



Juhani Kivikoski

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnitteluoehje Helsingin seudulle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

1.3.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Juhani Kivikoski
Otsikko:	Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnitteluohje Helsingin seudulle
Sivumäärä:	31 sivua + 2 liitettä
Aika:	1.3.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	koulutuspäällikkö, projektipäällikkö Matti Järvinen yliopettaja Aki Valkeapää

Opinnäytetyöni tavoitteena oli luoda suunnitteluohje LVI-suunnittelijan avuksi maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmien suunnitteluprojekteihin. Hybridilämmitysjärjestelmät ovat vasta yleistymässä Suomessa, minkä takia aineistoa suunnittelun tueksi on myös rajallisesti saatavilla. Opinnäytetyö on tehty Hepacon Oy:lle, jonka toimialueeseen kuuluu muun muassa LVIA-suunnittelu ja energiasuunnittelu. Suunnitteluohjeen laatimisessa olen hyödyntänyt yrityksen aikaisempien projektien pohjalta saatuja tietoja, yrityksen työntekijöiden kokemuksia sekä ulkoisista lähteistä löytynyttä tietoa.

Työssä tarkastellaan maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnitteluprosessin kulkua, sekä avataan järjestelmän toimintaperiaatetta ja mitoittamista. Lämmitysjärjestelmien energiatehokkuutta ja taloudellista kannattavuutta niin tilaajan kuin loppukäyttäjän näkökulmasta on tärkeää tarkastella kattavasti, jotta lopputulos vastaa hankkeen tavoitteita. Jotta suunnittelu olisi tehokasta, se kannattaa vaiheistaa.

LVI-suunnittelijan tulee ymmärtää järjestelmän toiminta- ja mitoitusperusteet, jotta suunnitteluprosessin eri vaiheissa osataan tehdä tarpeenmukaista suunnittelutyötä. Suunnitteluohje avaa koko suunnitteluprosessin vaiheiden tavoitteet, menetelmät ja lopputulokset. Tehokas, tarpeen mukainen ja virheetön suunnittelu on jokaisen hankkeen tavoite LVI-suunnittelijan näkökulmasta. Jotta tähän tavoitteeseen päästään, suunnittelutyön avuksi tarvitaan sitä tukevaa materiaalia.

Avainsanat: maalämpö, hybridilämmitys, lämmitysjärjestelmät, LVI-suunnittelu, energiasuunnittelu, suunnitteluohje, suunnitteluprosessi

Abstract

Author: Juhani Kivikoski
Title: Design Guideline for Geothermal and District Hybrid Heating System in Helsinki Region
Number of Pages: 31 pages + 2 appendices
Date: 1 March 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Matti Järvinen, Head of training, Project Manager
Aki Valkeapää, Principal Lecturer

The aim of the Bachelor's thesis was to create a design guideline to support HVAC designers in the design of hybrid heating systems utilizing both geothermal and district heating. The development of the design guideline was based on data from previous projects carried out by the commissioning company, as well as the experience of experts.

The thesis discussed the design process of a ground-source hybrid heating system in Helsinki region, as well as the system's operational principles and sizing methods. The energy efficiency and economic viability of heating systems was analyzed from the points of view of both clients and end-users.

As the HVAC designer must understand the principles of system operation and sizing to complete the various design phases successfully, the design guideline created in the thesis covered the objectives, methods, and results of each stage of the design process. The design guide created in the thesis ensures that every design project achieves efficient, accurate, and error-free design.

Keywords: ground source heat pump, geothermal heat pump, hybrid heating, heating systems, HVAC design, energy planning, design guideline, design process

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämmitys Helsingissä	1
2.1	Kaukolämpö	2
2.2	Maalämpö	5
2.2.1	Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit	5
2.2.2	Hyötysuhde	8
3	Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelu	9
3.1	Järjestelmän suunnittelun vaiheistus ja tavoitteet	9
3.2	Maalämmön luvanvaraisuus ja ympäristön rajoitteet	11
3.2.1	Ennakkotiedustelu ja rakennettavuusselvitys	11
3.2.2	Maaperän ominaisuudet	13
3.3	Kytkentäperiaate ja laitteiden sijoittelu	15
3.4	Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän mitoitus	20
3.5	Suunnitelma-asiakirjojen sisältö	25
4	Suunnitteluohjeen laatiminen	28
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

Liitteet

Liite 1: Suunnitteluohje

Liite 2: Maalämpökaivojen minimisuositukset Helsingissä

Lyhenteet

- CHP: *Combined heat and power*. Sähkön ja lämmön yhteistuotantoprosessi
- COP: *Coefficient Of Performance*. Maalämpöpumpun hyötysuhde
- CO₂: Hiilidioksidi
- HNH2035: Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma
- SCOP: *Seasonal Coefficient Of Performance*. Maalämpöpumpun vuotuinen hyötysuhde
- TRT: *Thermal response test*. Maalämpökaivolle tehtävä vastetestimittaus

1 Johdanto

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmällä on potentiaali parantaa kiinteistön energiatehokkuutta kustannustehokkaasti ja pienentää samalla hiilijalanjälkeä verrattuna pelkkään kaukolämpöjärjestelmään. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda suunnitteluohje, josta käy ilmi, miten maalämmön hybridijärjestelmä suunnitellaan ja mitä asiakirjoja suunnitelmat sisältää.

Suunnitteluohje on tehty Hepacon Oy:lle palvelemaan LVI-suunnittelijoiden tarpeita maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelun tueksi. Hepacon Oy on talotekniikan suunnittelu- ja konsultointiyritys, jonka toimialaan kuuluu muun muassa LVIA-suunnittelun lisäksi kylmä-, sähkö- ja energiatekninen suunnittelu. Hepacon Oy on perustettu vuonna 1978, ja nykyisin toimipisteet sijaitsevat Helsingissä sekä Oulussa ja työntekijöitä on yhteensä yli 80.

Työ on rajattu tarkastelemaan maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelua Helsingin seudulla.

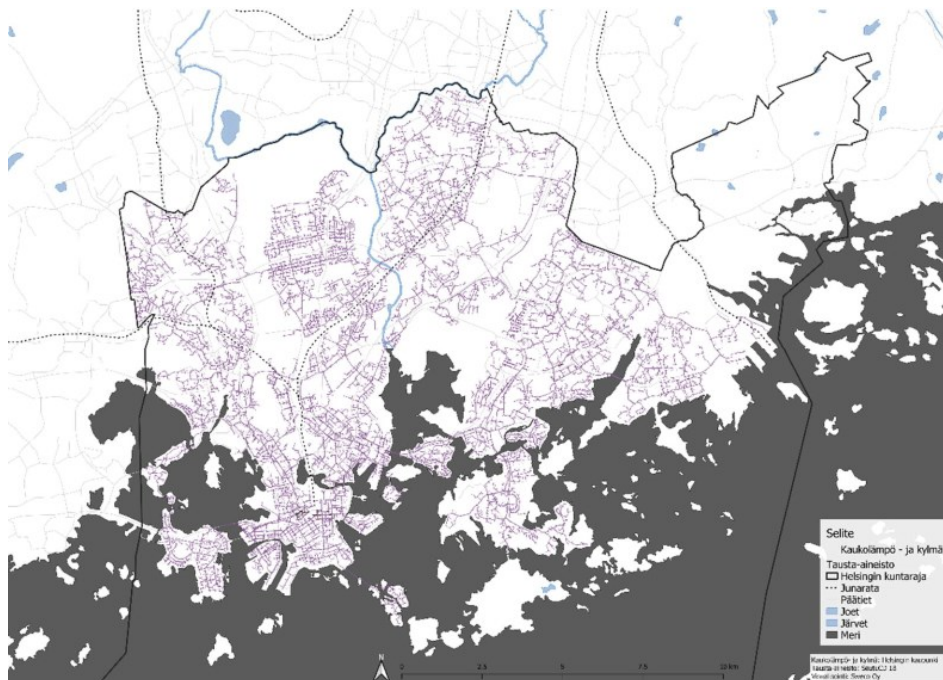
2 Lämmitys Helsingissä

Helsingin kaupungilla on määrätietoiset tavoitteet vähentää hiilidioksidipäästöjä tulevina vuosina. HNH2035-toimenpideohjelmassa annettu tavoite hiilineutraaliudesta tarkoittaa päästöjen pienentämistä 80 % vuoden 1990 hiilidioksidipäästötasosta. Tavoitteena on myös tuottaa 15 % lämmitysenergiasta paikallisesti maalämmöllä. Maalämmön osuus Helsingin lämmitysenergiasta oli vuonna 2022 noin 2 %. [1; 2.]

Vuonna 2021 Helsingin suorista hiilidioksidipäästöistä 58 % syntyi lämmityksestä, josta 91 % on tuotettu kaukolämmöllä. Lämmityksen hiilidioksidipäästöt koostuvat käytetyn lämmitysenergian määrästä ja lämmöntuotantotavan päästökertoimista. [1]

2.1 Kaukolämpö

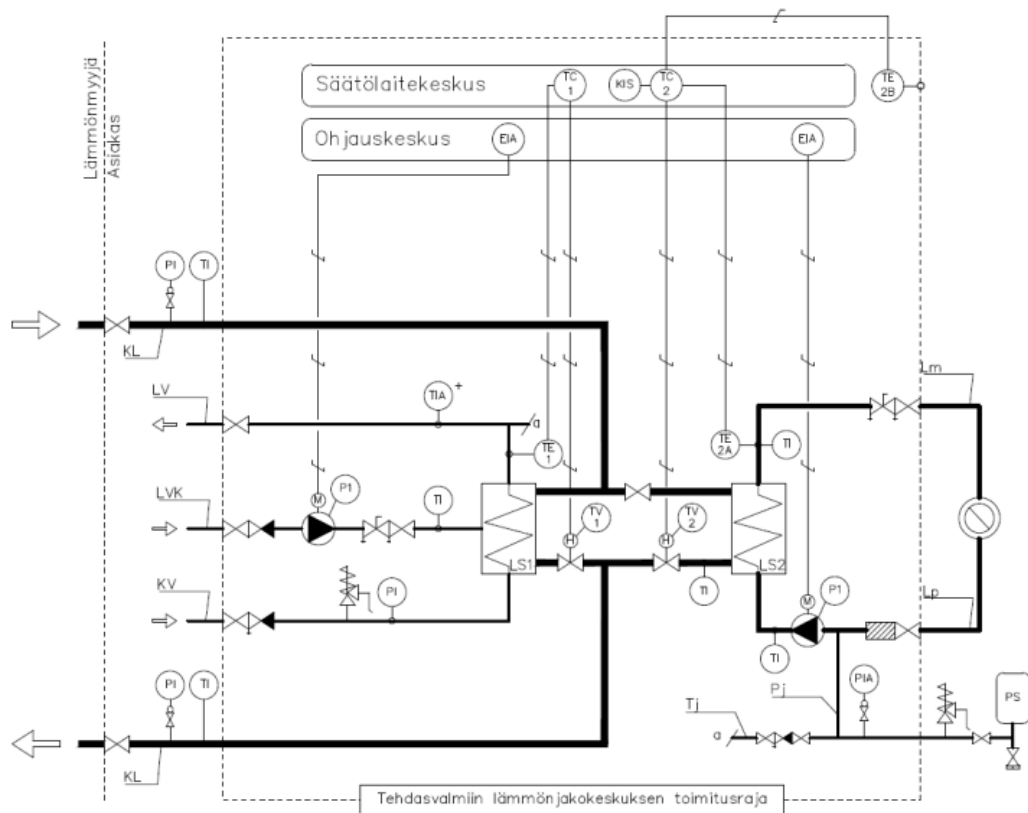
Kaukolämpö tarkoittaa sitä, että lämmitysenergia tuotetaan keskitetysti voimalaitoksissa, josta se jaetaan kaukolämpöverkosta pitkin loppukäyttäjille. Helsingissä 90 % kaukolämmöstä tuotetaan CHP-voimalaitoksissa, loput tuotetaan lämpökeskuksissa ja lämpöpumppulaitoksissa. [3] Helsingin seudun kaukolämpöverkosto kattaa suurimman osan Helsingistä. Östersundomin alueella ei nykyisellään ole kaukolämpöverkosta (kuva 1). [4]



