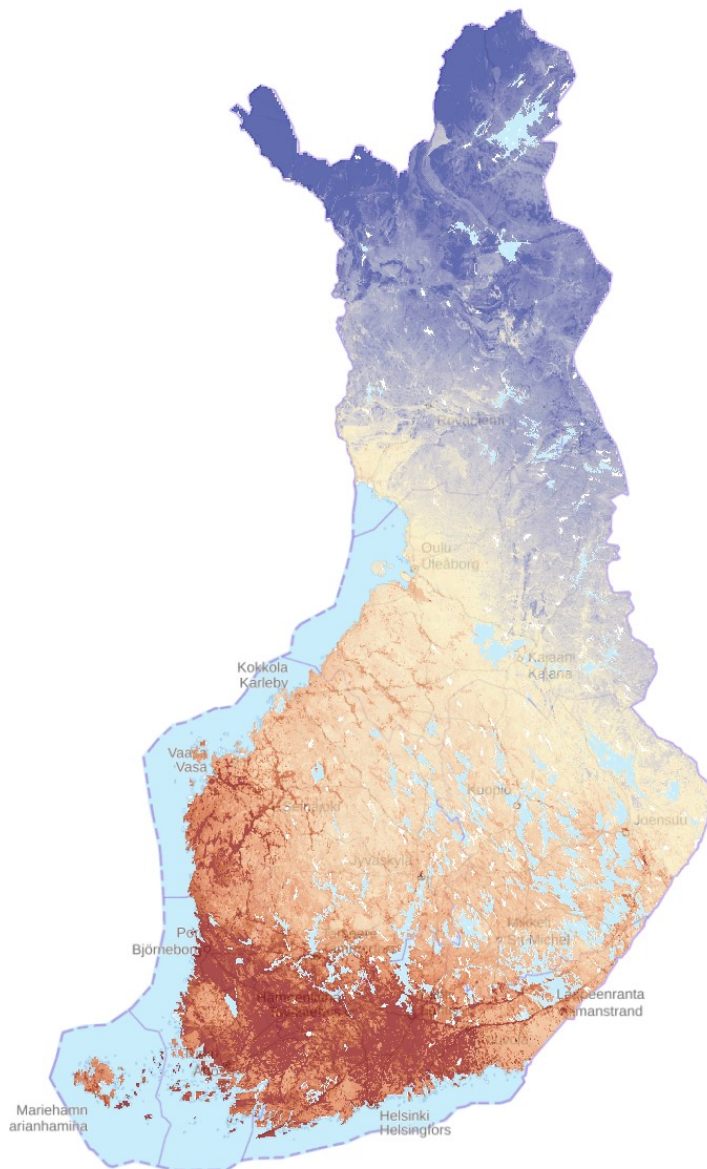
Kuvassa 11 on esitettyä erilaisin värein kallioperän koostumuksia. Karttapalvelun avulla voidaan selvittää rakennuskohteen kallioperän laatu ja tätä kautta määrittää alustavaan energiakentän mitoitukseen kallion ominaisuudet, kuten lämmönjohtavuus.

Geologian tutkimuskeskuksen karttapalveluista on myös saatavilla monia erilaisia ja hyödyllisiä tietoja. Esimerkiksi maankamara-karttapalvelussa on erilaisia karttatasoja, joista yksi on geoenergiapotentiaali. Tämän karttatason avulla pystytään arvioimaan eri alueiden potentiaalia maalämpöjärjestelmien käytössä. Palvelu ilmoittaa maahan varastoituneen keskimääräisen energian (GWh). Kuvassa 12 on esitetty karttapalvelun geoenergiapotentiaali Suomessa.



KUVA 11. Suomen kallioperän koostumus. (Geologian tutkimuskeskus, 2019)

Kuvassa 12 esitetyssä karttaotteessa on eri väreillä esitetty alueiden potentiaali geoenergian käytössä. Punaisilla alueilla geoenergiaa on saatavilla enemmän kuin pohjoisessa olevilla sinisillä alueilla. Karttapalvelun avulla pystytään arvioimaan maalämmön kannattavuutta eri alueilla ja siitä saatavaa energiaa (Geologian tutkimuskeskus, 2019).



KUVA 12. Suomen geoenergiapotentialiaali. (Geologian tutkimuskeskus, 2019)

