

Alueellisen maalämpö- järjestelmän huomioon- ottaminen asema- kaavassa

Tarkastelualueena Karhunkaatajan
asemakaava-alue



Kaupunkiympäristön aineistoja 2021:9

Alueellisen maalämpöjärjestelmän huomioonottaminen asemakaavassa

Tarkastelualueena Karhunkaatajan asemakaava- alue

Projektinjohto: Pekka Leivo, Kaisa-Reeta Koskinen, Alpo Tani ja Ilkka Vähäaho

Ohjausryhmä: Tuomas Hakala, Laura Hietakorpi, Pirjo-Liina Koivusaari, Tiina Lepistö, Anri Linden, Jutta Peura, Outi Sääntti, ja Veijo Väyrynen

Tekijät: Anna-Maria Rauhala, Jouni Laukkanen, Santeri Sirén, Jukka Kopra, Juha Riihiranta, Ramboll Finland Oy

Kannen kuva | Jukka Kopra
Julkaisija | Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön toimiala
ISBN | 978-952-331-979-0
ISSN | 2489-4257

Sisällys

Esipuhe	5
Avainsanat	6
Tiivistelmä.....	7
1. Johdanto.....	9
1.1 Tausta ja tavoitteet	9
1.2 Karhunkaatajan asemakaava-alue	9
2. Alueellinen maalämpöjärjestelmä	12
2.1 Rakennusten lämmitysenergian tarve	12
2.2 Simulointimallin kuvaus ja yleiset lähtötiedot	14
2.2.1 Alueellisen maalämpöjärjestelmän kuvaus	15
2.2.2 Korttelitason maalämmön kuvaus	18
2.3 Maalämmön energiatarkastelut	20
2.4 Yhteenveto alueellisesta maalämpöjärjestelmästä	23
2.5 Aluelämpö- ja jäähdytysverkko	24
2.6 Lämpöverkon mitoituslämpötila ja investointi	25
2.6.1 Aluelämpöverkon mitoituslämpötila ja tuotantokustannus	27
2.6.2 Lämmön myynti Helsingin kaukolämpöverkon suuntaan	29
2.7 Aluemaalämpöjärjestelmän kustannukset	29
2.8 CO ₂ -päästöt	30
2.9 Rakenteet ja tilavaraukset	31
3. Vaiheistus ja ohjauskeinot.....	33
3.1 Vaiheistus	33
3.2 Ohjauskeinot.....	34
3.3 Karhunkaatajan asemakaavaratkaisut	37
4. Operointimallit	40
4.1 Aluelämpöjärjestelmän toteutusmallit	40
4.1.1 Yhden omistajan ja käyttäjän malli	41
4.1.2 Yhden omistajan ja ulkoistetun käytön malli.....	41
4.1.3 Eriytetyn siirron malli	42
4.1.4 Eriytetyn lämmön siirron ja myynnin malli	42
4.2 Rakentamisen vaiheistus.....	43
4.3 Lämpöverkon rakentaminen	43
4.4 Tuotannon rakentaminen.....	43
4.5 Ehdotettu omistuksen ja operoinnin rakenne	43

5.	Johtopäätökset	45
6.	Lähdeluettelo	47

Esipuhe

Helsingin kaupungin tavoitteena on edistää voimakkaasti siirtymistä vähähiilipäästöiseen energiatuotantoon osana hiilineutraali Helsinki 2035 tavoitetta. Maalämpöön perustuvien lämmöntuotantojärjestelmien maksimaalinen hyödyntäminen on yksi keskeisistä elementeistä tuon tavoitteen saavuttamiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa uusien keinojen ja kenties uuden ajattelutavan käyttöönottoa, mitä tulee energiajärjestelmien laajuuteen ja fyysiseen sijoittumiseen aiemmasta käytännöstä poiketen myös yleisille alueille.

Tämän selvityksen keskeinen teema on alueellinen maalämpöjärjestelmä. HNH 2035 toimenpideohjelmassa on määritelty tavoite maalämmön rakentamisen hyvin nopealle kasvulle, vuonna 2035 tavoitteena on tuottaa 15 % kaupungin tarvitsemasta lämmöstä maalämmöllä. Käytännössä tavoitteen toteuttaminen vaatii sitä, että tulevana vuosina rakennettavat uudet alueet ovat hyvin suurelta osin liitettyjä maalämpöön. Järjestelmätasolla tämä tapahtuu tehokkaimmin ja varmimmin alueellisten järjestelmien kautta. Alueelliset järjestelmät mahdollistavat maalämmön hyödyntämisen sielläkin, missä se tehokkaan maankäytön vuoksi ei muuten olisi tarkoituksenmukaista. Alueellisiin maalämpöratkaisuihin perustuvia järjestelmiä ja niiden operointimalleja kehittämällä on mahdollista saavuttaa merkittäviä tuloksia matkalla kohti asetettuja ilmastotavoitteita.

Karhunkaatajan asemakaava-alue on toiminut pilottikohteena tämän selvityksen pohjalla. Asemakaavahankkeen vaiheesta (tarkistettu ehdotus) johtuen, kaikki raportissa esitetyt, alueellista maalämpöjärjestelmää tukevat maankäytön ratkaisut eivät tule toteutumaan Karhunkaatajan alueella. Näitä voidaan kuitenkin hyödyntää tulevissa osayleiskaava- ja asemakaavahankkeissa.

Avainsanat

Termi	Selitys
Lämmönkeräin	ilma-vesi vaihdin, jolla lämmitetään ulkoilmalla maalämpöpiirin liuosta
Liuosverkosto	Maalämpöjärjestelmään kuuluva verkosto, jossa liikkuu vesi-glykoli-liuos maapiirin ja lämpöpumpun välillä.
Energiankulutusprofiili	Kuvaa energiankulutusta tuntitasolla vuoden yli.
LTO	Lämmöntalteenotto
Legionella	Bakteeri, jota esiintyy pieniä määriä makeissa luonnonvesissä ja maaperässä. Legionellabakteeri voi lisääntyä vesijärjestelmissä ja kulkeutua aerosolien mukana hengitysilmaan.
Menolämpötila	Kaukolämpöveden lämpötila, joka lähtee tuotantolaitokselta.
Tulolämpötila	Tulolämpötila on kaukolämpöveden lämpötila, joka asiakkaalle saapuu.
Mitoituslämpötila	Lämpötila, jolle kaukolämpöjärjestelmän osat mitoitetaan.
Tulomitoituslämpötila	Lämpötila, jolle asiakkaan kaukolämpöjärjestelmän osat on mitoitettu.
Menomitoituslämpötila	Lämpötila, jolle kaukolämpöjärjestelmän osat on mitoitettu.
Keruupiiri	Maalämpöjärjestelmän verkoston osa, joka kiertää maakentässä
Jäähdytysverkko	Verkosto, jossa kiertää jäähdytykseen liittyvä vesi.
AH-korttelialue/tontti	Asemakaavamerkintä, jolla voidaan osoittaa useiden asuintonttien käyttöön tarkoitetut yhteiskäyttöalueet. Ne voivat sisältää esimerkiksi yhteisiä leikki- ja oleskelualueita, kokoontumis- ja harrastetiloja sekä huoltoa varten tarpeellisia tiloja. Yhteiskäyttöalue muodostaa kiinteistöt teknisesti oman tontin.
LPA-korttelialue	Asemakaavamerkintä, jolla voidaan osoittaa läheisten korttelialueiden yhteiset pysäköintialueet. Pysäköintialue muodostaa kiinteistöt teknisesti oman tontin.
ET-alue	Asemakaavamerkintä, jolla voidaan osoittaa yhdyskuntateknistä huoltoa palvelevien rakennusten ja laitosten alueita.
VL-alue	Asemakaavamerkintä, jolla voidaan osoittaa virkistys- ja ulkoilu-käyttöön tarkoitetut alueet, joita ei ole tarkoitus rakentaa varsinaisiksi puistoiksi.
EV-alue	Asemakaavamerkintä, jolla voidaan osoittaa sellaiset lähinnä liikenneväylien varrella olevat viheralueina säilytettävät alueet, joiden tarkoituksena on pääasiassa suojata muita alueita liikenteen melu- ym. haitoilta, ja joita ei sijaintinsa takia voida käyttää virkistysalueina.
Yleinen alue	Yleisellä alueella tarkoitetaan asemakaavassa katualueeksi, toriksi, liikennealueeksi, virkistysalueeksi tai näihin verrattavaksi alueeksi osoitettua kaupungin toteutettavaksi tarkoitettua aluetta.

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli selvittää, miten alueellinen maalämpöjärjestelmä voitaisiin toteuttaa Karhunkaatajan alueella ja mitä teknisiä ominaisuuksia järjestelmältä vaaditaan. Alueellisen maalämpöjärjestelmän teknistä toimivuutta Karhunkaatajan alueella tutkittiin laskennallisesti hyödyntäen dynaamisia maalämpösimulointeja IDA-ICE simulointityökalulla. Työssä simuloitiin useita erilaisia maalämpöjärjestelmävaihtoehtoja. Näissä vaihtoehtoissa tutkittiin esimerkiksi maalämpökaivojen lukumääriä, syvyyksiä, lämmönlataamista maalämpökenttään, sekä alueellista- ja kortteli-kohtaista maalämpöä.

Suoritettujen simulointien osalta on valittu järjestelmävaihtoehto, joka on teknisesti toteutuskelpoisiin järjestelmä. Valinnassa on otettu huomioon teknologian kypsyys sekä järjestelmän tuottaman lämmityksen energiaperiton riittävyys. Teknis-taloudellisesti toteutuskelpoisiin järjestelmiin rajattiin maksimissaan 400 metriä syvät kaivot, lämmönlataamisella 10–15 metrin etäisyyksillä toisistaan. Syvemmillä kaivoilla, kuten 600 m tai 1500 m, on mahdollista saavuttaa pienemmällä kaivomäärällä myös hyvä energiaperitoaste, mutta tässä vaiheessa teknologia ei ole vielä laajasti käytössä eikä sen toiminnasta ole riittävää kokemusta tässä kokoluokassa. Karhunkaatajan alue valmistuu kuitenkin 2030-luvulla, joten teknologian kehitys on mahdollista. Etenkin 1500 metriä syviin kaivoihin liittyy vielä paljon avoimia kysymyksiä ja niihin liittyviä toimivia toteutusmalleja kehitetään ja tutkitaan tällä hetkellä monella taholla.

Maalämpökentän lataaminen on oleellinen osa valitun järjestelmän toimivuutta. Lämmönlataaminen mallinnettiin työssä käyttämällä ilma-vesilämmönsiirtimiä, joiden avulla voidaan ottaa ilmasta talteen lämpöä, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin lämmönkeräimelle saapuvan liuoksen lämpötila. Lämmönlataaminen maakenttään on vakiintunut käytäntö mutta sen tekeminen tässä mitakaavassa ei ole, joka voi aiheuttaa haasteita tulevalle operaattorille.

Kustannustarkastelussa otettiin huomioon järjestelmään liittyvät investoinnit sekä elinkaaren aikana tapahtuvat huollot, laiteuusinnat sekä ostosähkön määrä. Valitulla järjestelmävaihtoehdolla tuotetun lämmön hinta on kilpailukykyinen esimerkiksi kaukolämmön nykyistä hintaa vasten, mikäli maalämmön investointia tarkastellaan hyvin pitkällä aikavälillä tai operaattorin katetta ja henkilökuluja ei huomioida.

Alueellisen maalämpöjärjestelmän CO₂-päästöjä verrattiin kaukolämpöön nykyisillä päästökertoimilla sekä - 80 % pienimmillä kertoimilla. On huomioitavaa, että päästökertoimien laskiessa kokonaispäästöt tulevat laskemaan, mutta myös pienemmillä päästökertoimilla maalämpövaihtoehdon päästöt ovat verrattain pienemmät. Vaikuttava tekijä on maalämmön pienempi ostoenergian tarve saman lämpömäärän tuottamiseen. Päästölaskenta koko järjestelmän käyttäjälle on aina spekuloinnista, koska tulevaisuudesta ei ole varmuutta. Kuitenkin lämpöpumput käyttävät ostoenergiaa polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa merkittävästi vähemmän. On toki huomattava, että tulevaisuudessa kaukolämpö on kehittymässä vähäpäästöisemmäksi kuin mitä se on nyt ja sitä voidaan myös tuottaa lämpöpumpuin.

Alueelliseen maalämpöjärjestelmään liittyy myönteisiä näkökulmia, mutta toisaalta myös haasteita, mm. investoinnin etupainotteisuus ilman varmuutta rakentumisaikataulusta tai alueelliseen

järjestelmään liittyvien määrästä. Ehdotettu omistuksen ja operoinnin malli (luku 4.6.) voisi pienentää tätä haastetta hajauttamalla investointia ja riskiä sekä mahdollistamalla maalämmön tuotannon mitoituksen lämmöntarpeen mukaan.

Alueelliseen maalämpöjärjestelmään voidaan ohjata sekä sitä voidaan edistää mm. asemakaavoituksen, tontinluovutuksen ja muiden keinojen avulla, mutta alueelliseen maalämpöjärjestelmään ei voida velvoittaa liittymistä. Alueellisen maalämpöjärjestelmän houkuttelevuutta voidaan edistää erilaisin kaupunkirakenteellisin ratkaisuin (mm. korkea korttelitehokkuus sekä yleisten alueiden hyödynnettävyys).

Selvityksen johtopäätöksenä on, että alueellinen maalämpöjärjestelmä on teknisesti toteutettavissa, mutta haasteita voi muodostua operaattorin, joka on valmis etupainotteiseen investointiin, löytämisessä, vaiheistus, kaupunkirakenteelliset tekijät ja erityisesti viheralueiden luonne luonnontilaisena puistona. Järjestelmän edistäminen edellyttää myös kaupungin sisäisten prosessien tunnistamista ja yhteensovittamista. Mikäli alueellista maalämpöjärjestelmää lähdetään edistämään muilla asemakaava-alueilla, tulee järjestelmää edistää mahdollisimman aikaisesta vaiheesta lähtien ja sovittaa yhteen mm. katu- ja yhdyskuntateknisen suunnittelun kanssa. Vuoropuhelu mahdollisten toimijoiden kanssa tulisi olla aktiivista, jotta mahdolliset esteet ja haasteet tunnistetaan varhaisissa vaiheissa ja toisaalta teknologian kehitys pystytään huomioimaan.

1. Johdanto

1.1 Tausta ja tavoitteet

Helsingin kaupunki on selvittänyt mahdollisuuksia maalämmön hyödyntämiseen erityisesti alueellisenä ratkaisuna Karhunkaatajan uudella asuinalueella, jonka maa-alueet kaupunki omistaa.

Selvityksen tarkoituksena on selvittää alueellisen maalämpöjärjestelmän tekniset ja taloudelliset toteuttamisedellytykset Karhunkaatajan alueella. Työn tavoitteena ja lopputuloksena on konkreettinen suunnitelma siitä, miten maalämmön käyttöä Karhunkaatajan alueella voidaan edistää ja mitä haasteita ja mahdollisuuksia toteutuksessa on.

Helsingin geoenergiapotentiaali selvityksen tulosten perusteella Helsingin alueen kallioperään on sitoutunut niin paljon lämpöenergiaa, että Helsingin vuotuinen lämmitystarve voitaisiin kattaa 50 vuoden ajaksi, jos Helsinkiin tehtäisiin sen maa-alueen kattava lämpökaivokenttä, jossa kaivojen syvyydet olisivat 300- tai 1000-metriä. Yksittäinen lämpökaivo on tehottomin lämmönoton tapa, jos kallioperän geoenergiavarantoa halutaan hyödyntää maksimaalisesti. Lämpökaivokenttä, jossa kaivoja on tasaisin välimatkoin, on huomattavasti tehokkaampi tapa, koska kaivokentän avulla lämmönotto tapahtuu tasaisemmin hyödynnettävän lämpövarannon tilavuudesta. Tosin yksittäisestä lämpökaivosta saatava geoenergia metriä kohden on noin kolme kertaa suurempi kuin kaivokentän yksittäisestä kaivosta saatava geoenergia. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kaikki maalämmön edistämisen keinot on otettava käyttöön, jotta Helsingin kaupungin tavoite maalämmön osuuden nostamisesta 15 prosenttiin täyttyy vuoteen 2035 mennessä. Maalämpöjärjestelmien toteuttamisen kannalta keskeistä on, että maankäytön suunnittelussa varataan riittävästi tilaa ja jätetään avoin vaihtoehto toteutukseen. Helsingin kaupungin maanalainen yleiskaava, jonka yksi teemoista on maalämmön hyödyntäminen, sisältää koko kaupungin aluetta koskevan maalämmön yleismääräyksen, jossa todetaan, että maalämpöä voidaan hyödyntää kohteissa, joissa maalämmön poraaminen ei ole ristiriidassa muun maanalaisen tai maanpäällisen maankäytön tai maan päällä sijaitsevien suojelu- ja virkistysarvojen kanssa. Alueellisten maalämpöhankkeiden toteutumisen edistämiseksi maalämmön ja geotermisen energian kokonaisvaltaista kaavallista ohjausta pitää jatkaa yleiskaavatasolta asemakaavatasolle. (Helsingin kaupunki, 2020)

Selvityksen edistymistä ohjasi Helsingin kaupungilta ohjausryhmä sekä työryhmä. Selvityksen tueksi tehtiin haastatteluita seuraaville tahoille: Helsingin kaupunki, St1, Nevel, Adven, Auris Energiaratkaisut, QHeat, Capman, Loviisan Lämpö, Rototec Oy, Turku Energia ja Helen. Selvityksen taustaksi on myös toteutettu useita simulointeja sekä laskelmia (kappale 2.2.).

1.2 Karhunkaatajan asemakaava-alue

Karhunkaatajan asemakaava-alue sijaitsee Myllypuron lounaisosassa, johon kuuluu Viilarintien ja Viikintien risteuksen kaakkoispuolelle jäävä asemakaavoittamaton alue, sitä ympäröiviä katu- ja viheralueita sekä tontti 45239/1. Alla olevissa kuvissa on esitelty valokuvia Karhunkaatajan viheralueen nykytilasta, johon työn myöhemmissä vaiheissa on ehdotettu maalämpökaivoja sijoitettavan. Kuvat otettu 13.6.2021.