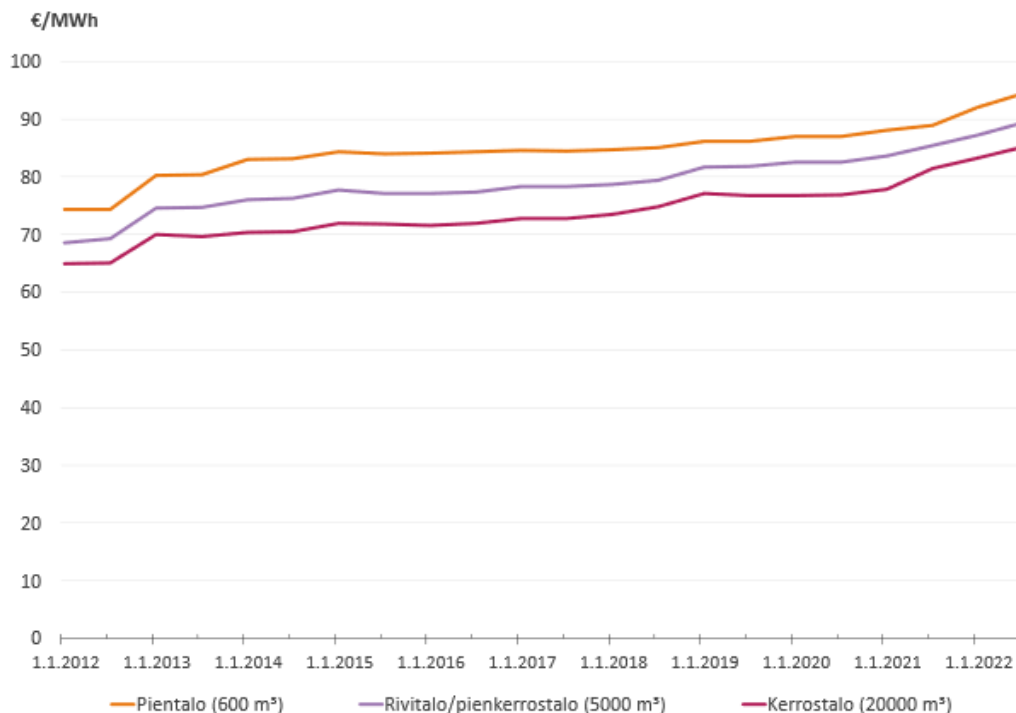
Kuva 1. Havainnekuva Helsingin kaukolämpöverkostosta [4].

Kaukolämpö tuodaan kaukolämpöverkosta pitkin rakennuksen lämmönjakohuoneessa sijaitsevaan kaukolämmön alajakokeskukseen. Lämmönjakokeskus toimitetaan yleensä tehdasvalmiina pakettina, joka on varustettu kaukolämmön toimittajan hyväksymien suunnitelmien mukaisella putkistolla, säätöventtiileillä,

lämmönsiirtimillä, pumpuilla, varolaitteilla ja mittareilla (kuva 2). Lämmönsiirtimet siirtävät kaukolämmön lämpöenergiaa rakennuksen lämmitysjärjestelmiin.



Kuva 2. Kaukolämmön kytkentäperiaate K1/2021-ohjeen mukaisesti [5].



Kuva 3. Kaukolämmön hinnan kehitys kymmenen vuoden tarkastelujaksolla [6].

Helen Oy tuottaa Helsingin seudulla kaukolämmön. Vuonna 2021 Helen Oy:n hiilidioksidin ominaispäästöt olivat 182 g/kWh. Helen Oy on sitoutunut Helsingin kaupungin tavoitteisiin tuottaa tehokkaammin ja ekologisemmin kaukolämpöä. Vuoteen 2035 mennessä Helenin tuottaman kaukolämmön ominaispäästöjen on arvioitu olevan noin 30 g/kWh. [7]

Helen Oy on arvioinut 2023 kaukolämmön hinnaksi keskimäärin 86 €/MWh (alv 0 %). Kaukolämmön hinta kuitenkin vaihtelee vuodenajan mukaan. Kesäkaudella kaukolämmön kysyntä on pienempää, jolloin sen hinta on keskimäärin yli puolet halvempi verrattuna talvikauden hintatasoon. Kaukolämmön käyttökustannukset ovat nousseet 10 viime vuoden aikana (kuva 3). [8]

2.2 Maalämpö

Maalämpö tarkoittaa maahan sitoutunutta lämpöenergiaa. Maalämpöä voidaan hyödyntää kiinteistöjen lämmitykseen maalämpöpumpun ja maalämpökaivojen avulla. Maalämpö on alkuinvestoinniltaan kallein yleisesti käytössä oleva lämmöntuontajärjestelmä, jonka kustannukset koostuvat maalämpökentän porauksesta, maalämpöpumpusta, keruuputkistosta, asennustyöstä ja suunnittelutyöstä. Maalämpö on kuitenkin käyttökustannuksiltaan edullinen ja sen takia elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyinen lämmitysjärjestelmävaihtoehto. [9]

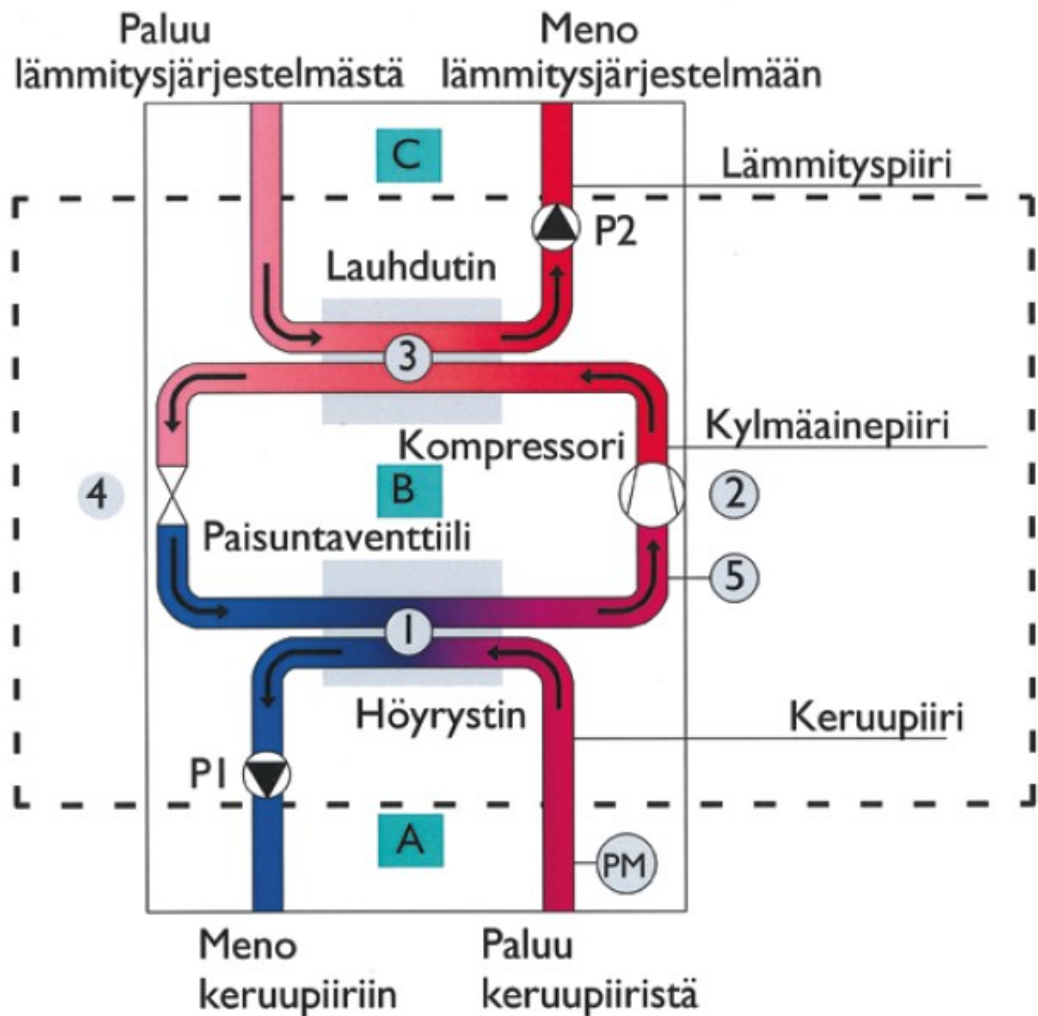
Jotta maalämpöjärjestelmä on taloudellisesti kannattava, se tarvitsee yleensä lisäenergian lähteen kattamaan rakennuksen huipputehontarpeet. Kun maalämpö mitoitetaan kattamaan 40–60 % mitoitustehontarpeesta, sillä voidaan tuottaa kohteen mukaan 80–99 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Lisäenergiälähteenä voidaan käyttää sähkökattilaa, öljykattilaa tai kaukolämpöä. Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmästä on kyse silloin, kun maalämmön rinnalle on kytketty kaukolämpö. [9]

Maalämpö on ilmastoystävällinen lämmitysratkaisu, sillä sen hiilidioksidipäästöt lasketaan kompressorin ottaman sähkön tuotannosta syntyneiden hiilidioksidipäästöjen perusteella. Vuonna 2021 Helen Oy:n tuottaman sähkön ominaispäästöt olivat 74 g/kWh. Sähkömarkkinoilla on tarjolla hiilineutraaleja sähkösovimuksia, joiden ansiosta maalämpöpumpulla pystytään tuottamaan päästöttöä lämpöenergiaa. [8]

2.2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit

Maalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin (kuva 4). Pääkomponentit lämpöpumpussa ovat kompressori, paisuntaventtiili, lauhdutin ja höyrystin. Kylmäaineen kiertoprosessissa höyrystin sitoo kylmäaineeseen lämpöenergiaa maalämpökaivojen keruupiiristä. Samalla tapahtuu kylmäaineen faasimuutos, jossa osittain höyrystynyt neste kaasuuntuu. Matalapaineinen kaasu johdetaan kompressorille, jonka tekemän työn ansiosta kylmäainepiiriin

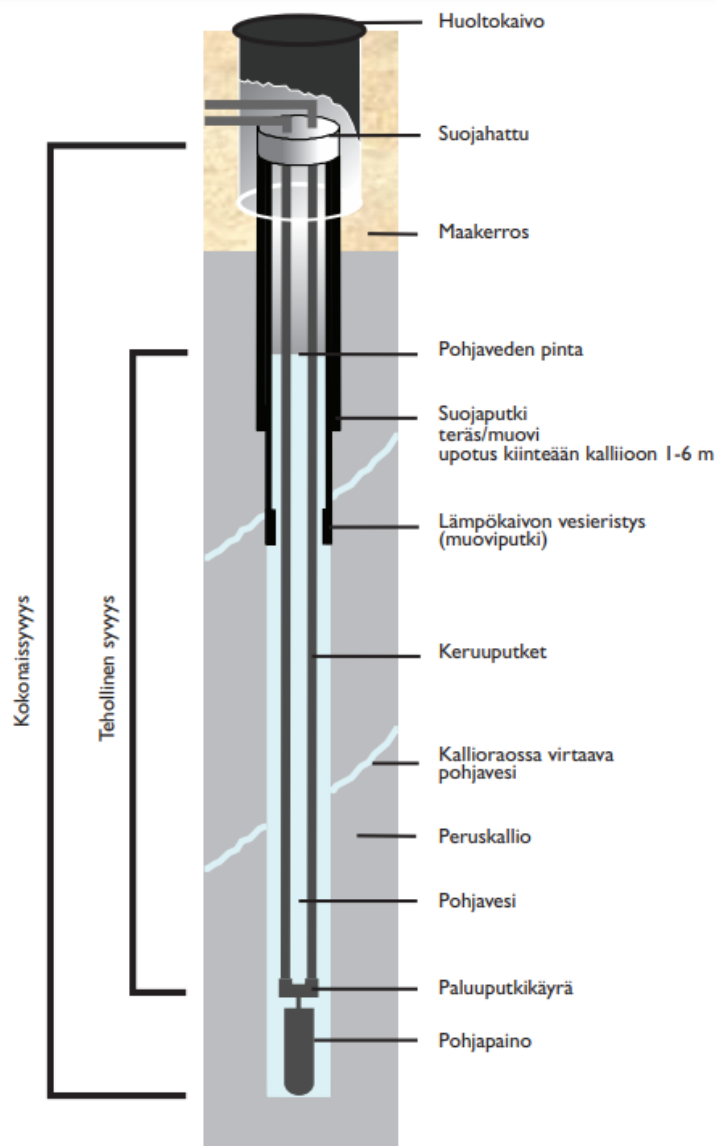
paine kasvaa, jolloin kylmäaineen lämpötila myös nousee. Korkeapaineinen ja kuumakaasumainen kylmäaine johdetaan lauhduttimelle, jossa tapahtuu toinen faasimuutos kaasusta nesteeksi, samalla se luovuttaa lämpöä rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Lopuksi korkeapaineinen neste johdetaan paisuntaventtiiliin, joka alentaa kylmäainepiirin painetta, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee. Paisuntaventtiililtä kylmäaine palaa höyrystimelle. [9]



Kuva 4. Maalämpöpumpun pääkomponentit [9].

