



Otto Karpio

# Asuinkerrostalon lämpöpumppulaitoksen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

4.10.2023

# Tiivistelmä

Tekijä: Otto Karpio  
Otsikko: Asuinkerrostalon lämpöpumppulaitoksen suunnittelu  
Sivumäärä: 33 sivua  
Aika: 4.10.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikka  
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu  
Ohjaajat: Yliopettaja Aki Valkeapää

---

Tämän insinööryön tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa uuteen asuinkerrostaloon maalämpöön perustuva lämmitysjärjestelmä. Insinööryössä selvitettiin asuinkerrostalon lämpöpumppulaitoksen suunnitteluun tarvittavia lähtötietoja sekä muita huomioitavia asioita. Työssä käytettiin lähteinä aiheeseen liittyvää internetistä löytyvää kirjallisuutta sekä insinööritöitä. Lisäksi tietoa ja opastusta saatiin maalämpöpumppuvalmistajalta komponenttien mitoitukseen sekä yleistietoa lämpöpumppulaitoksista ja niiden toiminnasta. Työssä käytettiin LVI-suunnitteluun tarkoitettua MagiCad-suunnitteluohjelmistoa sekä muita maalämpöön tarvittavia mitoitusohjelmia.

Insinööryössä tutustuttiin ensin yleisesti maalämpöön ja sen käyttötarkoituksiin sekä lämmönlähteisiin. Tämän jälkeen perehdyttiin maalämpölaitoksen pääkomponentteihin ja niiden merkitykseen järjestelmässä. Keskivaiheilla käytiin läpi rakennuksen lämmitystehontarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmitystehontarpeen laskentaa sekä pääkomponenttien mitoitusta.

Viimeiseksi käytiin läpi esimerkikohteena toimineen asuinkerrostalon lähtötiedot ja mitoitettiin esimerkikohteeseen maalämpöpumppu sekä siihen tarvittavat pääkomponentit. Lähtöarvojen laskentaan hyödynnettiin MagiCad-suunnitteluohjelmaa. Mitoituksessa hyödynnettiin lämpöpumpputoimittajan mitoitusyökaluja.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin uutta kokemuseräistä tietoa maalämpöpumpun ja varaajien mitoituksesta sekä käyttökokemusta maalämpöpumpun mitoitusohjelmasta ja sen lähtötiedoista. Insinööryön aikana saatuja kokemuksia ja tietoja hyödynnetään jatkossa harjoitustehtävien laadinnassa ja tehtävien kehittämisessä. Opinnäytetyö nosti myös esille lukuisia mitoituksellisia kohtia, joihin ei toistaiseksi ole selkeää ohjetta eikä tietoa käytettävissä ainakaan yleisellä tasolla.

Avainsanat: lämpöpumppulaitos, maalämpö, lämmitystehontarve

## Abstract

Author: Otto Karpio  
Title: Design of Heat Pump Plant for Apartment Building  
Number of Pages: 33 pages  
Date: 4 October 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer

---

The goal of this final year project was to design a ground-source heat-pump based heating system for a new residential building. The aim was to collect experiences and information for future development. The project collected data needed for the design of a heat pump system from the internet literature, Bachelor's theses and heat pump manufacturers. MagiCad design software and other dimensioning programs were used in the project.

First, the thesis introduced ground-source heat generally and its applications, examined the main components of a ground source heat pump system and conducted calculations for the heating and domestic hot water demands of the sample building. The final step was to analyse data from the building and dimensioning a ground source heat pump and its components. The results provided new experiential knowledge on heat pumps, heating demand, hot water tanks and buffer tank dimensioning.

Keywords: heat pump plant, ground source heat, heating demand

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maalämpöjärjestelmä	1
2.1	Yleistä maalämmöstä	1
2.2	Pääkomponentit	3
2.3	Maalämpöpumpun toimintaperiaate	4
3	Maalämpöjärjestelmän varaajat	5
3.1	Puskurivaraajat	6
3.2	Lämminvesivaraajat	6
4	Lämmönlähteet	8
5	Mitoitus	11
5.1	Lämmitystehontarve	11
5.2	Lämpöpumppu	13
5.3	Energiakaivo	14
5.4	Energiakaivokenttä	15
5.5	Varaajien koon määrittäminen	16
6	Esimerkkikohde	18
6.1	Lämmitystehontarpeen laskenta	18
6.1.1	Lämmitysverkoston pattereiden mitoitus ja valinta.	20
6.2	Lämpimän käyttöveden putkiston suunnittelu	22
6.3	Maalämpöpumpun valinta	24
6.4	Varaajien mitoitus ja valinta	24
6.5	Lämpöpumpun kytkentäkaavio	26
6.6	Energiakaivokentän alustava mitoitus	27
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

# 1 Johdanto

Rakennusten lämmittäminen vie Suomessa ison osan kaikesta käytetystä energiasta. Pelkästään asuinrakennusten energiankulutus on 20 prosenttia kaikesta Suomessa käytettävästä energiasta. Siitä lämmitykseen kuluu noin kaksi kolmasosaa ja asuntojen käyttöveden lämmitykseen noin 17 prosenttia. Rakennusten lämmityksen aiheuttamien päästöjen vähentämiseksi on hyvä pohtia ympäristöystävällisiä ja uusiutuvia energiaratkaisuja sekä jonkin verran myös omavaraisuutta energiamuotoa valittaessa. Yksi tällaisista ratkaisuista on maalämpö, joka on vähäpäästöinen ja uusiutuvaan energiaan perustuva lämmitysmuoto. [1.]

Tämä insinööri työ on tehty Metropolia Ammattikorkeakoululle osana talotekniikan tutkinto-ohjelman uudistusta. Insinööri työnsä tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa uuteen asuin kerrostaloon maalämpöön perustuva lämmitys järjestelmä. Insinööri työnsä aikana saatuja kokemuksia ja tietoja hyödynnetään jatkossa opintojaksojen harjoitustehtävien laadinnassa ja kehittämisessä. Esimerkkikohteen maalämpöpumppujärjestelmän mitoituksen lähtötiedot on saatu kohteen energia- ja tehontarvelaskelmista. Laskelmat perustuvat kohteeseen suunniteltuihin todellisiin lämmitys- ja käyttövesijärjestelmiin. Rakennukseen ei suunniteltu jäähdytystä eli lämpökaivot toimivat vain lämmönlähteenä kohteessa. Asunnoissa on asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet sähköpatterilla ja pesutiloissa sähköinen lattialämmitys.

## 2 Maalämpöjärjestelmä

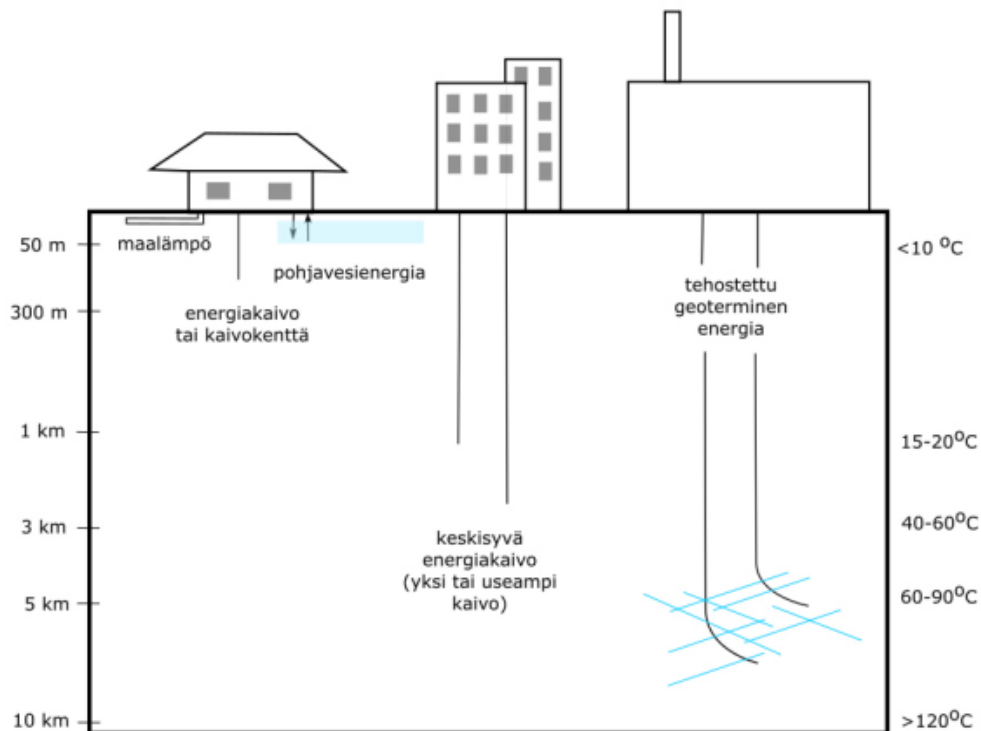
### 2.1 Yleistä maalämmöstä

Maalämpö on täysin uusiutuvaa puhdasta energiaa, jota varastoituu auringon, vesisateiden ja geotermisen energian kautta maaperään. Geotermisen energian syntyy syvemmillä maan sisuksissa radioaktiivisen hajoamisen seurauksena mutta säteilee myös maan ylempiin kerroksiin. Geotermistä energiaa on

käytetty Islannin kaltaisissa tuliperäisissä maissa jo vuosikymmeniä. Sen sijaan sen hyödyntäminen Suomen kaltaisessa maaperässä vaatisi huomattavasti syvempiä porareikiä, eikä sen hyödyntäminen siksi ole yleistynyt Suomessa kiinteistökohtaisissa ratkaisuissa. Maalämmön hyödyntäminen on huomattavasti helpompaa, sillä lämpökaivojen syvyydet vaihtelevat noin 150 metrin ja 300 metrin välillä. [2, s. 6–8.]

Suomessa maan ja kallioperän pintaosien keskilämpötila on kaksi astetta korkeampi kuin ilman keskilämpötila, ja lämpötila vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan sekä paikallisesti. Esimerkiksi rakennetulla alueella tai metsässä lämpötilaerot voivat vaihdella huomattavasti. Maanpinnan lämpötila vaihtelee ilman lämpötilan mukaan, mutta noin 15 metrin syvyydessä lämpötila vakiintuu 5–6 asteeseen eivätkä vuodenajan vaihtelut enää vaikuta lämpötilaan. Sataan metriin asti urbanisoituminen ja muut tekijät vaikuttavat maan lämpötilaan, mutta siitä alaspäin mentäessä kallioperän lämpötila nousee Suomessa noin 1,2–1,6 astetta jokaista sataa metriä kohden. [3.]

Kuvassa 1 on esitetty maalämpö- ja geoenergiajärjestelmiä eri syvyyksissä. Kuvassa oikealla oleva järjestelmä edustaa Otaniemessä sijaitsevaa Suomen ensimmäistä geotermistä lämpölaitosta, jossa poraussyvyys ylittää yli kuuden kilometrin syvyyteen. Kohde ei ole toteutunut täysin halutulla tavalla, mutta sitä käytetään nykyään tutkimuskäytössä. Isoissa kohteissa energiakaivojen syvyys voi olla 400 metriäkin, mutta usein energiakaivot ovat kuitenkin matalampia. Koska tässä työssä tarkastellaan asuinkerrostaloa, keskitytään jatkossa vain energiakaivoihin, joita kuvassa 1 edustaa energiakaivokenttä.