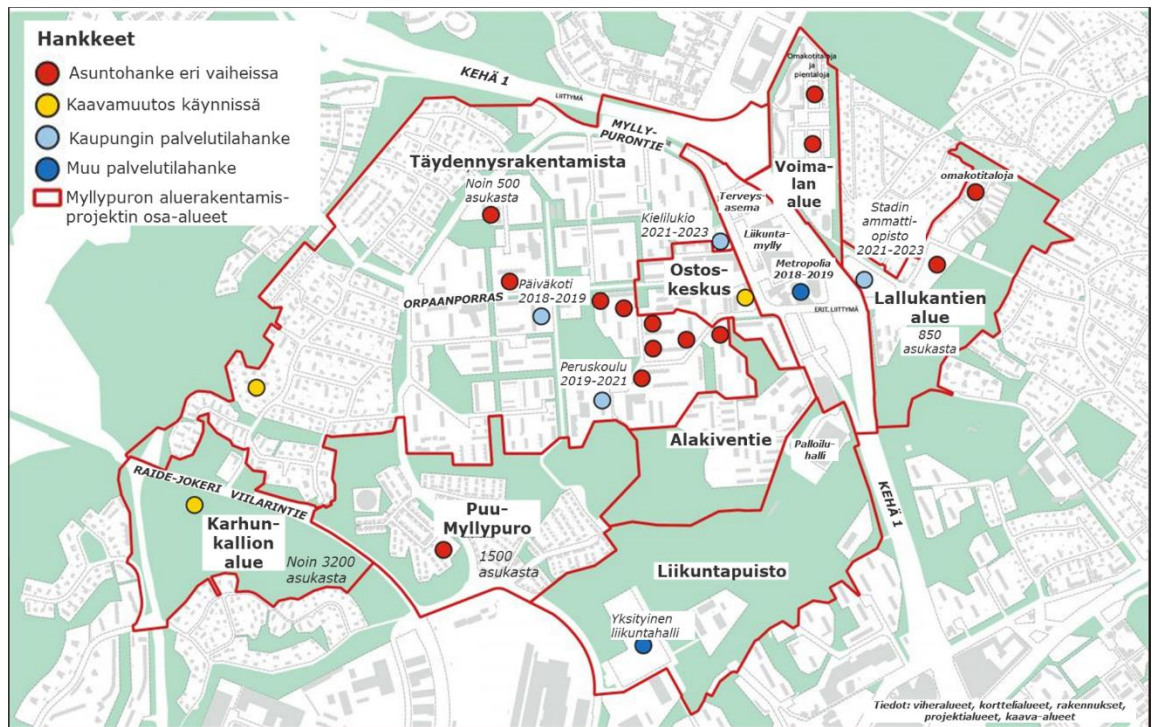
Kuva 1 Valokuvia Karhunkaatajan alueesta 13.6.2021. (Ramboll, 2021)

Kaavaratkaisu mahdollistaa uuden asuinalueen rakentamisen noin 3 500 asukkaalle sekä asumiseen liittyviä kaupallisia ja julkisia palveluita. Liikenteen pääväylät ovat Karhukalliontie (entinen Viikintie) ja Viilarintie, jota pitkin kulkee Raide-Jokeri. Viilarin- ja Karhukalliontien risteys siirretään Raide-Jokerin Myllärintien pysäkin kohdalle. Raide-Jokerin pysäkillä ja ympäröivillä viheralueilla on sujuvat jalankulkuyhteydet. (Helsingin kaupunki, 2018)

Alueelle on suunniteltu rakentamista seuraavanlaisesti:

- Asumista 121 000 k- m²
- Lähipalveluita 3 600 k-m²
- Liiketilöjä 5 000 k-m²

Asuntokortteleiden keskimääräinen tehokkuus kerrosalan perusteella on noin 1,6.



Kuva 2: Myllypuron alueen käynnissä ja valmistelussa olevat hankkeet (tilanne: 16.3.2021)
lähde: Helsingin kaupunginkanslia

2. Alueellinen maalämpöjärjestelmä

Selvityksen tässä osiossa kuvataan, miten alueellinen ja kiinteistökohtainen maalämpö olisi teknisesti toteutettavissa, millaisia tilavaroituksia erilaiset toteutusvaihtoehdot vaatisivat sekä mitä ovat eri toteutusvaihtoehtojen kustannukset ja CO₂-päästöt.

Alueellisen maalämpöjärjestelmän teknistä toimivuutta Karhunkaatajan alueella tutkittiin laskennallisesti hyödyntäen dynaamisia maalämpösimulointeja. Simulointitarkastelujen tärkein fokus on energiakaivoissa ja niistä saatavan lämmitysenergian pitkän aikavälin riittävydessä alueella sijaitseville rakennuksille. Suoritetut simuloinnit ja laskelmat sisältävät lukuisia arvioita, oletuksia ja yksinkertaistuksia liittyen moniin parametreihin ja lähtöarvoihin. Tämän vuoksi tarkastelun tulokset ovat suuntaa antavia, ja niiden tarkoitus on tuoda esiin suuruusluokat.

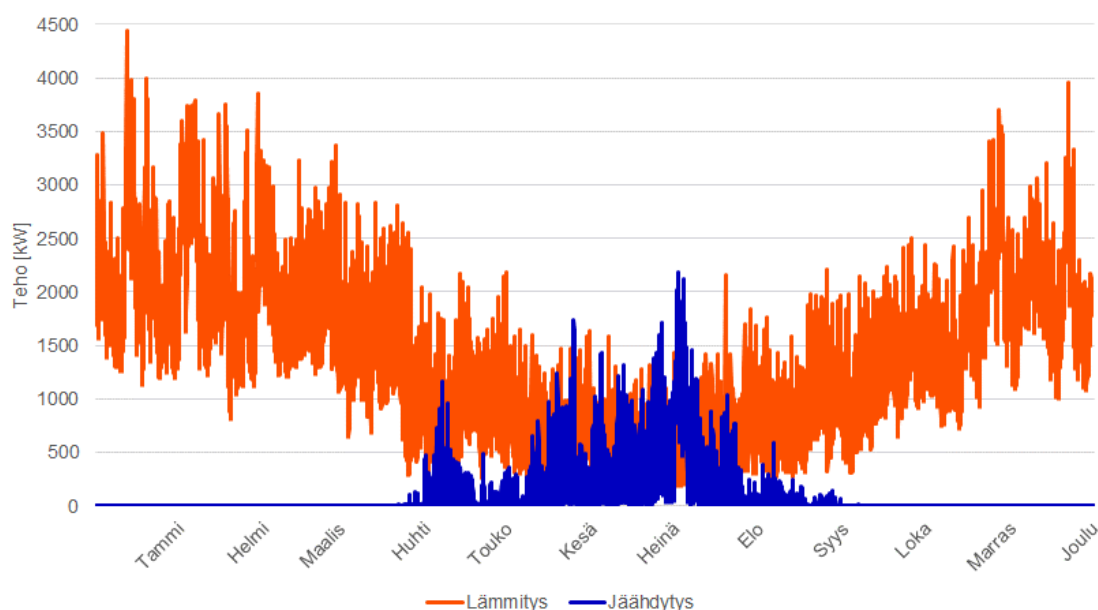
Työssä simuloitiin useita erilaisia maalämpöjärjestelmävaihtoehtoja. Näissä vaihtoehdoissa tutkittiin esimerkiksi maalämpökaivojen lukumääriä, syvyyksiä, lämmönlataamista maalämpökenttään, sekä alueellista- ja korttelikohtaista maalämpöä.

Maalämpöjärjestelmien eri aluerajaukset on määritelty tässä työssä seuraavalla tavalla:

- Kiinteistökohtainen järjestelmä: Kiinteistön tontille mahtuvat kaivot. Jokaisella tontilla yksi kaivokenttä sekä yksi lämpöpumppujärjestelmä.
- Korttelikohtainen järjestelmä: Korttelin tonteille mahtuvat kaivot. Jokaisella korttelilla yksi kaivokenttä sekä yksi lämpöpumppujärjestelmä.
- Alueellinen järjestelmä: Alueen yleisille alueille mahtuvat kaivot, kuten liikenne- ja viheralueet. Kaivoista vedetään kollektoriputket keskitettyyn lämpöpumppulaitokseen, josta lämpö jaetaan yhteisen lämmitysverkoston kautta kiinteistöille.

2.1 Rakennusten lämmitysenergiantarve

Rakennusten lämmitysenergian tarpeen arvio perustuu erityyppisten rakennusten neliöpohjaisiin kulutuksen tuntisarjoihin [W/m²], joiden pohjalta määritettiin erikseen jokaisen alueella sijaitsevan korttelin lämmitysenergian kulutuksen tuntiprofiili. Kuvassa on esitetty koko alueen lämmön- ja jäähdytysenergian tuntivaihtelu.



Kuva 3 Karhunkaatajan alueen vuosittainen lämmön- ja jäähdytysenergiantarve

Taulukossa esitetään alueelle suunniteltujen rakennusten tyypit ja kerrosalat sekä laskettu lämmön tarve.

Taulukko 1 Tyypirakennusten eri käyttötarkoitukset, laajuudet, ja lämmönkulutukset

Rakennuksen tyyppi	k-m2	Lämmityksen tarve [kWh/m2]	Lämmityksen tarve [MWh/vuosi]
Asuinkerrostalo	120 800	88	10 683
Toimisto	4 500	27	122
Koulu	3 600	91	327
Yhteensä:	128 900	-	11 131

Kuten taulukosta havaitaan, noin 94 % alueen rakennusten kokonaislaajuudesta on asuinkerrostaloja. Muilla rakennustyypeillä on erittäin pieni osuus laajuuksista ja myös energiankulutuksesta. Taulukossa esitetty lämmityksentarve sisältää tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen. Rakennuksista erityisesti toimistot ja koulut voivat kuluttaa myös jäähdytystä.

Jäähdytys rajattiin simulointien ulkopuolelle, koska alueellisen jäähdytysverkon investointi laskettiin olevan liian iso suhteessa saavutettavaan hyötyyn maalämpöjärjestelmän kannalta. Työssä päädyttiin, että kaivokenttiä tulee ladata, mutta lataus suositellaan tehtävän ensisijaisesti ulkoilman lämpöä hyödyntäen. Tarkempaa tietoa tästä on esitetty työn myöhemmissä luvuissa.

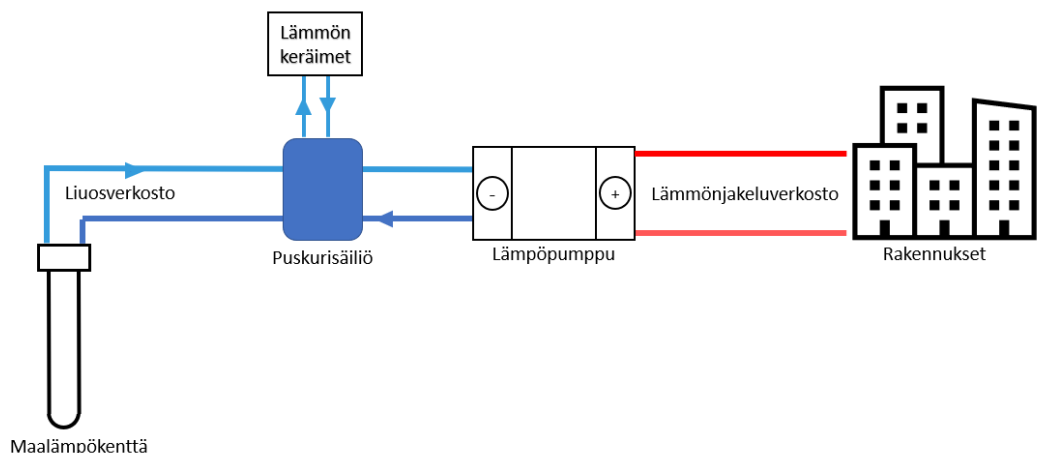
Asuinkerrostalojen lämmityksenkulutus perustuu viidenkymmenen vuosina 2013–2018 valmistuneiden asuinkerrostalorakennusten tuntikohtaiseen mittausdataan, joka on sääkorjattu vastaamaan energialaskennan testivuoden TRY2012 Helsingin säädädataa. Käyttöveden kulutusprofiilissa sovellettiin yhden asuinkerrostalon 30 minuutin tarkkuudella mitattua kulutusprofiilia, sekä edellä mainittujen 50 asuinkerrostalon mittausdatan yhdistämistä yhdeksi keskimääräistä käyttöveden kulutusta kuvaavaksi tuntisarjaksi. Muiden rakennustyyppien kulutukset perustuvat simulointeihin, edellä mainitulla säädädataalla.

2.2 Simulointimallin kuvaus ja yleiset lähtötiedot

Tässä työssä suoritettut maalämpösimuloinnit tehtiin käyttämällä IDA ICE v4.8-ohjelmistoa. Tällä ohjelmistolla voidaan mallintaa dynaamisesti maalämpöjärjestelmää, johon sisältyy kaivokenttä ja siihen liitetty lämpöpumppujärjestelmä sekä energiaa kuluttavat rakennukset. IDA ICE simulointien lähtötietona käytettiin rakennusten lämmitysenergiankulutuksen tuntiprofiilia.

IDA ICE simulointimalli pitää sisällään energiakaivokentän, jossa jokaisen kaivon sijainti on yksilöllisesti määritetty tarkoilla koordinaateilla. Kaivokentän liuosverkosto (etyleeniglykolin ja veden seos) kulkee lämpöpumppulaitoksen höyrystimelle, joka ottaa liuosverkosta lämpöä ja siirtää sen lauhduttimen kautta lämmönjakeluverkostoon. Lämmönjakeluverkosto syöttää rakennuksille lämpöä. Se osuu rakennusten lämmöntarpeesta, jota ei saada maalämpöpumpulta, kompensoidaan jollain muulla tuotantomuodolla, jonka tyyppiin simulointimalli ei itsessään ota kantaa. Lämmönjakeluverkoston lämpötilatasoon ei otettu simuloinneilla kantaa ja lämpöpumpun hyötysuhde pidettiin vakiona. Järjestelmä sisältää jäätyminenestoautomaatiikan, joka mittaa energiakaivoista lämpöpumpulle palaavan liuoksen lämpötilaa ja sen perusteella tarvittaessa rajoittaa lämpöpumpun tehoa, estäen kallioperän jäähtymisen liian kylmäksi. Jäätyminenestoautomaatiikan takia maalämpöjärjestelmä tuottaa tyypillisesti ensimmäisinä vuosina eniten energiaa, kun kallioperä on vielä lämmin. Vuosittainen lämmöntuotanto alkaa vähitellen vähentymään sitä enemmän mitä enemmän kallioperä (ja liuoksen lämpötila) ajan mittaan jäähtyy.

Simulointimalli sisältää lisäksi optionaalisen lämmönkeräinyksikön, joka on kytketty lämpöpumpun höyrystinpuolelle liuosverkkoon. Lämmönkeräin on ilma-neste lämmönsiirrin, joka ottaa puhallinten avulla tehostetusti lämpöä ulkoilmasta ja siirtää sen liuosverkkoon. Simuloinneissa lämmönkeräimellä voidaan ladata kaivokenttään lämpöenergiaa, ja se toimii myös maalämpökaivojen lisäksi rinnakkaisena lämmönlähteenä lämpöpumpulle. Lämmönkeräinten sähkönkulutus arvioitiin mukaan laskelmiin. Lämmönkeräintä ohjataan simuloinneissa siten, että se on aina päällä, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin lämmönkeräimelle saapuvan liuoksen lämpötila. Lämmönkeräimen teho on sitä suurempi, mitä suurempi on lämpötilaero ulkoilman ja liuoksen välillä. Näitten syitten takia lämmönkeräinten energiantuotanto painottuu erittäin voimakkaasti kesäkaudelle. Lämmönkeräimen ensisijainen tarkoitus on estää kaivokenttää jäähtymästä liikaa lataamalla sinne lämpöä. Tämä mahdollistaa suuremman lämpöenergian saannin kaivoista pitkällä aikavälillä.



Kuva 4 Yksinkertaistettu periaatekaavio simulointimallista

Kaikki simuloinnit suoritettiin 50 vuoden jaksolle, jotta voitiin tarkastella kallioperän lämpötilan käyttäytymistä ja maalämpöjärjestelmän lämpöenergiantuotannon kehittymistä pitkällä aikavälillä.

Maalämpökaivot sijoitettiin tarkasteltaville alueille Helsingin kaupungin maalämpöohjetta soveltaen. (Helsingin kaupunki, 2021):

- Maalämpökaivojen etäisyys rakennuksista 3 metriä.
- Kaivoja oletettiin voitavan porata vinosti rakennusten alle. Vinoporatun kaivon yläpää sijoitettiin vähintään 3 metriä rakennuksen ulkoseinästä sekä vähintään 5 metriä seuraavasta kaivosta.

Maalämpösimuloinneissa käytettyjä keskeisiä lähtöarvoja:

- Kallioperän lämmönjohtavuus: 2,87 W/(m·K) (Helsingin kaupunki, 2019)
- Lämmönkeruu kollektorin tyyppi: U-putki kollektori
- Kallioperän tiheys: 2707 kg/m³ (Helsingin kaupunki, 2019)
- Kallioperän ominaislämpökapasiteetti: 725 J/(kg·K) (Helsingin kaupunki, 2019)
- Porakaivon sisäinen lämpövastus: 0,1
- Lämpöpumpun keskimääräinen COP: 3,0
- Simulointijakson pituus: 50 vuotta
- Yhden lämmönkeräinyksikön teho: 100kW (kun sisään tuleva liuos on +5 °C ja ulkoilma +10°C)
- Lämpötila, jonka alle kentästä palaavaa liuosta ei päästetä putoamaan: +1 °C
- Kaivo -ja U-putkidimensiot ja virtaamat sekä kallion lämpötila arvioitiin tapauskohtaisesti kaivosyvyyden mukaan. Työssä haarukoitiin lukuisia kaivosyvyyksiä.

Tärkein simuloinneista saatava tulos on maalämpöpumpun lämmitysenergiantuotantoprofiili, joka saatiin jokaisesta simuloinnista 50 vuoden pituiselle simulointijaksolle. Tämän perusteella voitiin laskea esimerkiksi maalämmön energiapeittoprosentti, joka kuvaa kuinka suuri osuus alueen lämmöntarpeesta voidaan tuottaa maalämpöpumpulta. 50 vuoden tuotantoprofiiliin perusteella nähdään myös selvästi, miten hyvin kallioperässä riittää lämpöenergiaa pitkällä aikavälillä eri tapauksissa. Simulointitulosten pohjalta laskettiin myös energiantuotannon CO₂-päästöt ja energiantuotantokustannukset.

Keskisyyviä energiakaivoja ei simuloitu dynaamisesti, vaan ne käsiteltiin yksinkertaisella vuosittaisella tuottoarviolla: 1000 MWh lämpöpumpun lämmöntuotantoa per yksi 1500 m syvä kaivo ja COP = 4.0. Käytetyt arvot perustuvat mallinnuksiin sekä käytännön kokemuksiin toteutuneista hankkeista.