Maalämpökaivot ovat kallioon porattuja halkaisijaltaan 105–165 mm olevia reikiä, joiden syvyys ja määrä riippuu lämmitysjärjestelmän lämmöntehontarpeesta ja maalämpöjärjestelmän mitoituksesta. Maalämpökaivoon asennetaan

muovinen U-putki, joka kerää lämpökaivon tehollisesta syvyydestä saatavaa lämpöenergiaa keruuputkistossa virtaavaan lämmönkeruunesteeseen (kuva 5). Lämmönkeruuneste on usein 28 %:n vahvuista bioetanolia, koska se on ympäristöystävällinen ja ominaisuuksiltaan hyvin soveltuva maalämpöjärjestelmiin. [9]



Kuva 5. Periaateleikkaus maalämpökaivosta [9].

2.2.2 Hyötysuhde

Lämpöpumppujen energiatehokkuus perustuu siihen, että lämpöpumpun ottaman sähköenergian määrä on pienempi verrattuna lauhduttimelta saatavaan lämpöenergian määrään [10, s.230–242].

Lämpöpumppujen hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella COP. COP tarkoittaa suhdelukua, joka kertoo tarkasteltavassa tilanteessa lauhduttimelta saatavan lämpötehon määrän verrattuna kompressorin kuluttamaan sähkötehoon. Esimerkiksi järjestelmälle annettu tarkasteltavassa olosuhteessa COP-arvo 3,6 tarkoittaa sitä, että yhtä otettua kilowattia sähkötehoa kohden lämpöpumpusta saadaan 3,6 kilowattia lämpötehoa hyödynnettyä lauhduttimelta. COP saadaan laskettua kaavalla 1.

$$COP = \frac{\phi_l}{P_k} \quad (1)$$

jossa

COP on hyötysuhde tarkasteltavassa toimintaolosuhteessa, –

ϕ_l on lauhduttimen lämpöteho, kW

P_k on kompressorin sähköteho, kW

Hyötysuhde voidaan myös ilmoittaa lämpökertoimella SCOP, joka tarkoittaa lämpöpumpun vuotuista hyötysuhdetta. Vuotuinen hyötysuhde kertoo koko vuoden aikana käytetyn sähköenergian suhteen koko vuoden tuotettuun lämpöenergiaan verrattuna.

Hyötysuhteeseen vaikuttaa lämmitystehontarve, lämpöpumpun mitoitus ja lämpöpumpun höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilat. Taulukossa 1 on havainnollistettu erään kylmäaineella R407C toimivan kompressorin todellinen hyötysuhde, kun höyrystymislämpötila on -5 °C ja lauhtumislämpötila on $+40\text{... }60\text{ °C}$. Tarkasteltavissa tilanteissa kylmäaine alijäähtyy 5 K ja tulistuu 7

K. Vertailtaessa eri lämpöpumpuille ilmoitettuja lämpökertoimia tulee varmistaa, missä olosuhteissa lämpökerroin on ilmoitettu. Lämpökertoimia laskettaessa käytetään virallisia standardeja EN 14511 ja EN 14825, jolloin ne ovat vertailukelpoisia.

Taulukko 1. Höyrystimen ja lauhduttimen välisen lämpötilaeron vaikutus maalämpöpumpun lämpökertoimeen [10, s.230–242].

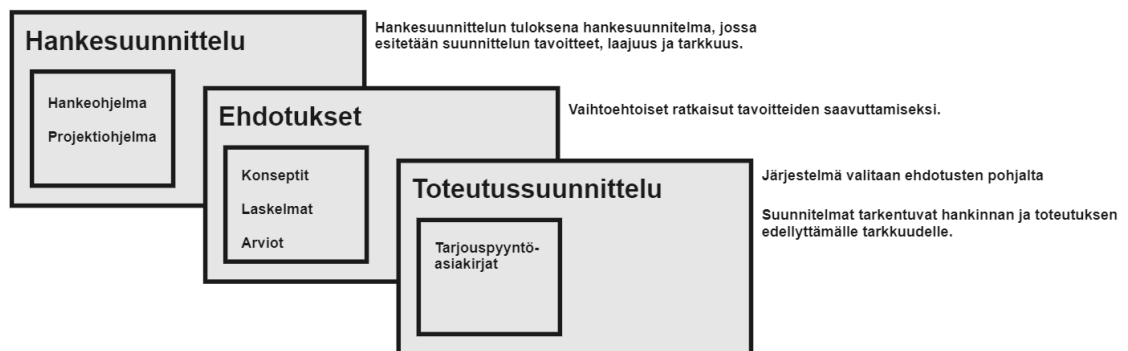
Käyntiolosuhteet (höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilat)	Lämpökerroin
-5/40 °C	3,7
-5/45 °C	3,3
-5/50 °C	3,0
-5/55 °C	2,7
-5/60 °C	2,4

3 Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelu

3.1 Järjestelmän suunnittelun vaiheistus ja tavoitteet

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelu on prosessi, joka sisältää muun muassa vertailua, asiakirjojen laatimista, dokumentointia, selvityksien tekemistä ja ongelmien ratkaisua. Lämmitystehon

tarpeiden, lämmitysverkostojen lämpötilojen ja rakennuksen käyttötarkoituksen vaihdeltaessa kohteittain, tämä tarkoittaa, että lämmitysjärjestelmänkin täytyy suunnitella räätälöidysti kohteittain. Suunnitelmien sisällön tarkkuus ja laajuus tavoitteet muuttuvat hankkeen edetessä, minkä takia suunnittelu vaiheistetaan periaatteeltaan kuvan 6 mukaisesti. [11]



Kuva 6. Suunnittelun vaiheistus. Idea RT 10-11105:n pohjalta.

Suunnittelu alkaa esiselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheella. Suunnittelua tehdään aluksi pääpiirteittäin konseptitasolla, jotta voidaan varmistua järjestelmän toteutettavuudesta, energiatehokkuudesta ja taloudellisesta kannattavuudesta. Hankesuunnitteluvaiheessa yleensä tarkastellaan monia eri lämmöntuotantojärjestelmiä, jolloin voidaan varmistua optimaalisimman järjestelmän löytämisestä kyseisen rakennuksen tarpeisiin. Hankesuunnitteluvaiheessa tavoitteena on tuottaa vaihtoehtoisista järjestelmistä materiaali, jonka perusteella saadaan käsitys rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuudesta, investointitasosta ja toteutuskonseptista. Tämä suunnittelumateriaali toimii tukena tilaajalle päätöksenteossa. Suunnittelu perustuu muuntuviin ja kiinteisiin osiin, jotka määrittävät suunnitelmissa käytettävää tarkkuutta. Suunnitelmia edistetään hankkeen vaiheiden mukaisesti yksityiskohtaisemmiksi vasta sitten, kun aikaisempien suunnitteluvaiheiden ehdotuksia ja konsepteja on lyöty lukkoon. [11; 12.]

Toteutussuunnitteluvaiheessa suunnitelmia täydennetään kyseisen kohteen erityistarpeiden mukaisesti. Toteutussuunnittelun tarkoituksena on täydentää konseptitason suunnitelmat tarkaksi hankinta-aineistoksi tilaajan edellyttämällä tarkkuudella. Toteutussuunnitteluvaiheessa järjestelmän suunnitelmien laatutason, laajuuden ja kattavuuden tulee olla sillä tasolla, että urakoitsija pystyy hankkimaan, toteuttamaan ja säätämään järjestelmän suunnitelmien mukaisesti. Valmiin järjestelmän tulee vastata tarkasti suunnitelmien mukaisia energiankulutus-, kannattavuus- ja kustannusarvioita. [11; 12.]

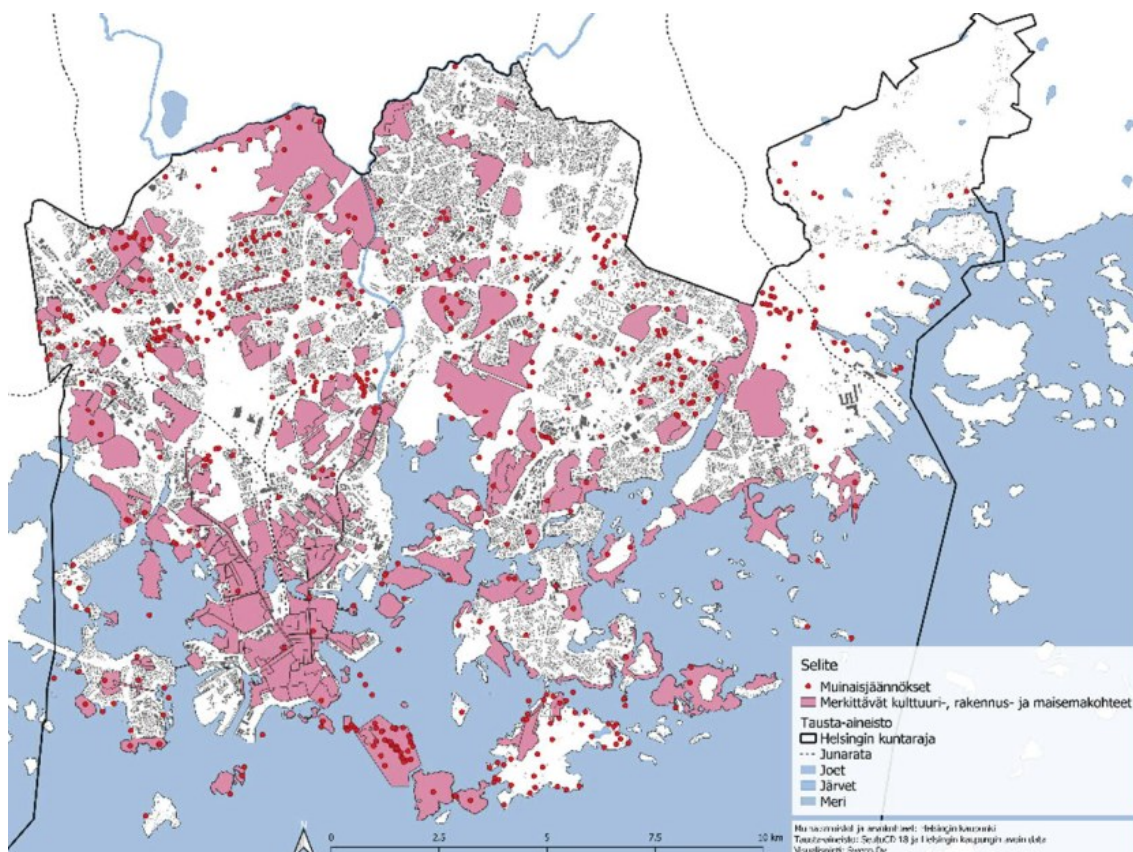
Eri suunnitteluvaiheiden tehtävät täydentävät toisiaan ja suunnittelun vaiheita voidaan yhdistää tehtäväksi samanaikaisesti. Suunnitteluprosessin kulku ja tarkkuus käytännössä määräytyy hankekohtaisesti tilaajan määrittämien rajojen sisällä. [11]

3.2 Maalämmön luvanvaraisuus ja ympäristön rajoitteet

3.2.1 Ennakkotiedustelu ja rakennettavuusselvitys

Maalämmön toteuttaminen vaatii aina toimenpide- tai rakennusluvan. Luonnon-suojelu-, vesi- ja muinaismuistolaisissa määrätään kulttuurillisesti, maisemallisesti ja luonnon kannalta tärkeäksi määritettyjen alueiden säilyttämisestä. Näiden erityislakien ja maankäyttö- ja rakennuslain pohjalta luodaan Helsingin asema- ja yleiskaava. [4] Kuvassa 7 on esitetty Helsingin kaavoitukseen vaikuttavat muinaismuistolain nojalla suojellut alueet.