Kuva 1. Maalämmön ja geoenergian mahdollisuudet Suomessa [2, s. 9].

## 2.2 Pääkomponentit

Maalämpöjärjestelmän tarkoituksena on tuottaa lämpöenergiaa sekä rakennuksen että käyttöveden lämmittämiseen. Järjestelmä hyödyntää maaperässä sijaitsevaa lämpöä, jota kerätään lämmönkeruuputkistoilla. Maalämpöjärjestelmä sisältää käytännössä kolme osa-aluetta, jotka ovat lämmönkerupiiri, maalämpöpumppu ja vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. [4, s. 2.]

Lämmönkeruuputkisto sijoitetaan rakennuksen tontille vaihtoehtoisilla toteutustavoilla käytettävissä olevan tilan, maaperän laadun, energiatarpeen ja budjetin mukaan. Maaperään, energiakaivoon tai vesistöön sijoitetussa lämmönkeruuputkistossa kiertää neste, jonka tarkoitus on kerätä lämpöä maaperästä, vesistöstä tai kallioperästä. Neste on jäätymätöntä bioetanoliseosta, joka lämpenee keruuputkistossa muutamia asteita. Lämmönkeruuputkistoa kutsutaan myös keruupiiriksi. Keruupiiri siis kerää lämpöä lämmönlähteestä nesteeseen ja siirtää sen rakennuksen käyttöön. Koska keruupiirin nesteen lämpötila on alhainen, ei

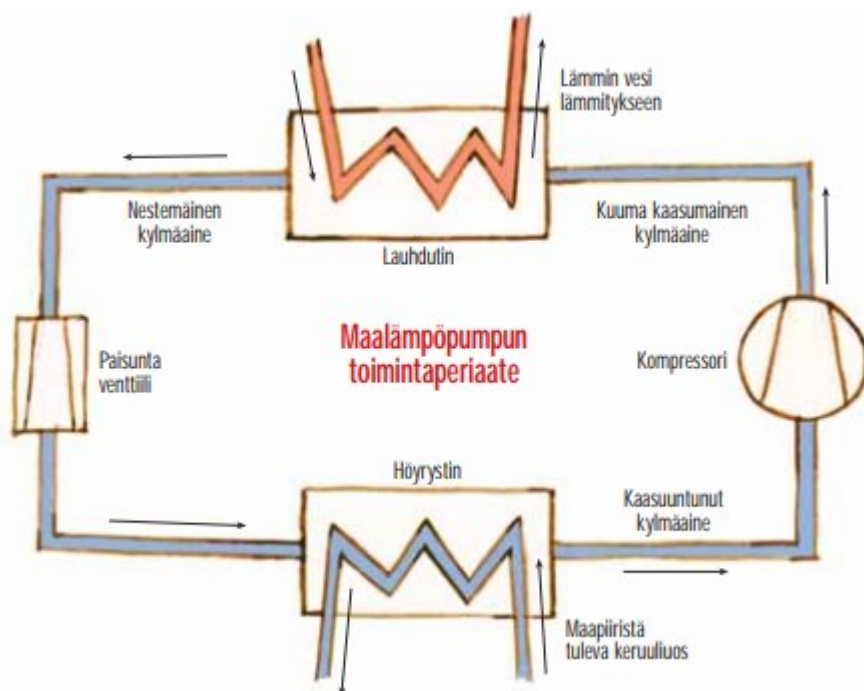
sillä voida suoraan lämmittää rakennusta. Kerätyn lämmön hyödyntämiseksi tarvitaan lämpöpumppu, jolla lämpötila saadaan nostettua riittäväksi vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Lämmönkeruupiiri voi olla myös avoin, jolloin esimerkiksi pohjavettä kierrätetään lämpöpumpun höyrystimellä ilman erillistä lämmönkeruunestettä. Tällöin pohjavesi pumpataan siirtoputkia pitkin lämpöpumpulle, josta lämpö hyödynnetään ja pohjavesi palautetaan joko takaisin pohjavedeksi tai johdetaan pintavesiin. [5, s. 8.]

Maalämpöpumpun kylmäainepiiri sisältää neljä pääkomponenttia, jotka ovat sähkömoottorikäyttöinen kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin. Näiden avulla lämmönkeruupiiristä saatu lämpö saadaan siirrettyä ja lämpötila nostettua riittävän korkeaksi lämmönjakojärjestelmälle. Maalämpöpumppu sijoitetaan asuinkerrostalossa useimmiten lämmönjakohuoneeseen, johon lämmönkeruupiirin sekä lämmönjakojärjestelmän putket tuodaan. [5, s. 12.]

### 2.3 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Kylmäkierto perustuu kierrätettävän kylmäaineen olomuodon muutokseen. Kuvassa 2 on esitetty maalämpöpumpun kylmäkierto ja sen pääkomponentit. Maaperässä sijaitsevasta keruupiiristä tuleva lämmennyt liuos kiertää höyrystimen kautta, jossa se luovuttaa lämmön kylmäaineeseen ja kylmäaine höyrystyy. Tämän jälkeen lämpöä luovuttanut ja viilentynyt keruuliuos palaa takaisin maaperään keräämään lämpöä. Kompressori imee kylmäainehöyryä höyrystimestä ja puristaa kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen. Samalla kylmäaine tulistuu eli lämpenee voimakkaasti. Kompressorilta tulistunut kylmäaine virtaa lauhduttimelle, joka siirtää lämmön varaajaan. Varaajasta lämpö siirretään lämmitysjärjestelmään ja lämpimään käyttöveteen. Kun kylmäaine luovuttaa lauhduttimessa lämmön varaajan vedelle, se lauhtuu takaisin nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine putoaa höyrystimen paineeseen, ja samalla kylmäaine jäähtyy voimakkaasti. Tämän jälkeen kylmäaineen kierto lämpöpumpussa alkaa taas alusta. [4, s. 3.]





Kuva 2. Maalämpöpumpun kylmäkierto ja pääkomponentit [4, s. 3].

### 3 Maalämpöjärjestelmän varaajat

Isoissa kiinteistöissä maalämpöjärjestelmät varustetaan varaajilla. Oikean kokoisella lämmitys- ja käyttövesivaraajalla varmistetaan pitkät käyntijaksot lämpöpumpulle. Pitkä käyntiaika pidentää lämpöpumpun kompressorin käyttöikää ja parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämpöpumpun kompressorin käynnistysten määrä vaikuttaa myös merkittävästi sen käyttöikään. Lämpöpumpun käydessä lähes koko ajan tai riittävän pitkiä käyntijaksoja, toimii kompressorin voitelu hyvin ja kompressorin kuluminen on vähäisempää kuin pätkäkäynnillä. Kompressorin käynnistyksen jälkeinen voitelu on aina heikompaa ja siksi käynnistys kuluttaa kompressoria. Kompressorin käyntijaksojen pituuteen voidaan vaikuttaa lämpöpumpun säädettävyydellä (minimiteholla) ja lämmitysvaraajan tilavuudella. Asuinkerrostaloissa ja isoissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden varaajilla varmistetaan myös riittävä lämpimän veden saanti huippukulutuksen aikana ja kovimmilla pakkasilla. [6, s. 9.]

### 3.1 Puskurivaraajat

Puskurivaraaja on eristetty säiliö, johon varastoidaan lämpöpumpulla valmistettua lämmitysjärjestelmän vettä. Varaajan vesi kiertää lämpöpumpun lauhduttimella ja lämmitysverkostossa. Lämmitysverkoston virtaamat vaihtelevat vuodenajan ja ulkoilman lämpötilan mukaan. Varaajalla varmistetaan kaikissa olosuhteissa tasainen ja riittävä virtaama lämpöpumpun lauhduttimelle, vaikka virtaama lämmitysjärjestelmän puolella vaihtelee. Pientaloissa ei välttämättä tarvita puskurivaraajaa, jos lämmitysjärjestelmän vesitulavuus on riittävä. Isommissa asuinrakennuksissa käytetään aina puskurivaraajaa. [7.]

### 3.2 Lämminvesivaraajat

Maalämpöpumpua ei ole järkevä mitoitaa käyttöveden lämmitysteholta yhtä suureksi kuin mitä lämmönjakokeskuksen käyttöveden lämmönsiirrin on. Tämän takia osa lämpimän käyttöveden lämmitystehosta kulutushuippujen aikana otetaan lämpimän käyttöveden varaajasta. Nykyisillä lämpöpumppujen kylmäaineilla lämpöpumpun lauhduttimelta saadaan korkeimmillaan noin 65-asteista vettä.

Varaajan kokoon vaikuttavat lämpöpumpun lämmitystehon lisäksi lämpimän käyttöveden huippukulutus ja huippukulutuksen kesto. Varaaja varustetaan usein lisälämmönlähteellä, esimerkiksi sähkövastuksilla, jos maalämmöllä ei saada tuotettua tarpeeksi lämmintä vettä. Isommissa kiinteistöissä käytetään usein erillistä varaajan jälkeen sarjaan kytkettyä sähkökattilaa, koska varaajaan ei saada sähkövastuksilla riittävästi lämmitystehoa. Pientaloissa lämmin käyttövesi tuotetaan 160–180 litran säiliöön valmiiksi kulutusta varten. Varaaja on integroitu lämpöpumppuun. Jos lämpimän käyttöveden kulutus on suurta, voidaan lämpöpumpun rinnalle asentaa sähkövastuksella toimiva lämminvesivaraaja, jolla saadaan hoidettua ajoittaiset suuret kulutukset. Asuinkerrostalossa lämmintä käyttövettä ei yleensä varastoida varaajaan vaan lämmin käyttövesi lämmitetään lämminvesikierukoissa, jotka on sijoitettu lämmitysvaraajaan. [4, s. 7.]

Kuvassa 3 on esitetty lämpimän käyttöveden valmistusvaihtoehtoja käyttövesivaraajilla.

### Käyttövesisäiliö, lataus esim. kierukalla



- + enemmän käyttövettä äkkitarpeeseen
- + hyvä backup (esim. järjestelmän perään) käyttövesijärjestelmään, kiinteistöihin tai teollisuuteen
- legionella riski
- kestää pitkään varata kierukalla uudelleen
- levylämmönvaihtimen häviöt tulevat lisäksi
- kalkkeutumisongelmat (kierukka kalkkeutuu)

### Käyttövesi lämmitetään kierukalla



- + ei legionella riskiä
- + nopea ladata uudelleen
- + hybridimahdollisuus
- + kalkki ei ongelma
- + elinikä
- pienempi määrä käyttövettä äkkitarpeeseen

Kuva 3. Lämpimän käyttöveden valmistusvaihtoehdot. [4, s. 6].

Kuvan 3 vasemmanpuoleisessa käyttövesivaraajassa käyttöveden lämmitys tapahtuu kierukkalämmönvaihtimen kautta. Käyttövesisäiliön sisällä on kierukka, jossa kiertää maalämpöpumpputjärjestelmän lauhduttimen vesi lämmittäen varaajaan varastoitua käyttövettä. Toinen vaihtoehto on kierrättää varaajan sisällä olevaa vettä suoraan lauhduttimen kautta. Tällöin käyttövesi virtaa käyttövesikierukan sisällä ja lämpenee varaajan lämmitetyllä vedellä. [8, s. 79.]