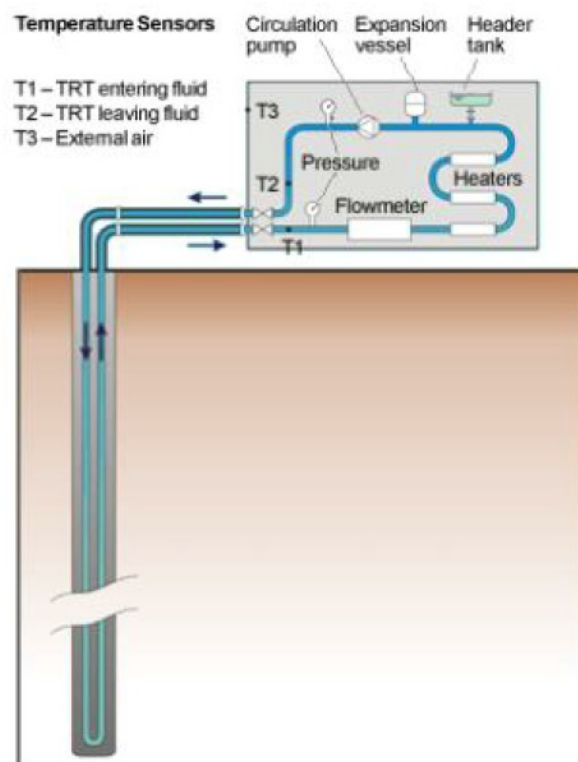
Maa- ja kallioperän koostumukset ovat kuitenkin eri rakennuskohteilla huomattavasti erilaiset riippuen kohteen maantieteellisestä sijainnista. Joissakin paikoin kallio voi olla aivan pinnassa, jolloin maapeitteen paksuus kallion päällä on vähäinen (1-2 metriä). Kallio voi myös olla ns. syväällä, jolloin maapeitteen paksuus voi olla jopa 20 metriä. Tämä vaikuttaa suuresti maalämpöjärjestelmän mitoittamiseen ja toimintaan. Tällöin on suositeltavaa tehdä tarkempia tutkimuksia maa- ja kallioperästä, jotta energiakenttä ja maalämpöjärjestelmä saadaan optimoitua rakennuskohteen tarpeita vastaaviksi sekä välttämään yli- tai alimitoitukselta.

6.5.2 TRT-mittaus

Maa- ja kallioperän tarkka tutkimus tehdään yleensä termisen vastetestin eli TRT-mittauksen (Thermal Response Test) avulla. Tällä mittauksella selvitetään maa- ja kallioperän tarkat ominaisuudet, kuten sen lämmönjohtavuus, lämmönvastus ja keskilämpötila. Näiden tietojen perusteella pystytään maalämpöjärjestelmän energiakenttä mitoittamaan tarkasti (Rototec, 2019).

TRT-mittausta varten porataan yksi tai useampi kaivo rakennuskohteen alueelle ja kaivoista mitataan siihen tarkoitetun laitteiston avulla edellä mainitut ominaisuudet. Mittauslaitteiston avulla ajetaan lämpöä kaivoon ja seurataan, paljonko kallioperä pystyy vastaanottamaan lämpöenergiaa mittausajanjakson aikana. Testistä saadaan tuloksiksi kaivojen tarkat ominaisuudet. Kuvassa 13 on esitettyä TRT-mittauslaitteisto (Purhonen, Saku, 2016).

TRT-mittaus on suositeltavaa tehdä aina, kun rakennuskohteeseen tulee useita energiakaivoja eli kohteeseen tehdään energiakenttä. Eri kaivojen ominaisuudet voivat vaihdella kallioperän rakenteen mukaan, joten TRT-testin avulla pystytään välttämään ikävät yllätykset energiakentän yli- tai alimitoituksen suhteen. Tällöin saadaan energiakenttä mitoitettua optimaaliseksi (Purhonen, Saku, 2016).



KUVA 13. TRT-mittauslaitteisto ja mittauskaivo. (Purhonen, Saku, 2016)

TRT-mittauksia teettää moni taho. Energiakaivourakoitsijoiden kautta on mahdollista teettää mittaus. Myös Geologian tutkimuskeskus on erikoistunut energiakaivoihin tehtäviin mittauksiin. GTK tekee niin sanottuja geoenergiatutkimuksia, jotka ovat kattavia sisällöltään. Ne sisältävät mm. tutkittavan alueen geologisen kartoituksen ja olemassa olevien geologisten aineistojen tarkastelun, TRT-mittaukset 2-5 tutkimuskaivosta maa- ja kallioperän ominaisuuksien selvittämiseksi, lämpötilamittaukset ja muut paikalliset geofysikaaliset mittaukset sekä geologiset tutkimukset. Lisäksi GTK tarjoaa myös energiakaivojen mitoitusta ja maalämpöjärjestelmän toiminnan jatkoseurantaa käyttöönoton jälkeen (Geologian tutkimuskeskus, 2019)

7 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN HANKESUUNNITTELUN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään maalämpöjärjestelmän hankesuunnittelun toteutus läpi vaiheittain. Maalämpöjärjestelmän hankesuunnittelu toteutettiin Turussa sijaitsevaan taloyhtiöön, joka koostuu kolmesta rakennuksesta. Hankesuunnitteluun sisältyvät ja käsiteltävät asiat sekä työn toimeksianto ovat esiteltynä edempänä. Taulukossa 1 on esitetty rakennuskohteen perustiedot.