Helsingissä on käytössä myös maanalainen yleiskaava, joka ohjaa maanalaista rakentamista. Maanalaiset olemassa olevat tai tilavarauksena esitetyt suunnitella olevat rakenteet ja tunnelit rajoittavat maalämpökaivojen sijoittelua. [4]



Kuva 7. Muinaismuistolailalla suojeltuja alueita Helsingissä [4].

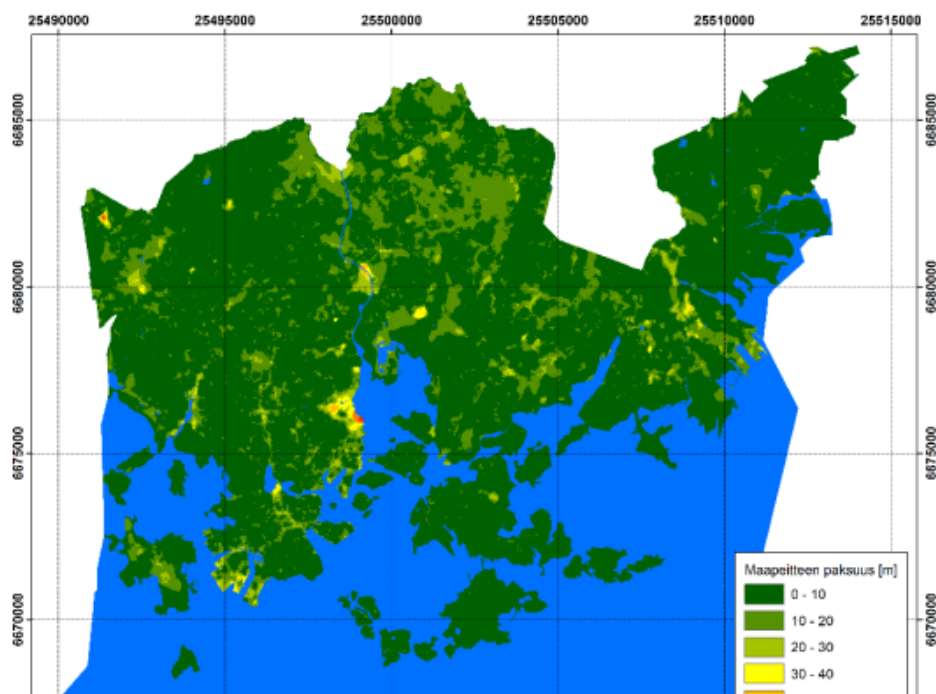
Helsingin kaupungilla on nettisivuillaan väylä tilata maksuton ennakkotiedustelu tai rakennettavuusselvitys maalämpökaivojen toteutusta varten. Ennakkotiedustelussa Helsingin johtotietopalvelut antaa lausunnon mahdollisista maalämmön toteuttamista rajoittavista tekijöistä ja listaa huomioita suunnittelun tueksi. Ennakkotiedustelussa voidaan myös kieltää maalämpöjärjestelmän toteuttaminen tontille vedoten asemakaavassa, yleiskaavassa tai maanalaisessa yleiskaavassa mainittuihin rajoittaviin tekijöihin. Ennakkotiedustelussa tulee esittää maanomistajan lupa maalämpökaivojen poraukselle. Jos kyseessä on esimerkiksi Helsingin kaupungin vuokratontti, maalämpöehto tulee olla mainittu maanvuokrasopimuksessa. Yleisille alueille sijoitettavista maalämpökaivoista tarvitaan erillinen sijoitussopimus Helsingin kaupungin kanssa. [13]

Rakennettavuusselvitys haetaan hankesuunnitteluvaiheessa, kun maalämpökaivojen sijainnit ja syvyydet ovat tiedossa asemapiirustuksessa.

Rakennettavuusselvityksessä Helsingin johtotietopalvelu tarkistaa, että porattavien kaivojen minimisuositukset täyttyvät ja mahdolliset huomiot ennakkotiedustelussa ovat otettu huomioon. Rakennettavuusselvitys tarvitaan maalämpökaivojen toimenpidelupaa haettaessa liitteenä. Rakennettavuusselvityksestä käytetään myös nimeä ”kaivuluvan johtoselvitys ja karttaote”. [13]

3.2.2 Maaperän ominaisuudet

Maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat paljon maankamaran ominaisuudet. Peruskallion päällä olevan irtomaapeitteen paksuus vaikuttaa maalämpöjärjestelmän hintaan ja porattavien maalämpökaivojen kokonaissyvyyteen. Irtomaaosuus pitää eristää teräksisellä maasuojaputkella, joka estää kaivon sortumisen ja pintaveden sekoittumisen kallionraoissa virtaavaan pohjaveeteen. Irtomaan poraus on kalliimpaa, ja se ei johda lämpöä yhtä hyvin kuin kallio, minkä takia sen paksuus täytyy ottaa huomioon tehtäessä arvioita toteutuksen kannattavuudesta ja lämpökaivojen syvyydestä. Irtomaapeitteen ollessa



Kuva 8. Irtomaapeitteen paksuus Helsingissä [4].

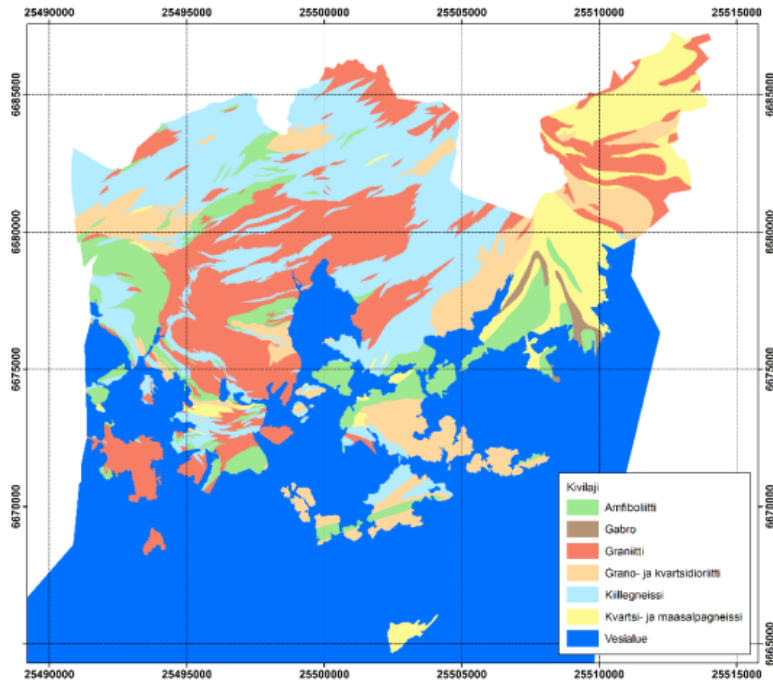
arviolta yli 50 metriä paksu, maalämpölämpöjärjestelmää ei ole kannattavaa toteuttaa. [9]

Helsingin seudulla irtomaapeitteen paksuus on keskimäärin hyvin ohut, keskimäärin noin 5 metriä, eikä sillä ole sen takia merkittävää kustannuksia kasvattavaa vaikutusta. Helsingin Arabian ja Kyläsaaren alueilla irtomaan paksuus voi olla paikoin yli 50 metriä (kuva 8). [14]

Kallioperästä saatavan energian määrä vaihtelee kivilajeittain ja sijainnin mukaan (taulukko 2, kuva 9). Muun muassa maanpinnan keskilämpötila, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus vaihtelevat paikan mukaan. Lämpökaivokenttien ja yksittäisten maalämpökaivojen käypä mitoitus vaatii aina tiedot kyseisen sijainnin maaperän ominaisuuksista ja ilmastosta. Tietoa saadaan Geologian tutkimuskeskuksen tekemien tutkimusten tai tontilla tehtävien mittausten perusteella. [4]

Taulukko 2. Helsingin yleisimpien kivilajien ominaisuuksia [14].

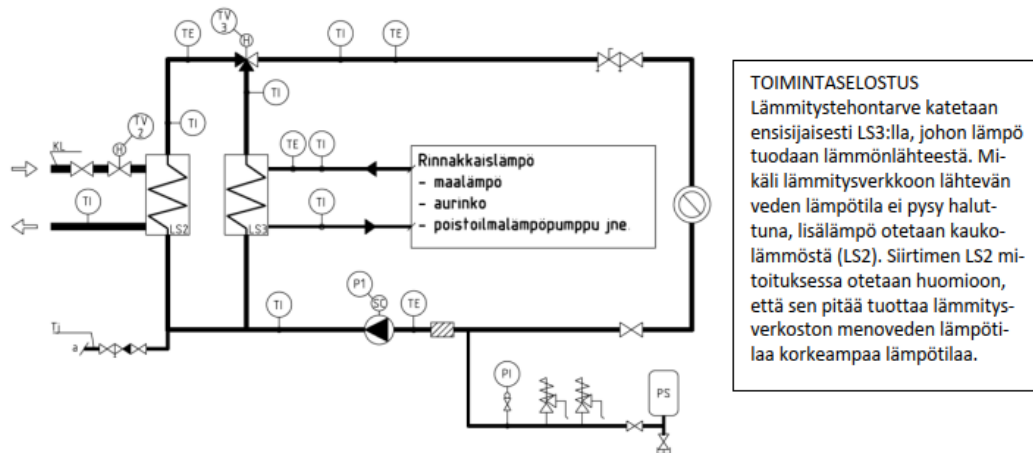
Kivilaji	<i>N</i>	<i>k</i> [W/m·K]	<i>C_p</i> [J/kg·K]	<i>ρ</i> [kg/m ³]
Amfiboliitti	10 (80)	2,66 (2,63)	731	2906 (2963)
Gabro	1 (105)	3,25 (2,71)	712	2804 (2937)
Graniitti	16 (272)	3,20 (3,61)	721	2640 (2670)
Grano- ja kvartsidioriitti	12 (270)	3,17 (3,61)	731	2675 (2699)
Kiillegneissi	9 (181)	2,87 (2,86)	725	2707 (2758)
Kvartsi-maasälpagneissi	2 (15)	3,10 (3,59)	723	2794 (2673)



Kuva 9. Yksinkertaistettu kivilajikartta [14].