Kierukkalämmönvaihdinta käytettäessä saadaan lämmintä käyttövettä tuotettua suoraan säilöön. Isommassa varaajasäiliössä voi ongelmaksi koitua varaajan pohjalla seisova haalea vesimassa. Jos vesi seisoo pitempiä aikoja liian alhaisessa lämpötilassa varaajassa, liittyy veden varastointiin legionellabakteeririski. Legionellat ovat bakteereja, joita esiintyy makeissa vesissä. Ne lisääntyvät 20–45 asteen lämpötilassa vesijärjestelmissä. [9.] Tästä syystä ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti lämminvesilaitteistosta on saatava vähintään 55 asteista vettä 20 sekunnin kuluessa. Vaatimuksen takia lämminvesilaitteisto on

varustettava lämpimän käyttöveden kiertojohdolla. Yleensä kiertojohdon virtaama mitoitetaan siten, että vesi jäähtyy putkistossa noin 3 astetta. Tämä tarkoittaa, että lämpimän käyttöveden lämpötila pitää olla tuotantolaitteelta lähtiessä noin 58 astetta. [10.]

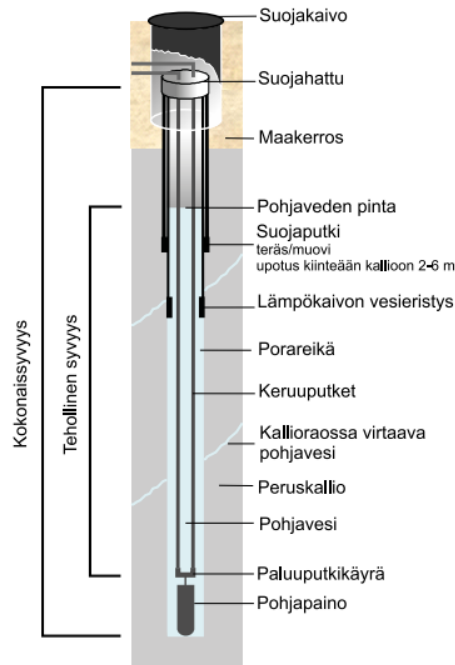
Asuinkerrostaloissa maalämpökohteissa lämmin käyttövesi tuotetaan yleensä varaajaan sijoitetulla lämpimän käyttöveden kierukoilla legionellariskin välttämiseksi. Jotta lämminvesikierukasta saadaan 58 asteista käyttövettä, pitää varaajan yläosan veden lämpötila olla huomattavasti korkeampi. Jos vettä varastoitaisiin säiliöön, riittäisi varaajan lämpötilaksi 58 astetta. [10.]

## 4 Lämmönlähteet

Yleisimmät maalämpöjärjestelmän lämmönlähteet ovat pintamaa, vesistö tai lämpökaivo. Nykyään yleisin toteutustapa on lämpökaivot. Ne vaativat huomattavasti vähemmän tilaa, ovat toimintavarmoja ja pitkäikäisiä ratkaisuja. Toki huonona puolena on korkeampi hinta. [4, s. 4.]

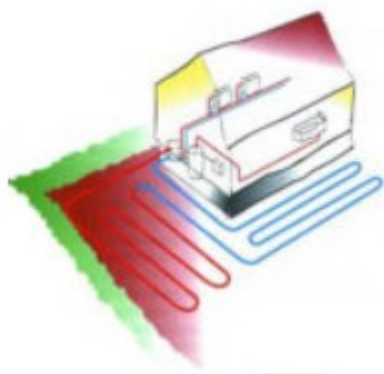
Lämpökaivon syvyyteen vaikuttavat muun muassa asuinkerrostalon lämpöhäviöt eli lämmitystehontarve, maasta otettava lämmitysenergia, kallion lämmönjohtavuus ja pohjaveden virtaukset kallioperässä. Jos lämpökaivo ei täyty itsestään vedellä, lämpökaivo täytetään vedellä. Lämpökaivojen määrä riippuu tontin pinta-alasta ja lämpökaivoille käytettävissä olevasta tilasta tontilla. Lämpökai-vosta saatava energiamäärä riippuu lämpökaivon syvyydestä, mutta usein voi olla edullisempaa porata useampi matalampi lämpökaivo. Aina se ei kuitenkaan ole mahdollista esimerkiksi vähäisen tilan takia, jolloin kaivoista on tehtävä syvempiä. Suomessa lämpökaivojen halkaisijat ovat 105–165 mm, ja aktiivisyvyys on monissa kohteissa maksimissaan 250 metriä. Aktiivisyvyydellä tarkoitetaan veden täyttämää osuutta lämpökaivosta kuten kuvassa 4 on esitetty. Normaalisti kaivo täyttyy vedellä itsestään muutaman päivän kuluessa porauksesta. Veden täyttymisellä on vaikutusta lämpöenergian saantiin, minkä takia lämpökaivo on täytettävä, jos se ei itsestään täyty. Jos yksi kaivo ei riitä, kaivoja voidaan porata 15–20 metrin etäisyydelle toisistaan, suotuisissa olosuhteissa

lähemmäksi. Jos lämpökaivot sijoitetaan liian lähelle toisiaan, niiden toiminta voi häiriintyä merkittävästi. [5, s. 33.]



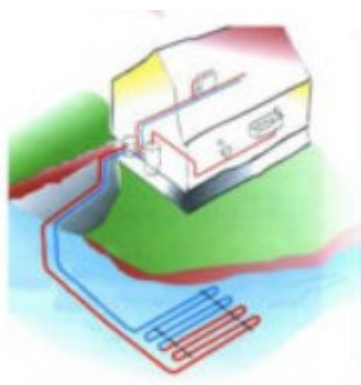
Kuva 4. Energiakaivon rakenne ja tehollinen syvyys [5, s. 35].

Lämmönkeruu vaakaputkistolla lähelle maanpintaa on mahdollinen ratkaisu ton-  
tin ollessa riittävän iso. Kuvassa 5 on esitetty maaperään sijoitettava lämmönke-  
ruun vaakaputkisto. Lähelle maanpintaa sijoitettava vaakaputkisto on edulli-  
sempi toteuttaa kuin lämpökaivot. Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyy-  
teen eli porauskalustoa ei tarvita vaan putkiston asennuksessa tarvitaan kaivin-  
konetta. Vaakaputkisto soveltuu hyvin kostealle savimaalle, mutta ei hiekka-  
maalle, sillä kosteasta savimaasta saadaan huomattavasti enemmän lämpöä.  
Kivinen maaperä taas saattaa aiheuttaa ongelmia vaakaputkistoille. Roudan ai-  
heuttamat kivien liikkeet voivat vaurioittaa putkistoa. Vaakaputkiston asennus-  
syvyys on noin metri ja putkien välinen etäisyys 1–2 metriä. Vaakaputkisto so-  
veltuu lähinnä pientaloihin, koska putkimetriltä saatava energiamäärä on pieni  
lämpökaivoon verrattuna. [11.]



Kuva 5. Maaperä lämmönlähteenä [11].

Vesistöt ovat myös mahdollisia lämmönkeruuputkiston asennuspaikkoja, jos rakennuksen lähellä on vesistö, joka soveltuu lämmönlähteeksi. Kuvassa 6 on esitetty vesistöön asennettu lämmönkeruuputkisto. Vesistön energiansaannossa ei ole rajoituksia, jos lämmönkeruuputkiston vaikutusalueen vesistön vesimassa (vesimassan lämpökapasiteetti) on suuri. Vesistöstä pitäisi löytyä riittävän paksu kerros vähintään noin +2 asteista vettä, jotta vesistöä voidaan hyödyntää lämmönlähteenä. Lisäksi rannassa putket pitää pystyä asentamaan vähintään kahden metrin syvyyteen, jotta putket voidaan asentaa rannassa routarajan alapuolelle. Keruuputkisto asennetaan pohjaan tai pohjamutaan painoilla. [11.]



Kuva 6. Vesistö lämmönlähteenä [11].

## 5 Mitoitus

### 5.1 Lämmitystehontarve

Maalämpöjärjestelmää mitoittaessa tärkein yksittäinen tekijä on kohteen lämmitysenergian- ja lämmitystehontarve, joihin vaikuttavat monet eri tekijät, kuten kohteen koko, eristystaso, ikkunoiden määrä ja maantieteellinen sijainti. Myös muut lämmönlähteet ja lämpimän käyttöveden kulutus vaikuttavat tehontarpeeseen. [12.]

Rakennuksen lämmitystehontarve voidaan laskea Excelillä tai ohjelmilla. Usein suunnittelijat laskevat lämpöhäviöt MagiCadin Room-laskentaohjelmalla. MagiCadin Room-laskentaohjelman käyttöä käydään läpi luvussa 6.

Asuinkerrostalon lämpimän veden kulutus vaikuttaa kokonaistehontarpeeseen sekä varaajien mitoitukseen. Vanhoissa kohteissa energiakulutuksena käytetään rakennuksen energiamittauksiin perustuvaa veden kulutusta. Uusissa rakennuksissa ei ole kulutushistoriaa vedenkulutuksesta, minkä takia se täytyy laskea. Laskennassa voidaan hyödyntää keskimääräisiä vedenkulutusarvioita asukasta kohden tai pinta-alaa kohden. Esimerkiksi Motivan 2020 tekemän selvityksen mukaan kerrostalon vedenkulutus asukasta kohden on 120 l/vrk. Asuinkerrostalon kokonaisvedenkulutus voidaan laskea, kun tiedetään huoneistojen lukumäärä, arvio tai tieto asukkaiden lukumäärästä huoneistoa kohden sekä keskimääräinen vuorokauden vedenkulutus. Käytetystä vedestä noin 40 prosenttia on lämmintä käyttövettä. Vaihtoehtoisesti voidaan hyödyntää valmiita laskukaavoja lämpimän veden kulutuksen arvioinnissa. [13.]

Jos lämpimän käyttöveden energiankulutus ei ole tiedossa, kulutus voidaan laskea kaavalla 1 hyödyntäen rakennuksen bruttopinta-alaa. [14.]

$$Q_{lkv} = 58 \cdot V_{lkv} \quad (1)$$

$V_{lkv}$  on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä ( $m^3$ /vuosi)

58 on veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos 50 astetta) tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden, kWh/m<sup>3</sup>

Lämpimän käyttöveden  $V_{lkv}$  oletusarvona voidaan pitää asuinrakennuksissa 0,6 m<sup>3</sup>/brm<sup>2</sup> (= 600 dm<sup>3</sup>/brm<sup>2</sup>) vuodessa. [14].

Veden lämmittämiseen kuluva nettoenergia voidaan laskea myös kaavalla 2.

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (2)$$

$Q$  on veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)

$\rho$  on veden tiheys (1 000 kg/ m<sup>3</sup>)

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)

$V$  on lämpimän vedenkulutus (m<sup>3</sup>)

$t_2$  on lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55 °C

$t_1$  on lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5...10 °C

3600 on yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh).