2.2.1 Alueellisen maalämpöjärjestelmän kuvaus

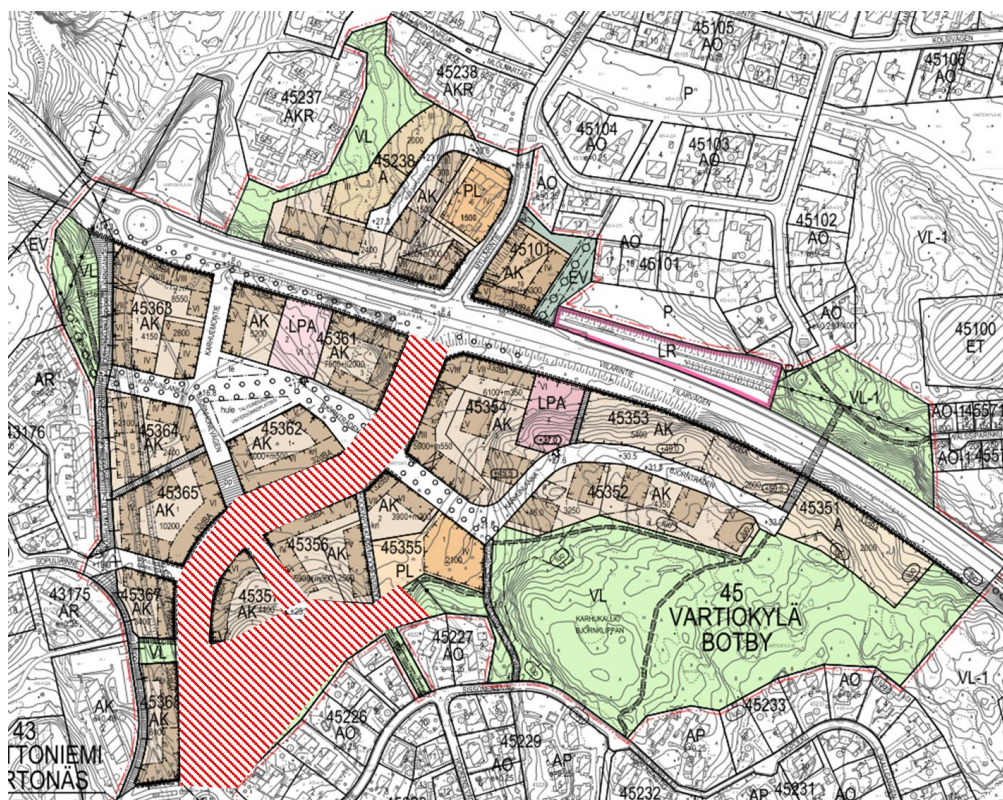
Alueellinen maalämpö tarkoittaa tässä tapauksessa Karhunkaatajan yleisillä alueilla (esimerkiksi liikenne- ja viheralueet) sijaitsevaa maalämpökenttää sekä siihen liitettyä lämpöpumppulaitosta ja lämmönjakeluverkostoa, joka palvelee kaikkia alueen rakennuksia.

Simuloinneissa maalämpökaivoja sijoitettiin alueen eteläosassa sijaitsevalle viheralueelle, sekä sen läheisyyteen suunniteltujen ajoteiden alle. Nämä alueet on merkitty seuraavassa kuvassa punaisella värillä. Muut alueet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle seuraavin perustein:

- Liuosverkoston pituus saatiin pidettyä riittävän lyhyenä. Verkon pituuksista ja kustannuksista on kerrottu tarkemmin luvussa 2.5.
- Alueen kaakkoisosassa sijaitseva viheralue rajattiin tarkastelun ulkopuolelle koska se on kaavassa rajattu luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeäksi alueeksi.
- Alueella sijaitseville tonteille ei sijoitettu alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivoja, koska tonteille sijoitettavat kaivot rajaisivat kiinteistöjen mahdollisuutta kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin myös tulevaisuudessa. Tonteille olisi mahdollista sijoittaa alueellisen järjestelmän kaivoja vain, jos tonttien omistajat tekisivät erillisen sopimuksen maalämpöjärjestelmätomijän kanssa. Tässä työssä eri järjestelmävaihtoehtoja tutkittiin erikseen yksinkertaistuksen vuoksi.

Taulukko 2 Kaivot yleisillä alueilla vs. kaivot tonteilla

	Kaivot yleisillä alueilla	Kaivot tonteilla
+	- Mahdollistaa laajempia yhtenäisiä kaivokenttiä, joihin yksinkertaisempaa rakentaa putkistot ja liittää yhteen keskitettyyn lämpöpumpulaitokseen - Yhtenäinen kaivokenttä mahdollistaa tehokkaan lämmönlataamisen kenttään. Jos kenttä on hajautettu, joudutaan lämmönlataamista tekemään myös hajautetummin, mikä kasvattaa investointi- ja huoltokustannuksia.	- Mahdollistaa Karhunkaatajan alueella suuren alueen hyödyntämisen, minkä ansiosta maalämmöllä voidaan kattaa suuri osuus lämmöntarpeesta. - Alueen keskeisissä kortteleissa joudutaan tekemään paljon esirakentamista ja maansiirtoa, joten maalämpökaivojen poraaminen olisi mahdollista tehdä samalla.
-	- Yleisiä alueilla myös muita käyttövaatimuksia, jotka voivat hankaloittaa kaivokentän rakentamista, esimerkiksi liikennealueiden alle pitää rakentaa kaivot etukäteen sekä viheralueilla voi aiheuttaa ongelmia kasviston kanssa. - Viheralueilla voi aiheuttaa ongelmia kasviston ja alueen käyttötarkoituksen (virkistykseen) kanssa. Vaatii puiden kaatamista ja todennäköisesti maaston muokkaamista tai louhintaa ennestään rakentamattomalla alueella.	- Kaivokentät hajautettu useaan eri paikkaan, mikä kasvattaa etäisyyksiä ja/tai vaatii monta erillistä lämpöpumpulaitosta, jotka kasvattavat investointi- ja huoltokustannuksia. - Jos tontikohtaisia järjestelmiä hyödynnetään aluetason lämmitykseen, voi aiheuttaa konflikteja esimerkiksi siinä tilanteessa, kun yksittäinen tontti haluaisi irtaantua alueellisesta lämpöverkosta. Kuka omistaa kaivot sen jälkeen, ja miten alueellinen järjestelmä toimii, kun kaivojen määrä vähenee? - Alueelle rakennetaan hyvin tiiviisti, jolloin pelkästään tonteille mahtuvat kaivot eivät välttämättä riitä kattamaan tarpeeksi lämmöntarpeesta. - Kaivokentän rakentamisen yhteensovittaminen tontin rakennusten kanssa



Kuva 5 Alueet, joihin maalämpökaivoja sijoitettiin alueellisessa simuloinnissa merkittynä punaisella viivoituksella.

Jokainen kaivo piirrettiin ensin alueen karttapohjalle ja IDA ICE -simulointimalliin syötettiin nämä yksilölliset kaivokoordinaatit. Näiden simulointien lämmitysenergiantarpeena käytettiin kaikkien alueen korttelien yhteenlaskettua energiatarveprofiilia.

Alueelliset maalämpötarkastelut sisälsivät ison määrän simulointeja (yhteensä 120 kpl), joissa haarukoitiin erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttamiseksi:

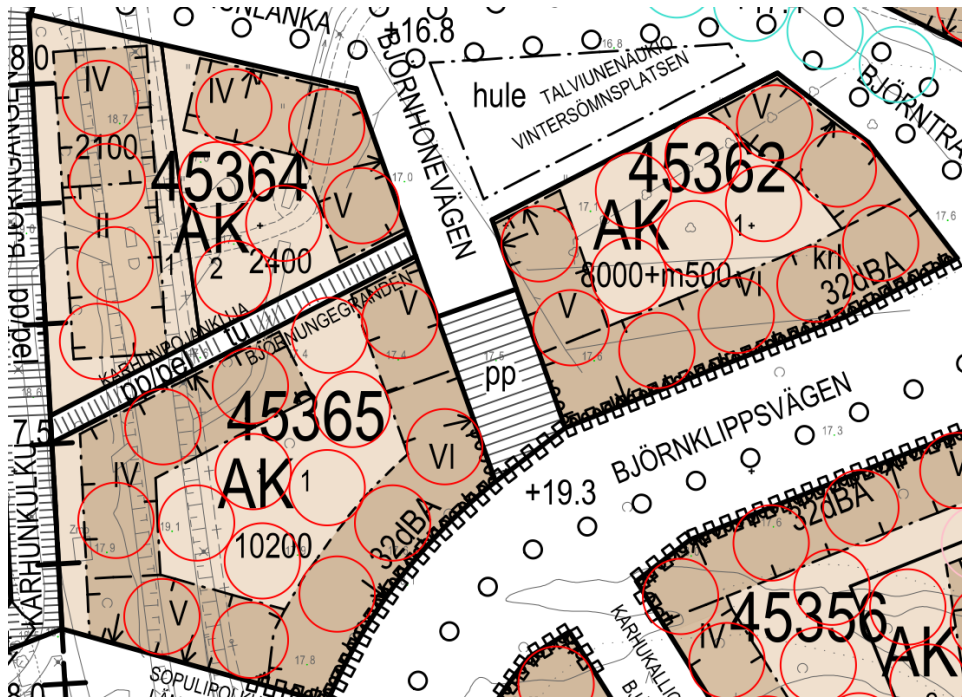
- Maalämpökaivojen lukumäärä (38–192 kpl)
- Maalämpökaivojen poraustiheys (10 m tai 15 m vaakasuuntainen etäisyys)
- Lämmönkeräinyksiköiden lukumäärä (0, 7 tai 14 kpl); yhden lämmönkeräinyksikön ala on 15 m² eli 7 yksikköä on pinta-alaltaan noin 100 m².
- Maalämpökaivojen syvyys (300 m – 600 m)
- Keskisyvät energiakaivot (kaivosyvyys 1500 m)

2.2.2 Korttelitason maalämmön kuvaus

Korttelitason maalämpö tarkoittaa tässä tapauksessa yhden korttelin kaikkia rakennuksia palvelevaa maalämpöjärjestelmää, jossa energiakaivot sekä lämpöpumppu sijaitsevat kyseisen korttelin omalla tontilla. Korttelitason simuloinnit suoritettiin vertailukohtana alueellisille maalämpöjärjestelmävaihtoehtoil.

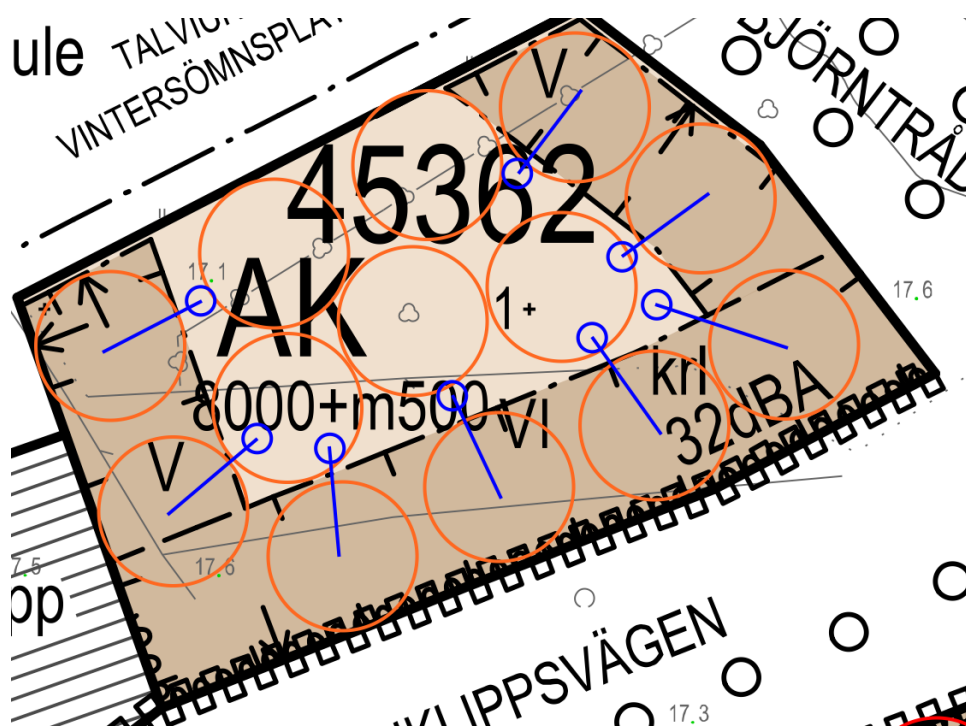
Jokaiselle korttelille määriteltiin niin monta kaivoa kuin järkevästi niiden tontille mahtuu poraamaan (15 metrin poraustiheydellä). Tulokset kuvaavat siten kaivojen lukumäärän suhteen korttelien maksimimaalämpöpotentiaalia. Jokainen kaivo piirrettiin alueen karttapohjalle ja IDA ICE -simulointien maalämpökettäkomponentteihin syötettiin nämä yksilölliset kaivokoordinaatit. Jokaisella korttelilla on simulointimallissa oma itsenäinen maalämpökenttensä, lämpöpumppunsa ja energi-ankutusprofiilinsa.

Kaikki alueen korttelit ovat yhtä aikaa mukana samassa simuloinnissa, jonka ansiosta eri korttelien maalämpökenttien väliset keskinäiset vaikutukset on huomioitu laskelmissa. Näitä keskinäisiä vaikutuksia syntyy, kun toisiaan lähekkäin sijaitsevat maalämpökentät alkavat ajan mittaa jäähtymään, jolloin ne voivat alkaa heikentää myös naapurikorttelien maalämpökaivoista saatavan energian määrää. Mitä lähempänä toisiaan kentät sijaitsevat ja mitä suurempaa niihin kohdistuva kuormitus on, sitä enemmän ne heikentävät myös toistensa lämmönsaantia.



Kuva 6 Esimerkki kortteleihin sijoitetuista kaivoista

Rakennusten alle sijoitetut kaivot kuvassa tarkoittavat vinoporausta rakennusten vierestä.



Kuva 7 Esimerkki rakennusten alle vinoporatuista kaivoista. Pieni sininen ympyrä kuvaa porareian alkupäätä, sininen viiva kollektoriputken suuntaa ja iso oranssi ympyrä kaivon vaikutusaluetta

Korttelitason maalämpötarkastelut sisälsivät joukon simulointeja (yhteensä 4 kpl), joissa haarukoi-
ttiin erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja korttelitason maalämpöjärjestelmän toteuttamiseksi:

- Maalämpökaivojen syvyys (300 m tai 600 m)
- Lämmönlataus (ei latausta tai jäteilmän lämmöntalteenotto)

Ilmanvaihdon jäteilmän lämmöntalteenotto (LTO) toimii tässä samalla periaatteella kuin lämmön-
keräimet, joiden toimintaperiaate on kuvattu luvussa 2.2. Keskeisenä erona on, että lämmönlä-
hteenä käytetään ulkoilman sijaan ilmanvaihtokoneiden LTO-patterin jälkeistä ilmaa, joka norma-
listi puhalletaan ulos rakennuksesta. Tämän ilmavirran lämpötila ja virtaama määrittää saatavilla
olevan tehon. Ajatuksena on, että kortteleiden rakennuksissa olisi pääosin keskitetyt ilmanvaihto-
koneet, joissa on mukana jäteilmän LTO-patterit, joihin on kytketty putket maalämpöjärjestelmän
liuosverkosta. Jäteilmavirran ominaisuudet ja ilmamäärät on arvioitu korttelikohtaisesti simuloin-
tien perusteella.

Keskeisin tulos korttelitason simuloinneista on korttelikohtaisesti maalämpöpumpun lämmitys-
energiantuotanto 50 vuoden aikajaksolla.

2.3 Maalämmön energiatarkastelut

Työn toteuttamisen aikana tehtiin runsaasti erilaista maalämpösimulointia, joilla tutkittiin erityyp-
pisten vaihtoehtojen vaikutuksia ja etsittiin parhaita ja toteutuskelpoisimpia ratkaisuja. Tässä ra-
portissa ei käsitellä yksityiskohtaisesti kaikkia näitä simulointeja, vaan keskitytään tulosten poh-
jalta tehtyihin yleisiin johtopäätöksiin sekä nostetaan esiin yksittäisiä esimerkkejä simuloinneista.

Alueellisella maalämpöjärjestelmällä tulisi saada katettua tarpeeksi suuri osuus alueen lämmön-
tarpeesta, jotta sen toteuttaminen olisi teknistaloudellisesti järkevää. Mikäli järjestelmä tuottaa vain
pienen osan lämmitystarpeesta, joudutaan turvautumaan enemmän rinnakkaiseen lämmitysmuo-
toon, esimerkiksi kaukolämpöön tai suoraan sähkölämmitykseen, joka vaikuttaa heikentävästi
koko järjestelmän kannattavuuteen. Samalla myös energian käytön päästöt todennäköisesti kas-
vavat. Suuntaa antavana vertailulukuna voidaan käyttää sitä, että tyypillisesti kiinteistökohtaiset
maalämpöjärjestelmät pyritään mitoittamaan noin 80–90 % lämmitysenergian peittoasteelle.

Seuraavaksi laskennallisista tarkasteluista nostetaan esimerkinomaisesti esille kahdeksan ske-
naariota, joissa on kaikissa hieman erityyppinen ratkaisu. Tarkoituksena on demonstroida, miten
erilaiset suunnitteluratkaisut vaikuttavat Karhunkaatajan alueelliseen lämmitysenergianpeittoas-
teeseen ja millä keinoilla voidaan saavuttaa riittävä alueellinen lämmityksen peittoaste. Peittoas-
teella tarkoitetaan 50 vuoden keskimääräistä peittoastetta. Skenaariot 1–6 ovat alueellisia maa-
lämpöjärjestelmiä ja skenaariot 7 ja 8 korttelikohtaisia.

Skenaariot 1–4: Näissä lähdetään liikkeelle 300 m syvistä kaivoista ja tehdään aina yksi energia-
peittoa kasvattava muutos kerrallaan, kunnes lopulta päästään 90 % peittoasteeseen.

Skenaariot 5 ja 6: Nämä esittävät kuinka 600 m syvillä kaivoilla sekä keskisyvillä energiakaivoilla
voidaan saavuttaa 90 % peittoaste.

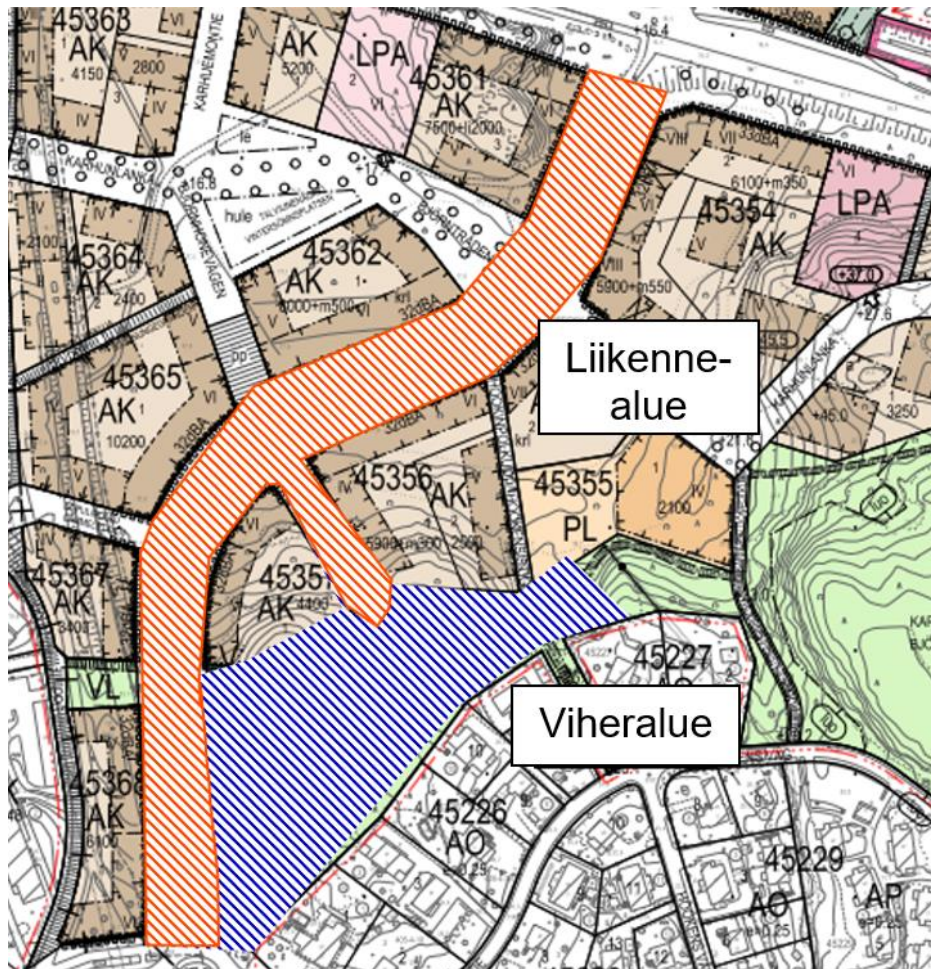
Skenaariot 7–8: Näissä skenaarioissa esitetään korttelikohtaisella maalämpöjärjestelmällä saa-
vutettava energianpeittoaste ilman lämmön latausta ja lämmön latauksella.