3.3 KytKentäperiaate ja laitteiden sijoittelu

Energiateollisuuden julkaisussa määritellään kytKentäperiaate, miten rinnakkaislämmönlähde tulee kytkeä kaukolämmön rinnalle. KytKennän vaatimuksena on, ettei se heikennä asiakkaan lämmityksen toimintavarmuutta tai kaukolämmön veden jäähtymää. RinnakkaiskytKennällä varmistetaan, ettei rinnakkaislämmönlähde lämmitä lämmitysverkoston paluuvettä. Lämmitysverkoston säädössä voidaan käyttää kuvan 10 mukaista 3-tiesäätöventtiiliä. Säätö voidaan toteuttaa, myös muulla keinolla, kunhan se täyttää K1:ssä asetetut vaatimukset säätöloksille. [5]



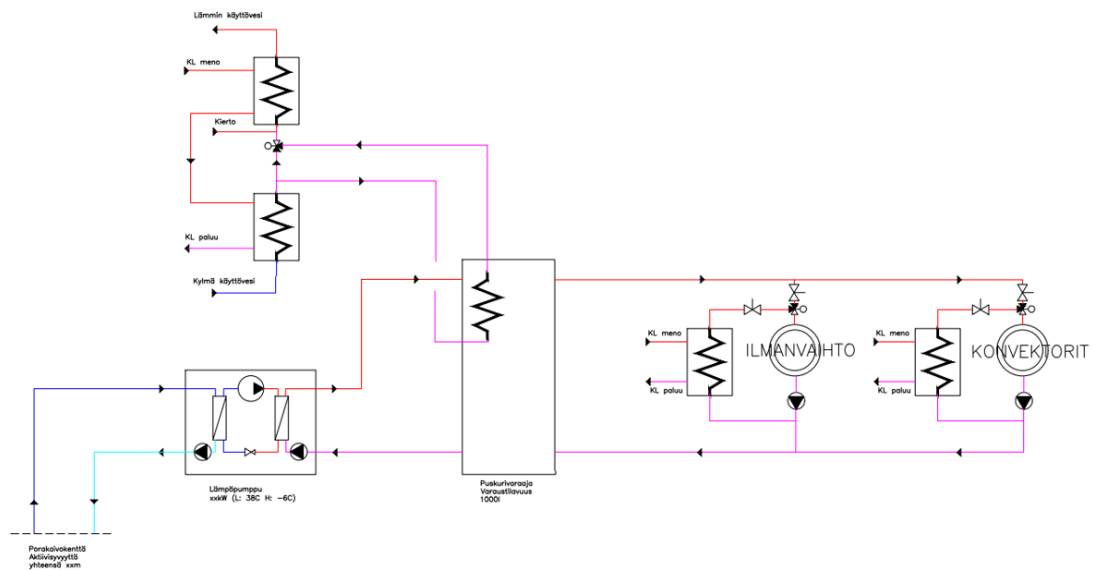
Kuva 10. Rinnakkaislämmönlähteen kytkeminen kaukolämmön rinnalle K1/2021 ohjeen mukaisesti [5].

Maalämpöpumpputermostusjärjestelmä kannattaa varustaa puskurivaraajalla, koska se pidentää maalämpöpumpun käyttöikää ja parantaa sen hyötysuhdetta. Lämmitettävän veden virtaama lauhduttimelle pysyy vakiona riippumatta lämmitysverkoston lämmitystehontarpeesta, jolloin varmistutaan siitä, että lämpöpumppu tuottaa joka tilanteessa lämpöä parhaalla hyötysuhteella. [10, s.230–242]

Puskurivaraajan ansiosta maalämpöpumppu käynnistyy harvemmin ja pysyy päällä pitempiä jaksoja. Useat ja lyhyet käynnistysjaksot rasittavat kompressoria enemmän kuin puskurivaraajan ansiosta saavutetut tasaiset ja pitkät käyntijaksot. Pitkien käyntijaksojen aikana maalämpöpumppu toimii myös paremmalla hyötysuhteella, koska kylmätekniikan kiertoprosessin vakioituminen kestää muutamia minuutteja ajan maalämpöpumpun käynnistymisestä. [10, s.230–242]

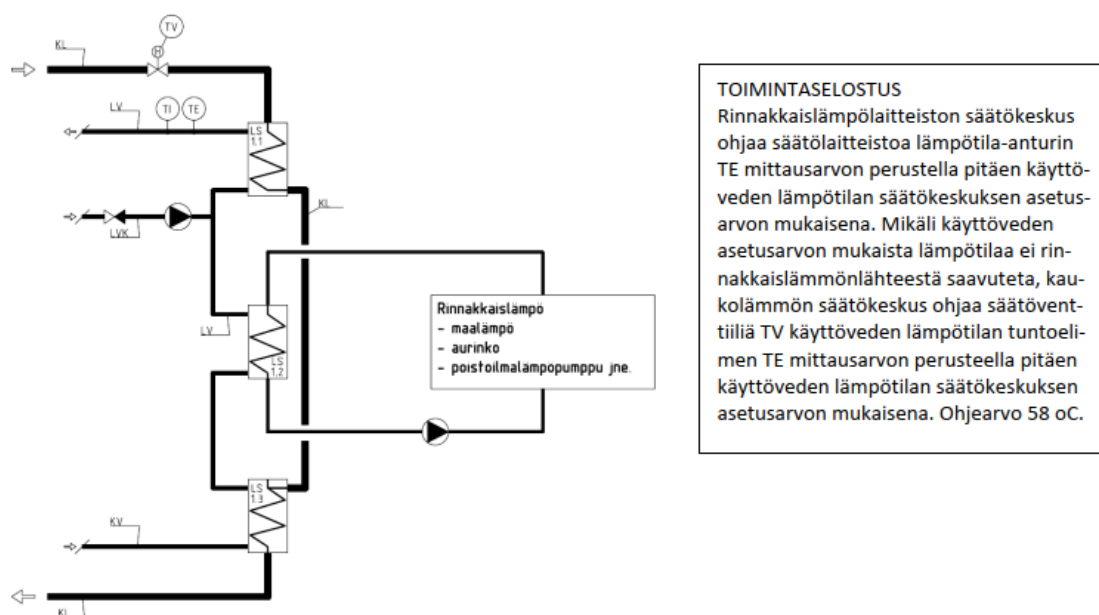
Kuvasta 11 voidaan nähdä mahdollinen kytkentätapa maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmälle, jossa lämpö jaetaan puskurivaraajan kautta toisiopuolen lämmityspiireihin. Tässä esimerkkikytkennässä maalämpöpumppu ohjataan tuottamaan varaajaan vettä lämpökäyrän mukaisesti. Kaikki rakennuksen eri lämmitysverkoston piirit, joissa on merkittävää lämmönkulutusta, on kytketty kaukolämmön rinnalle. Tällöin voidaan varmistua siitä, että maalämpöpumpun toiminta on tehokasta parhaalla lämpökertoimella. Tämä perustuu siihen, että mitä enemmän varaajasta pyydetään lämpöä piireihin suhteessa

lämpöpumpun kokoon, sitä enemmän varaajan lämpötila laskee lähemmäs verkostojen paluulämpötilaa, jolloin lämpöpumpulle palaavan lämmitysveden lämpötila on matalampi. Höyrystimen ja lauhduttimen välinen lämpötilaero pienee, jolloin lämpöpumpun lämpökerroin paranee. Tässä kytkennässä lämmitysverkostojen piirin lämpötila ja tehontarve ei vaikuta suoraan lämpöpumpun toimintaan, minkä ansiosta kytkentä on ohjauksellisesti helppo toteuttaa. [15]



Kuva 11. Periaatekytkentä maalämmön hybridijärjestelmälle puskurivaraajalla ja useammalla lämmitysverkostolla [15].

Käyttöveden lämmitykseen K1:ssä on erillinen ohjeistus (kuva 12). Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämmittämiseen ei saa kytkeä rinnakkaislämpöä, koska joissain käyttötilanteissa se voi johtaa suuriin lämpötilavaihteluihin kauko­lämmön liittymisjohdossa. [15] Kuvan 11 kytkennässä on käytetty lämmityksen puskurivaraajassa sijaitsevaa lämmityskierukkaa käyttöveden lämmittämiseen.



Kuva 12. Käyttöveden kytkentäperiaate rinnakkaislämmönlähteelle kaukolämmön rinnalle K1/2021-ohjeen mukaisesti [5].

Helen Oy vaatii, että maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän kytkentä kaukolämmön rinnalle on K1:n mukainen. Maalämpöpumppukytkennöille ei ole samanlaista virallista ohjeistusta, minkä vuoksi kytkentäperiaatteet voivat vaihdella laitteiden toimittajien välillä. Maalämpöpumppujärjestelmien eri kytkentätavat vaikuttavat sen hintaan, tehokkuuteen ja lämpökertoimeen. Eri kytkentäperiaatteet toteutetaan myös rakennusautomaation näkökulmasta eri periaattein. Tämän takia järjestelmän kannattavuusarvio täytyy tehdä kytkentäperusteisesti, jotta se vastaa suunnitellun järjestelmän ominaisuuksia. [15]

Kytkentäperiaatteen valintaan vaikuttaa myös käytettävissä oleva tila rakennuksessa. Jos kyseessä on saneerattava kohde, suunnittelun aluksi täytyy ottaa selvää lämmitysjärjestelmälle varatun tilan sijainnista ja tilavuudesta. Tila määrittää, millaisen järjestelmän rakennukseen voi asentaa. Kaukolämmön lämmönjakokeskus, maalämpöpumput, varaajat ja muut lämmitysjärjestelmään kuuluvat komponentit on saatava mahtumaan lämmönjakohuoneeseen. Laitteiston haalausreitit tulee myös selvittää sijaintiehdotusten yhteydessä toteutettavuuden varmistamiseksi. Saneerattavassa kohteessa voidaan hyödyntää

3.4 Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän mitoitus

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimet mitoitetaan rakennuksen mitoitustehontarpeen mukaan K1:ssä esitetyn mitoitusperiaatteen mukaisesti. Helsingissä mitoitustehon tarpeen laskennassa käytetään mitoittavana ulkoilman lämpötilana -26 °C :ta. [5] Rinnalle asennettavan maalämpöjärjestelmän mitoitusta täytyy tarkastella elinkaarikustannusten ja energiaperusteen perusteella [10, s.230–242; 15].

Maalämpöjärjestelmän hinta kasvaa, mitä korkeampaa tehontuottoa siltä halutaan. Mitoitusulkolämpötilaa vastaavat tehontarpeet ovat kuitenkin vastaavat kuitenkin vain pientä osaa vuotuisesta energiantarpeesta. Kuten taulukosta 3 voidaan huomata, lämpöpumpulla, jonka tuottama maksimiteho on puolet rakennuksen mitoitustehontarpeesta, pystytään tuottamaan 95 % rakennuksen vuotuisesta energiantarpeesta. Tällöin maalämpökaivokenttäkin voidaan mitoitaa puolet pienemmäksi ja valita tehontuotoltaan puolet pienempi lämpöpumppu. Kaukolämmön rinnalle suunniteltavassa maalämpöjärjestelmässä täytyy ottaa myös huomioon järjestelmän toiminta kesätilanteessa, koska edullisen kaukolämmön takia se voi olla edullisempi tapa tuottaa lämmintä käyttövetä kuin maalämmöllä tuotettuna. Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmässä maalämmön osuus on yleensä 40–60 % vuotuisesta energiantuotannosta, jotta se on elinkaarikustannusten perusteella kannattava toteuttaa. [15]

Taulukko 3. Energiaosuudet laskettuna erään todellisen vanhan asuinkerrosta-
lon tuntidatan avulla, jossa peruslämpö tuotetaan maalämmöllä [11].