Valmistumisvuosi	1964
Rakennusten määrä (kpl)	3
Kerrosluku (kpl)	8, 7 ja 2
Rakennustilavuus (m ³)	15 615
Kerrosala (m ²)	4 760
Huoneistoala (m ²)	3 908,5
Tontin ala (m ²)	5 429
Asuntojen määrä (kpl)	62
Porrashuoneet (kpl)	2
Lämmönjakokeskuksia (kpl)	1
Lämmöntuottotapa	Kaukolämpö
Lämmönjakotapa	Radiaattorit (vesi)
Puhallinhuoneiden määrä (kpl)	2
Poistoilmamäärä yhteensä (l/s)	2 500

TAULUKKO 1. Rakennuskohteen perustiedot.

Rakennuskohteen perustiedot saatiin isännöitsijän todistuksesta. Rakennuskohde koostui kolmesta erillisestä rakennuksesta, joista kaksi olivat 8- ja 7-kerroksiset pistetalot ja yksi 2-kerroksinen luhtitalo. Rakennukset olivat valmistuneet vuonna 1964. Toisen pistetalon pohjakerroksessa sijaitti lämmönjakohuone, jossa oli kaukolämpökeskus ja rakennuksen muut tekniset järjestelmät.

7.1 Toimeksianto

Maalämpöjärjestelmän hankesuunnittelun tarkoituksena oli selvittää maalämmön soveltuvuutta taloyhtiön lämmitysjärjestelmäksi. Hankesuunnitelmassa selvitettiin lämmitysjärjestelmässä tarvittavan urakan sisältö ja laajuus sekä investointikustannus ja sen kannattavuus.

Hankesuunnitelmassa suoritettavat tehtävät muodostuivat kohteen katselmuksesta ja tutustumisesta nykyisiin järjestelmiin, rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen nykytilan arvioinnista, lämpöpumppujärjestelmän toteutettavuuden ja sen kannattavuuden arvioinnista sekä hankesuunnitelma raportin laadinnasta. Katselmus koostui rakennuskohteen tontin, lämmönjakohuoneen, sähköpääkeskuksen ja ilmanvaihtokonehuoneiden katselmuksesta.

Hankesuunnittelun tilaaja toimitti tarvittavat lähtötiedot rakennuskohteesta. Käytävissä olevia lähtötietoja olivat mm. rakennuskohteen asemapiirustus, energian kulutustiedot, kellarikerroksien pohjapiirustukset sekä isännöitsijän todistus. Lisäksi suunnittelijoilla oli käytössään rakennuskohteen nykyiset suunnitelmat.

7.2 Lähtötiedot ja normitus

Isännöitsijältä saatujen lähtötietojen perusteella arvioitiin rakennuskohteen energiankulutusta. Rakennuskohteesta oli saatavilla kulutustietoja kaukolämmöstä vuosilta 2015-2019 ja käyttöveden kulutustietoja oli saatavilla vuosilta 2016-2019. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty käyttöveden ja kaukolämmön kulutustiedot.

Vuosi	Energia (MWh)
2015	497,421
2016	541,765
2017	527,491
2018	536,746
2019	204,581

TAULUKKO 2. Esimerkkikohteen kaukolämmön energiankulutus vuosina 2015-2019

Vuosi	Määrä (m³)
2016	3915
2017	3565
2018	3658
2019	642

TAULUKKO 3. Esimerkkikohteen käyttöveden kulutus vuosina 2016-2019

Edellä olevien kulutuksien mukaan tehtiin rakennuskohteeseen normitus. Ennen normitusta tuli arvioida kulutetun lämpimän käyttöveden määrä, koska sitä ei oltu kohteessa erikseen mitattu. Tätä kautta pystyttiin arvioimaan käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia, jolloin normitus voitiin tehdä. Lämpimän käyttöveden määrä ja sen lämmittämiseen vaadittava energia laskettiin Excel-ohjelman avulla käyttäen kohdassa 6.2.3 esitettyjä kaavoja 7 ja 8. Koska kohteesta oli käytössä käyttöveden kulutustiedot vain vuosilta 2016-2019, tehtiin normitus vuosista 2016-2018. Taulukossa 3 on esitettynä käyttöveden määrä ja sen lämmittämisen energiankulutus vuosilta 2016-2018.

Vuosi	Määrä (m³)	Energia (MWh)
2016	1566	90,828
2017	1426	82,708
2018	1463	84,866

TAULUKKO 4. Esimerkkikohteen lämpimän käyttöveden kulutus ja sen lämmittämisen energiankulutus vuosina 2016-2018.

Seuraavaksi normitettiin rakennuskohteen energiankulutus. Koska rakennuskohte sijaitsee vertailupaikkakunnalla eli Turussa, tehtiin normitus kohdassa 6.2.2 esitettyjen kaavojen 1 ja 2 avulla. Kulutuksen normitukseen tarvittiin myös vertailupaikkakunnan toteutuneet lämmitystarveluvut vuosilta 2016-2018. Nämä saatiin Ilmatieteen laitokselta, joka kirjaa toteutuneet vertailupaikkakuntien lämmitystarveluvut (Ilmatieteen laitos, 2019). Toteutuneet lämmitystarveluvut ovat esitettyinä taulukossa 4 ja normitettu energiankulutus on esitetty taulukossa 5.