Lämpimän käyttöveden verkosto sisältää myös lämpimän veden kiertojohtoon. Sen tarkoituksena on estää lämpimän käyttöveden lämpötilan lasku sekä varmistaa, että lämpimän veden odotusaika on määräysten mukainen. Ilman kiertojohtoa verkostossa seisova veden lämpötila voi laskea alle 50 asteen, mikä voisi aiheuttaa haitallisten bakteerien kasvamisen verkostossa. Lämpimän käyttöveden kierto aiheuttaa myös lämpöhäviöitä, jotka on otettava huomioon energiankulutuksessa. Jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla, voidaan kiertojohtoon lämpöhäviöksi arvioida 10 W/m. Tämä tarkoittaa sitä, että 100 metrin putkimatkalla lämpöhäviöitä syntyy noin 1000 W eli 1 kW. [15, s. 2.]



## 5.2 Lämpöpumppu

Kun rakennuksen lämmön ja jäähdytyksen tehontarve on selvillä, voidaan valita kooltaan sopiva lämpöpumppu sen mukaan, mitoitetaanko järjestelmä osateholle vai täysteholle. Täysteholla maalämpöjärjestelmä tuottaa kaiken asuinkerrostalon lämmitystehon paikkakunnan mitoitetavalla ulkoilman lämpötilalla. Osateholle mitoitettu lämpöpumppu voi olla taloudellisesti järkevämpi vaihtoehto, koska maalämpöjärjestelmän koko ja kustannukset nousevat täysteholle mitoittaessa. Osateholle mitoitetulla lämpöpumpulla saadaan katettua noin 90–98 % vuotuisesta energiankulutuksesta, kun pumppu mitoitetaan 60–80 % tehopeitelle. Puuttuva lämmitysteho voidaan tuottaa sähkökattilalla tai kaukolämmöllä. [5, s. 30–31.]

Lämpöpumppujen COP-luku (Coefficient Of Performance) eli lämpökerroin kertoo lämpöpumpun energiatehokkuuden eli hyötysuhteen. Se kertoo, kuinka paljon energiaa lämpöpumppu tuottaa suhteessa sen kuluttamaan sähköenergiaan. Suomessa lämpökerroin on keskimäärin vuositasolla kolme, joka tarkoittaa kolmea kilowattituntia lämpöenergiaa yhdellä kilowattitunnilla sähköenergiaa. Tällöin kaksi kilowattituntia on maaperästä kerättyä lämpöenergiaa ja yksi kilowattitunti ostettua sähköenergiaa. Hyötysuhdetta voidaan parantaa muun muassa matalalla lämmönjakoverkoston lämpötilalla. [16.]

Valmistajat ilmoittavat lämpöpumpuille COP-arvon (Coefficient Of Performance) ja SCOP-arvon (Seasonal Coefficient Of Performance). SCOP-arvo kertoo koko lämmityskauden hyötysuhteen eli vuosihyötysuhteen. Ilmalämpöpumpuille SCOP-arvot lasketaan ilmastovyöhykkeiden mukaan. Suomen olosuhteita vastaa Pohjois-Euroopan ilmastovyöhyke, joka perustuu Helsingin säätietoihin. Laittevalmistajien ei tarvitse ilmoittaa kuitenkaan SCOP-arvoa kuin keskimmaiselle ilmastovyöhykkeellä. [16.]

### 5.3 Energiakaivo

Maalämpöjärjestelmässä lämpöpumpun lisäksi mitoitettavia osia ovat keruuputkiston pituus, energiakaivon syvyys sekä porareikien määrä. Lisäksi on huolehdittava riittävästä porareikien etäisyydestä toisistaan, jonka tulisi olla vähintään 15 metriä. Porareikien minimietäisyydet on esitetty kuvassa 7. Keruuputkiston pituudessa pitää huomioida energiakaivojen tehollinen syvyys eli se osa porareian syvyydestä, joka on vedessä. Jos kohteessa vaaditaan vinoja reikiä esimerkiksi tilan puutteen vuoksi, teholliseksi syvyydeksi voidaan laskea vain se osa, jossa kaivojen välinen etäisyys on vähintään 15 metriä. Kun etäisyys on tätä pienempi, kaivot vievät toisiltaan energiaa. Usein kuitenkin pienemmät kohteet, joissa on vain vähän porakaivoja, voidaan mitoittaa lämpöpumppuvalmistajan mitoitusohjelmilla, joilla saadaan esimerkiksi yksittäisten kaivojen teholliset syvyydet. Siihen lisätään yleensä varmuusmarginaali, jolla pyritään varmistamaan riittävä energian saanti porakaivosta. Varmuusmarginaalin suuruus on noin 10–20 metriä. [5, s. 30–31.]

Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m <sup>[4]</sup>
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

\* porareian ollessa pystysuora

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

Kuva 7. Porareian minimietäisyydet rakennuksen osista [5, s. 25].

## 5.4 Energiakaivokenttä

Energiakaivokenttä eroaa energiakaivosta siten, että kaivoja on useampia, jotka muodostavat yhdessä kaivokentän. Mitoituksessa käytetään siihen suunniteltuja mallinnusohjelmia. Niitä ovat esimerkiksi EED, IDA-ICE Boreholes ja GHLEpro. Mallinnusohjelmien avulla voidaan selvittää porakaivojen lämpötilataso ja sen kehittyminen halutulla ajanjaksolla ja varmistaa haluttu energian määrän saanti rakennuksen koko elinkaaren ajan. Yleisesti ajanjaksona käytetään 25–50 vuoden ajanjaksoa. Mallinnusohjelmat ottavat sijainnin lisäksi huomioon kaivojen etäisyydet toisistaan, kaivokentän geometrian, kaivosta saatavan ja sinne ladattavan energian sekä kallioperän lämmönjohtavuuteen vaikuttavat asiat kuten kalliotyyppin. Energiakaivokentän geometrialla on iso vaikutus energiakaivokentän toimintaan pitkällä aikavälillä. [8, s. 40]

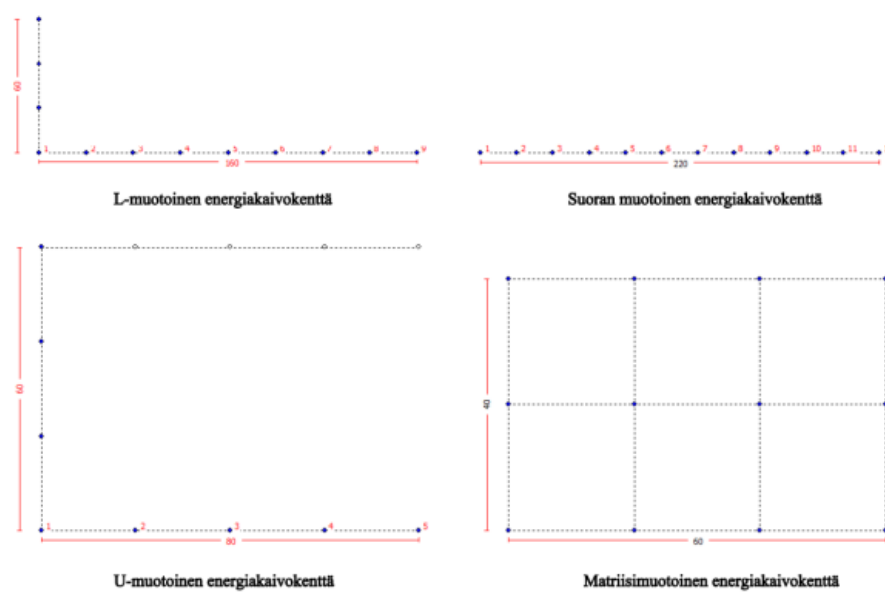
### Kaivokentän muoto

Jos maankamarasta otetaan yhtä paljon lämpöä kuin sinne ladataan, puhutaan nettolämpötaseesta, joka on nolla. Tällöin lämmönkeruunesteen lämpötilan vaihtelua ei juurikaan ole vuositasolla, vaan lämpötilat vaihtelevat ainoastaan vuodenajan mukaan. Suomen kylmässä ilmastossa energiakaivokenttiä käytetään pääsääntöisesti lämmittämiseen, minkä takia maankamarasta ainoastaan otetaan lämpöä. Tämä aiheuttaa energiakaivokentän lämpötilan laskua vuosien kuluessa, mikä laskee koko järjestelmän hyötysuhdetta. [17, s. 14.]

Energiakaivokentän muoto vaikuttaa kaivokentän lämpötilan kehitykseen. Eri muotoisilla kaivokentän geometrioilla on erilainen lämpötilakehitys, vaikka kuoritus olisi samanlainen. Tämä johtuu vierekkäisten energiakaivojen termisten vaikutusalueiden vaikutuksesta toisiinsa ajan kuluessa. Ideaalisessa muodossa nettolämpötaseeltaan epätasapainoisella energiakaivokentällä on mahdollisimman vähän lämmönsiirtopinta-alaa toisiaan vasten. [17, s. 15.]

Tehokkuudeltaan parhaimmat kaivokentän geometriat nettolämpötaseeltaan epätasapainoiselle energiakaivokentälle ovat muun muassa L-kirjaimen ja U-kirjaimen muotoiset kuviot. Erilaisia energiakaivokenttämutoja on esitetty

kuvassa 8. Kaivojen välisten etäisyyksien on oltava riittävän pitkät, sillä se vaikuttaa pitkällä aikavälillä energiakaivojen lämmöntuottoon. Matriisi-kuvio on heikoin tilanteessa, jossa nettolämpötase on epätasapainoinen. Jos matriisikuviossa kaikkia lämpökaivoja kuormitetaan yhtä paljon, keskimmäiset kaivot jäähtyvät nopeammin, sillä ympärillä olevat kaivot estävät kuvion ulkopuolelta johtuvan lämmön pääsyn keskelle. Matriisikuviota voidaan käyttää lähinnä nettolämpötaseeltaan lähellä nollaa olevassa kentässä. [17, s. 15].



Kuva 8. Energiakaivokenttien muotoja [17, s. 15].

## 5.5 Varaajien koon määrittäminen

Käyttövesivaraajan mitoituksessa merkittävin asia on lämpimän käyttöveden kulutus. Käyttövesivaraajan tarkka mitoitus edellyttää yksityiskohtaisia tietoja kierukoista ja varaajan toiminnasta kuten veden kerrostumasta varaajassa. Näitä tietoja ei ole usein saatavilla, joten käyttövesivaraajan mitoituksessa joudutaan usein turvautumaan valmistajan mitoitukseen ja valintaan. [8, s.76.]

Puskurivaraajan koko määräytyy lämpöpumpun minimitehosta. Varaajan tilavuus valitaan siten, että lämpöpumppu käy riittävän pitkään myös minimiteholla. Tämä on erityisen tärkeää, jos lämpöpumppu on on-off-tyyppinen.

Lämmitystarpeen ollessa suurempi ei varaajan koko ole enää niin kriittinen. Lauspiirien ja tästä syystä myös varaajien virtaamat ovat tyypillisesti niin suuria, ettei varaajassa olevan veden lämpötilakerrostumaa synny. [8, s.75.]