<i>Teho-osuus</i>	<i>Peruslämpö</i>	<i>Lisälämpö</i>
10 %	33 %	67 %
20 %	57 %	43 %
30 %	76 %	24 %
40 %	89 %	11 %
50 %	95 %	5 %
60 %	97 %	3 %
70 %	99 %	1 %
80 %	99,5 %	0,5 %
90 %	100 %	0,0 %
100 %	100 %	0,0 %

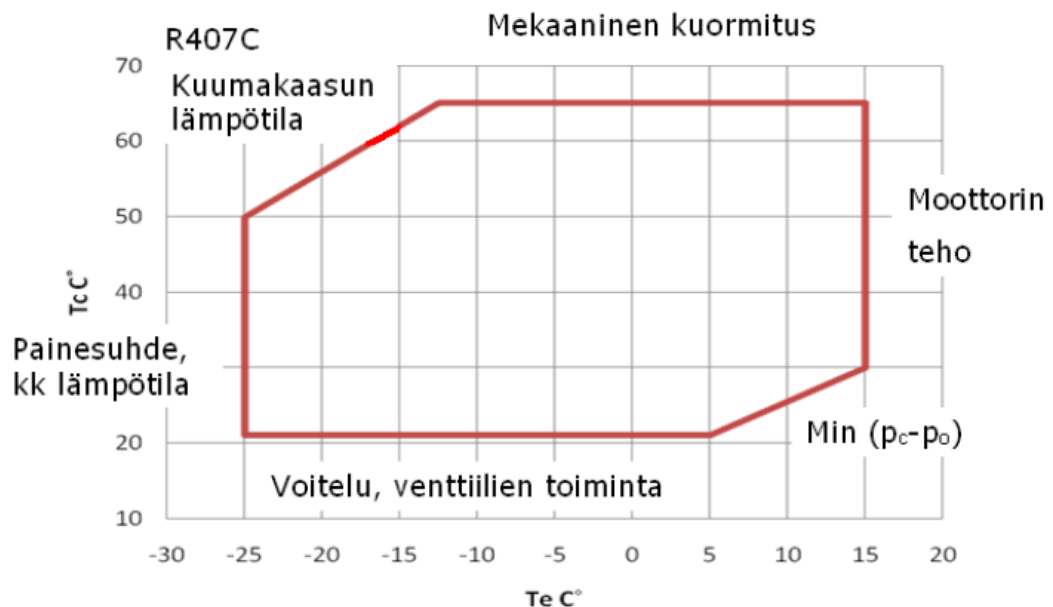
Rakennuksen lämmitysverkostojen lämpötilat ja käyttöveden lämmitykseen käytettävän energian osuus vaikuttavat paljon maalämpöjärjestelmän mitoittamiseen. Lämpimän käyttöveden lämpötilavaatimuksena on 58 °C, jota tuottaessa lämpöpumppu toimii huomattavalla hyötysuhteella ja kompressorin käyttöalueen rajoilla. Maalämmön hyötysuhteen ollessa parempi sen mukaan mitä pienempi lämpötilaero höyrystimen ja lauhduttimen välillä on, verkostoissa kannattaa suosia matalalämpöisiä verkostoja, kuten lattialämmitystä tai matalalämpöpattereita.

IDA ICE -simulointiohjelmalla pystytään tarkastelemaan rakennusten vuotuista energian kulutusta tuntitasolla, mikä helpottaa optimaalisimman lämmitysjärjestelmän löytämiseen tarkasteltavaan kohteeseen. Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän mallintamisella saadaan tarkkoja arvioita energian tuotosta ja kulu-
tuksesta, sekä kytkentäperiaatteen taloudellisesta kannattavuudesta. Lämmitysjärjestelmän simulointia voidaan myös hyödyntää erilaisten selvitysten ja raporttien tekemisessä, kuten E-lukujen, CO₂-päästöjen ja energiantavoitekulutuksen laskennassa ja vertailussa. IDA ICE:n lisäosan IDA ICE Boreholes -simulointiohjelman avulla pystytään simuloimaan tarkasti maalämpökaivojen energian riittävyttä. Energian riittävyden simuloinnissa käytetään yleensä 50 vuoden

tarkastelujaksoa, jolla varmistetaan, että maalämpökaivot eivät jäähy liiallisen kuormituksen takia alle 0 °C:n. [15]

Helsingin kaupungin viranomaiset vaativat toimenpidelupahakemuksen yhteydessä maalämpökaivojen energian riittävyystarkastelun simuloinnin 50 vuoden tarkastelujaksolla, jos tontille suunnitellaan yli kymmenen maalämpökaivon suurista kaivokenttää. Simulointi vaaditaan myös, jos kaivo on yli 1 000 metriä syvä, tai tapauskohtaisesti, jos ne sijaitsevat suositusetäisyyksiä lähempänä toisistaan tai naapuritontin rajasta. Energian riittävyden simulointi kohteen omaan käyttöön ei ole välttämätöntä toimenpideluvan myöntämisen kannalta, minkä vuoksi energiasimulointi tehdään vain tilaajan ehtojen mukaisesti. [13]

Kun optimi energiapetto on saatu selville, tiedetään samalla lämpöpumpulta tarvittava teho. Lämpöpumpun valinnassa täytyy kiinnittää huomiota tehon lisäksi lämpöpumpun käyttöalueeseen. Käyttöalue vaihtelee kompressorityypeittäin sekä käytetyn kylmäaineen mukaan. Maalämpöpumpun ohjausperiaate vaikuttaa myös järjestelmän ominaisuuksiin. [15]



Kuva 14. Esimerkki kompressorin käyttöalueesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä [11].

Kompressorin käyttöalue esitetään yleensä kuvaa 14 vastaavalla kuvaajalla, jossa Y-akselilla lauhduttimen lämpötila ja X-akselilla on höyrystimen lämpötila. Maalämpöpumpuissa höyrystimen lämpötila mitoitetaan -5 °C :seen. Lauhduttimen lämpötila valitaan verkostojen vaatiman lämpötilan mukaan. Kylmäaine ja kompressorityyppi vaikuttavat muun muassa järjestelmän lämpökertoimeen, käyntipaineeseen ja maksimiin puristuslämpötilaan. Eri kompressorityyppien, kuten scroll-, ruuvi- tai mäntäkompressorin, lämpökertoimet ovat maalämpöpumppujärjestelmissä hyvin lähellä toisiaan. [10, s.230–242]

Maalämpöpumppujen valinnassa voidaan käyttää apuna laitetoimittajien mitoitus- ja valintaohjelmia. Markkinoilla on monia lämpöpumppujen valmistajia, ja yleisesti saatavilla oleva laitetarjonta on kattava 100 kW:n teholuokkaan saakka. Maalämpöpumput jaetaan pääosin kompressorien määrän mukaan ja ohjaustavan mukaan on/off lämpöpumppuihin ja taajuusmuuntajalla ohjattuihin invertterilämpöpumppuihin taulukon 4 mukaisesti. Kompressorissa voi olla myös niin sanottu ekonomaiseri-kytkentä, jolla voidaan parantaa lämpökerrointa. Kompressorin oikealla valinnalla voidaan vaikuttaa muun muassa järjestelmän hintaan, tehonsäätyvyyteen, tekniseen käyttöikään ja äänitasoon. [11; 15.]

Taulukko 4. Osa Suomessa käytetyistä lämpöpumpuista taulukoituna [15].

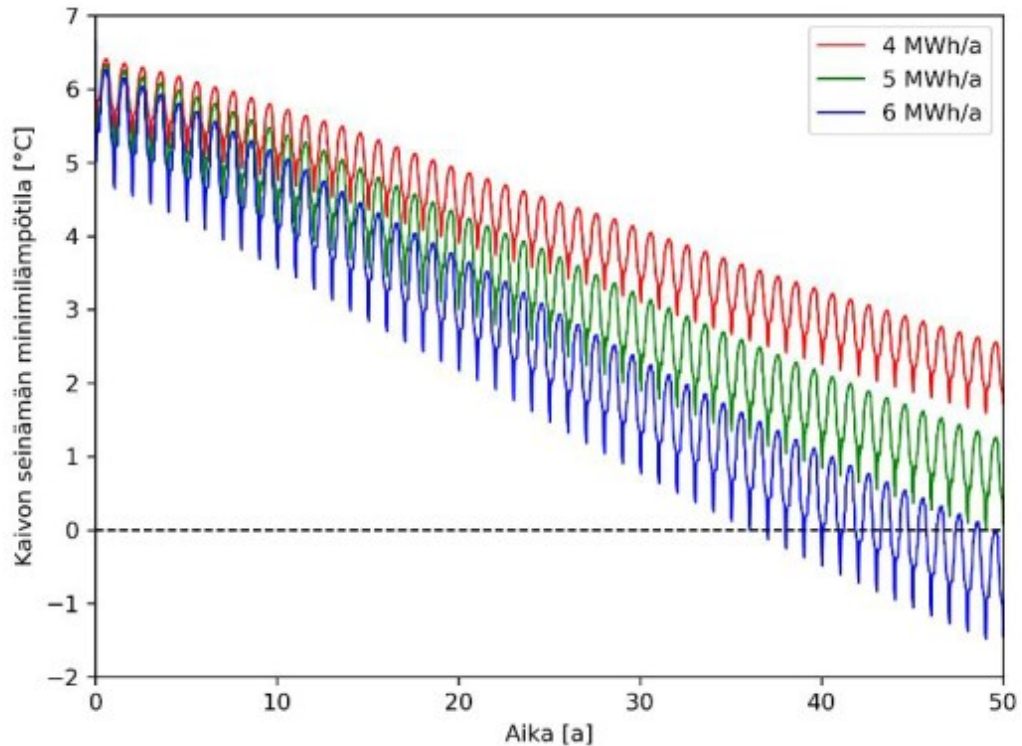
	ON-OFF	Invertteri
1-kompressorinen	Oilon RE28-48 Pienet OKT lämpöpumput	Gebwell T3 Inverter Thermia Mega Oilon P30
2-kompressorinen	Oilon RE56-96 Jämä Star Gebwell Gemini	Gebwell Gemini Inverter Jämä Star Inverter Oilon P60-450

Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmässä maalämpökaivot mitoitetaan energian kulutuksen perusteella. Maalämpökaivot mitoitetaan alustavasti arvoon

75...85 kWh/m/a, maksimissaan 100 kWh/m/a, riippuen kaivokentän geometriasta. [15] Kun vuotuinen energiatarve jaetaan tällä, saadaan selville maalämpökentän vaadittu aktiivisyvyys. Tontin koko ja maalämpökaivojen suojaetäisyydet rajoittavat maalämpökaivojen määrää. Maalämpökaivoille mitoitettu aktiivisyvyys jaetaan tontille mahtuvien kaivojen perusteella, jolloin saadaan selville yhden maalämpökaivon aktiivisyvyys. Maalämpökaivojen syvyys vaikuttaa porauskustannuksiin ja keruupiirin pumppaukseen käytettävän energiankulutukseen. Usean reiän poraaminen voi tulla edullisemmaksi kuin yhden syvän reiän poraaminen. [9]

Kun halutaan varmistua maalämpöjärjestelmän energian riittävydestä, täytyy käyttää tarkempia menetelmiä. Suunnittelun aikana voidaan toteuttaa tontilla TRT-mittaus. TRT-mittauksessa tontille porataan testikaivo, johon suoritetaan vastetestimittaus. Testi tehdään TRT-mittauslaitteistolla, joka mittaa meno- ja paluulämpötilaa kaivosta, syötettyä tehoa, virtaamaa sekä ulkoilman lämpötilaa. Mittauksen perusteella pystytään osoittamaan tarkasti kaivon keskilämpötila ja kallion keskimääräinen lämmönjohtavuus. TRT-mittausraportti toimii lähtötietoina energian riittävyystarkastelulle. TRT-mittauksen perusteella voidaan myös tarkentaa maalämpöjärjestelmän suunnitelmia, jos arvot poikkeavat mitoituksesta. TRT-mittauksessa käytetty kaivoa voidaan käyttää osana rakennuksen maalämpöjärjestelmään. [16] Kuvan 15 kuvaaja osoittaa, kuinka yhdestä 150 metriä syvästä maalämpökaivosta otettu lämpöenergian määrä vaikuttaa energian riittävyteen 50 vuoden tarkastelujaksolla.