Vuosi	Lämmitystarveluku
2016	3772
2017	3725
2018	3737
Normaalivuosi 1981-2010	4021

TAULUKKO 5. Turun toteutuneet lämmitystarveluvut vuosilta 2016-2017 ja Turun normaalivuoden lämmitystarveluku. (Ilmatieteen laitos, 2019)

Vuosi	Energia (MWh)
2016	571,533
2017	562,835
2018	571,088

TAULUKKO 6. Esimerkkikohteen normitetut energiankulutukset.

Toteutuneista lämmitystarveluvuista pystyttiin näkemään, että Turussa on ollut lähivuosina leudompia vuosia, mitä esimerkiksi normaalivuotena. Vertailuajankohdan vuosina on lämmitystarveluvun perusteella ollut noin 10 % lämpimämpää kuin normaalivuotena. Kun tarkasteltiin 10 vuoden ajanjaksolla Turussa toteutuneita lämmitystarvelukuja, huomattiin, että vain yhtenä vuonna oli ollut tämän ajanjakson aikana lähes sama lämmitystarveluku kuin normaalivuonna. Tulevia ilmastollisia olosuhteita on tällöin lähes mahdoton ennustaa pidemmälle aikavälille, joten tämä tulisi huomioida normituksessa (Ilmatieteen laitos, 2019).

Normituksesta nähtiin, että normitettujen ja toteutuneiden energiankulutusten välinen ero oli vertailuajankohdalla noin 5-10 %. Koska vertailuajankohdalle ei osunut yhtäkään huomattavasti kylmempää vuotta, tuli normitettujen vuosien energiankulutuksiin huomioida tämä. Normituksen avulla arvioitiin kohteelle ns. ominaisenergiankulutus, jossa oli huomioitu myös normaalia kylmemmät vuodet. Lisäksi rakennuskohteelle piti arvioida veden kulutuksen perusteella myös ominaisveden kulutus ja tätä kautta lämpimän käyttöveden lämmittämiseen vaadittava vuotuinen lämmitysenergia. Ominaiskulutukset saatiin arvioitua vertailemalla normitettuja kulutuksia ja toteutuneita kulutuksia. Lisäksi verrattiin myös toisten kohteiden kulutuksia sekä arvioitiin kokemukseräisesti ja erilaisten varmuuskertoimien avulla mahdollista kylmemmän vuoden energiankulutusta. Taulukossa 6 on esitettyä rakennuskohteelle arvioidut ominaiskulutukset.

Ominaiskulutus, lämmin käyttövesi (MWh)	Ominaiskulutus, lämmitys (MWh)	Ominaiskulutus, yhteensä (MWh)
90	500	590

Taulukko 7. Esimerkkikohteen ominaisenergiankulutukset.

Rakennuskohteen ominaisenergiankulutus määritettiin maalämpöjärjestelmän mitoitusohjelmasta varten. Sen avulla pystyttiin maalämpöpumppuvalmistajan mitoitusohjelman avulla arvioimaan tarvittavan järjestelmän koko ja sen vuotuinen energiankulutus sekä syntyvät säästöt ja kustannuslaskelmat.

Lisäksi rakennuskohteesta arvioitiin sen korjaushistorian vaikutukset sen energiatehokkuuteen. Isännöitsijän todistukseen oli tehty listaus kohteeseen tehdyistä remonteista ja korjaustoimenpiteistä. Taulukossa 8 on esitettyä rakennuskohteen korjaushistoria.

Vuosi	Toimenpide
1983	Lämmöneristys ja peltivuoraus
1986	Kaukolämpö
1991	Etuikkunat
1992	Ikkunoiden kunnostus
1996	Talojen välisten putkistojen uusiminen
1996	2 A:n pohjakerroksen lämpö- ja vesijohdot uusittu
1999	Lämpökeskus uusittu
2003	Kaapeli-TV
2005	Hissien peruskorjaus
2005	Paineenkorotuspumput uusittu
2009	Vesijohdot uusittu, viemärit pinnoitettu
2010	Parvekkeita kunnostettu
2011	Luhtitalon eduslaatoituksen oikaisu
2012	Luhtitalon katoksen uusinta ja betonikorjaukset
2014	Parvekeovien ja ikkunoiden sekä huoneistoikkunoiden uusiminen
2015	Porrashuoneovien avauspainike ja koodilukko
2015	Patteriverkoston tasapainotus
2016	Sepelöityjen autopaikoitusalueiden asfaltointi
2016	Hissien kunnossapitokorjauksia ja lämmönsäätimen uusinta
2016	Sepelöityjen autopaikkojen asfaltointi
2017	Lämmönjakokeskuksen uusinta
2018	Salaojat uusittu 2 A talossa 3 sivua ja luhtitalon pääty
2018	Uusittu jätepiste, Molok-säiliöt

TAULUKKO 8. Rakennuskohteen korjaushistoria.