Puskurivaraajan ylimitoitus aiheuttaa ongelmia lämpötilan muutoksen viiveen takia. Liian suuren varaajan takia lämpötilan muutos kestää kauan, joka tarkoittaa, että halutun lämpöistä vettä ei välttämättä saada verkostoon ilman viivettä. Se saattaa aiheuttaa esimerkiksi turhaa lisälämmön käyttöä. Varaajan veden lämpötilaa pidetään yleensä mahdollisimman lähellä verkoston lämpötilaa, tällöin vältetään ylimääräiset putkien ja varaajan lämpöhäviöt. [8, s.75.]

Puskurivaraajan mitoituksessa voidaan käyttää laskukaavoja tai kokemukseen perustuvia arvoja. Usein mitoituksessa kriteerinä käytetään minimivesitilavuutena 10 litraa / kW lämpöpumpunmitoitustehoa kohden. Jos maalämpöpumpun teho on 50 kW, puskurivaraajan koko olisi 500 litraa. [18.]

Puskurivaraajan koko voidaan laskea myös kaavalla 3. (3)

$$V_{\text{varaaja}} = \frac{Q_{l,kj} \cdot \left(3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}\right)}{\rho_{\text{vesi}} \cdot c_{p,\text{vesi}} \cdot \Delta T_{\text{huojunta}}} = \frac{\Phi_{\text{lämmitys}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{huojunta}}}{60 \frac{\text{min}}{\text{h}}}\right) \cdot \left(3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}\right)}{\rho_{\text{vesi}} \cdot c_{p,\text{vesi}} \cdot \Delta T_{\text{huojunta}}}$$

$Q_{l,kj}$  on aikajakson aikana kulutettu energia, kWh

$\rho_{\text{vesi}}$  on veden tiheys, 1000 kg/ m<sup>3</sup>

$c_{p,\text{vesi}}$  on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,18 kJ/kgK

$\Delta T_{\text{huojunta}}$  on varaajan sallittu huojunta (lämpötilan muutos), (5–10) °C

$\Phi_{\text{lämmitys}}$  on lämmitystehontarve, kW

$\Delta t_{\text{huojunta}}$  on varaajan riittävyysaika tarvittavalla teholla, 5-15 min invertterikoneella.

## 6 Esimerkkikohde

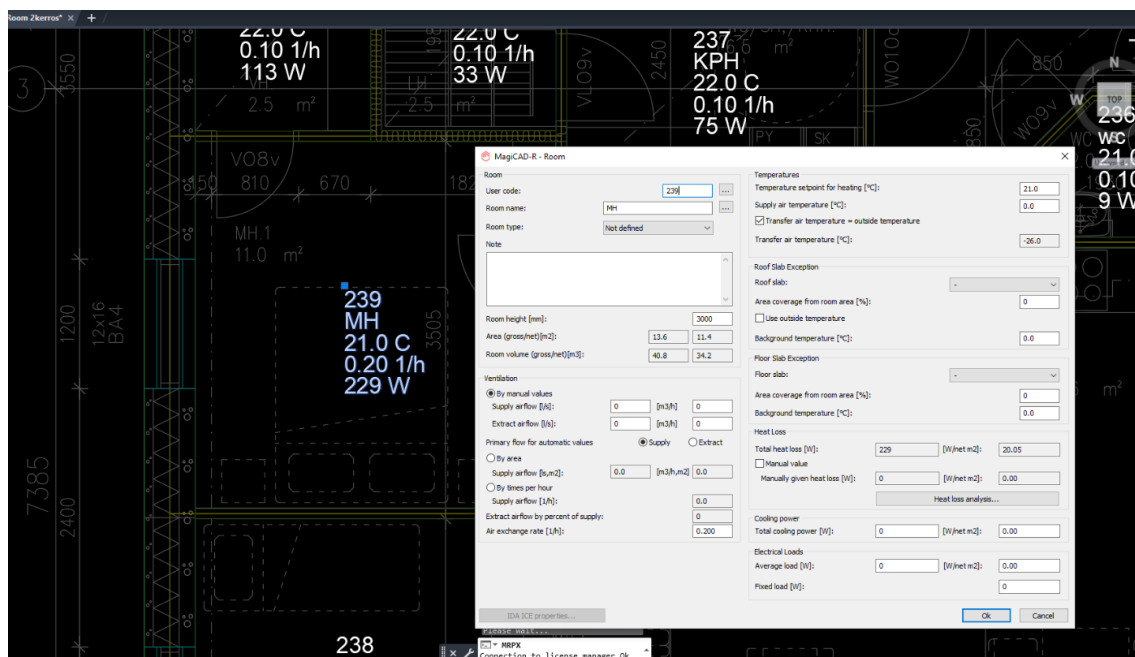
Tarkasteltavana kohteena oli kolmikerroksinen asuinkerrostalo, johon mitoitettiin maalämpöjärjestelmä ilman jäähdytystä. Kohteessa on huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet sähköpattereilla sekä kylpyhuoneissa sähköinen lattialämmitys. Lämmitys suunniteltiin vesikiertoisilla pattereilla, jotka mitoitettiin 45/30 lämpötiloille.

### 6.1 Lämmitystehontarpeen laskenta

Kohteen lämmitystehontarve laskettiin MagiCad Room -ohjelmalla, jolla voidaan mallintaa ja laskea koko rakennuksen lämpöhäviöt huonetasolla.

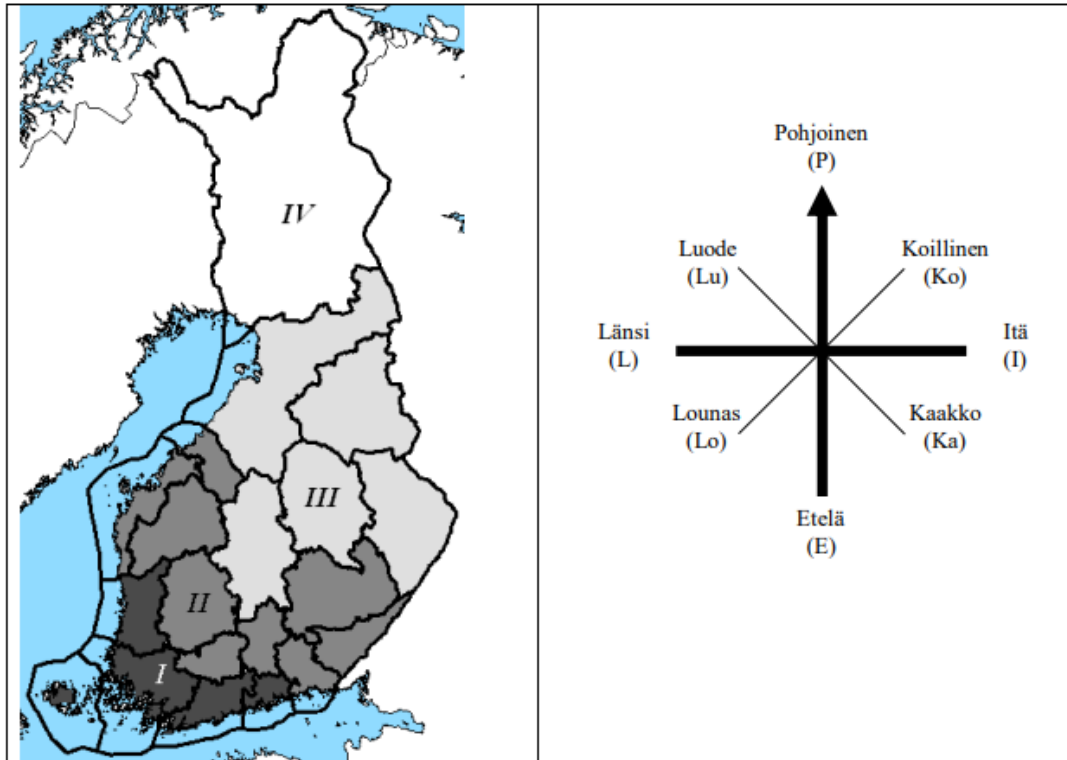
Roomilla piirrettiin pohjapiirustuksen mukaan ulkoseinät rakennuksen ulkomittojen mukaan. Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimeksi valittiin 0,17 (W/m<sup>2</sup> K), joka vastaa ympäristöministeriön energiatehokkuusasetuksen vertailurakennuksen ulkoseinän lämmönläpäisykerrointa. Ulkoseinien jälkeen tarkistettiin ikkunoiden ja ovien koot, ja ne piirrettiin pohjapiirustuksen mukaisiin paikkoihin, jolloin ohjelma ottaa huomioon ikkunat ja ovet ulkoseinällä. Ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisykertoimena käytettiin vertailurakennuksen arvoa 1,0 (W/m<sup>2</sup> K).

Sisäseinien merkitys lämpöhäviölaskennassa todettiin hyvin pieneksi, minkä takia muun muassa sisäövet on jätetty piirtämättä. Kuitenkin sisäseinien merkitys on tärkeä tilan jaon kannalta, jotta saadaan jokaiseen huoneistoon ja huoneiston tilaan laskettua oikeat lämpöhäviöt pattereiden mitoittamista varten. Merkittävin osa huoneiden lämpöhäviöistä muodostuu ulkovaipan rakenneosien johtumishäviöistä. Ilmavuotojen osuus lämpöhäviöistä uusissa rakennuksissa on yleensä pieni.



Kuva 9. Näkymä MagiCad Roomin lämpöhäviölaskennasta.

Seinien ja ikkunoiden mallintamisen jälkeen jokaiselle huoneelle annetaan kuvan 9 mukaisia lisätietoja lämpöhäviöiden laskemiseksi. Lisätietoina annetaan esimerkiksi sisäilman lämpötila ja mitoittava ulkoilman lämpötila, joka riippuu rakennuksen sijaintipaikkakunnasta. Tarkasteltava esimerkkikohte kohde sijaitsee Helsingissä, joka sijoittuu vyöhykkeen 1 alueelle, jolloin ulkoilman mitoituslämpötilana käytetään kuvan 10 mukaisesti  $-26$  astetta. Jokaiselle kerrokselle laskettiin lämpöhäviöt samalla periaatteella. Valmiiksi piirrettyä ja laskettua kerrosta voitiin kopioida muihin samanlaisiin kerroksiin pienin muutoksin pohjapiirustuksen mukaan. Jokaisen kerroksen jälkeen saatiin kokonaislämmitystehontarve selville rakennukselle huonekohtaisesti. Esimerkkikohteen lämmitystehontarpeeksi saatiin 33 kW.



Kuva 11.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko 11.1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

Kuva 10. Säävyöhykkeet ja mitoitusulkolämpötilat. [19, s. 56].

### 6.1.1 Lämmitysverkoston pattereiden mitoitus ja valinta.

Vesikiertoiset patterit valittiin Purmon laskentaohjelmalla. Pattereiden mitoituksessa on huomioitu ikkunapenkin korkeus sekä ikkunan leveys. Radiaattorit pyritään sijoittamaan aina ikkunan alle, koska ikkunoiden lämpöhäviöt ovat suuremmat kuin ulkoseinän. Kun patterit sijoitetaan ikkunan alle, estetään kylmän ilman valuminen lattialle ja kompensoidaan ikkunan kylmäsiiteilyä. Laskentaohjelmaan vaihdettiin patteriverkoston lämpötiloiksi +45/+30 astetta.