Energianriittävyssimuloinnin perusteella voidaan todeta, että kaivosta saadaan maksimissaan 5 MWh/a lämpöenergiaa, koska kaivon lämpötila pysyy yli 0 °C:n. Lämpöenergian määrä 6 MWh/a jäädyttää kaivon alle 50 vuodessa.



Kuva 15. Esimerkki yhden kaivon energianriittävyystarkastelusta eri kuormituksilla [14].

3.5 Suunnitelma-asiakirjojen sisältö

Suunnittelun edistyminen ja lopputulokset esitetään asiakirjojen avulla. Asiakirjat tukevat eri suunnittelualojen yhteistyötä, tilaajan päätöksen tekoa sekä järjestelmän hankintoja ja toteutusta. Asiakirjoilla varmistetaan, että toteutettava järjestelmä vastaa suunnitellun järjestelmän elinkaarikustannuksia, energiatehokkuutta ja käyttötarkoitusta. [12]

Hankesuunnitteluvaiheen asiakirjojen sisältö perustuu tilaajan vaatimukseen niiden tarkkuudesta ja laajuudesta. Kohteen erityisvaatimuksista ja käyttötarkoituksesta riippuen tilaaja päättää erikseen tilattavien tehtävien laajuudesta. Esimerkiksi olosuhde- ja energiasimuloinnit, järjestelmien vertailut, CO₂-päästöjen vertailut ovat erikseen tilattavia asiakirjoja. Erikseen tilattavat tehtävät ovat täydentäviä suunnitelma-asiakirjoja, niiden tarkoituksena on edesauttaa tilaaja valitsemaan kohteelle optimaalisin järjestelmä. [12]

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen rakennus- tai toimenpideluvan myöntäminen edellyttää liitteeksi suunnitelma-asiakirjoja, jotka on esitetty taulukossa 5. Suunnitelmien tulee kattaa vähintään laissa ja Helsingin virallisessa rakennusjärjestyksessä määritetty laajuus ja tarkkuus. Tilaajalla voi olla lisäasiakirjojen laatimisesta erityisvaatimuksia, jotka eivät vaikuta virallisen rakennus- tai toimenpideluvan hakemiseen.

Rakennuslupa tarvitaan aina, jos rakennetaan uutta. Rakennuslupa tarvitaan myös niihin saneerattaviin kohteisiin, joissa kerrosala tai käyttötarkoitus muuttuu sekä isojen korjaushankkeiden, kuten linjasaneerauksen tai peruskorjauksen, toteutukseen. Maalämpökaivojen poraukseen vaaditaan vähintään toimenpidelupa. Toimenpidelupa voidaan hakea osana rakennuslupaa. Rakennuslupa on lainvoimainen 14 päivän kuluessa päätöksen alkamisesta. Lainvoimainen rakennuslupa on voimassa kolme vuotta, jona aikana työ on aloitettava ja saatettava loppuun. [9]

Taulukko 5. Rakennusluvan/toimenpideluvan hakemista varten tarvittavat liitteet Helsingissä maalämpöjärjestelmää varten.

Liite	Sisältö
Hallintaselvitys/valtakirja	tontin omistajan todentaminen
Pääpiirustukset	asemapiirustus ja pohjakuvat
Energiaselvitys	energiatodistus
Selvitys porausjätteen käsittelystä	lietteen ja kiviaineksen käsittelysuunnitelma
Rakennettavuusselvitys	Kaupunki antaa selvityksen rakennettavuudesta. Vuoden voimassaoloaika.
Naapurien suostumus	Tarvitaan, jos minimietäisyys naapurin tonttiin alittuu
Energian riittävyys selvitys	<ul style="list-style-type: none"> - mikäli kaivoja on yli 10 kpl. - yli 1 000 m syvät kaivot - tapauskohtaisesti viranomaisen pyynnöstä.
Pätevyystodistukset	suunnittelijan pätevyys ja pääurakoitsijan nimeäminen

Toteutussuunnittelun asiakirjat palvelevat hankintoja ja toteutusta. Hankintoja palvelevien suunnitelma-asiakirjojen tarkoituksena on, että niiden perusteella voidaan määrittää toteutettavan järjestelmän urakkahinta, joka vastaa mahdollisimman tarkasti lopullista toteutunutta hintaa. Toteutusta palvelevien suunnitelma-asiakirjojen laajuus ja tarkkuus on sen tasoinen, että toteutettu järjestelmä vastaa energiatehokkuudeltaan, kustannuksiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan suunniteltua järjestelmää. Taulukossa 6 on lueteltu toteutussuunnittelussa laadittavat tarjouspyyntöasiakirjat ja niiden sisältö.

Taulukko 6. Hankintoja ja toteutusta palvelevat suunnitelma-asiakirjat

Liite	Sisältö
Pääpiirustukset	Asemapiirustus ja pohjakuvat, joissa on esitetty tilavaraukset ja positioinnit
Energiantavoitekulutusraportti	Tavoitteet energian kulutuksesta ja tuotosta
KytKentä- ja säätökaavio	Esimerkkijärjestelmän mitoitus ja toimintaselostus. Tarkka kytKentä- ja säätökaavio
LVIA-työselostus	Selostus järjestelmän toiminnasta ja toteutustavasta
Kojeluettelo	Luettelo urakassa käytettävien laitteiden teknisistä tiedoista ja vaatimuksista varusteiden, sähköistysten sekä sähkötehojen osalta.

Maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän valmis kytKentä- ja säätökaavio sekä järjestelmän toimintaselostus täytyy hyväksyttää Helen Oy:llä, ennen kuin kaukolämpösopimus voidaan solmia. Jo hankkeen alussa Helen Oy:lle tulee ilmoittaa hankkeesta, jolloin Helen Oy varmistaa kaukolämmön toimitettavuuden kohteeseen ja antaa kaukolämmön liitoskohdalle sijainnin.

4 Suunnitteluohjeen laatiminen

Hepacon Oy:n suunnittelemissa kohteissa maalämmön hybridilämmitysjärjestelmät ovat alkaneet yleistyä viime vuosien aikana. Konsepti on alkanut yleistymään Helsingissä vasta 2000-luvulla. Suunnitteluohje on laadittu aiemmista projekteista saatujen tietojen, kollegoiden kokemusten ja ulkoisista lähteistä saatujen tietojen perusteella. Maalämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelu on teknisen työskentelyn sekä prosessinhallinnan kokonaisuus. Tämän opinnäytetyön suunnitteluohjeella pyritään helpottamaan ja sulavoittamaan suunnittelua prosessinhallinnan näkökulmasta.

Suunnitteluohje on tarkoitettu LVI-suunnittelijan avuksi projekteihin, joissa suunnitellaan maalämmön hybridilämmitysjärjestelmä. Parhaimman hyödyn suunnitteluohjeesta saa suunnittelija, jolla ei ole aikaisempaa kokemusta hybridijärjestelmän suunnittelusta. Suunnitteluohjeen tarkoituksena on olla kuitenkin hyödyksi myös kokeneemmalle suunnittelijalle tarkastuslistana, jolla voi verrata projektin etenemistä ja suunnitelma-asiakirjojen kattavuutta. Ohjeen tarkoituksena on kertoa selkeästi suunnittelun vaiheiden tavoitteet, menetelmät ja lopputulokset tärkeimpine huomioineen koko projektin ajalta sekä helpottaa ymmärtämään suunnitteluprosessin kokonaisuus. Suunnitteluohjeessa on myös esitetty Hepacon Oy:n työnjaon mukaisesti vastuualueet eri suunnittelualojen välillä. Vaikka maalämmön hybridijärjestelmän suunnittelun tekninen osuus on suurimmaksi osaksi energiasuunnittelijoiden vastuulla, LVI-suunnittelijan tulee tietää lämmitysjärjestelmän toiminta- ja mitoitusperusteet.

Suunnitteluohjeen laatimisesta maalämmön hybridijärjestelmälle haastavaa teki se, että suunnitteluprosessi vaihtelee hankkeittain ja jokaisessa hankkeessa on omia suunnittelun erityispiirteitä. Tämän takia suunnitteluohjeella saadaan kokonais käsitys projektin sisällöstä, ja suunnittelu vaatii tuekseen sen lisäksi myös muita työkaluja.

5 Yhteenveto

Helsingin ilmastotavoitteiden ja kaupunkistrategian takia maalämmön hyödyntämistä rakennusten lämmityksessä lähitulevaisuudessa. Rakennusten lämmitysjärjestelmän suunnittelu koostuu erilaisista työmenetelmistä ja vaiheistuksesta. Optimaalisimman lämmitysjärjestelmän löytäminen rakennukseen vaatii tarkastelua ja vertailua elinkaarikustannusten, energiatehokkuuden ja soveltuvuuden näkökulmista.

Maalämpö on alkuinvestoinniltaan kallein yleisesti käytössä oleva lämmitysjärjestelmä, minkä takia sen rinnalle otetaan lisälämmönlähde. Helsingissä kaukolämpöverkoston ollessa kattava se on yksi mahdollisista lisälämmön lähteistä maalämpöjärjestelmälle. Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän etuna on maalämmön alhaisempi alkuinvestointitaso, sillä saavutetaan kuitenkin parempi energiatehokkuus, ja käyttökustannuksiltaan halvempi järjestelmä pelkkään kaukolämpöön verrattuna. Ympäristö rajoittaa myös maalämmön toteuttamista, koska maalämpökaivojen sijoittelussa tulee huomioida näille esitetyt suojaetäisyydet maalämpökaivojen välillä sekä maanpäällisiin että maanalaisiin rakennelmiin (liite 2). Hybridijärjestelmässä mitoitus tehdään kannattavuusarvioiden ja energiapaiton perusteella, jolloin maalämpöjärjestelmän koko on paljon pienempi kuin rakennuksen koko tehontarpeen perusteella mitoitettun järjestelmän.

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän suunnittelu ja mitoitus on kuitenkin tärkeä tehdä tarkasti ja kattavasti, jolloin varmistetaan järjestelmän kannattavuus ja toiminta sekä järjestelmän yhteensopivuus muiden suunnittelualojen rakennuksen käyttötarkoituksen kanssa. Kytkentäperiaatteella ja laitevalinnoilla on suuri vaikutus lopputulokseen.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi suunnitteluohje, jonka avulla suunnittelija saa käsityksen suunnitteluprosessin kulusta ja kokonaisuudesta sekä eri suunnitteluvaiheiden tavoitteista.

Lähteet

- 1 Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. 2018. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. https://helsinginilmastoteot.fi/wp-content/uploads/2019/05/Ignatius_ilmastoverkosto_HNH_29042019_1.pdf. Luettu 10.2.2023.
- 2 Kiinteistö-, kortteli- ja aluekohtaiset maalämpöratkaisut Helsingissä. 2022. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisu-24-22.pdf>. Luettu 10.2.2023.
- 3 Energiantuotanto Helsingissä. 2020. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/energiantuotanto>. Luettu 10.2.2023.
- 4 Maankäytön suunnittelu ja maalämpö. 2022. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2020_kaava/5066_9_Maalamposelvitys_Sweco_2019.pdf. Luettu 10.2.2023.
- 5 K1/2021, rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. https://energia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf. Luettu 10.2.2023.
- 6 Kaukolampo 2021 graafeina. 2022. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>. Luettu 10.2.2023.
- 7 Energian ominaispäästöt. 2021. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot>. Luettu 10.2.2023.
- 8 Kaukolämmön energia ja vesivirtamaksut. 2023. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/lampo-ja-jaahdytys/yritykset/kaukolammon-energia-ja-vesivirtamaksut-1.10.2022-alkaen.pdf>. Luettu 10.2.2023.
- 9 Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Ympäristöopas 2013: Energia-kaivo - Maalämmön hyödyntäminen pienitaloissa. Helsinki: ympäristöministeriö
- 10 Hakala, Pertti & Kaappola Esko. 2020. Kylmälaitoksen suunnittelu. Oppikirja. Helsinki. Opetushallitus.