Kohteen korjaushistoriasta huomattiin, että kaikki huomattavasti rakennuksien energiatehokkuuteen tehdyt remontit oli tehty paljon aikaisemmin, kun hanke-suunnitelmaa alettiin toteuttaa. Tällöin toteutuneessa energiankulutuksessa oli huomioitu remonttien ja korjausten vaikutus. Mikäli kohteeseen olisi tehty rakennuksen ulkovaippaan remontteja vertailuajankohdan aikana, tulisi energiankulutuksen arviointiin kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota, koska korjauksen vaikutusta olisi vaikea arvioida rakennuksen energiatehokkuuteen näin lyhyellä aikavälillä.

7.3 Katselmus ja toteutettavuuden arviointi

Kohteen katselmus toteutettiin kevään 2019 aikana. Katselmukseen osallistuivat rakennesuunnittelija, LVI-suunnittelija sekä sähkösuunnittelija. Jokainen suunnittelija arvioi rakennuskohdetta maalämpöjärjestelmän toteutettavuuden kannalta koskien omaa osa-alueitaan. LVI-suunnittelijalle kuului myös energiakentän toteutettavuuden arviointi.

Katselmus koostui kohteen lämmönjakohuoneen, tontin sekä puhallinhuoneiden ja rappukäytävien katselmoinnista. Jokaisessa tilassa arvioitiin maalämpöjärjestelmän toteutettavuutta ja jokaisen tekniikan osa-alueen mahdollisia ratkaisuja.

Lämmönjakohuone sijaitsi toisen pistetalon pohjakerroksessa, josta muihin rakennuksiin talotekniikka oli jaettu lämpö- ja putkikanaaleja pitkin. Aikaisemmin toteutetun putkiremontin yhteydessä lämmönjakohuoneesta oli poistettu vanhat öljypolttimet ja niiden varusteet ja osa lämmönjakohuoneen tiloista oli otettu kerhohuonekäyttöön. Kerhohuone vei suurimman osan lämmönjakohuoneen tilasta ja lämmönsiirrin oli siirretty erilliseen tilaan. Mikäli tilat haluttaisiin säilyttää ennallaan, tulisi kerhohuoneen käyttötarkoitus muuttaa kokonaan lämmönjakohuoneeksi maalämpöhankkeen yhteydessä.

Kohteen tontti oli maalämpöjärjestelmän kannalta otollinen, sillä tontilla ei ollut paljon korkeus eroja, eikä energiakaivojen rakentamista rajoittavia tekijöitä. Tietyissä kohdissa tonttia myös havaittiin kallion olevan näkyvillä, joten tämä suosi myös kaivojen toteutettavuutta. Rakennuskohteesta oli ennen katselmusvaihetta

myös tehty asemapiirros, johon oli luonnosteltu mahdollisten energiakaivojen paikat. Luonnospirroksista havaittiin, että kaivot pystyttiin sijoittamaan tontille hyvin ja kaivojen keruuputkistojen kaivuut pystyttiin toteuttamaan pääosin nurmialueilla.

Puhallinhuoneet sijaitsivat kahdessa pistetalossa. Puhallinhuoneet olivat kooltaan riittävät, jotta lämmön talteenottojärjestelmä pystyttäisiin toteuttamaan niihin. Myös reititys oli selvä puhallinhuoneille, koska puhallinhuoneet sijaitsivat vanhan roskakuilun alla. Tätä hyödyntämällä pystyttäisiin helposti rakentamaan siirtoputkistot lämmönjakohuoneesta puhallinhuoneisiin. Pohjakerroksissa joutuisi tekemään vain pieniä muutoksia siellä sijaitseviin alakattorakenteeseen siirtoputkistosta johtuen.

Katselmuksen perusteella maalämpöjärjestelmä olisi mahdollista toteuttaa ilman suurempaa vaivaa rakennuskohteeseen. Katselmuksen jälkeen tuli tietoon, että naapuritaloyhtiö olisi myös mahdollisesti tulevaisuudessa kiinnostunut maalämpöjärjestelmän hankinnasta. Nykyisen lämmönjakohuoneen tilamuutoksesta johtuen päätettiin tonttien rajalle rakentaa erillinen lämmönjakorakennus, johon myöhemmin myös naapuritaloyhtiö pystyisi liittymään. Lämmönjakohuoneeseen tehtäisiin tilanvaraukset myöhempää liittymistä varten. Tämä olisi molempien taloyhtiöiden kannalta suositeltavaa, koska tällöin ne säästäisivät maalämpöjärjestelmän huoltokustannuksissa.

7.4 Mitoitus

Kohteen maalämpöjärjestelmä mitoitettiin alustavasti saatujen lähtötietojen perusteella, jotta järjestelmästä saataisiin tietoon sen alustava laajuus, kulutustiedot ja kannattavuus. Mitoitus tehtiin normituksen avulla arvioituja ominaiskulutuksia käyttäen, jotka ovat taulukossa 6. Mitoituksessa käytettiin lämpöpumppuvalmistaja Thermian HPC 2 -mitoitushjelmaa.

Mitoitusohjelmaan piti määrittää rakennuskohteen tekniset tiedot, ilmastotiedot, arvioidut energian ominaiskulutukset sekä käytettävien lämmönlähteiden tiedot.