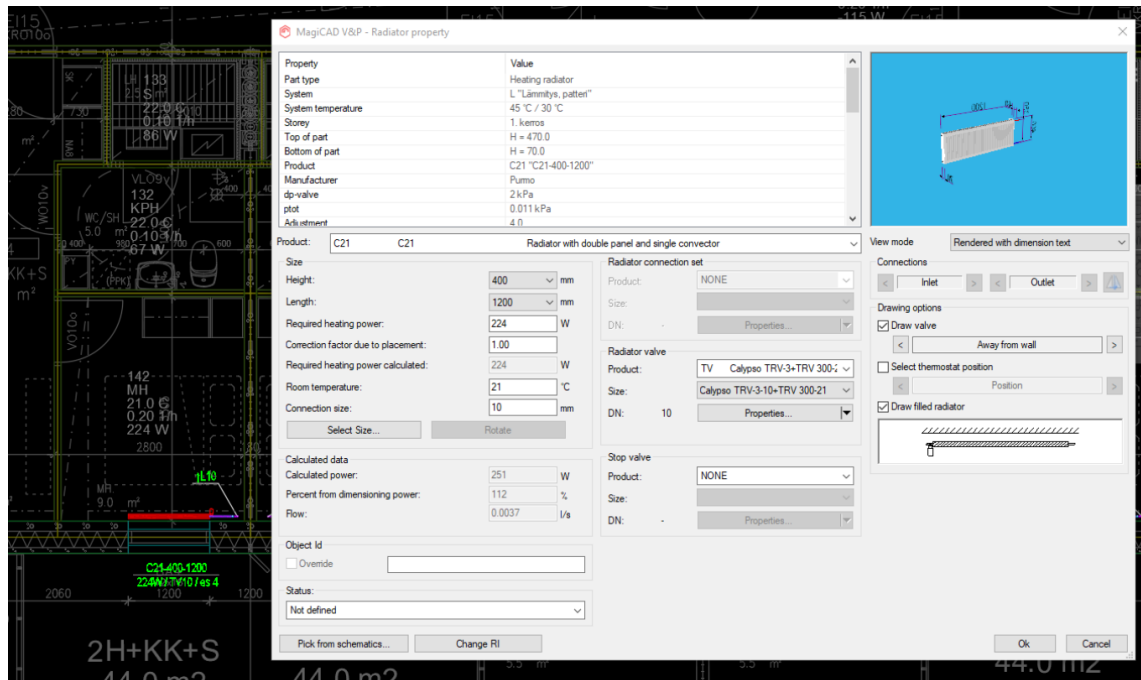
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
1																										
2			$t_{air}$	$t_{in}$	$t_{room}$	$dT_{in}$																				
3			45,00	30,00	21,00	15,29																				
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9			<b>Purmo Compact / Ventil Compact Heat output</b>																							
10	<b>Type</b>	11	21	22	33	11	21	22	33	11	21	22	33													
11	<b>Height, mm</b>	300	300	300	300	400	400	400	400	450	450	450	450													
12	<b>Norm output, W</b>	546	761	961	1347	711	963	1221	1699	790	1060	1347	1869													
13	<b>Exponent, n</b>	1,2981	1,2803	1,3094	1,3140	1,3026	1,2940	1,3182	1,3255	1,3048	1,3008	1,3226	1,3313													
14	<b>Length, mm</b>																									
15	400	47	67	82	114	61	84	103	142	68	91	113	155													
16	500	59	84	102	143	76	104	129	177	85	114	141	194													
17	600	71	101	123	171	92	125	154	213	101	137	169	233													
18	700	82	117	143	200	107	146	180	248	118	160	198	273													
19	800	94	134	164	228	122	167	206	284	135	182	226	310													
20	900	106	151	184	257	137	188	232	319	152	205	254	349													
21	1000	118	168	205	285	153	209	257	355	169	228	282	388													
22	1100	130	184	225	314	168	230	283	390	186	251	311	427													
23	1200	141	201	246	342	183	251	309	426	203	274	339	465													
24	1400	165	235	286	399	214	292	360	497	237	319	395	543													
25	1600	189	268	327	456	244	334	412	568	272	365	452	621													
26	1800	212	302	368	513	275	376	463	639	304	410	508	698													
27	2000	236	335	409	571	305	418	515	710	338	456	565	776													
28	2300	271	386	471	656	351	480	592	816	389	524	649	892													
29	2600	306	436	532	742	397	543	669	923	440	593	734	1008													
30	3000	353	503	614	856	458	626	772	1065	507	684	847	1163													
31	RAL Reg. Nr.:	811	812	813	814	811	812	813	814	811	812	813	814													

Patterien jakauma			
Wattit	224		
Ikkunan 1 leveys	1200		
Ikkunan 2 leveys	0		
Ikkunan 3 leveys	0		
Ikkunan 4 leveys	0		
Ikkunan 5 leveys	0		
	0,13	Nyt on	Erotus
Patteri 1 wattit	224	0	-224
Patteri 2 wattit	0	0	0
Patteri 3 wattit	0	0	0
Patteri 4 wattit	0	0	0
Patteri 5 wattit	0	0	0
		Erotus yht.	-224

Kuva 11. Pattereiden mitoitus Excelillä.

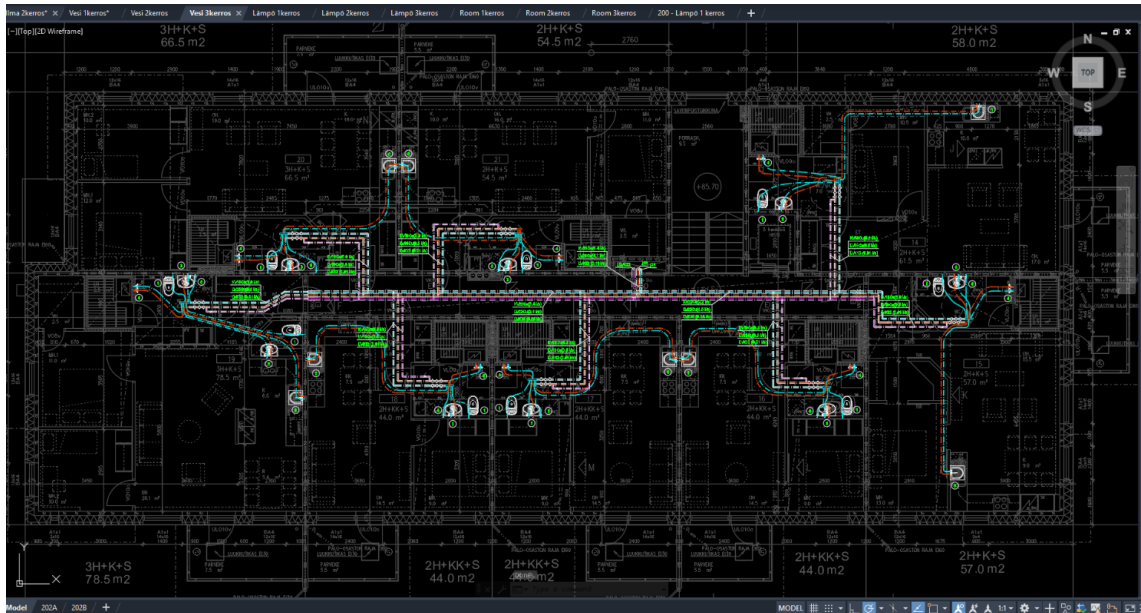
Kun kuvassa 11 oikealle ylös vihreään soluun annetaan huoneen lämmitysteho ja harmaaseen ikkunan leveys, ehdottaa Excel vaihtoehtoisia sopivia pattereita huoneeseen. Pattereiden korkeus valitaan siten, että patterin alapuolella jää 100 mm vapaata tilaa ilmakiertoa ja siivousta varten. Patterit piirrettiin kuvan 12 mukaisesti MagiCadiin ja patterin tietoihin syötettiin MagiCad Roomilla laskettu lämmitystehontarve sekä Purmon laskentaohjelmasta valitun patterin koko ja malli.



Kuva 12. Pattereiden piirtäminen ja tietojen syöttäminen MagiCadissä.

## 6.2 Lämpimän käyttöveden putkiston suunnittelu

Käyttövesiverkosto suunniteltiin ja piirrettiin MagiCad-suunnitteluohjelmalla. Runkolinja sisältää kylmän käyttöveden, lämpimän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kiertojohdon. Kuvan 13 mukaisesti runkolinjat sijoitettiin käytävien alaslaskettuihin kattoihin. Nousulinjat sijoitettiin yhteen pystynousuun. Vaihtoehtoinen ratkaisu olisi voinut olla esimerkiksi pystylinjojen sijoittaminen jokaiseen huoneistoon. Runkolinjasta piirrettiin jokaiseen huoneistoon linja kylpyhuoneeseen saakka, jossa putki vaihtuu vesikalusteille mentäessä. Runko on kylpyhuoneeseen saakka kuparia ja vesikalusteille taipuisaa PEX-muoviputkea. Lämpimän veden kiertojohto piirrettiin kulkemaan kylpyhuoneisiin saakka, jotta lämpimän veden odotusaika vesikalusteelta vettä laskiessa ei muodostuisi liian pitkäksi. Kiertojohdon jälkeen piirrettiin vesimittarit sekä sulut huoneistojen vedenkulutuksen seuranta varten.



Kuva 13. Käyttövesiverkoston piirtäminen MagiCadilla.

Lämpimän käyttöveden kulutus laskettiin yksinkertaisesti Motivan kaavalla:

$$Q_{lqv} = 58 \cdot V_{lqv} \quad (1)$$

Kaavassa lämpimän käyttöveden  $V_{lqv}$  oletusarvona voidaan pitää asuinrakennuksissa  $0,6 \text{ m}^3/\text{brm}^2$  ( $= 600 \text{ dm}^3/\text{brm}^2$ ) vuodessa. Esimerkkikohteen lämpimän käyttöveden kulutukseksi tällä laskentakaavalla saadaan  $34\,800 \text{ kWh}$  vuodessa.

Lämpimän käyttöveden kiertojohton pituus saatiin MagiCadin Bill of Materials-ominaisuuden avulla selville. Kiertojohton pituus oli  $325$  metriä. Tästä saadaan  $10 \text{ W/m}$  lämpöhäviölaskennalla kiertojohton jatkuvaksi lämpöhäviöiksi  $3,25 \text{ kW}$  eli vuodessa lämpimän käyttöveden kiertojohton häviöksi saadaan  $28\,470 \text{ kWh}$ .

Lämpimän käyttöveden energiankulutus kiertojohton kanssa vuodessa on siis  $63\,270 \text{ kWh}$ .

### 6.3 Maalämpöpumpun valinta

Lämpöpumppu mitoitettiin lämpöpumpputoimittajan mitoitushjelmalla. Ohjelmaan syötettyjä lähtöarvoja on esitetty taulukossa 1. Taulukossa 2 on esitetty mitoitustulokset. Mitoitusohjelma otti huomioon lämpöpumpun tehon laskennassa tehontarpeista rakennuksen lämmityksen tehontarpeen mitoituskolämpötilassa sekä lämpimän veden keskimääräisen tehontarpeen.

Taulukko 1. Mitoitusohjelmaan syötettyjä lähtöarvoja.