Taulukko 3 Tuloksiin valitut skenaariot

Skenaa- rio	Porausalue	Poraus tiheys [m]	Kaivojen lukumäärä [kpl]	Kaivojen syvyys [m]	Lämmönkeräinten lukumäärä [kpl]	Lämmityksen energiapeitto [%]
1	Viher- + liikennealue	15	122	300	0	23
2	Viher- + liikennealue	15	122	400	0	30
3	Viher- + liikennealue	15	122	400	14	79
4	Viher- + liikennealue	10	192	400	14	90
5	Viheralue	15	72	600	7	90
6	Viheralue	40	11	1500	0	90 ¹
7	Korttelit	15	307	300	0	71
8	Korttelit	15	307	300	Jäteilman LTO ²	91

¹ Keskisyvän energiakaivon tulokset eivät perustu simulointeihin, vaan karkean tason energiantuotto arvioon.

² Korttelikohtaisessa järjestelmässä lämmönkeräimet korvattiin jäteilman LTO järjestelmällä



Kuva 8 Liikenne – ja viheralueiden rajaukset

Skenaario numero 1 kuvaa tapausta missä koko Kuva 8 merkattu alue (liikenne- ja viheralue) porattaisiin täyteen 300 m syviä maalämpökaivoja 15 m poraustiheydellä (yhteensä 122 kaivoa). Tällöin alueellinen lämmityksen peittoaste olisi noin 23 %. Tästä voidaan todeta, ettei tällaisella ”tyypillisellä” kaivokonfiguraatiolla (300 m kaivosyvyys, 15 m etäisyys) päästä kovinkaan korkeaan alueelliseen peittoasteeseen.

Skenaario numero 2 on muuten sama kuin skenaario 1, mutta kaivosyvyys on kasvatettu 400 metriin. Kaivojen syvyyttä kasvattamalla saadaan yhdestä kaivosta enemmän energiaa. Tällä hetkellä 400 metriä syvät kaivot ovat kohtuullisen yleisiä, ja ne katsotaan tässä työssä toteutuskelpoiseksi ja toimivaksi ratkaisuksi. Tuloksista nähdään, että kaivoja syventämällä energian peittoaste on nyt 30 %, eli hieman suurempi kuin skenaariossa 1, mutta edelleen suhteellisen alhainen.

Skenaariossa numero 3 järjestelmää muutetaan siten että siihen lisätään 14 kappaletta lämmönkeräinyksiköitä, jotka lataavat ulkoilmasta lämpöä maalämpökaivoihin. Nyt tuloksissa nähdään erittäin suuri hyppäys lämmöntuotossa. Lämmityksen peittoaste kasvaa 30 %:sta 79 %:iin. Tämä on erittäin merkittävä tehostus lämmöntuotantoon, ja tulosten pohjalta lämmön lataaminen kaivoihin onkin yksi parhaista keinoista kasvattaa energiapeittoa korkeampiin lukemiin käytössä olevalla rajallisella kaivomäärällä.

Skenaariossa numero 4 kaivotiheyttä viheralueella kasvatetaan siten että kaivojen välinen etäisyys on 10 metriä, jolloin kaivojen lukumäärä kasvaa 122:sta 192:een. Nyt peittoaste on jo 90 %.

Huomion arvoista on, että kaivotiheyden kasvattaminen alueella on kannattavaa ainoastaan, jos järjestelmässä on mukana lämmönkeräimet. Ilman lämmönkeräimiä viheralueella sijaitsevan tiiviin kaivokentän sisäosa kylmenee suhteellisen nopeasti, jonka jälkeen sieltä ei saa juurikaan enempää energiaa kuin tavallisella 15 m kaivoetäisyydellä porattuna.

Skenaariossa numero 5 on esitetty vaihtoehto, jossa pelkästään viheralueelle on porattu 15 metrin välein 600 metriä syviä kaivoja (yhteensä 72 kpl). Lisäksi järjestelmässä on mukana seitsemän lämmönkeräinyksikköä. Myös tällä ratkaisulla päästään 90 % lämmityksen energianpeittoasteeseen.

Skenaariossa numero 6 lämmönlähteenä toimii keskisyvät energiakaivot, joiden syvyys on 1500 m ja joita porataan 11 kappaletta 40 metrin tiheydellä viheralueelle. Myös tällä ratkaisulla päästään 90 % energiapeittoon. Toisin kuin kaikki muut tulokset, keskisyvän energiakaivon tulos ei perustu dynaamiseen simulointiin, vaan hyvin karkean tason energiantuotantoarvioon.

Skenaario numero 7 kuvaa korttelitason maalämpöratkaisua, jossa on 300 metrin kaivot 15 metrin etäisyydellä toisistaan. Kaivoja mahtuu korttelien alueelle arviolta 307 kappaletta, eli huomattavasti enemmän kuin alueellisen tason maalämpöjärjestelmään. Tällä ratkaisulla saavutetaan 71 %:n alueellinen energiapeittoaste.

Skenaario numero 8 on muuten sama kuin skenaario 7, mutta siihen on lisätty ilmanvaihdon jäteilman lämmöntalteenotto, jolla voidaan ladata kaivoja ja saada samankaltainen vaikutus kuin lämmönkeräimillä. Tällä toimenpiteellä peittoaste nousee nyt 91 %:iin. Toimivana vaihtoehtona jäteilman lämmöntalteenotolle olisi kasvattaa kaivosyvyttä hieman suuremmaksi. Tälläkin keinolla voitaisiin luultavasti nostaa peittoaste 90 %:iin.

2.4 Yhteenveto alueellisesta maalämpöjärjestelmästä

Suoritettujen simulointien osalta on valittu järjestelmävaihtoehto, joka on teknisesti toteutuskelpoisin järjestelmä. Valinnassa on otettu huomioon teknologian kypsyys sekä järjestelmän tuottaman lämmityksen energiapeiton riittävyys. Raportissa käytetään tätä järjestelmävaihtoehtoa pohjana muille tarkasteluille.

Luvussa 2.3 esitetyistä skenaarioista nykyteknologialla toteutuskelpoisin järjestelmä on skenaario 3 ja 4. Järjestelmään kuuluu 400 metriä syvät maalämpökaivot, jotka porataan 10 tai 15 metrin välein. Maalämmön lisäksi järjestelmään kuuluu lämmönkeräinyksiköitä, joiden avulla hyödynnetään ilmasta saatavaa lämpöä lämmitykseen sekä maakentän lataamiseen.

Syvemmillä kaivoilla, kuten 600 m tai 1500 m, on mahdollista saavuttaa pienemmällä kaivomäärällä myös hyvä energiapeittoaste, mutta tässä vaiheessa teknologia ei ole vielä laajasti käytössä eikä sen tarkasta toiminnasta ole riittävästi kokemusta ja varmuutta tässä kokoluokassa. Karhunkaatajan alue valmistuu kuitenkin 2030-luvulla, joten teknologia kehittyy todennäköisesti syvempien kaivojen osalta. Etenkin 1500 metriä syviin kaivoihin liittyy vielä paljon avoimia kysymyksiä ja niihin liittyviä toimivia toteutusmalleja kehitetään ja tutkitaan tällä hetkellä monella taholla.

Maalämpökentän lataaminen on oleellinen osa valitun järjestelmän toimivuutta. Lämmönlataaminen on mallinnettu lämmönkeräinten avulla, joiden toimintaperiaate on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2. Ilman lämmönlataamista maakenttä jäähtyy elinkaaren aikana, jolloin järjestelmän tehokkuus heikkenee merkittävästi. Lämmönlataaminen maakenttään on vakiintunut käytäntö mutta sen tekeminen tässä mittakaavassa ei ole, joka voi aiheuttaa haasteita tulevalle operaattorille.

Valitussa järjestelmävaihtoehdossa maalämpökaivoja on porattu myös liikennealueiden alle. Nämä kaivot tulee porata infrarakentamisen yhteydessä, joka tarkoittaa myös, että kaivot tehdään ennen kuin alueella on asuinkerrostaloja. Viheralueille porattavat kaivot voidaan porata myöhemmin, kun asuinkerrostalojen määrä, ja siten myös lämmöntarve alueella, kasvaa. On kuitenkin huomattavaa, että kaupungin tahtotila on, että viheralueelle porattavat kaivot tehtäisiin joko kaikki kerralla tai ainakin vain muutamassa vaiheessa, jotta viheralue voidaan rakentaa virkistätymistarkoitusta varten. Kaivojen poraamisessa tulee myös ottaa huomioon alueella tehtävät louhinnat, sillä louhinnat voivat vahingoittaa porakaivojen kollektoriputkia. Kaivot tulisi tehdä louhintojen jälkeen välttääkseen tätä vahinkoa. Viheralueella on mahdollista, että louhimista joudutaan tekemään maastonmuotojen vuoksi.

Jos halutaan välttää edellä mainittuja ongelmia, on myös vaihtoehtona hyödyntää alueella sijaitsevien tonttien pihoja kaivoille. Tonttien hyödyntämisessä on kuitenkin omat haasteensa liittyen esimerkiksi kaivojen ja niistä saatavan lämmön omistukseen.

2.5 Aluelämpö- ja jäähdytysverkko

Alueellinen lämpöverkko on materiaaleiltaan ja rakenteeltaan täysin samanlainen riippumatta siitä onko lämmitysmuotona kaukolämpö vai maalämpö. Eroavaisuuksia voi olla mitoituslämpötiloissa, joita käsitellään luvussa 2.6.1. Alueelliset lämpö- ja jäähdytysverkot (ml. kaukolämpö) muodostuvat pääsääntöisesti kiinnivaahdotetuista kaksiputkilämpöjohdoista. Molemmat teräsputkista voivat olla yhden yhteisen muovisuojakuoren ja lämpöeristeen sisällä tai meno- ja paluuputkille voi olla omat erilliset suojakuoret ja eristeet (kaksi johtoa). Yhteisen ulkorakenteen (Mpuk) johtotyyppiä käytetään tyypillisesti pienemmissä putkikoissa ja erillISRatkaisua suuremmissa putkikoissa (2Mpuk).



Kuva 9. Lämmönjakeluverkoston ja -kaivannon rakenne (2Mpuk)

Putkikoon eli putkien sisähalkaisijan (DN) määrittää siltä vaadittu lämpötehon siirtokapasiteetti ja verkon mitoituslämpötilat. Mitoituslämpötilat määrittelevät verkon lämpötilaeron meno- ja paluu-putkien välillä. Mitä suurempi ero on, sitä pienempi putken sisähalkaisija riittää saman lämpötehon siirtämiseksi. Yksinkertaistaen voidaan todeta, että mitä matalampi menomitoituslämpötila lämpöverkossa on, sitä suuremmat johdot verkko vaatii. Luonnollisesti suuremmat johdot ovat myös kalliimmat hankkia ja asentaa.

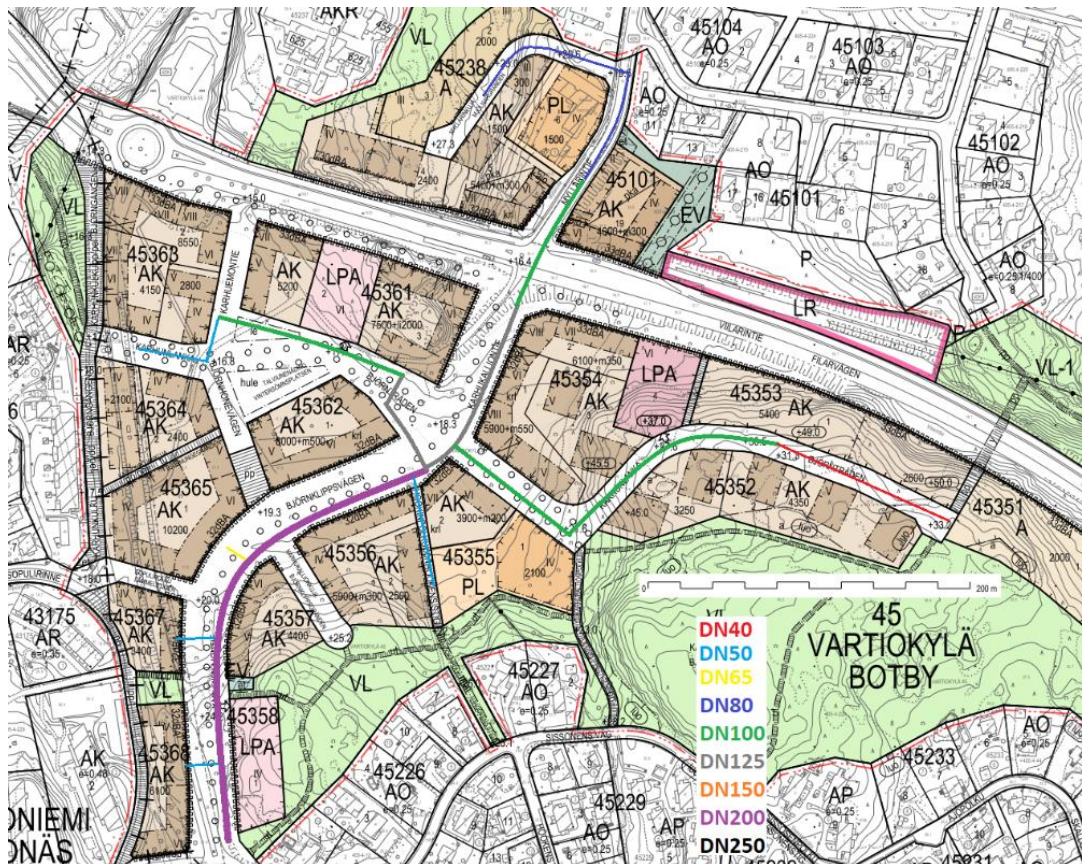
2.6 Lämpöverkon mitoituslämpötila ja investointi

Karhunkaatajan alueelle on tarkasteltu kahdella eri menomitoituslämpötilalla lämpöverkon suunnittelua ja investointia. Ne ovat 90 °C ja 65 °C. 90 °C edustaa kaukolämpöverkoille ominaisempaa korkeampaa lämpötilaa ja 65 °C lähes käytännöllistä minimiä. Lämpöverkkojen lämpötila tulee olla jatkuvasti vähintään noin 60 °C, jotta asiakkaiden lämpimien käyttövesiverkkojen lämpötila saadaan pidettyä noin 60 °C:ssa legionellariskin vuoksi.

Kaukolämmössä yleisesti käytetty tulomitoituslämpötila on ollut pitkään julkaisun K1 mukaisesti 115 °C, mutta Energiateollisuus ry on todennäköisesti laskemassa suositustaan siitä lähitulevaisuudessa 90 °C:een (Energiateollisuus ry, 2021b). Kaukolämmössä käytetään erillisiä termejä tuotantolaitokselta lähtevälle eli menolämpötilalle ja asiakkaalle saapuvalla eli tulolämpötilalle. Pienissä aluelämpöverkoissa tapahtuu kuitenkin vähemmän lämpötilan laskua lämmön jakelussa, jolloin meno- ja tulolämpötilat ovat lähellä toisiaan. Tässä selvityksessä puhutaan jatkossa pelkästään menolämpötilasta meno- ja tulolämpötilan sijaan selkeyden vuoksi.

Kaukolämmössä ei kuitenkaan voida laajemmin laskea vielä pitkään aikaan menolämpötilaa, vaikka mitoituslämpötila laskettaisiinkin, koska verkon kaikkien asiakaslaitteiden tulee olla yhteensopivia matalammalle lämpötilatasolle. Uusilla asuinalueilla alhaisemmat menolämpötilat voidaan kuitenkin ottaa heti käyttöön. Yksi alhaisemman menolämpötilan suurimmista eduista on lämmön tuotannon ja -jakelun hyötysuhteen paraneminen ja siksi lämpötilatasokehitys on ollut jatkuvasti lämpöverkoissa alaspäin. Asia on noussut viime vuosina erityisen keskeiseksi lämpöä tuotettaessa lämpöpumpuilla.

Karhunkaatajan aluelämpöverkon pituudeksi on arvioitu noin 1800—1900 metriä. Laskelmissa on käytetty 1850 metriä. Kuva 10:lla esittää luonnostelmaa lämpöverkosta menomitoituslämpötilalla 90 °C. Kuvassa ja laskelmissa verkko on hahmoteltu ”koskettamaan” jokaista korttelia, jolloin viimeinen liityntäjohto lämmönjakohuoneeseen jäisi asiakkaan investoivaksi. Verkon alkupää on kuvan vasemmassa alalaidassa korttelin 45358 vieressä. Verkko on suunniteltu kulkemaan katuja pitkin jalkakäytävän alla.



Kuva 10 Aluelämpöverkko putkikokojen kanssa menomitoituslämpötilalla 90 °C

Lämpöverkon investointi muodostuu pitkälti sen pituudesta ja käytetyistä putkikoista. Verkon rakentaminen on esimerkiksi tyypillisesti kalliimpaa tiheämmin asutuilla alueilla kuin harvemmin, mutta tässä selvityksessä lämpöverkon investointiin arvioimiseksi on käytetty Energiategollisuus ry:n julkaisemia yleisiä johtorakennuskustannuksia (Energiategollisuus ry, 2020).

Niiden perusteella aluelämpöverkon investointi olisi noin (alv 0 %)

- 450 k€ mitoitustlämpötilalla 90 °C ja
- 560 k€ mitoitustlämpötilalle 65 °C.

Paluumitoituslämpötilana on käytetty 35 °C, jolloin lämpötilaero menomitoituslämpötilalle 90 °C on 55 °C ja menomitoituslämpötilalle 65 °C ero on 30 °C. Lämpötilaeron puolittuminen mitoitustlämpötilojen välillä vastaa karkeasti yhden putkikoon muutosta eli esimerkiksi mitoitustlämpötila 90 °C:n DN100-johdot korvattaisiin mitoitustlämpötilan 65 °C verkossa DN125-johdoilla. Kaukolämmön nykyisellä mitoitustlämpötilalla 115 °C ja mitoitustlämpötilalla 90 °C verkon investointi on käytännössä sama uuden asuinalueen alhaisen paluulämpötilan ansiosta eikä verkkoa muutenkaan kannata harkita rakennettavan enää korkealla 115 °C:n mitoitustlämpötilalla.