Käytettäviksi lämmönlähteiksi kohteeseen valittiin poistoilman lämmön talteenotto ja energiakaivot. Energiakaivojen osalta kohteeseen piti tehdä useita iterointikierroksia, jotta tarvittavien kaivojen määrää saatiin optimoitua kohteeseen.

Koska kyseessä oli hankesuunnittelu, ei tässä vaiheessa energiakaivojen mitoitukseen käytetty erillistä ohjelmaa, esimerkiksi EED:tä. Kaivojen määrää pystyttiin riittävästi iteroimaan Thermian mitoitushjelman avulla sekä kokemusperäisesti aikaisempien kohteiden energiakaivojen määrien perusteella.

Ohjelman avulla saatiin luotua alustava järjestelmän koko sekä tarvittavat komponentit. Ohjelmasta saatiin myös tarvittavat energiankulutukset ja maalämpöjärjestelmän hyötysuhteet. Näiden avulla pystyttiin tekemään kannattavuusarvio maalämpöjärjestelmästä.

7.5 Kannattavuuden arviointi

Mitointiohjelman perusteella saadun raportin avulla tehtiin kohteen kannattavuuden arviointi. Kannattavuutta arvioitiin takaisinmaksulaskelman avulla. Jotta takaisinmaksulaskelma voitiin toteuttaa, tarvittiin sitä varten hinta ja kustannusarvio rakennuskohteen nykyisen lämmitysjärjestelmän käytöstä. Ominaiskulutuksen avulla sekä nykyisen lämmitysjärjestelmän tietojen avulla laskettiin kaukolämmön energiankulutukselle vuosittainen hinta-arvio. Hinta-arvion määrittämisessä käytettiin apuna Ilmatieteen laitoksen määrittämää normaalivuotta, josta on saatavilla tarkat ilmastolliset tiedot koko vuodelta (Ilmatieteen laitos, 2019).

Turussa kaukolämmön hinnan määrittelee Turku Energia Oy, joka on Turun alueella kaukolämmön toimittaja. Kaukolämmön hinta perustuu Turun alueella tehomaksusta ja kausiluontoisesta energiamaksusta. Tehomaksu määrittyy kaukolämpöjärjestelmän sopimustehosta. Energiamaksu koostuu kaukolämmön energiankulutuksesta ja energiamaksun hinta vaihtelee eri vuoden aikoina (Turku Energia Oy, 2019). Kuvissa 14 ja 15 on esitetty kaukolämmön hinnan muodostuminen.

Sopimusteho P (kW) määrittää tehomaksun suuruuden

Teho P (kW)	Perusmaksu euroa/vuosi
alle 15	$n \cdot 362,752$
15...65	$n \cdot (P \cdot 30,6072)$
65...165	$n \cdot (P \cdot 27,2064 + 221,052)$
165...650	$n \cdot (P \cdot 13,6032 + 2465,58)$
yli 650	$n \cdot (P \cdot 6,8016 + 6886,62)$

KUVA 14. Tehomaksun määräytyminen. (Turku Energia Oy, 2019)

Energiamaksu

Kaukolämpöverkkoon liittyneet asiakkaat maksavat käyttämästään lämmöstä energiamaksun (€/MWh).

Kaukolämmön kausihinta 1.3.2019 alkaen (sisältävät alv:n 24 %):

Kausihinta		
Kevät	1.3.2019-31.5.2019	7,197 snt/kWh (71,97 €/MWh)
Hintaennuste		
Kesä	1.6.2019-31.8.2019	5,224 snt/kWh (52,24 €/MWh)
Syysy	1.9.2019-30.11.2019	6,992 snt/kWh (69,92 €/MWh)
Talvi	1.12.2019-29.2.2020	8,355 snt/kWh (83,55 €/MWh)

Kuva 15. Energiamaksun määräytyminen. (Turku Energia Oy, 2019)

Kuvassa 14 esiintyvä n on tehomaksun kerroin. Kerroin perustuu Tilastokeskuksen laskemaan Rakennuskustannusindeksiin (RKI 2015 = 100) ja toimii kertoimen tarkistusindeksinä. Kertoimen arvo tarkistetaan jokaisen hinnoittelukauden alussa vastaamaan viimeisintä tiedossa olevan RKI:n pisteluvun suhdetta lähtötasoon. 1.9.2018 alkaen teholaskulaskelman kertoimena (n) on 1,02 (Turku Energia Oy, 2019).

Kun kaukolämmön alustava hinta oli tiedossa, suoritettiin kannattavuuden arviointi kohteesta ja sen maalämpöjärjestelmästä. Arviointi tehtiin takaisinmaksulaskelmana. Arvioinnin laskentatietoina olivat maalämpöjärjestelmän hankintahinta

sisältäen LTO-järjestelmän, rahoituskorko, nykyisen lämmitysjärjestelmän ja uuden lämmitysjärjestelmän energiakustannukset, vuosittainen energiantarve ja sähkön ja lämmitysenergian hinnat. Lisäksi laskelmassa huomioitiin hintojen nousu sekä järjestelmien ylläpito- ja huoltokustannukset.