- 11 Valkeapää, Aki. Lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluprosessi pääsuunnittelu ja kokonaisuoptimointi. 2022. Luentomateriaali. Metropolia AMK.
- 12 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18. 2017. RT 10-11290. Rakennustieto Oy
- 13 Maalämpökaivon rakennettavuusselvitys ja sopimukset. 2022. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/fi/kaupunkiymparisto-ja-liikenne/tontit-ja-rakentamisen-luvat/rakennusluvut/maalampokaivon-rakennettavuusselvitys-ja-sopimukset>. Luettu 10.2.2023.
- 14 Helsingin geoenergiapotentiaali. 2019. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus. https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/Helsingin_geoenergiapotentiaali_luonnos.pdf. Luettu 10.2.2023.
- 15 Uotila, Juuso. 2023. Koulutus lämpöpumpuista. Hepacon Oy
- 16 TRT-Vastetestimittausraportti. 2022. Rototec Oy

Suunnitteluohje

Suunnittelu			
Hankesuunnittelu		Toteutussuunnittelu	
Tavoitteet		Hankinnat ja toteutus	
Käyttöönotto, käytön seuranta ja optimointi		Projektinhallinta	
<p>Y Varmistetaan järjestelmän toteutettavuus, kannattavuus ja toteutustaso.</p> <p>E - [ENE] luo jo projektin alkuvaiheessa simulointimallin lämmitysjärjestelmää, Periaatekytkentäkaavio, lämmityskehonteet, kannattavuus- ja kustannusarvot jne. on tehty tämän simulointimallin pohjalta.</p> <p>L - [LVJ] tekee alustavat positiointit ja tilavaraukset asenapiirustukseen, tasokuvlin ja tekee alustavat sähköliittöksen tarpeet kojelueitteluon.</p> <p>A - Alustava järjestelmäselostus osana LVI-A-työselostusta</p>	<p>E Energiatietohokkaan, oikein mitoitettun, lakien ja määräysten täyttävän lämmitysjärjestelmän vihteottomat ja kattavat suunnitelmat.</p> <p>L - [LVJ] suunnittelee ja mitoittaa lämmitysjärjestelmät rakennukseen.</p> <p>E - [ENE] vastaa lämpöpumppujen ja energiakaivojen kytkentäperiaatteista, mitoituksista ja esimerkkiluottoitoiden valinnasta.</p> <p>L - [LVJ] mitoittaa pumput</p> <p>L - [LVJ] piirtää kytkentäkaavion puhtaaksi [ENE]n simulointimallin pohjalta</p> <p>R - [RAU] tekee säätökaavion ja toimintaesostuksen</p>	<p>L - [LV/RAU] KYTKENTÄ- JA SÄÄTÖKAAVIO, JOKA SISÄLTÄÄ TOIMINTASELOSTUKSEN, LAITEMITOITUKSET JA -LUETTELOT</p> <p>L - [LV/ENERAU] LVI-A-TYOSELOSTUS</p> <p>L - [LVJ] KOJELUETTELO</p> <p>L - [LVJ] ASEMPIIRUSTUS JA TASOKUVAT</p> <p>L - [LVJ] MAALAMPOKENTAN VIRTAAIEMIEN JA PAINEHÄVIÖIDEN LASKENTARAPORTTI</p> <p>E - [ENE] ENERGIAN RIITTÄVYYS/STARKASTELU</p> <p>E - [ENE] JÄRJESTELMÄSELUSTUS</p>	<p>L - [LV/RAU] KYTKENTÄ- JA SÄÄTÖKAAVIO, JOKA SISÄLTÄÄ TOIMINTASELOSTUKSEN, LAITEMITOITUKSET JA -LUETTELOT</p> <p>L - [LV/ENERAU] LVI-A-TYOSELOSTUS</p> <p>L - [LVJ] KOJELUETTELO</p> <p>L - [LVJ] ASEMPIIRUSTUS JA TASOKUVAT</p> <p>L - [LVJ] MAALAMPOKENTAN VIRTAAIEMIEN JA PAINEHÄVIÖIDEN LASKENTARAPORTTI</p> <p>E - [ENE] ENERGIAN RIITTÄVYYS/STARKASTELU</p> <p>E - [ENE] JÄRJESTELMÄSELUSTUS</p>
<p>H - [HV/ENE] tilaa Johdo- ja kantakartan</p> <p>R - Rakennettavuus selityksessä mahdollisesti vaativuudella liisäselityksille. HSL, Museovirasto jne.</p> <p>H - Hankesuunnitteluvaiheessa aloitetaan yhteydenpito Kaukolämmön toimittajan</p> <p>T - Tilavarauksia tehdessä huomioidaan muiden suunnittelulajien kommentit. ARK, PIHA, RAK</p>	<p>T - Toteutussuunnittelu vaiheessa toteutetaan yleensä TRT-mittaus, jonka pohjalta tehdään energian riittävyyslaskelmu. - Jokaiseen lämmitys- ja jäähdytys järjestelmään tulee energiämittarit.</p> <p>M - Maalämmön ja kaukolämmön kulutuksen mitarointi.</p> <p>K - Kaukolämmön toimittajalle lähetetään valmiit lämmitys-suunnitelmat kommentoitavaksi.</p> <p>R - Rakennuslupaa varten tarvitaan myös suunnitelma porausvesien käsittelyistä lititeiksi</p>	<p>J - Järjestelmien monimutkaisuuden takia urakoitsijan neuvontaan ja valvontaan täytyy panostaa.</p> <p>V - Vaativuudet säätömallisille työnohjaajille ja vaihteellisuudelle</p> <p>K - Kaupungin sijaintikatselmus tehdään ennen kaivojen peittämistä. Tätä varten tarvitaan poraajan tekemä porausraportti.</p>	<p>J - Järjestelmien monimutkaisuuden takia urakoitsijan neuvontaan ja valvontaan täytyy panostaa.</p> <p>V - Vaativuudet säätömallisille työnohjaajille ja vaihteellisuudelle</p> <p>K - Kaupungin sijaintikatselmus tehdään ennen kaivojen peittämistä. Tätä varten tarvitaan poraajan tekemä porausraportti.</p>
<p>H - Hankesuunnittelun aikana, loppupuolella, tilaaja tekee päätöksen päälämmitysmuodosta, lisälämmitysmuodosta ja jäähdytyksen toteuttamisesta.</p>	<p>T - Tilaaja hyväksyy suunnitelmat.</p> <p>T - Tilaaja hakee rakennus/toimenpidelupaa</p> <p>T - Tilaaja tilaa testikaivon porauksen</p> <p>T - Tilaaja tekee sopimuksen kaukolämmön toimittajan kanssa, kun suunnitelmat on hyväksytyt</p>	<p>T - Tilaaja tilaa sijaintikatselmuksen, kun poraukset on suoritetu.</p>	<p>T - Tilaaja teettää yleensä toimivuus varmistuksen, johon yleensä osallistuvat suunnittelijat ja urakoitsijat</p>

Maalämpökaivojen minimisuosituksetäisyydet Helsingissä

Kohde:	Etäisyys:	Lisätiedot:
Energiakaivo, pystysuora	15 m	Kahden pystysuoran energiakaivon välinen etäisyys naapurikiinteistöjen välillä. Kiinteistön sisällä energiakaivot voivat sijaita lähempänä toisiaan.
Kiinteistön raja, pystysuora energiakaivo	7,5 m	Naapurin suostumuksella voidaan porata lähemmäksi rajaa. Ensimmäinen 100 metriä on tällöin tehtävä suorusporausena.
Kiinteistön raja, vinoporauskeskipiste	7,5 m	Vinoporauskeskipisteen minimietäisyys rajasta on 7,5 m ilman naapurin suostumusta.
Kiinteistön raja, vinoporausalkupiste	2,5 m	Vinoporauskeskipisteen minimietäisyys rajasta on 2,5 m ilman naapurin suostumusta. Kiinteistön rajan lähellä suositellaan vinoporauskeskipisteen oman tontin keskialuetta kohti, jolloin porauskeskipiste saadaan varmimmin sijoitettua yli 7,5 metrin etäisyydelle naapurin rajasta.
Katu-alueen keskilinja	7,5 m	Jos maalämpökaivon keskipeisteen etäisyys katualueen keskilinjaan jää alle 7,5 metriin, naapurinsuostumus on hankittava katualueen vastakkaisen puolen maanomistajalta.
Katu-alueen raja	0 < m	Kaupunki sallii kaivojen alkupisteen sijoittamisen tontilla katualueen rajaan asti. Et tarvitse naapurinsuostumusta kaupungilta, kunhan etäisyys katualueen keskilinjaan on vähintään 7,5 metriä. Kaivoja ei kuitenkaan suositella suunniteltavaksi aivan kiinni katualueen rajaan, sillä kaivojen porausvaiheessa mahdollisesti tapahtuva pienikin porauskeskipisteen sijaintivirhe, voi siirtää kaivon katualueelle, josta seuraa korjaavia jälkitoimenpiteitä ja kustannuksia.
Avoimen kierron kaivot	24 m	Yllä olevat 7,5 metrin etäisyydet kiinteistörajoihin koskevat yleisimmin rakennettavia suljetun kierron U-putkikaivoja. Erikoistapauksissa toteutettavan eristämättömän avoimen kierron kaivoissa minimietäisyys kiinteistörajaan on 24 metriä.

Kohde:	Etäisyys:	Lisätiedot:
Rakennus	3 m	Suositus alkupisteen etäisyydelle rakennukseen on 3 m. Porausten alkupisteitä voi sijoittaa rakennusten sisältä porattuna pois lukien asuintilat tai rakennuksen välittömään läheisyyteen rakennushankkeeseen ryhtyvän omalla riskillä. Vinoporaukset suunnattuna rakennuksen ulkopuolelta rakennuksen alle ovat mahdollisia ja suositeltavia erityisesti, jos porauksen alkupiste jää naapurin rajan läheisyyteen.
Puusto ja kasvillisuus	-	Pääsuunnittelijan tulee huomioida maalämpökaivojen ja vaakasuoraan asennettavien putkitusten sijoittelussa rakennuspaikan maisemallisesti merkittävä ja arvokas puusto ja muu kasvillisuus sekä muu ympäristön säilyttäminen. Asemapiirroksessa suositellaan esitettäväksi kaivojen paikkojen lisäksi myös vaakasuuntaiset putkitukset. Puuston ohjesuojaetäisyyksiä on annettu yleisen alueen maalämmön suunnitteluohjeissa.
Lämpöputket, kaukolämpö, jäähdytys	3 m	
Viemärit ja vesijohdot - Omat	3 m	
Viemärit ja vesijohdot - Muiden	5 m	
Kaasun jakeluverkko ja siirtoverkko	5 m	
Sähköjohdot, tietoliikennekaapelit	3 m	Ympäristöministeriön ympäristöopas 2013:ssa ei ole mainittu suositusetäisyyttä näille johtolajeille.
Maanalaiset tilat, tunnelit	20 m	
Maanalaiset tilat, runkovesitunnelit	50 m	
Maanalaiset rakenteet ja betonirakenteiset kellaritilat	-	Nämä arvioidaan tapauskohtaisesti maalämmön rakennettavuusselvityksessä.
Rengaskaivo	20 m	Kaupungilla ei ole kattavasti karttatietoja vesikaivoista tonttien alueella. Tiedustele ja selvitä nämä paikallisesti rakennuskohteessa. Ota tarvittaessa yhteyttä naapuriin.
Kallioporakaivo	40 m	Katso edellinen.
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka: Harmaat vedet / Kaikki jätevedet	20 m / 30 m	Kaupungilla ei ole karttatietoja mahdollisista kiinteistöjen jätevesipuhdistamojen purkupaikoista. Tiedustele ja selvitä nämä paikallisesti rakennuskohteessa.