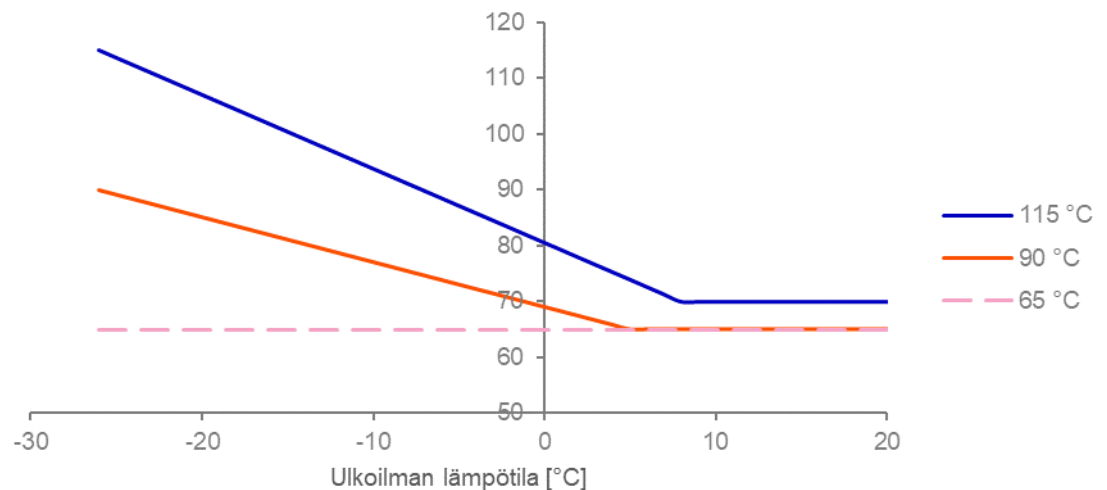
Karhunkaatajan alueelle on tarkasteltu myös jäähdytysverkkoa. Jäähdytysverkko on arvioitu putkikoiltaan lähes identtiseksi lämpöverkon kanssa, jonka mitoitustlämpötila olisi 65 °C. Jäähdytyksen alhaisempi tehontarve ja pienempi lämpötilaero kumoavat toisensa, jolloin jäähdytysverkon investointiarvio on myös noin 560 k€ (alv 0 %). Suuren investoinnin takia jäähdytysverkko päädyttiin kuitenkin jättää pois toteutusehdotuksesta.

Alueelle tarkasteltiin myös maalämmön keruupiirin ja jäähdytysverkon yhdistelmää, joka voisi ke-sällä toimia jäähdytysverkkona ja talvella keruupiirinä. Keruupiirillä tarkoitetaan maalämmön liu-osverkostoa, jonka kiertävä liuos kerää maasta lämpöä ja luovuttaa sen lämpöpumppulaitoksella. Keruupiirin todella alhainen lämpötilaero, noin 3 °C, nostaa verkon investointiarvion noin 900 k€:on (alv 0 %). Sekä erillisen jäähdytysverkon että yhdistetyn jäähdytysverkko-keruupiirin-yhdistelmän investointi nähtiin niin korkeana, että toistaiseksi niiden tarkastelua ei jatketa jäähdytyksen verrat-tain alhaisen kysynnän vuoksi tässä selvityksessä.

2.6.1 Aluelämpöverkon mitoituslämpötila ja tuotantokustannus

Menomitoituslämpötila 90 °C ei kuitenkaan tarkoita sitä, että lämpöverkon todellinen menolämpö-tila olisi jatkuvasti 90 °C vaan sitä, että menolämpötila olisi 90 °C mitoittavassa ulkolämpötilassa, joka on Helsingissä -26 °C eli silloin kun lämmön kysyntä on korkeimmillaan. Näin alhainen ulko-lämpötila toteutuu Helsingissä hyvin harvoin, jolloin todellinen menolämpötila vaihtelisi noin 65–85 °C välillä mitoituslämpötilalla 90 °C. Keskimäärin menolämpötila olisi tällöin alle 70 °C. Dynaa-misen menolämpötilan etuja ovat esimerkiksi säästöt verkon investoinnissa sekä verkon virtauk-sen rajoittaminen lämmön kysynnän kasvaessa. Menolämpötila 90 °C on kuitenkin korkea lämpö-tila lämpöpumpulla kannattavasti tuotettavaksi lämmönlähteestä, joka on lämpötilaltaan enintään noin 10 °C. Maalämmön yhteydessä käytetään huipputuotantoon esimerkiksi sähkökattilaa, jolloin maalämmöllä ei tarvitse tuottaa talvella mitoituslämpötilaa, vaan lämpötilaa voidaan nostaa huip-putuotannolla lopulliseen lämpötilaan.

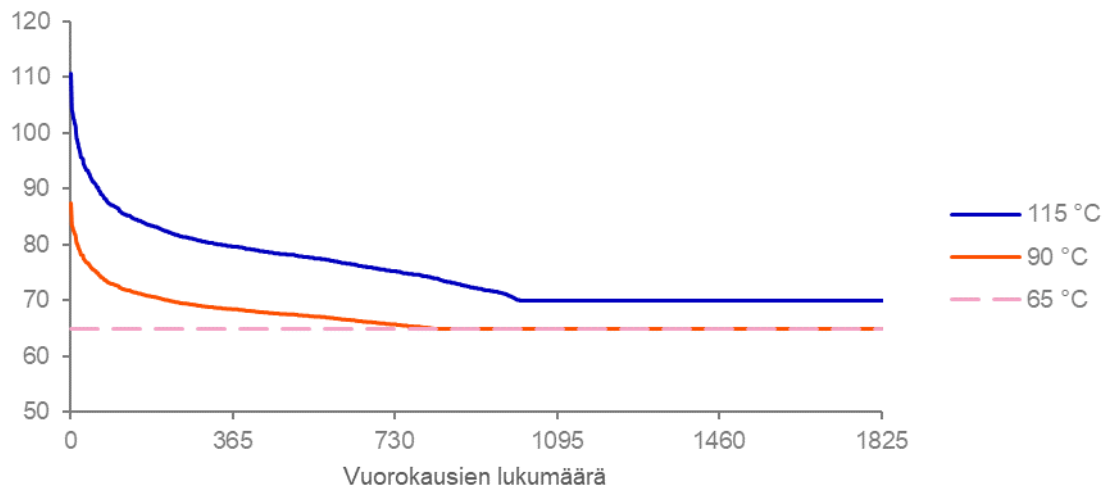
Tarkka kokonaistaloudellinen optimi saattaa olla jossain dynaamisen 90 °C:n ja staattisen 65 °C:n välillä. Todennäköisesti kuitenkin huomattavasti lähempänä 90 °C:sta. Kuva 11 esittää menoläm-pötilaa ulkolämpötilan mukaan eri menomitoituslämpötiloilla ilmastoalueella 1: mitoittava ulkoläm-pötila -26 °C.



Kuva 11 Lämpöverkon menolämpötila ulkolämpötilan funktiona

Helsingin ulkolämpötilan vuosikeskiarvo on yli 5 °C, jolloin keskimääräinen ero todellisissa meno-lämpötiloissa jää pieneksi, vaikka mitoituslämpötilojen ero näyttää suurelta. Ero syntyykin lämmi-tyskaudella, jolloin luonnollisesti myös lämmöllä on kysyntää, jonka seurauksena aluelämpöjär-jestelmä on hyvä suunnitella näiden ääripäiden välille. Niille vähäisille tunneille, kun lämmön ky-syntä on todella korkea, on yleensä käytössä toinen lämmönlähde, joka pystyy edelleen nosta-maan lämpöpumpun tuottamaa lämpötilatasoa.

Seuraava kuva esittää vuosien 2016—2020 vuorokausien ulkoilman keskilämpötilaa vastaavia menolämpötiloja eri mitoituslämpötiloilla suuruusjärjestyksessä korkeimmasta menolämpötilasta (alhainen ulkolämpötila) matalimpaan (korkea ulkolämpötila) pysyvyyskäyrän muodossa. Kuvasta nähdään, että toteutuneiden menolämpötilojen ero mitoituslämpötilojen 65 °C ja 90 °C välillä jää pieneksi, kun se painotetaan ajalla. Menomitoituslämpötilalla 115 °C keskimääräinen menolämpötila on 75 °C ja mitoituslämpötilalla 90 °C se on 67 °C.



Kuva 12 Lämpöverkon menolämpötilan pysyvyys

Eri mitoituslämpötilojen vaikutus lämpöpumpun COP-lämpökertoimeen (Coefficient of Performance) on arvioitu seuraavaksi painotettuna menolämpötilojen pysyvyydellä:

- 115 °C: COP 3,0
- 90 °C: COP 3,4
- 65 °C: COP 3,5,

jotka edelleen vastaavat vuosittaisia käyttökustannussäästöjä suhteessa mitoituslämpötilaan 115 °C sähkön kiinteällä kokonaishinnalla 60 €/MWh ja lämmön kysynnällä 11 000 MWh/a:

- 90 °C: n. 25 k€ säästää vuodessa vs. 115 °C
- 65 °C: n. 30 k€ säästää vuodessa vs. 115 °C,

jolloin karkea takaisinmaksuaika mitoituslämpötila 65 °C:n järjestelmälle suhteessa 90 °C:n järjestelmään jää selkeästi yli 20 vuoteen pelkästään verkkojen investointiarvioiden eron seurauksena (ero noin 110 k€). Kun kaikki investoinnit, joihin mitoituslämpötila vaikuttaa, esimerkiksi lämpöasiakkaiden lämmönjakokeskusten mitoitust, otetaan huomioon, pitkittyy takaisinmaksuaika entistään. Tämän seurauksena menomitoituslämpötilaksi ehdotetaan 90 °C selvityksessä tarkastelluista mitoituslämpötiloista, joka vastaa myös tulevaa normaalia kaukolämmön mitoituslämpötilaa.

2.6.2 Lämmön myynti Helsingin kaukolämpöverkon suuntaan

Aluelämpöjärjestelmän tuottamaa lämpöä olisi haasteellista myydä Helsingin kaukolämpöverkon suuntaan alhaisemman menomitoituslämpötilan takia. Kaukolämpöverkosta voitaisiin siirtää lämpöä Karhunkaatajan aluelämpöverkon suuntaan, mutta jos lämpöä haluttaisiin siirtää kaukolämmön suuntaan, niin lämpötilataso tulisi nostaa kaukolämpövekkoon sopivaksi. Lämpöpumput suunnitellaan toimimaan tyypillisesti verrattain kapealle lämpötilojen vaihteluvälille, joiden ulkopuolella pumpun COP-lämpökerroin heikkenee ja jonka lisäksi korkeilla lämpötilatasoilla on jo valmiiksi COP:tä heikentävä vaikutus. Tämä tarkoittaa sitä, että korkeamman lämpötilan tuotosta tulisi vastata toinen lämpöpumppu, jonka investointi olisi merkittävä ja jolla ei välttämättä olisi enää käyttöä Karhunkaatajan alueen lämmön kysynnän kehittyessä kun tuotettu lämpö jäisi alueelle. Korkeamman lämpötilan tuottaminen olisi mahdollista myös huippukattilalla, mutta se olisi todennäköisesti kannattamatonta tavoiteltavan korkean huipunkäyttöajan seurauksena. Tämän selvityksen osalta ehdotetaan, että myyntimahdollisuudesta kaukolämpöverkon suuntaan luovutaan.

2.7 Aluemaalämpöjärjestelmän kustannukset

Järjestelmän kustannukset perustuvat simuloituihin sähkönkulutukseen sekä mitoitustehoihin. Arviot kustannuksista perustuvat Rambollin kokemuksiin vastaavista projekteista sekä selvitystyön ohessa tehtyihin haastatteluihin. Investointiin sisältyy maalämpökaivojen porauskustannukset sekä niihin liittyvien kollektorien kustannukset, lämpöpumppujärjestelmä sekä tukilämmitysmuotona suora sähkölämmitys. Investointikustannukset ovat kokonaiskustannukset sisältäen mm. laitteet, asennukset sekä rakennuskustannukset. Elinkaarikustannuksiin sisältyy myös laitteiston huollot sekä uusimiskustannukset, sähkönkäytön kustannukset, arvio kahdesta henkilötyövuodesta per vuosi sekä noin 20 % kate (100 000 EUR/vuosi). Henkilötyön kustannus oletetaan sisältävän suorat henkilökulut sekä operointiin liittyvät muut kulut, kuten taloushallinto, laskutus ja asiakaspalvelu.

Sähkön hintana on käytetty 60 EUR/MWh (alv 0 %). Hinnassa on oletettu kaukolämmön tuotantoon käytettävien lämpöpumppujen ennakoitu veron alentuminen tasoon 0,5 EUR/MWh nykyisestä tasosta 22,5 EUR/MWh. Sähköenergian hintana on käytetty 2017–2020 spot-sähkön keskiarvoa noin 44,5 EUR/MWh sisältäen arvioidun marginaalin noin 2,5 EUR/MWh sekä siirron hintana Helenin keskijännitetehtosiirron hintaa noin 15 EUR/MWh.

Verrattaessa skenaarioiden 3 ja 4 eroja löydetään selvät erot investointikustannusten osalta. 50 vuoden elinkaarella elinkaarikustannukset ovat samaa tasoa. Ero investoinneissa johtuu suuremmasta määrästä kaivoja, joita porataan skenaarioissa 4. Elinkaarikustannuksissa erot tasoittuvat, sillä skenaariossa 4 käyttökustannukset ovat pienemmät verrattuna skenaario 3:seen.

Taulukko 4 Skenaarioiden 3 ja 4 kustannukset alueelliselle maalämpöjärjestelmälle

Alv 0 %	Skenaario 3 (15 m reikäväli)	Skenaario 4 (10 m reikäväli)
Investoinnit	3.6 M€	5.2 M€
Vuosittaiset kustannukset		
Sähkön kustannus	350 000 €	300 000 €
Huoltokustannus	30 000 €	30 000 €
Henkilö yms. kustannukset	100 000 €	100 000 €
Oletettava kate	100 000 €	100 000 €
Vuosikustannus yhteensä	580 000 €	530 000 €
Vuosikustannus energiaa kohti	52,2 €/MWh	47,7 €/MWh

Taulukko 5 Skenaarioiden 3 ja 4 vuosikustannus investointi huomioiden (reaalikorko 0 %)

Alv 0 %	Skenaario 3 (15 m reikäväli)	Skenaario 4 (10 m reikäväli)
Investoinnit	3.6 M€	5.2 M€
Vuosikustannukset [€]		
Investointi 15 vuodelle	822 000 €	878 000 €
Investointi 30 vuodelle	700 000 €	703 000 €
Investointi 50 vuodelle	651 000 €	634 000 €
Vuosikustannukset [€/MWh]		
Investointi 15 vuodelle	74 €/MWh	79 €/MWh
Investointi 30 vuodelle	63 €/MWh	63 €/MWh
Investointi 50 vuodelle	59 €/MWh	57 €/MWh

Mikäli katetta ja henkilökustannuksia ei huomioitaisi, olisi vuosikustannus 55,8 EUR/MWh (alv 0 %), kun investointi jaetaan 15 vuodelle (reaalikorko 0 %). Tämä vastaa myös suuruusluokaltaan kiinteistökohtaisen ratkaisun kustannusta, jossa lämpö tuotetaan omaan käyttöön. Kiinteistökohtaisissa ratkaisuissa tosin tarvittavien kaivojen määrä ja siten investointi on suurempi.

Vaikka elinkaarikustannusten ero on verrattain pieni, tulee tuotetun lämmön hinnaksi merkittävä ero, kun investointi jaetaan koko 50 vuoden tarkastelujakson asemesta 15 vuodelle. Investointi on jaettu 15 vuodelle, jolloin sitoutuneen pääoman tuottovaatimusta saadaan huomioitua.

Skenaario 3 on valituista skenaarioista kannattavampi kuluttajalle lämmön hintaa tarkasteltaessa. Hinta on kilpailukykyinen esimerkiksi kaukolämmön nykyistä hintaa vasten, mikäli maalämmön investointia tarkastellaan hyvin pitkällä aikavälillä tai operaattorin katetta ja henkilökuluja ei huomioida.

Helenin kaukolämmön keskimääräinen hinta (alv 0 %) sisältäen teho ja energiamaksun on 15 asukkaan kerrostalolle 67,4 EUR/MWh ja 80 asunnon kerrostalolle 63,4 EUR/MWh. On kuitenkin huomioitava, että kustannusarviot perustuvat karkeisiin arvioihin, jotka tarkentuvat mahdollisen suunnittelun edetessä. Lisäksi kaukolämmöstä maksetaan liittymismaksu, joka on 15 asunnon kerrostalolle 8100 EUR ja 80 asunnon kerrostalolle 17 400 EUR. 15 vuoden tarkastelujaksolla 15 asunnon liittymismaksu tarkoittaisi 3,6 EUR/MWh lisää kaukolämmön hintaan ja 80 asunnon tapauksessa 1,9 EUR/MWh. (Energiateollisuus ry, 2021a.)

Alueellinen maalämpö ja kaukolämpö tarvitsevat kiinteistökohtaiset lämmönjakokeskukset. Alueellisella lämpöjärjestelmällä olisi todennäköisesti myös kaukolämmön kaltainen liittymismaksu, joka kattaa liittymisestä ja talojohdosta aiheutuvat kustannukset aluelämmön rakentamisessa.

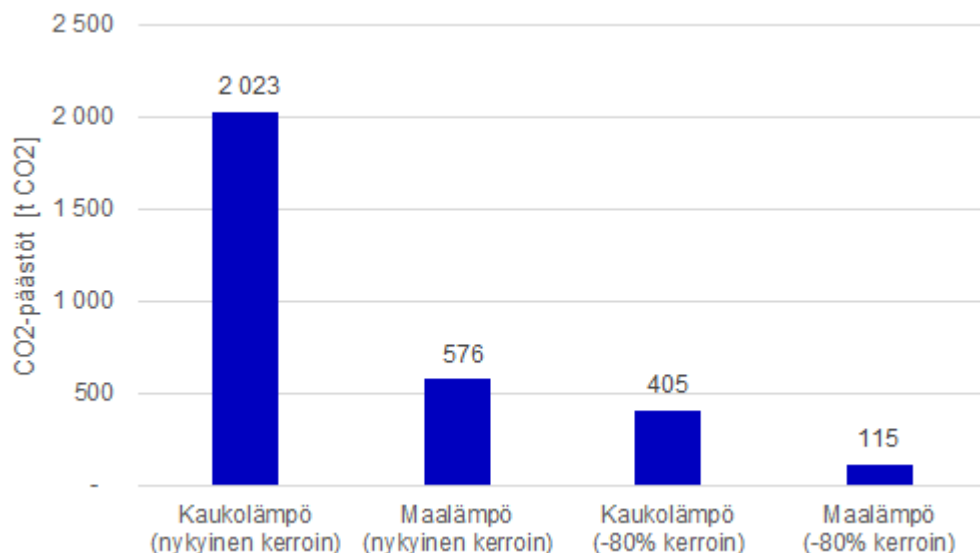
2.8 CO₂-päästöt

Järjestelmän CO₂-päästöt on arvioitu nykyisillä energian käytön päästökertoimilla sekä siten, että päästöt ovat laskeneet -80 % nykyisestä. Päästöjen arviointi on kuitenkin hyvin spekulatiivista eikä varmuutta tulevasta kehityksestä ole.

Sähkön nykyisenä päästökertoimena käytetään vuoden 2019 kerrointa, joka on viimeisin saatavilla oleva tieto Suomen sähköntuotannon päästökertoimesta. Sähkön päästökerroin oli 116

kg/MWh. (Tilastokeskus, 2021) Kaukolämmön päästökertoimena käytetään vuoden 2020 viimeistä tietoa Helenin kaukolämmön päästökertoimesta, joka on 182 kg/MWh. (Helen, 2021).