Takaisinmaksulaskenta suoritettiin Excel-ohjelma avulla, jolloin laskelmasta saatiin havainnollistavia kuvaajia. Laskelmassa esitettiin järjestelmän säästöt, nykyisen ja tulevan järjestelmien energioiden hinnat, takaisinmaksuaika ja laitteiston tuotot sekä laitteistoista syntyvät ylläpitokustannukset. Nämä kaikki laskettiin 30 vuoden tarkasteluajanjaksolle. Takaisinmaksulaskelma on liitteenä (Liite 2). Laskelman perusteella 30 vuoden tarkasteluajanjaksolla maalämpöjärjestelmän hankinta on kannattavaa, jopa suotavaa.

8 POHDINTA

Opinnäytetyössä oli tavoitteena perehtyä maalämpöjärjestelmien toteutukseen ja niiden hankesuunnitteluun. Näihin perehdyttiin aiheista olevien julkaisujen sekä kirjallisuuden avulla. Hankesuunnittelusta oli saatavilla paljon siihen liittyvää tietoa yleisesti rakennushankkeisiin liittyen. Maalämpöjärjestelmiä koskevia julkaisuja oli myös paljon saatavilla. Julkaisut koskivat lähinnä järjestelmien eri osaluoiden toteutusta tai rakennetta. Julkaisuja, jotka kertoisivat tarkkaan ja suoraan maalämpöjärjestelmän mitoituksesta oli heikosti saatavilla. Järjestelmien suunnitteluun liittyen ei ole mitään suoraa mitoitusohjetta, kuten esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmistä on.

Opinnäytetyön aikana muodostui selkeä kuva maalämpöjärjestelmän toteutuksesta ja siinä huomioitavista asioista. Toteutettavuuteen vaikuttavat mm. lainsäädäntö, rakennuskohteen ominaisuudet ja sijainti sekä maalämpöjärjestelmän malli. Helpoin tapa tutkia toteutettavuutta rakennuskohteessa on sen katselmus ja siitä saataviin lähtötietoihin perehtyminen. Näiden tietojen perusteella arvioitiin rakennuskohdetta.

Suurimmaksi asiaksi maalämpöjärjestelmän toteutettavuuden kannalta muodostui sen lämmönlähteenä olevat energiakaivot. Hankesuunnittelun kannalta pitäisi sitä tehtäessä olla paljon tietoa rakennuskohteen maa- ja kallioperään liittyen. Tällöin saataisiin energiakenttää optimoitua jo hankesuunnittelussa ja maalämpöjärjestelmästä saataisiin sen avulla tarkempi kustannusarvio investointipäätöksen tueksi.

Kustannusarvion tekeminen osoitti myös perusteet maalämpöjärjestelmän kannattavuudesta. Vaikka järjestelmän investointikustannus olisikin suuri, järjestelmästä saatavat säästöt ovat huomattavan suuret. Pidemmällä aikavälillä arvioituna maalämpö on ennen kaikkea kannattava, sillä se tuottaa investointikustannuksensa noin kolminkertaisena takaisin säästöjen muodossa. Säästöt muodostuvat energian tarpeesta sekä sen kulutuksesta verrattuna kaukolämpöön.

Hankesuunnitteluprosessin kehittämisideoita tuli myös mieleen opinnäytetyötä tehtäessä. Prosessia voisi kehittää esimerkiksi erilaisten laskentatyökalujen ja rakennuskohteen käyttäjähaastatteluiden tai -kyselyiden avulla. Hankesuunnittelua varten tulisi olla käytössä laskentaohjelma, jolla saataisiin nopeasti ja helposti maalämpöjärjestelmän kannattavuuden arviointi suoritettua. Rakennuskohteen lähtötiedot syöttämällä saataisiin energialaskelmat ja näistä suoraan investointikustannuksen perusteella kannattavuuslaskelma suoritettua. Jatkoa ajatellen tällainen työkalu tulisi kehittää hankesuunnittelun tueksi. Työkalu voisi olla aluksi Excel-pohjainen, josta sitä voisi lähteä kehittää omaksi ohjelmistoksi.

Käyttäjähaastatteluiden ja -kyselyiden perusteella voitaisiin kartoittaa rakennuskohteen käyttäjien huomaavia ongelmia ja asioita rakennuskohteen tekniikkaan liittyen, jotta hankesuunnittelussa saataisiin tieto eri teknisten järjestelmien toimivuudesta. Tällöin hankesuunnittelussa voitaisiin huomioida esimerkiksi nykyisten järjestelmien, ilmanvaihdon tai lämmityksen toimivuutta.

Kyselyiden, rakennuskohteen katselmuksen ja kannattavuustyökalun avulla hankesuunnittelusta saataisiin rakennettua toimiva ja kattava paketti, jonka perusteella taloyhtiö pystyisi helposti tekemään investointipäätöksen. Hankesuunnittelussa tulisi myös arvioida tarkasti rakennuksien teknisten järjestelmien kunto, jotta pystyttäisiin luomaan erilaisia kokonaisuuksia ja laajuuksia tehtävistä investoinneista. Korjausten kannalta helpointa olisi sisällyttää rakennushankkeeseen kattavasti laajuutta, jotta rakennuksen toimivuutta, energiatehokkuutta ja mukavuutta saataisiin parannettua.