Sijainti	Helsinki
Vuoden keskilämpötila	4,7 °C
Lämmitettävä pinta-ala	1000 m <sup>2</sup>
Ikkunapinta-ala	80 %
Kerrosten lukumäärä	3
Sisälämpötila	21°C
Asumisesta tuleva lämpö	3°C
Mitoitusulkolämpötila	-26°C
Menoveden lämpötila	45°C
Paluueden lämpötila	30°C
Teho MUT:lla	32,9 kW
Lämpimän käyttöveden energia	63 270 kWh

Taulukko 2. Lämpöpumpun mitoitustulokset.

Rakennuksen energiantarve	138 576 kWh
Ostettu kokonaisenergia	36 842 kWh
SPF	3,8
Lämpöpumpun teho MUT:lla	43,1 kW

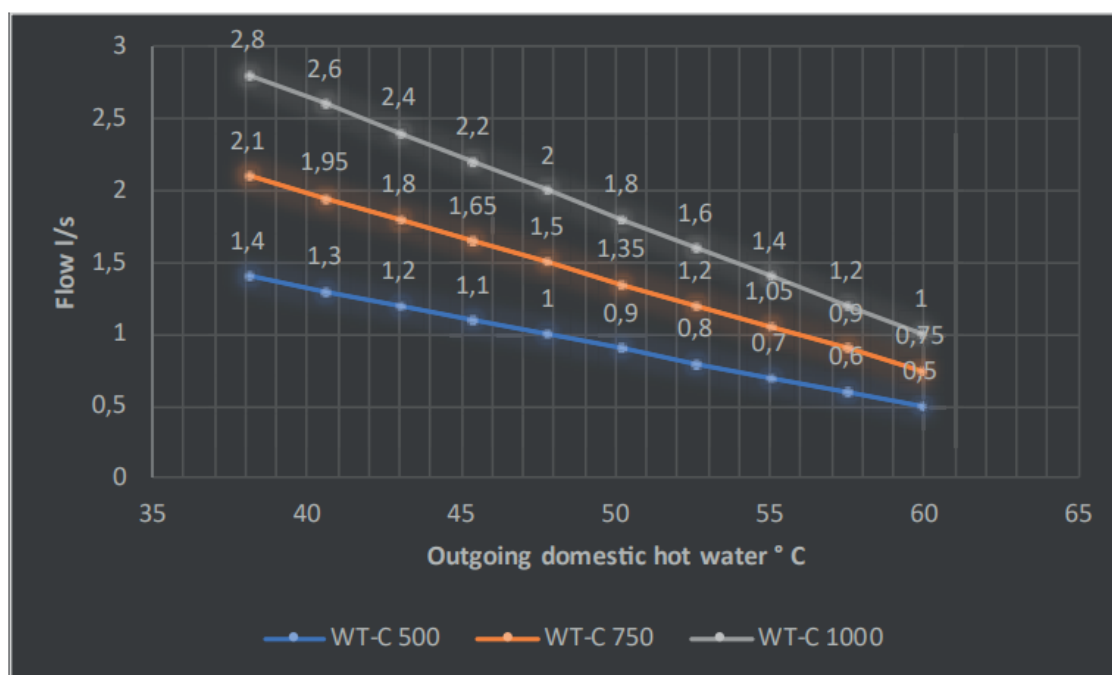
### 6.4 Varaajien mitoitus ja valinta

Kohteen lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on 0,93 l/s. Kohteessa on 21 huoneistoa ja suihkuja 21 kappaletta. Kuvan 14 taulukosta suihkujen määrän perusteella varaajaksi valitaan 500 litran varaaja. Mitoitusvirtaaman mukaan kuvasta 15 saadaan varaajan tilavuudeksi 750 litraa, jos varaajan yläosassa

veden lämpötila on vähintään 62 astetta. Kulutushuippujen aikana varaajaveden lämpötila on todennäköisesti ajoittain alempi, joten varaajan tilavuudeksi voitaisiin valita 1000 litran varaaja. Taulukon 14 mukaan 1000 litran varaajassa on 4 käyttövesikierukkaa. Todennäköisesti 750 litran varaajakin on riittävä 3 käyttövesikierukalla, koska suositeltu mitoitusvirtaama varaajalle on 1,05 l/s.

Hot water tank	Sets of coils	Recommended Flow l/s	Apartments	Showers	Pressure drop kPa
WT-C 500	2	0,7	10	30	23,44*
WT-C 500 FC	2	0,7	10	30	23,44*
WT-C 750	3	1,05	15	45	23,44*
WT-C 750 FC	3	1,05	15	45	23,44*
WT-C 1000 FC	4	1,4	20	60	23,44*

Kuva 14. Lämpöpumppuvalmistajan käyttövesivaraajan mitoitustaulukko. [18.]

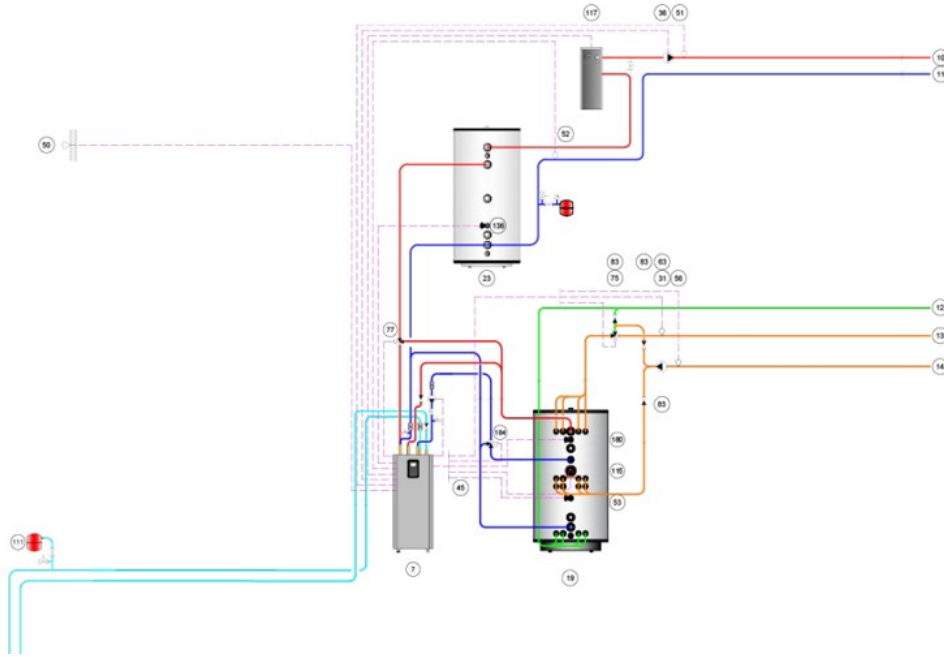


Kuva 15. Lämpimän käyttöveden lähtölämpötila varaajasta virtaamasta riippuen, kun varaajan veden lämpötila on 62 astetta ja varaajan tulevan kylmän veden lämpötila 9 astetta. [18.]

Puskurivaraajan koko mitoitetaan siten, että varaajassa on vesitilavuutta vähintään 10 litraa/kW. Kohteen lämpöpumpun teho on 43 kW, joten puskurivaraajan tilavuus on oltava vähintään 430 litraa. Puskurivaraajan tilavuudeksi valitaan siten 500 litraa.

## 6.5 Lämpöpumpun kytkentäkaavio

Alla olevan kuvan 16 kytkentäkaavio havainnollistaa tässä esimerkkikohteessa käytettävän maalämpöpumpun ja varaajien toimintaa. Maalämpöpumpuna toimii invertteriohjattu maalämpöpumppu. Invertteriohjatulla lämpöpumpulla tarkoitetaan pumppua, jonka tehoa voidaan säätää muuttamalla kompressorin kierroslukua. Pumppu lämmittää punaiseksi merkittyä viivaa pitkin vuorotellen puskurivaraajaa tai käyttöveden varaajaa vaihtventtiilin avulla. Turkoosin siniset viivat kuvastavat keruuliuospiiriä, joka kiertää maalämpöpumpun ja energiakäivojen kautta. Oikealla alhaalla on käyttövesivaraaja, josta lähtee punainen sekä sininen viiva maalämpöpumpulle. Nämä viivat kuvastavat käyttöveden varaajan lämmitystä. Vihreä linja kuvastaa kylmää käyttövettä, joka kulkeutuu varaajan alaosaan, josta se lämpiää varaajan sisällä kierukkaa pitkin varaajan yläosaan. Yläosasta keltaoranssit linjat kuvaavat lämmintä käyttövettä ja kiertolinjaa. Puskurivaraajalle kulkeutuvat ainoastaan varaajaa lämmittävä vesi sekä paluuvesi. Sieltä lähtevät myös lämmitysverkostoon meno- ja paluuedet.



Kuva 16. Esimerkkikohteen havainnollistava kytkentäkaavio [18].

## 6.6 Energiakaivokentän alustava mitoitus

Energiakaivokenttä mitoitettiin alustavasti kuvan 17 Excelillä, joka on käytössä esimerkiksi lämpöpumppukurssin harjoituksissa. Tarkempi mitoitus pitää aina tehdä jollakin kaivomitoitustyökalulla, esimerkiksi EED-mitoitusohjelmalla. Energiakaivokentän mitoituksen lähtötiedot saatiin energialaskelmasta ja lämpöpumpun mitoitusohjelmasta.

Energiakaivokentästä vuodessa otettava lämpöenergia ja hetkellinen teho lasketaan lämpöpumpun lämpökertoimen avulla lämpöpumpulla vuodessa tuotetusta lämpöenergiasta ja lämpöpumpun tehosta. Valitulla lämpöpumpulla energiakaivokentästä otetaan lämpöä vuodessa 102 MWh. Lämpötehoa energiakaivokentästä otetaan hetkellisesti 32 kW.

Kaivokapasiteetti eli tarvittava kaivometrimäärä saatiin jakamalla energiakaivokentästä otettava lämpö valitulla ominaiskuormituksella 108 kWh/m.

Ominaiskuormitus tarkoittaa, että kaivosta otetaan lämpöenergiaa keskimäärin 108 kWh jokaista metriä kohden. Kaivokapasiteetiksi saatiin 948 metriä.

lämpöpumpun teho-osuus	100	%			
lämpöpumpun teho	43,1	kW			
lämpöpumpun energiapeitto	100	%			
lämpöpumpun tuotto vuodessa	139	MWh			
huipun käyttöaika	3225	h			
5 Energiakaivokentästä otettava energia vuodessa					
COP (energia)	3,8	Patterilämmitys	2,7 ... 3,5		
COP (teho)	3,8	Lattialämmitys	3,5 ... 4,5		
energiakaivokentästä otettava energia vuodessa			102	MWh	
energiakaivokentästä otettava teho lämpöpumpun maksimiteholl			32	kW	
8 Energiakaivokapasiteetin arviointi (Etelä-Suomi, avoin kaivoryhmitys)					
ominaiskuormitus	108	kWh/m	kaivokapasiteetti	948	m

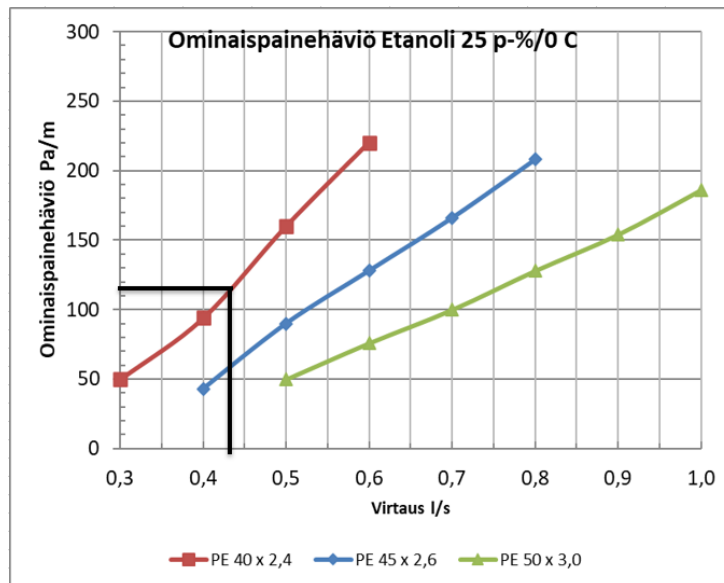
Kuva 17. Alustava kaivokapasiteetin laskenta [19].