Alueen vuosittainen lämmöntarve on noin 11 000 MWh, joka tarkoittaa valitulla maalämpöjärjestelmällä (skenaario 3) noin 5 800 MWh vuosittaista sähkönkulutusta. Alla olevassa kuvassa on esitetty eri päästökertoimilla kuinka paljon vuosittaiset päästöt ovat, jos alueen lämmitys tuotetaan kaukolämmöllä tai valitulla maalämpöjärjestelmällä.



Kuva 13 Vuosittaiset päästöt eri päästöskenaarioilla

Päästöjen suuruutta voidaan arvioida päästöoikeuksien hinnan perusteella. Päästöoikeuden hinnalla 50 EUR/tCO₂ nykyisellä kaukolämmön päästökertoimella CO₂-päästöjen kustannus olisi 100 000 EUR/vuosi (9,1 EUR/MWh) ja maalämmöllä 30 000 EUR/vuosi (2,6 EUR/MWh). Kaukolämmön- ja sähkön tuotanto kuuluvat päästökauppaan, joten kaukolämmön ja sähkön hinta sisältää em. päästöoikeuden hinnat.

Kuvasta nähdään, että maalämpöjärjestelmän vuosittaiset päästöt ovat noin 70 % pienemmät kuin kaukolämmöllä. On huomioitavaa, että päästökertoimien laskiessa kokonaispäästöt tulevat laskemaan, mutta myös pienemmillä päästökertoimilla maalämpövaihtoehdon päästöt ovat kaukolämpöä pienemmät. Vaikuttava tekijä on maalämmön pienempi ostoenergian tarve saman lämpö määrän tuottamiseen.

Päästölaskenta koko järjestelmän käyttöajalle on aina spekulointia, koska kehityksestä tulevaisuudessa ei ole varmuutta. Kuitenkin lämpöpumput käyttävät ostoenergiaa polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa merkittävästi vähemmän. On toki huomattava, että tulevaisuudessa kaukolämpö on kehittymässä vähäpäästöisemmäksi kuin mitä se on nyt ja sitä voidaan myös tuottaa lämpöpumpuin.

2.9 Rakenteet ja tilavaraukset

Alueellisen maalämpöjärjestelmän laitteisto on oletettu sijaitsevan eteläisellä viheralueella. Kaivokenttä on sijoitettu viheralueelle ja keskitetty lämpöpumppulaitos alueen länsipuolelle muuntamon kanssa samalle EV-alueelle (rakennusala et). Lämpöpumppulaitteiston vaatima pinta-ala on noin 35 m², jonka ympärille vaaditaan oma rakennus sekä piha-alue. Laitoksen vaatiman tontin pinta-

ala on luokkaa 60–80 m². Jos lämpöpumppulaitteisto sijoitetaan tälle alueelle, pitää aluetta laajentaa. Laajennuksesta voi aiheutua tarve toteuttaa louhintoja, jotta laitteet mahtuvat.

Valitun skenaarion lämmönkeräinten vaatima pinta-ala on noin 150 m². Keräimet voidaan asentaa esimerkiksi eteläiselle LPA-alueen pysäköintitalon katolle. Lämpökeskus voidaan myös vaihtoehtoisesti sijoittaa myös saman pysäköintitalon yhteyteen. Tällöin haasteena on pysäköintitalon rakentamisaikataulu. Pysäköintirakennus voi rakentua alueellisen energiasuunnitelman kannalta liian myöhään, joten kaavassa tulisi sallia alueellisen energiasuunnitelman osien (latauslaitteet, lämpökeskus) sijoittaminen väliaikaisesti eteläiselle LPA-alueelle jo ennen pysäköintitalon rakentamista.

3. Vaiheistus ja ohjauskeinot

3.1 Vaiheistus

Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttamisessa haasteena on alueiden rakentuminen vaiheittain. Kadut, viheralueet ja kiinteistöjä palveleva kunnallistekniikka rakennetaan tyypillisesti esirakentamisen yhteydessä kaupungin ja toteuttamisesta vastaavien tahojen päättämän aikataulun mukaan. Korttelit puolestaan voivat rakentua hyvin eritahtisesti. Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttaminen on haastavaa silloin, kun tontinomistajat ja -haltijat tekevät lämmitysjärjestelmään liittyviä valintoja eri aikaan. Taloudellisesta näkökulmasta alueellisen energijärjestelmän rakentaminen pitäisi voida vaiheistaa, jotta investoinnista ei tulisi liian etupainotteinen ja mahdollinen taloudellinen riski alueen toteutuessa pienemmässä laajuudessa ei olisi niin merkittävä. Alueellisen järjestelmän putkiverkosto joudutaan käytännössä rakentamaan kerralla ja samassa tahdissa katujen ja muun kunnallistekniikan kanssa, eli etupainotteisesti. Maalämpökaivoja voidaan mahdollisesti rakentaa vaiheittain lämmönkysynnän kasvaessa esim. virkistysalueille ja katualueilla ajoratojen ulkopuolelle. Yleisillä alueilla ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista urakoida jatkuvasti, vaan yhdistää urakoita ja siten minimoida vaikutukset naapurustolle. Viihtyisyyden ja virkistyskäytön takaamiseksi on suositeltavaa rakentaa kaivot yhdessä tai kahdessa erässä.

Jotta alueellisen maalämpöjärjestelmän energiantuotantoa voitaisiin kasvattaa vaiheittain alueen rakentamisaikataulun mukaisesti, jo aluekehitysvaiheessa tulisi huomioida energiantuotantojärjestelmän vaiheittainen rakentaminen sekä alueellisen järjestelmän pienin ja suurin mahdollinen kokoluokka kyseiselle alueelle. Näin voidaan varmistaa, että järjestelmä toimii myös toteutessaan vain osittain. Korttelien rakentamisaikatauluun voidaan vaikuttaa mm. tontinluovutusjärjestyksellä sekä tontinvaraus-, maanvuokraus- ja tontinluovutusehdoilla, joissa tulisi ensinnäkin huomioida liittymismahdollisuus alueelliseen energijärjestelmään. Lisäksi alueellisen maalämpöjärjestelmän kannalta on keskeistä, että ehdoissa edellytetään yhteensovittamaan rakentamista koskevat suunnitelmat sekä toteutus tarvittavilta osin yleisten alueiden sekä ympäröivien kiinteistöjen kanssa.

Jos aluelämpöjärjestelmän lämpöverkko rakennetaan kokonaisuudessaan esirakentamisen yhteydessä, järjestelmän kannalta ei juurikaan ole merkitystä missä järjestyksessä alueen tontit rakennetaan. Vaiheistuksessa voi kuitenkin mahdollisuuksien mukaan ottaa huomioon maalämpökaivojen sijoituspaikkojen läheisyydessä olevien tonttien esirakentamisen. Asiantuntijahaastattelun mukaan maalämpökaivojen läheisyydessä tapahtuneet louhint- ja räjäytystyöt ovat joissakin tapauksissa aiheuttaneet mm. maalämpökaivojen kollektoreiden rikkoontumisia. Jos mahdollista, maalämpökaivot voisi porata vasta läheisten louhint- ja räjäytystöiden jälkeen. Tähän voidaan vaikuttaa mm. tontinluovutusjärjestyksellä. Myös alueellisen maalämpöjärjestelmän tarkemmassa suunnittelussa voidaan kiinnittää huomiota maalämpökaivojen sijoitteluun suhteessa louhittaviin alueisiin ja tontteihin, mikäli riskiä halutaan pienentää.

Haasteeksi alueellisen maalämpöjärjestelmän kannalta optimaaliselle tontinluovutusjärjestykselle voivat muodostua järjestykseen vaikuttavat tekijät. Esimerkiksi Karhunkaatajan alueen rakentaminen voi liikenteellisistä ja kaupunkirakenteellisista syistä olla järkevää aloittaa Raide-Jokerin pysäkin suunnasta, kun alueelliselle maalämpöjärjestelmälle edullisinta voisi olla aloittaa rakentamisen virkistysalueiden suunnasta.

Alueelliset energiajärjestelyt tulisi suunnitella osana yhdyskuntateknisen huollon yleissuunnittelua. Yleissuunnitelman tarkoitus on yhteensovittaa kaikki kunnallistekniikka niin, että toteutusvaiheen ratkaisuja ei ole vielä liiaksi sidottu. Alueellisen maalämpöjärjestelmän jakeluverkko ja kaivot tulisi tarvittavilta osin olla esitettyinä yleissuunnitelmassa, ja niille tulisi osoittaa soveltuvat tilat katupoik-kileikkauksissa ja johtokartoissa.

3.2 Ohjauskeinot

Alueellisen maalämpöjärjestelmän rakentamista ja käyttöönottoa voidaan edistää erilaisilla ohjauskeinoilla, kuten kaavoituksella, rakennusjärjestyksellä ja rakentamista koskevilla lupakäytännöillä. Kaupunki ei kuitenkaan voi esimerkiksi kaavoituksessa tai tontinluovutuksessa edellyttää tiettyä lämmitysmuotoa, vaan kiinteistönomistajalla tai -haltijalla tulee olla vapaus valita haluamansa energiamuoto. Oikeuskäytäntö (KHO 2017:48) on osoittanut, että energiajärjestelmästä ei voida määrätä asemakaavassa, koska tällainen kaavamääräys rajoittaisi maanomistajan tai -haltijan valinnanvapautta. Myös maankäyttö- ja rakennuslaista on kumottu säännös, jonka mukaan kunta saattoi aikaisemmin ohjata rakennusten lämmitysmuodon valintaa.

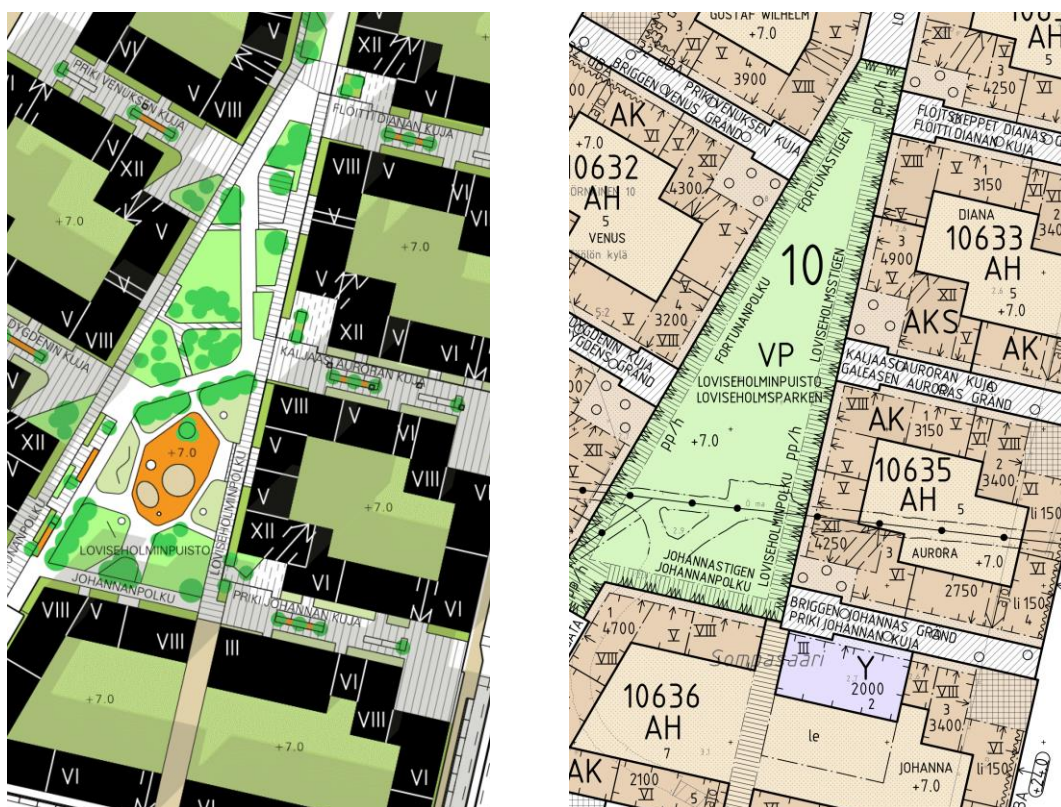
Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttamista voidaan välillisesti edistää asemakaavassa ja tontinluovutuksessa annettavilla suosituksilla, mahdollistavilla kaavaratkaisuilla ja tontinluovutusehdoilla sekä tarvittaessa muita energiamuotoja rajoittavilla kaavaratkaisuilla ja tontinluovutusehdoilla. Koska kaavamääräykset tai tontinluovutusehdot eivät voi sisältää ehdotonta määrystä kiinteistökohtaisesta lämmitysmuodosta, alueellisen maalämpöjärjestelmän tulisi olla niin houkutteleva, toimiva ja taloudellinen, että se olisi kilpailukykyinen muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Suunnittelussa tulisi varautua myös vaihtoehtoihin tapoihin toteuttaa alueellinen maalämpöratkaisu, mikä osaltaan lisää järjestelmän houkuttelevuutta. Kaavoituksessa aikatahtain on pitkällä tulevaisuudessa, joten kaavaratkaisujen tulee olla sellaisia, jotka kestävät aikaa.

Asemakaavoituksessa alueellinen maalämpöjärjestelmä tulisi huomioida jo kortteli- ja tonttirakennetta suunniteltaessa. Korttelirakenteen tulisi olla sellainen, että se mahdollistaisi maalämmön hyödyntämisen ja järjestelmän osien sijoittamisen parhaalla mahdollisella tavalla (Taulukko 6). Asemakaavoituksessa tulisi varautua maalämpökaivojen ja -putkiston, lämpökeskusrakennuksen sekä lämmönkeräimien sijoittamiseen alueelle. Jos alueellisen maalämpöjärjestelmän osia sijoitetaan pelkästään yleisille alueille, kaavassa tulisi osoittaa riittävän laaja yleisten alueiden (virkistysalueet, suojaviheralueet, katualueet) muodostama kokonaisuus, jonne alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivokenttä voidaan rakentaa. Tällöin kaivokentän ja lämpökeskuksen välinen liuosverkosto saadaan pidettyä mahdollisimman lyhyenä. Jos halutaan edistää maalämmön hyödyntämistä myös korttelialueilla, joko kiinteistökohtaisesti tai osana alueellista järjestelmää, myös tonttien sisäinen rakenne (rakennukset, piha-alueet) tulisi suunnitella maalämpökaivojen sijoittamisen kannalta optimaaliseksi. Kaavoituksessa tulee tarvittaessa osoittaa alue- ja tilavarauksilla myös ne alueet, joilla maalämpöratkaisut eivät ole mahdollisia. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi maanalaisille rakennelmille tarkoitettut tilat.

Maalämpökaivojen ja -putkiston rakentaminen edellyttää maankaivu- sekä mahdollisesti louhintatöitä, ja metsäalueilla myös hakkuita. Niinpä maalämpökaivoja on järkevää suunnitella sijoitettavaksi esisijaisesti sellaisille yleisille alueille, joilla joudutaan alueen pääasiallisen käyttötarkoituksen vuoksi joka tapauksessa tekemään maankaivu- ja rakennustöitä. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi katualueet, aukiot, rakennettavat viher- ja suojaviheralueet, yleiset pysäköintialueet, urheilukentät, ilmajohtojen alueet sekä mahdolliset peltoalueet. Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttaminen saattaa rakentamisvaiheen jälkeen rajoittaa puiden ja pensaiden sijoittamista maalämpökaivojen ja -putkiston läheisyyteen, mikä tulisi huomioida maankäytön suunnittelussa ja asemakaavaratkaisuissa.

Tässä selvityksessä lähtökohtana on, että alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivoja ei sijoiteta asuintonteille, koska tällaiset kaivot rajoittaisivat kiinteistöjen mahdollisuuksia kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin tulevaisuudessa. Alueellisen maalämpöjärjestelmän suunnittelussa lähtökohtana on vapaavalintaisuus ja mahdollisuus irtautumiseen tontinomistajan/-haltijan aloitteesta. Irtautumista ja korvaavan energiajärjestelmän toteuttamista hankaloittaisivat tontille mahdollisesti jo sijoitetut alueellisen maalämpöjärjestelmän laitteet. Alueellisen maalämpöjärjestelmän rakentamisessa on joka tapauksessa järkevää hyödyntää yksityisiä pysäköintialueita (asemakaavojen LPA-korttelialueet), koska ne sijoitetaan tavallisesti lähelle lämpöä käyttäviä asuin-, palvelu- ja liiketontteja ja niitä on sopimusteknisesti haastavampi hyödyntää kiinteistökohtaisten maalämpökaivojen sijoituspaikkana. Vastaavalla tavalla myös asuinkortteleiden käyttöön tarkoitettavia yhteiskäyttöisiä korttelialueita (AH-korttelialueet) voidaan suunnitella alueellisen energiajärjestelmän maalämpökaivojen sijoituspaikoiksi. AH-tontin omistajana voi olla esimerkiksi kaupunki tai ympäröivien kiinteistöjen omistajat yhteisesti. AH-tontti sisältää tavallisesti asuintonttien yhteisiä leikki- ja oleskelualueita, kokoontumis- ja harrastetiloja sekä korttelin huoltoja varten tarpeellisia tiloja. Alueellisen energiajärjestelmän osalta AH-tontille voidaan sijoittaa osa maalämpökentästä, jonka kaivot rasittaisivat tonttia samaan tapaan kuin esimerkiksi vesijohtorasite.

Alueellisen maalämpöjärjestelmän kannalta optimaalisessa kaupunkirakenteessa on tiivis korttelirakenne, asuintonteilla on yhteispiha-alueita (asemakaavan AH-korttelialueet) ja pysäköintiä varten on erillisiä pysäköintialueita (asemakaavan LPA-korttelialueet). Tällöin LPA- ja AH-tontteja voidaan käyttää alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivojen ja tarvittaessa lämpökeskuksen sijoituspaikkana. Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttamisen kannalta on edullista, että keskeisellä paikalla kortteleihin nähden on myös rakennettavia viher-, virkistys- tai suojaviheralueita, jotka mahdollistavat LPA- ja AH-alueiden ohella maalämpökentän rakentamisen. Seuraavassa kuvassa (Kuva 14) on esimerkki tällaisesta optimaalisesta kaupunkirakenteesta.



Kuva 14 Esimerkki alueelliselle maalämpöjärjestelmälle optimaalisesta kaupunkirakenteesta (ote Sompasaaren asemakaavasta 12200 ja sen havainnekuvesta)

Alueellisen maalämpöjärjestelmän lämpökeskus voidaan toteuttaa erillisenä rakennuksena tai vaihtoehtoisesti osana jotakin toista rakennusta, kuten pysäköintitaloa. Keräinlaitteet on mahdollista asentaa esimerkiksi mahdollisen pysäköintitalon katolle. Tällöin haasteena on pysäköintitalon rakentamisaikataulu. Se voi rakentua alueellisen energiasuunnitelman kannalta liian myöhään, joten asemakaavassa tulisi sallia alueellisen energiasuunnitelman osien (lämmönkeräimet, lämpökeskus) sijoittaminen LPA-alueelle väliaikaisesti jo ennen pysäköintitalon rakentamista.