LÄHTEET

Dimplex. 2019. Lämpöpumput. Luettu 26.4.2019.

<http://www.dimplex.de/fi/ammattilaisille/tekniikan-selitykset/laempeopumput/naein-laempeopumppu-toimii.html>

Energiateollisuus ry. 2014. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Julkaistu 9.5.2014. Luettu 25.5.2019.

https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Energiateollisuus ry. 2019. Materiaalipankki. Kaukolämmön hintagraafit. Kaukolammon_hintagraafit_1.1.2019.pptx. Luettu 27.4.2019.

https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintagraafit.html#material-view

Geologian tutkimuskeskus. 2019. Bedrock of Finland. Luettu 19.5.2019.

<https://gtkdata.gtk.fi/Kalliopera/index.html>

Geologian tutkimuskeskus. 2019. Geoenergia. Luettu 19.5.2019.

<http://www.gtk.fi/asiantuntijapalvelut/energia/geoenergia/>

Geologian tutkimuskeskus. 2019. GTK lyhyesti. Luettu 19.5.2019.

<http://www.gtk.fi/gtk/lyhyesti>

Geologian tutkimuskeskus. 2019. Maankamara. Luettu 19.5.2019.

<https://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html>

Geologian tutkimuskeskus. 2019. Pohjatutkimukset. Luettu 19.5.2019.

<https://gtkdata.gtk.fi/Pohjatutkimukset/index.html>

Hengitysliitto. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja ohjeita hankintaan. Luettu 26.4.2019.

https://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/liitetiedostot/ilmalampopumppu_ohjeita.pdf

Ilmatieteen laitos. 2019. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Luettu 20.5.2019.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Ympäristöopas 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö

Luopa, Niko. 2015. PILP-järjestelmä kerrostalon energiatehokkuuden parantamisessa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Luettu 15.5.2019.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93864/Luopa_Niko.pdf?sequence=1

Motiva. Energian kokonaiskulutus. Luettu 26.4.2019.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus

Motiva. Kulutuksen normitus. Laskentakaavat ja -ohjeet. Julkaistu joulukuun 2016. Tulostettu 26.4.2019.

https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf

Oksanen, Henri. 2015. Asuinkerrostalon maalämpöjärjestelmän optimointi uudis- ja korjausrakentamiskohteissa. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Luettu 14.5.2019.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108157/Energiakaivojen%20mitoitukseen%20liittyvat%20tekijat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Purhonen, Saku. 2016. Energiakaivojen mitoitukseen liittyvät tekijät. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Luettu 19.5.2019.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108157/Energiakaivojen%20mitoitukseen%20liittyvat%20tekijat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rakennustieto Oy. LVI-ohjekortti LVI 11-10624. Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. Julkaistu 28.6.2018. Tulostettu 26.4.2019

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10624>

Rakennustieto Oy. LVI-ohjekortti LVI 10-10555. Lämmitystarveluku. Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Julkaistu 18.12.2014. Luettu 26.4.2019.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2052-11172>

Rakennustieto Oy. LVI-ohjekortti LVI 03-10620. Taloteknisten järjestelmien tehävälueetelo TATE18. Julkaistu 11.12.2017. Tulostettu 26.4.2019

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11290>

Rototec Oy. 2019. TRT-mittaus. Luettu 19.5.2019.

<https://www.geodrill.fi/trt-mittaus/>

Seppänen, O. 2001 Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. RIL 265-2014. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry

Tilastokeskus. 2019. Asumisen energiankulutus laski hieman vuonna 2017. Julkaistu 22.11.2018. Luettu 26.4.2019.

https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_tie_001_fi.html

Tom Allen & Senera. 2019. Lämmöntalteenotto (LTO). Luettu 25.5.2019.

<https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto>

Turku Energia Oy. 2019. Kaukolämpöhinnasto. Luettu 20.5.2019.

<https://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/kaukolampohinnasto/>

LIITTEET

Liite 1. Esimerkkikohteen kustannuslaskelma



Uuden lämmitysjärjestelmän kumulatiivinen energian kustannus, 30 vuotta

978 626,30 €

Nykyisen lämmitysjärjestelmän kumulatiivinen energian kustannus, 30 v

2 638 532,56 €

Kumulatiivinen säästö, 30 vuotta

1 659 906,25 €

Tuotto elinkaarellaan, 30 vuotta

1 060 321,08 €

Laskelmassa on huomioitu energian hinnan vuosittainen 3 % korotus. Kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %.

Laskelma on suuntaa antava.

Laskelman energian hinnassa on huomioitu myös kaukolämmönperusmaksun osuutta.

Lämpöpumppujen vuosihuolto ja tarkistus, ensimmäinen huolto

960,00 €

Lämpöpumppujen huolto ja korjaus, kumulatiivinen kustannus 30 vuotta

43 410,10 €

Suodatinten vaihto, kumulatiivinen kustannus 30 vuotta

36 175,08 €