Kaivojen lukumäärän laskemiseksi tarvitaan energiakaivokentän kokonaisvirtaama. Kokonaisvirtaama saadaan lämpöpumpun höyrystimen tehosta, joka on sama kuin maasta otettava lämpöteho. Kun liuoksen lämpötilaeroksi höyrystimessä valitaan 3 K, saadaan kokonaisvirtaamaksi 2,6 l/s.

Keruuputkiston koko valittiin kokeilemalla eri putkikokoja ja niiden vaikutusta kaivomääriin sekä kollektorin painehäviöön. PE 40 putkikoolla tavoitevirtaama on 0,45 l/s jokaista energiakaivoa kohti. Kaivojen optimaalinen lukumäärä saatiin jakamalla laskettu kokonaisvirtaama PE 40 putkikoon tavoitevirtaamalla. Lukumääräksi saatiin 5,7, eli 6 kaivoa, jolloin päästään riittävän lähelle optimaalista virtaamaa. Todelliseksi virtaamaksi saatiin 0,43 l/s.

Kollektorin painehäviö määritettiin kuvan 18 käyrästä.





Kuva 18. PE 40, PE 45 ja PE 50 kollektorin ominaispainehäviö [19].

Tehollinen kaivosyvyys saadaan jakamalla energiakaivokapasiteetti 948 metriä valitulla kaivojen lukumäärällä. Teholliseksi syvyydeksi saatiin 158 metriä per kaivo. Aktiivinen tai tehollinen syvyys tarkoittaa sitä syvyyttä, mikä on veden peitossa. Koko kaivo ei välttämättä ole veden peitossa, jolloin muutama metri voidaan lisätä syvyyteen, jotta tehollinen syvyys olisi 158 metriä. Myös irtomaan paksuus on otettava huomioon ja sitä lisättiin esimerkkiin 5 metriä. Kuvan 19 mukaisesti kokonaissyvyydeksi saatiin 165 metriä kaivoa kohden.

lämpöpumpun lämpöteho		43,1	kW		
COP <sub>teho</sub>		3,8			
lämpöpumpun höyrystinteho		32	kW		
lämmönkeruuliuksen tiheys		0,97	l/kg		
lämmönkeruuliuksen ominaislämpökapasiteetti		4,27	kJ/kgK		
liuksen lämpötilan muutos höyrystimessä		3	K		
energiakaivokentän virtamaama (kokonaisvirtaama)		2,6	l/s		
tavoitevirtaamat eri putkidimensioille:					
PE 40	125 Pa/m)		0,45	l/s	
PE 45	110 Pa/m)		0,55	l/s	
PE 50	100 Pa/m)		0,7	l/s	
<b>Määritetään energiakaivojen lukumäärä</b>					
valitaan kollektorin koko:		PE 40			
tavoitevirtaama		0,45	l/s		
ominaispainehäviö		125	Pa/m		
kaivojen lukumäärä		5,7	kpl		
<b>valittu kaivomäärä</b>		<b>6</b>	<b>kpl</b>		
todellinen virtaama		0,43	l/s		
ominaispainehäviö		115	Pa/m		
<b>Määritetään energiakaivojen syvyys</b>					
ominaiskuormitus				108	kWh/m
energiakaivokapasiteetti				948	m
kaivojen lukumäärä				6	
tehollinen syvyys / kaivo				158	m
valittu tehollinen syvyys / kaivo				160	m
<b>kaivon kokonaissyvyys (riippuu irtomaan paksuudesta)</b>				<b>165</b>	<b>m</b>
kollektorin painehäviö				38	kPa
ominaisteho	huippukuormalla 30...35 W/m			33	W/m

Kuva 19. Kaivojen mitoitus PE 40 putkella [19]

Kollektorin painehäviö ei saa olla liian korkea, jotta pumppauskustannukset eivät kasva liikaa. Alustavassa mitoituksessa yksittäisen kaivon kollektorin painehäviö on hyvä olla alle 100 kPa, koska esimerkiksi kokoojaputket ja -kaivot kasvattavat painehäviötä ja keruupiirin pumpun nostokorkeutta.

Pienelle tontille ei välttämättä saada sijoitettua kuutta kaivoa. Suuremmalla putkikoolla kaivojen määrä saadaan vähennettyä, mutta samalla kaivojen syvyydet kasvaisivat. Syvät kaivot ovat kalliimpia rakentaa, jolloin kustannuksien kannalta useampi matala energiakaivo voi olla taloudellisesti järkevämpää.

## 7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli luoda pohja maalämmön pääkomponenttien mitoittamiseen asuinkerrostalossa ja siinä huomioitaviin asioihin. Tarkoitus oli myös tutustuttaa lukija yleisesti maalämpöön ja sen toimintaperiaatteeseen. Työssä käytiin läpi maalämpölaitoksen suunnitteluun vaadittavia lähtötietoja, kuten lämmitysenergiantarvetta ja lämpimän veden kulutusta sekä niiden laskentaa uudiskohteeseen, josta ei ole kulutushistoriatietoja saatavilla. Pääkomponenttien eli maalämpöpumpun, energiakaivon, lämmönluvutuslaitteiden ja varaajien mitoitus toteutettiin lopuksi esimerkkikohteeseen.

Mitoituksessa hyödynnettiin laskentaohjelmia, eikä kaikkia vaiheita laskettu käsin, koska nykyään maalämmön mitoitukseen käytetään valmiita mitoitus työkaluja ja niitä päästään hyödyntämään, kun lähtötietoja on selvillä.

Mitoituksessa käytettiin MagiCad-suunnitteluohjelmistoa lämmitystehontarpeen laskentaan sekä tekniikoiden mallintamiseen. Työssä hyödynnettiin myös maalämpövalmistajan mitoitusohjelmia ja taulukoita eri laitteiden ja tehojen laskemiseen sekä Metropolia Ammattikorkeakoululta saatua energiakaivokenttämitoituksen Excel-laskuria.

Maalämpö oli aiheena hyvinkin tuntematon ennen työn aloitusta ja kokonaisuuden oppiminen ja rakentaminen tuotti haasteita. Kokemus MagiCad-ohjelmiston käytöstä asuinkerrostalojen suunnittelusta helpotti lähtötietojen laskentaa sekä mallintamista huomattavasti.

Työssä saatiin mitoittettua pääkomponentit, vaikkakaan kokonaisuus ei liene optimaalisin esimerkiksi hyötysuhteen kannalta. Insinööriyön kirjallista osaa voidaan pitää selkeänä yleiskatsauksena aiheeseen myös sellaisen lukijan kannalta, joka ei tunne aihetta erityisen hyvin.

## Lähteet

- 1 Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. 2022. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa>>. Päivitetty 7.10.2022. Luettu 1.9.2023.
- 2 Uudenmaan geoenergiaselvitys. 2020. Geologian tutkimuskeskus, Uudenmaan liitto, Uudenmaan ELY-keskus. 2020. Helsinki. Uudenmaan liitto.
- 3 Arola, Teppo. 2022. Suomen maankamarassa on 300 metrin syvyyteen asti sitoutuneena niin paljon lämpöä, että siitä riittäisi kaukolämpöä yli 25 000 vuodeksi. Miksei tällä lämmöllä ole jo ratkaistu kaikkea tarvitsemaamme lämmöntuotantoa? Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus. <<https://www.gtk.fi/ajankohtaista/suomen-maaperassa-on-300-metrin-syvyyteen-asti-sitoutuneena-niin-paljon-lampoa-etta-siita-riittaisi-kaukolampoa-yli-25-000-vuodeksi-miksei-talla-lammolla-ole-jo-ratkaistu-kaike-tarvitsemaamme-lamm/>>. Päivitetty 29.7.2022. Luettu 2.9.2023.
- 4 Lämpöä omasta maasta. 2012. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)>. Luettu 4.09.2023
- 5 Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 6 Lehtinen, Jari. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Verkkoaineisto. Lämpövinkki Oy. <<http://docplayer.fi/110904-Maalampopumpun-ja-maalammonvalinta.html>>. Luettu 5.9.2023
- 7 Buff up your knowledge of buffer tanks. 2016. Verkkoaineisto. Kensa Heat Pumps. <<https://www.kensaheatpumps.com/buff-up-your-knowledge-of-buffer-tanks/>>. Luettu 10.9.2023
- 8 Tuuliainen, Ismo. 2022. Maalämpöjärjestelmän suunnittelun ja mitoituksen lähtökohdat. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 9 Käyttöveden lämpötila ja laatu. 2019. Verkkoaineisto. Talotekniikka info. <<https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatu>>. Luettu 18.9.2023.
- 10 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. 1047/22.12.2017.

- 11 Mitä maalämpö maksaa? Verkkoaineisto. Gebwell. <<https://gebwell.fi/maalampo/mita-maalampo-maksaa/>>. Luettu 20.9.2023.
- 12 Maalämpöpumput kerrostaloissa-mitoita maalämpöpumppu oikein. Verkkoaineisto. Gebwell. <<https://gebwell.fi/maalampo/maalampopumput-kerrostaloissa-mitoita-maalampopumppusi-oikein/>>. Luettu 20.9.2023.
- 13 Vedenkulutus taloyhtiössä. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot\\_-\\_yhdedssa\\_energiatehokkaasti/vesi\\_ja\\_vedenkulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_-_yhdedssa_energiatehokkaasti/vesi_ja_vedenkulutus)>. Luettu 21.9.2023.
- 14 Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian kaytto/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)>. Luettu 21.9.2023.
- 15 Tuovinen, Jimi. 2022. Lämpimän käyttöveden kierron mitoittamisohje. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Suutari. Tero. COP vs. SCOP-hyötysuhteiden erot. Verkkoaineisto. Nilan. <<https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>>. Luettu 22.9.2023.
- 17 Ranta-Korpi, Matias. 2018. Aurinko- ja ilmalämmön hyödyntäminen maalämpöjärjestelmän energiatehokkuuden parantamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Aaltodoc-tietokanta.
- 18 Rontti, Aappi. 2023. Projekti-insinööri, Thermia Finland Oy, Espoo. Sähköposti 26.9.2023.
- 19 Valkeapää, Aki. 2023. Lämpöpumput ja lämpöpumppulaitokset. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.