Taulukko 6 Alueellisen maalämpöjärjestelmän kannalta optimaalisen kaupunkirakenteen ominaisuuksia

Alue	Optimaalisia ominaisuuksia
korttelialueet	Tiivis ja tehokas korttelirakenne (korkea korttelitehokkuus), jossa tonttien autopaikat sijaitsevat erillisillä LPA-tonteilla ja asuintonttien piha-alueet erillisillä AH-tonteilla. Kiinteistökohtaiset maalämpöratkaisut eivät käytännössä ole mahdollisia. LPA- ja AH-tontteja voidaan käyttää alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivojen ja tarvittaessa lämpökeskuksen sijoituspaikkana.
yleiset alueet	Keskeisellä paikalla kortteleihin nähden on rakennettavia viher-, virkistys- tai suoja-viheralueita, jotka mahdollistavat laajaa aluetta palvelevan maalämpökaivokentän rakentamisen. Lämpökeskusta varten on tarvittaessa erillinen tilavaraus (esim. ET-alue). Alueiden ensisijainen käyttötarkoitus ja luonne eivät häiriinny maalämpökaivojen rakentamisesta (vrt. luonnontilaisen alueet).
katualueet, aukiot	Yhteisten alueiden läheisyydessä sijaitsee leveitä katualueita ja aukioita, jotka mahdollistavat maalämpökaivojen sijoittamisen tarvittaessa myös katualueille.

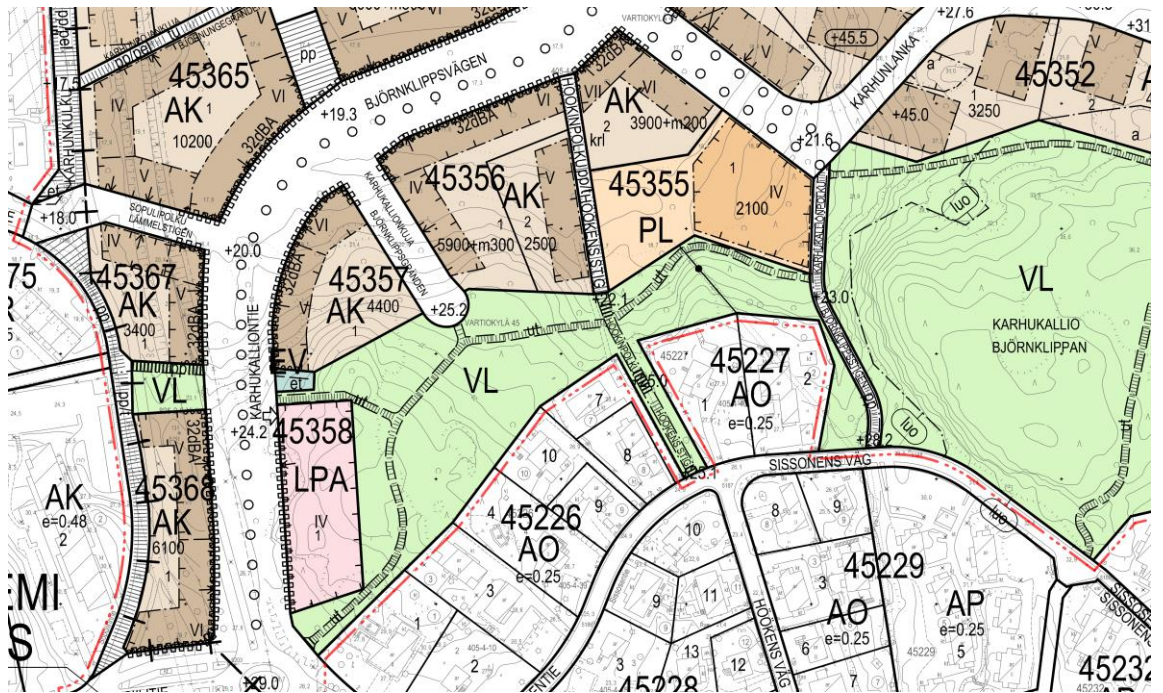
Alueellista maalämpöjärjestelmän toteuttamista voidaan edistää myös käänteisesti rajoittamalla muiden energiasuunnitelmien toteuttamista. Kaavamääräyksissä ja tontinluovutusehdoissa voidaan edellyttää hiilineutraalisuustavoitteita edistäviä energiaratkaisuja, mikä rajaa osan energiasuunnitelmanvaihtoehtoista pois. Tällöin maalämpö- tai muu lämpöpumppuratkaisu olisi käytännössä lähes pakollinen tai selvästi kustannustehokkain vaihtoehto toteuttajalle.

Helsingin kaupungin tontinluovutusehdoissa on käytetty viime aikoina vaatimusta A-energiatehokkuusluokasta, johon voidaan päästä maalämmön avulla, mutta myös monilla muilla ratkaisuilla ja valinnoilla (rakentamistapa, muut energiamuodot jne.), joten ko. vaatimus ei käytännössä edistä maalämpöön perustuvien energiasuunnitelmien toteuttamista. Energiatehokkuusluokkavaatimuksessa tulee huomioida myös alueellisen maalämpöjärjestelmän huomioiminen nimenomaan *maalämpönä*, eikä alue- tai kaukolämpönä. Mikäli alueellinen maalämpöjärjestelmä tulkitaan laskennassa kaukolämmöksi, ei energiatehokkuusluokkavaatimus edistä alueellisen maalämpöjärjestelmän toteutumista.

Tampereella tontinluovutuksessa on ollut käytössä kannustimia siten, että tietyillä energiavalinnoilla on voinut saada alennusta tontinvuokrahinnoista. Helsingissä tällaisia kannustimia ei ole käytetty, koska kaupunki ei ole halunnut antaa taloudellisia helpotuksia eri energiamuotojen käytöstä, vaan se on halunnut kohdella kaikkia tasa-arvoisesti. Mikäli tontinomistajia ja -haltijoita haluttaisiin velvoittaa tuottamaan jokin osuus energiatarpeesta esim. maalämmöllä tai muulla uusiutuvalla energialla, tämäkin olisi muutos nykyisiin tontinluovutuskäytäntöihin ja edellyttäisi pohjaseen kaupungin tasoista laajempaa yhteistä linjausta.

3.3 Karhunkaatajan asemakaavaratkaisut

Myllypuron lounaisosaan ja Herttoniemen pohjoisosaan Karhunkaatajan alueelle on tavoitteena mahdollistaa uusi Raide-Jokeriin tukeutuva asuinalue, joka yhdistyy saumattomasti olemassa olevaan ympäristöön sekä Herttoniemen että Myllypuron puolelta. Asemakaavan valmisteluaineisto oli nähtävillä 18.11.–12.12.2016, minkä jälkeen asemakaava on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisen osan kaavaehdotus on päivätty 9.10.2018 ja asetettu nähtäville loppuvuodesta 2018 (Kuva 15). Koska kaavoitus on jo pitkällä, kaava-alueen korttelirakenteeseen ei enää voida tehdä suuria muutoksia. Kaavan viimeistelyssä voidaan kuitenkin vielä vaikuttaa alueellisen maalämpöjärjestelmän toteuttamisedellytyksiin.



Kuva 15 Ote Karhunkaatajan asemakaavaehdotuksesta 9.10.2018

Karhunkaatajan asemakaavaehdotuksessa (9.10.2018) on jo pyritty mahdollistamaan hajautetun energiantuotannon, kuten alueellisen maalämpöjärjestelmän, toteuttaminen alueelle.

Kaavamääräyksen

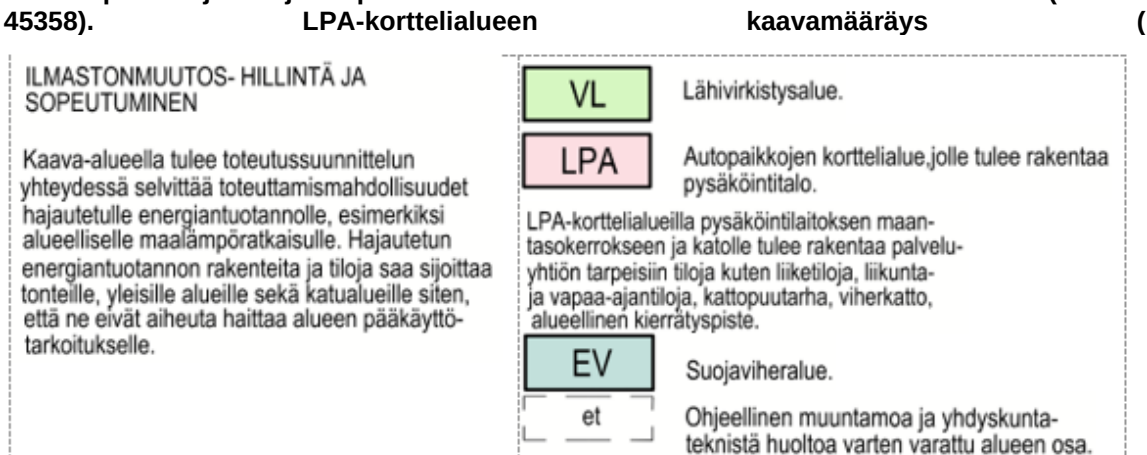
ILMASTONMUUTOS- HILLINTÄ JA SOPEUTUMINEN Kaava-alueella tulee toteutussuunnittelun yhteydessä selvittää toteuttamismahdollisuudet hajautetulle energiantuotannolle, esimerkiksi alueelliselle maalämpöratkaisulle. Hajautetun energiantuotannon rakenteita ja tiloja saa sijoittaa tonteille, yleisille alueille sekä katualueille siten, että ne eivät aiheuta haittaa alueen pääkäyttötarkoitukselle.	VL	Lähivirkistysalue.
	LPA	Autopaikkojen korttelialue, jolle tulee rakentaa pysäköintitalo.
	LPA-korttelialueilla	pysäköintilaitoksen maantasokerrokseen ja katolle tulee rakentaa palveluyhtiön tarpeisiin tiloja kuten liiketiloja, liikunta- ja vapaa-ajantiloja, kattopuutarha, viherkatto, alueellinen kierrätyspiste.
	EV	Suojaviheralue.
et	Ohjeellinen muuntamo ja yhdyskuntateknistä huoltoa varten varattu alueen osa.	

Kuva 16) mukaan "hajautetun energiantuotannon rakenteita ja tiloja saa sijoittaa tonteille, yleisille alueille ja katualueille siten, että ne eivät aiheuta haittaa alueen pääkäyttötarkoitukselle". Määräys mahdollistaa alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivojen, putkistojen, lämpökeskuksen ja lämmönkeräimien rakentamisen esimerkiksi alueen eteläosassa sijaitsevalle lähivirkistysalueelle ja

LPA-alueelle sekä niiden läheisyyteen suunnitelluille katualueille. Selvityksen simuloinnit päädyttiin tekemään sellaisesta järjestelmästä, joka sijoittuisi juuri tälle alueelle (Kuva 5).

Karhunkaatajan asemakaavaehdotuksessa (9.10.2018) ei ole otettu kantaa eteläisen lähivirkistysalueen (VL) toteutustapaan. Kaavaselostuksen perusteella alue on tarkoitus säilyttää ulkoilu- teitä lukuun ottamatta luonnontilaisena kalliometsänä, joten se soveltuu erittäin huonosti maalämpökaivojen sijoituspaikaksi. Maalämpökaivojen ja lämpöputkien rakentamisen vuoksi jouduttaisiin kaatamaan puustoa ja louhimaan kalliota. Rakentamisvaiheen jälkeen aluetta voitaisiin käyttää lähivirkistysalueena, mutta alueen luonne olisi hyvin erilainen kuin nyt. Jotta puiden juuret eivät vahingoittaisi alueellisen maalämpöjärjestelmän kaivoja ja putkia, kaavaratkaisua tulisi myös täydentää siten, että kaavan eteläisellä VL-alueella ei saa istuttaa suurikokoisia puita ja pensaita maalämpökaivojen läheisyyteen.

Kaavaehdotuksessa annetun kaavamääräyksen perusteella alueellisen maalämpöjärjestelmän osia voitaisiin sijoittaa yleisten alueiden ohella myös tonteille. Kuten aikaisemmin on todettu, tontit on pääosin rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Simulointeihin on otettu maalämpökaivojen sijoituspaikkana mukaan ainoastaan eteläinen LPA-alue (kortteli 45358).



Kuva 16) edellyttää, että pysäköintilaitoksen katolle rakennetaan erilaisia tiloja, kuten kattopuutarha, viherkatto ja alueellinen kierrätyspiste. Määräyksessä tulisi mainita myös alueellisen energijärjestelmän rakenteet ja tilat, jotta esimerkiksi lämmönkeräimiä voitaisiin sijoittaa ko. alueelle. Pysäköintirakennus voi rakentua alueellisen energijärjestelmän kannalta liian myöhään, joten kaavassa tulisi sallia alueellisen energijärjestelmän osien (latauslaitteet, lämpökeskus) sijoittaminen väliaikaisesti eteläiselle LPA-alueelle jo ennen pysäköintitalon rakentamista.

Alueellisen energijärjestelmän lämpökeskus olisi järkevää sijoittaa muuntamon kanssa samalle eteläiselle EV-alueelle. Lämpökeskuksen koko on noin 60–80 k-m², mikä tulisi ottaa huomioon EV-alueen ja et-rakennusalan mitoituksessa. Jos rakennusala ei ole mahdollista laajentaa, lämpökeskus voitaisiin vaihtoehtoisesti sijoittaa myös esimerkiksi eteläiselle LPA-alueelle pysäköintitalon yhteyteen. Tällöin haasteena on pysäköintitalon rakentamisaikataulu (ks. edellä).

**ILMASTONMUUTOS- HILLINTÄ JA
SOPEUTUMINEN**

Kaava-alueella tulee toteutussuunnittelun yhteydessä selvittää toteuttamismahdollisuudet hajautetulle energiantuotannolle, esimerkiksi alueelliselle maalämpöratkaisulle. Hajautetun energiantuotannon rakenteita ja tiloja saa sijoittaa tonteille, yleisille alueille sekä katualueille siten, että ne eivät aiheuta haittaa alueen pääkäyttötarkoitukselle.

VL

Lähivirkistysalue.

LPA

Autopaikkojen korttelialue, jolle tulee rakentaa pysäköintitalo.

LPA-korttelialueilla pysäköintilaitoksen maantasokerrokseen ja katolle tulee rakentaa palveluyhtiön tarpeisiin tiloja kuten liiketiloja, liikunta- ja vapaa-ajantiloja, kattopuutarha, viherkatto, alueellinen kierrätyspiste.

EV

Suojaviheralue.

et

Ohjeellinen muuntamo ja yhdyskuntateknistä huoltoa varten varattu alueen osa.

Kuva 16 Otteita Karhunkaatajan asemakaavaehdotuksen 9.10.2018 merkinnöistä ja mää-
räyksistä

4. Operointimallit

Aluelämpöjärjestelmä vaatii toimijan järjestelmän omistamiseen sekä käyttöön ja kunnossapitoon. Kuvassa on esitetty alue- ja kaukolämpöjärjestelmän pääosat. Pääosia ovat lämmön myynti, lämpöverkko, lämmön perustuotanto sekä huippu- ja varalämmön tuotanto. Kaikille pääosille voi olla sama tai eri omistus sekä käyttö ja kunnossapito voidaan tehdä omana työnä tai ulkoistettuna.

	Lämmön myynti	Lämpöverkko	Perustuotanto	Huippu- tuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 17. Kauko- ja aluelämpöjärjestelmän osat.

Perustuotannolla tarkoitetaan muuttuvilta kustannuksiltaan edullista tuotantoa, jolla tuotetaan valtaosa lämpöenergiasta. Alueellisessa maalämmössä tämä olisi maalämmön tuotanto.

Huipputuotanto on talven kovimmilla pakkasjaksoilla käytettävää edullisen investoinnin tuotantoa. Huipputuotantoa käytetään myös perustuotannon varatuotantona päätuotannon mahdollisten viakatiloiden varalle. Alueellisen maalämmön tilanteessa huipputuotantona voisi olla esimerkiksi sähkökattila tai Helsingin kaukolämpö. Polttoon perustuvat ratkaisut eivät ole relevantteja Karhunkaatajan alueella, mutta esimerkiksi bioöljyä voisi käyttää uusiutuvana huipputuotantona.

4.1 Aluelämpöjärjestelmän toteutusmallit

Seuraavissa luvuissa on kuvattu potentiaalisia aluelämpöjärjestelmän toteutusmalleja sekä niiden toteutettavuutta Karhunkaatajan alueella. Työssä käytettävät toteutusmallit ovat:

- Yhden omistajan ja käyttäjän malli
- Yhden omistajan ja ulkoistetun käytön malli
- Eriytetyn siirron malli
- Eriytetyn lämmön siirron ja myynnin malli

Esimerkiksi Helenillä on käytössä Helsingin kaukolämpöjärjestelmässä yhden omistajan ja käyttäjän malli, jossa kaikki kaukolämpöjärjestelmän pääosat ovat Helenin hallussa. Helen myy lämmön asiakkaille, omistaa kaukolämpöverkon ja pääosan tuotannosta sekä huolehtii kaukolämpöverkon ja tuotannon käytöstä ja kunnossapidosta pääosin itse.

Helenin mallin on tavanomaisin Suomessa käytetty malli, mutta Suomessa on kuitenkin alue- ja kaukolämpöjärjestelmiä myös hyvin erilaisilla rakenteilla.

4.1.1 Yhden omistajan ja käyttäjän malli

Yhden omistajan malli vastaa normaalia kaukolämpöjärjestelmän rakennetta, jossa lämmön myynti, kaukolämpöverkko ja tuotanto on yhden tahon omistuksessa ja käytössä. Sama yhtiö myös myy lämmön asiakkaille.

	Lämmön myynti	Lämpöverkko	Perustuotanto	Huipputuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 18. Yhden omistajan ja käyttäjän malli

Alueellisen maalämpöjärjestelmän tapauksessa huipputuotanto voitaisiin toteuttaa myös käyttämällä lämpöä Helsingin pääkaukolämpöverkosta, jolloin huipputuotanto voisi olla erikseen. Tosin kaukolämpöverkossakin huipputuotanto perustuu yleensä kalleimpaan tuotantoon ja Helsingissäkin se pohjautuu maakaasuun ja öljyyn.

	Lämmön myynti	Lämpöverkko	Perustuotanto	Huipputuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 19. Yhden omistajan ja käyttäjän malli eriytettyä huipputuotannolla

Mikäli Helen olisi alueen lämpöjärjestelmän toteuttaja, niin lähtökohtaisesti silloin alueelle tulisi tämänkaltaisen malli. Kaukolämmön hinnoittelu olisi normaalin Helsingin kaukolämmön mukaista, koska lähtökohtaisesti kaukolämpöyhtiön pitää kohdella kaikkia asiakkaitaan tasapuolisesti.

4.1.2 Yhden omistajan ja ulkoistetun käytön malli

Yhden omistajan ja ulkoistetun käytön mallissa yksi taho omistaisi lämpöverkon ja lämmöntuotannon, mutta järjestelmän käyttö- ja kunnossapito olisi ulkoistettu. Tämä malli voisi sopia esimerkiksi energiayhteisölle, jossa lämmön asiakkaat omistaisivat järjestelmän, mutta käyttö- ja kunnossapito kilpailutettaisiin määräajoin.

	Lämmön myynti	Lämpöverkko	Perustuotanto	Huipputuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 20. Yhden omistajan ja ulkoistetun käytön malli

Karhunkaatajan tapauksessa voisi olla haastavaa toteuttaa järjestelmä tällä tavalla, koska se vaatisi jonkinlaisen omistajatahon synnyttämistä jo ennen lämpöverkon rakentamista. Tällöin ei kuitenkaan ole ainakaan merkittävältä osalta tontteja luovutettu, jolloin sopimuksia ei saada synty-
mään.

4.1.3 Eriytetyn siirron malli

Eriytetyn siirron malli vastaa sähkö- ja maakaasumarkkinan rakennetta, jossa jakeluverkon omistaa yksi säännelty taho. Sähkön ja kaasun tuotanto ja myynti on markkinaehtoisesti vapaata ja kuka tahansa toimija saa tulla tuottajaksi ja myyjäksi verkkoon.

	Lämmön myynti	Lämpö-verkko	Perus-tuotanto	Huippu-tuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 21. Eriytetyn siirron malli

Aluelämpöverkkoon sovellettaessa tämä malli tarkoittaisi, että aluelämpöverkon toteuttajaksi valittaisiin yksi taho, joka toimisi lämpöverkon omistajana ja operoijana. Lämmön siirrolle lämpöverkon kautta olisi oma tariffi. Kuka tahansa toimija saisi tulla tuottamaan lämpöä verkkoon ja myymään sitä omille asiakkailleen verkossa. Lämpöverkon siirtoyhtiö huolehtisi verkon tasapainosta säätämällä eri tuotantolaitosten kaukolämpöpumppuja. Lämmön siirto laskutettaisiin erikseen asiakkailta, mutta asiakkaan kannalta olisi helpointa, jos lämmön myyjä laskuttaisi myös siirtomaksun. Lämpöenergian hinnoittelu olisi markkinaehtoisesti vapaata tuottajien ja asiakkaiden välillä.

4.1.4 Eriytetyn lämmön siirron ja myynnin malli

Eriytetyn siirron ja myynnin mallissa valittu lämpöverkon rakentanut taho vastaa lämpöverkon lisäksi lämmön myynnistä asiakkaille. Lämpöverkkoyhtiöllä ei kuitenkaan olisi alueella omaa tuotantoa, vaan tuotanto kilpailutettaisiin erikseen.

	Lämmön myynti	Lämpö-verkko	Perus-tuotanto	Huippu-tuotanto
Omistus				
Käyttö ja kunnossapito				

Kuva 22. Eriytetyn lämmön siirron ja myynnin malli

Malli on lähellä eriytetyn siirron mallia, mutta lämpöverkkoyhtiö myisi myös kaiken aluelämmön alueella. Lämmöntuotantoon voisi kuitenkin olla useampia toimijoita.

4.2 Rakentamisen vaiheistus

Työssä tehtyjen haastattelujen perustella alueellisen maalämmön rakentamisen suurimpana haasteena nähtiin rakentamisen vaiheistus, jossa osa tai kaikki investoinneista pitää tehdä vuosia lämmön myyntiä aikaisemmin.

Aluelämpöverkon osalta rakentamisen vaiheistuksen haaste on vastaava kuin normaalin kaukolämmönkin tilanteessa eli kaukolämpöverkon laajentuessa uusille asukkaille ei ole yleensä vielä varmaa tietoa asukkaista.

Rakentamisen vaiheistuksen haastetta voitaisiin pienentää siten, että tontin luovutukset pyrittäisiin tekemään ja aluelämpöjärjestelmän toteuttaja valitsemaan mahdollisimman aikaisin, jolloin toimijoilla olisi mahdollista tehdä jo lämmönmyyntisopimuksia ennen varsinaisten lämpöjärjestelmään tehtävien investointien alkamista.

Asiakkailla pitää olla valinnanvapaus lämmitysratkaisuunsa, joten asiakkaita ei voida pakottaa liittymään alueelliseen maalämpöjärjestelmään tai muuhun alueelliseen lämmitysjärjestelmään, kuten kaukolämpöön. Tämä tuo epävarmuutta aluelämpöjärjestelmän etukäteen tehtäville investoinneille, kun ei voida olla varmoja lämmön myynnin toteutumisesta. Tämän takia olisi eduksi, että tuotantoon ei tarvitsisi investoida ennen lämmön myyntisopimusten solmimista.

4.3 Lämpöverkon rakentaminen

Lämpöverkon rakentaminen alueelle on noin 500 000 euron investointi, joka tehdään katujen rakentamisen yhteydessä ennakoon. Erityisesti aluelämpöverkon ensimmäisinä 10–20 vuoden aikana tarvittava käyttö ja kunnossapito ovat hyvin vähäistä, jolloin verkosta aiheutuvat kulut ovat pääosin pääomakuluja.

Mikäli lämpöverkko rakennettaisiin etukäteen, syntyy pääoman sitoutumisesta kuluja. Mikäli tuottovaatimus pääomalle olisi 5 %, tarkoittaisi se 25 000 euron vuosikustannusta.

4.4 Tuotannon rakentaminen

Tuotannon investointi on noin 3 000 000 euroa eli noin kuusinkertainen lämpöverkkoon nähden. Pääoman 5 % tuottovaatimus tarkoittaisi 150 000 EUR vuotuista kulua eli pitempi aika rakentamisen ja lämmön myynnin aloittamisen välillä kerää merkittävän kustannukset, joka lisää riskiä järjestelmän investointiin vähentäen kiinnostusta järjestelmän potentiaalisille operaattoreille.

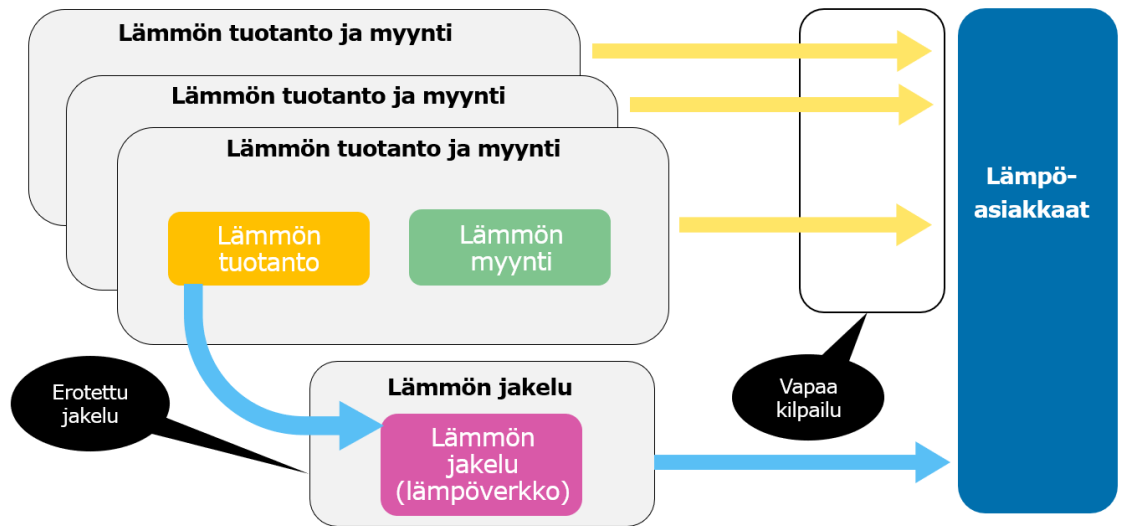
Alueellisen maalämpöjärjestelmän toteutumisen kannalta olisi tärkeää, että investointia lämmön tuotantoon voitaisiin tehdä vaiheittain ja ajallisesti mahdollisimman lähellä lämmön myynnin alkua. Tällöin toimijalla olisi myös jo lämmön myyntisopimuksia, joten riski turhille investoinneille pienee merkittävästi.

4.5 Ehdotettu omistuksen ja operoinnin rakenne

Karhunkaatajan alue sopisi hyvin avoimen aluelämpöverkon koealustaksi, jossa siirto olisi eritetty omaksi erikseen hinnoitelluksi liiketoiminnaksi. Lämmön myynti ja tuotanto olisi täysin vapautettuna kilpailulle. Kaupunki mahdollistaisi alueellisen maalämmön rakentamisen yleisille alueille,

mutta toimijoilla olisi mahdollisuus osallistua lämpökauppaan myös kiinteistöjen omalla tuotannolla.

Asiakkaiden kannalta malli ei eroaisi normaalista kaukolämmöstä muuten kuin, että lämmön voisi ostaa mahdollisesti useammalta eri yhtiöltä, jolloin aluelämmön myynnissä voisi olla kilpailua. Myös myynti aluelämpöverkon ja jonkin verkon toimijan kautta muille asiakkaille olisi mahdollista.



Kuva 23. Periaatekuva avoimesta aluelämpöverkosta, jossa siirto on eriytettyä.

Mikäli alueella päätettäisiin toteuttaa avoin aluelämpöjärjestelmä, niin tarvittaisiin seuraavat kehitysvaiheet:

- Tilavaraukset alueellisen maalämmön tuotantoon asemakaavaan
- Lämmön jakeluyhtiön vaatimusten määrittäminen sisältäen lämmön kauppapaikan rakenteen
- Ensimmäisten tonttien luovutus (jos mahdollista)
- Lämmön jakeluyhtiön kilpailutus ja valinta. Kilpailutus voisi tapahtua esimerkiksi pääoman tuotto prosentilla sisältäen ainakin alkuvuosille maksimihinnan EUR/MWh,
- Kilpailuttaa toimijat lämmön tuotantoon ja myyntiin sekä mahdollistaa potentiaalisten toimijoiden esisopimusten teko lämmön myynnistä.

5. Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli selvittää, miten alueellinen maalämpöjärjestelmä voitaisiin toteuttaa Karhunkaatajan alueella ja mitä teknisiä ominaisuuksia järjestelmältä vaaditaan. Alueellisen maalämpöjärjestelmän teknistä toimivuutta Karhunkaatajan alueella tutkittiin laskennallisesti hyödyntäen dynaamisia maalämpösimulointeja. Suoritetujen simulointien osalta on valittu järjestelmävaihtoehto, joka on teknis-taloudellisesti toteutuskelpoinen järjestelmä.

Teknis-taloudellisesti toteutuskelpoinen järjestelmä rakentuu seuraavista komponenteista:

- maksimissaan 400 m syvät kaivot
 - Kaivosyvyyttä kasvattamalla esimerkiksi 600 m tai 1500 metriin voi saavuttaa suuremman energiaperiton pienemmällä kaivomäärällä, mutta teknologia ei ole vielä laajasti käytössä eikä sen toiminnasta ole riittävää kokemusta sekä luotettavuutta tässä kokoluokassa.
- lämmönlataamista esimerkiksi ilma – vesi -lämmönkeräimillä
 - Lämmönlataaminen on olennainen osa järjestelmän toimivuutta.
 - Lämmönlataaminen maakenttään on vakiintunut käytäntö mutta sen tekeminen tässä mittakaavassa ei ole, joka voi aiheuttaa haasteita tulevalle operaattorille.
- kaivojen etäisyys 10–15 m.

Alueelliseen maalämpöjärjestelmään liittyy **haasteita**, mm.:

- investoinnin etupainotteisuus.
- operaattorin löytäminen,
- vaiheistus,
- kaupunkirakenteelliset tekijät ja erityisesti yleisten alueiden luonne luonnontilaisena viheralueena.

Alueelliseen maalämpöjärjestelmään liittyviä **mahdollisuuksia ja myönteisiä asioita**:

- rakennettavaan jakeluverkostoon voidaan syöttää tarvittava energia paikalla tuotetusta maalämmöstä tai kaukolämmöllä tuotetusta energialähteestä
- alueellisen maalämmön kustannukset kilpailukykyiset
- pienemmät CO₂-päästöt verrattuna kaukolämpöön.

Alueellisen maalämpöjärjestelmän **toteuttamista voidaan välillisesti edistää**

- asemakaavassa ja tontinluovutuksessa annettavilla suosituksilla,
- mahdollistavilla kaavaratkaisuilla ja tontinluovutusehdoilla sekä
- tarvittaessa muita energiamuotoja rajoittavilla kaavaratkaisuilla ja tontinluovutusehdoilla.

Järjestelmän edistäminen edellyttää myös kaupungin sisäisten prosessien tunnistamista ja yhteensovittamista.

Alueellisen maalämpöjärjestelmän kannalta **optimaalisessa kaupunkirakenteessa**

- on korkea korttelitehokkuus,
- korttelin autopaikat sijaitsevat erillisellä pysäköintitontilla (LPA-alue),
- korttelin tonteilla on yhteinen piha-alue (AH-alue) ja
- on rakennettavia puistoalueita ja leveitä katualueita, joihin voidaan pääkäyttötarkoituksen estämättä rakentaa maalämpökaivoja ja -putkia

Selvityksen johtopäätös on, että alueellinen maalämpöjärjestelmä on teknisesti toteutettavissa, mutta siinä on myös haasteita, jotka ovat joko ratkaistavissa tai lievennettävissä. Järjestelmän investoinnin kannattavuus ja riskit muodostavat yhden haasteen. Tosin kannattavuutta voidaan myös arvioida suhteessa vaihtoehtoihin tapoihin saavuttaa vastaava päästövähennys, eikä pelkästään vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin.

Mikäli alueellista maalämpöjärjestelmää lähdetään edistämään muilla asemakaava-alueilla, tulee järjestelmää edistää mahdollisimman aikaisesta vaiheesta lähtien ja sovittaa yhteen mm. katu- ja yhdyskuntateknisen suunnittelun kanssa. Vuoropuhelu mahdollisten toimijoiden kanssa tulisi olla aktiivista, jotta mahdolliset esteet ja haasteet tunnistetaan varhaisissa vaiheissa ja toisaalta teknologian kehitys pystytään huomioimaan.

6. Lähdeluettelo

Energiateollisuus ry (2020). Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2019. https://energia.fi/files/5329/Johtorakennuskustannukset_2019.pdf

Energiateollisuus ry (2021a). Kaukolämmön hintatilasto. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view

Energiateollisuus ry (2021b). Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2020. Luettu 16.7.2021. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/rakennusten_kaukolammitys_maaraykset_ja_ohjeet._julkaisu_k1_2020.html

Helen (2021). Energian ominaispäästöt. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot>

Helsingin kaupunki (2018). Karhunkaatajan alue, asemakaavan ja asemakaavan muutoksen nro 12550 selostus. Helsingin kaupunki. 9.10.2018.

Helsingin kaupunki (2019). Helsingin geoenergiapotentiaali – Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:25

Helsingin kaupunki (2020). Alueellisten maalämpöratkaisujen periaatteet maankäytön suunnittelussa ja toteutuksessa. Kaupunkiympäristön aineistoja 2020:22.

Helsingin kaupunki (2021). Maalämpö ohje. <https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Maalampo.pdf>

Ramboll (2021). Kuvat: Jukka Kopra 13.6.2021.

Tilastokeskus (2021), 12.3.3.2 Sähkön ja lämmön tuotannon ominaishiilidioksidipäästöt (hyödynjakomenetelmä, g CO₂ / kWh). https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2020/html/suom0011.htm

Tekijät	Ramboll Finland Oy Anna-Maria Rauhala, Jouni Laukkanen, Santeri Sirén, Jukka Kopra, Juha Riikharanta
Nimike	Alueellisen maalämpöjärjestelmän huomioonottaminen asemakaavassa Tarkastelualueena Karhunkaatajan asemakaava-alue
Sarjan nimike	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja
Sarjanumero	2021:9
Julkaisuaika	9:2021
Sivuja	43
Liitteitä	0
ISBN	978-952-331-979-0
ISSN	2489-4257 (verkkojulkaisu)
Kieli, koko teos	Suomi
Kieli, yhteenveto	Suomi

Tiivistelmä:

Työn tavoitteena oli selvittää, miten alueellinen maalämpöjärjestelmä voitaisiin toteuttaa Karhunkaatajan alueella ja mitä teknisiä ominaisuuksia järjestelmältä vaaditaan. Alueellisen maalämpöjärjestelmän teknistä toimivuutta tutkittiin laskennallisesti hyödyntäen dynaamisia maalämpösimulointeja. Työssä simuloitiin useita erilaisia maalämpöjärjestelmävaihtoehtoja, joista löytyi teknisesti toteutuskelpoisin järjestelmä. Järjestelmään rajattiin maksimissaan 400 metriä syvät kaivot, lämmönlataamisella 10–15 metrin etäisyyksillä toisistaan. Syvemmillä kaivoilla on mahdollista saavuttaa pienemmällä kaivomäärällä myös hyvä energiaperitehoaste, mutta teknologia ei ole vielä laajasti käytössä. Maalämpökentän lataaminen on oleellinen osa valitun järjestelmän toimivuutta. Lämmönlataaminen mallinnettiin työssä käyttämällä ilma-vesilämmönsiirtimiä, joiden avulla voidaan ottaa ilmasta talteen lämpöä.

Kustannustarkastelussa otettiin huomioon järjestelmään liittyvät investoinnit sekä elinkaaren aikana tapahtuvat huollot, laiteusinnat sekä ostosähkön määrä. Valitulla järjestelmällä tuotetun lämmön hinta on kilpailukykyinen esimerkiksi kaukolämmön nykyistä hintaa vasten, mikäli maalämmön investointia tarkastellaan pitkällä aikavälillä tai operaattorin katetta ja henkilökuluja ei huomioida. Alueellisen maalämpöjärjestelmän elinkaaren CO₂-päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön päästöt, johon vaikuttaa lämpöpumpun energiatehokkuus verrattuna kaukolämpöön.

Alueelliseen maalämpöjärjestelmään liittyy myönteisiä näkökulmia, mutta myös haasteita, mm. investoinnin etupainotteisuus ilman varmuutta rakentumisaikataulusta tai järjestelmään liittyvien määrästä. Ehdotettu omistuksen ja operoinnin malli voisi pienentää tätä haastetta hajauttamalla investointia ja riskiä sekä mahdollistamalla maalämmön tuotannon mitoituksen lämmöntarpeen mukaan. Alueelliseen maalämpöjärjestelmään voidaan ohjata ja edistää mm. asemakaavoituksen ja tontinluovutuksen kautta, mutta alueelliseen järjestelmään ei voida velvoittaa liittymistä. Alueellisen järjestelmän houkuttelevuutta voidaan edistää kaupunkirakenteellisin ratkaisuin.

Selvityksen johtopäätöksenä on, että alueellinen maalämpöjärjestelmä on teknisesti toteutettavissa, mutta haasteita voi muodostua operaattorin löytämisessä, etupainotteisesta investoinnista, vaiheistuksesta, kaupunkirakenteelliset tekijöistä ja erityisesti Karhunkaatajan yleisten alueiden luonteesta luonnontilaisena puistona. Mikäli alueellista maalämpöjärjestelmää lähdetään edistämään muilla asemakaava-alueilla, tulee järjestelmää edistää mahdollisimman aikaisesta vaiheesta lähtien ja sovittaa yhteen mm. katu- ja yhdyskuntateknisen suunnittelun kanssa. Vuoropuhelu mahdollisten toimijoiden kanssa tulisi olla aktiivista, jotta mahdolliset esteet ja haasteet tunnistetaan varhaisissa vaiheissa ja toisaalta teknologian kehitys pystytään huomioimaan.



Helsinki

Kaupunkiympäristön toimiala huolehtii Helsingin kaupunkiympäristön suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta, rakennusvalvonnasta sekä ympäristöön liittyvistä palveluista.