

Helsinki

Kaupunkiympäristön aineistoja 2022:10

Korttelikohtaiset maalämpöjärjestelmät Helsingissä



Helsinki

Sarja: Helsingin kaupungin Kaupunkiympäristön aineistoja 2022:10

Julkaisun nimi: Korttelikohtaiset maalämpöjärjestelmät Helsingissä
<https://bit.ly/korttelikohtaiset-maalampojarjestelmat>

Julkaisuvuosi: 2022

Taitto: Valve Branding Oy

ISBN: 978-952-386-165-7 (verkkojulkaisu)

ISSN: 2489-4257 (verkkojulkaisu)

Kannen kuva: Kari Ylitalo

Esipuhe

Tämän julkaisun on laatinut Ramboll Finland Oy Helsingin kaupungin ilmastoyksikön ja aluerakentamisyksikön tilauksesta.

Nyt julkaistavassa selvityksessä ”Korttelikohtaiset maalämpöjärjestelmät Helsingissä” tuotettiin toteuttamiskelpoinen konsepti korttelitason lämpöpumpputekniikkaan, geoenergiaan ja ympäristö/jätelämpöihin perustuvasta lämmitys-/jäähdytyskokonaisuudesta kolmelle asemakaavoitusvaiheessa olevalle alueelle Helsingissä: Karhukallio, Hermanninranta ja Länsi-Haaga.

Työtä ohjasi ryhmä, jossa on ollut edustajia Helsingin kaupungin ilmastoyksiköstä, aluerakentamisyksiköstä, asemakaavoituspalvelusta sekä maa- ja kallioperäyksiköstä.

Helsingissä 28. syyskuuta 2022

Kaisa-Reeta Koskinen
Ilmastoyksikön päällikkö

Hannu Asikainen
Kalastaman aluerakentamisprojektin
projektinjohtaja

Sisällys

1. Tausta	5
2. Laskennan kuvaus	6
2.1 Rakennusten lämmitysenergiantarve.....	6
2.2 Simulointimallin kuvaus ja yleiset lähtötiedot	7
2.3 Kustannuslaskenta	9
2.4 Päästölaskenta	10
3. Maalämpöjärjestelmien kuvaus	11
4. Tulokset	13
4.1 Hermanninranta	13
4.1.1 Kortteli 21681	14
4.1.2 Kortteli 21683	16
4.1.3 Kortteli 21685	18
4.2 Karhukallio	20
4.2.1 Kortteli 45368	21
4.2.2 Kortteli 45365	23
4.2.3 Kortteli 45363	25
4.3 Länsi-Haaga	27
4.3.1 Kortteli 1	28
4.3.2 Kortteli 2	30
4.3.3 Kortteli 3	32
5. Melutarkastelu	34
5.1 Sovellettavat ohjeavot	34
5.2 Laskennallinen melutarkastelu	34
5.3 Laitteiden kiinnitys vesikatolla	34
5.4 Tulokset ja johtopäätökset	35
6. Johtopäätökset	37

1. Tausta

Helsingin kaupunki on selvittänyt alueellisten maalämpöjärjestelmien toimivuutta eri alueilla. Selvityksissä on todettu, että alueelliseen järjestelmään liittyy haasteita. Haasteet liittyvät esimerkiksi kaivojen sijoittamiseen, operaattorin valintaan sekä suureen etupainotteiseen investointiin.

Toinen mahdollisuus maalämmön ja lämpöpumppujärjestelmien hyödyntämiseen on tehdä järjestelmät korttelitasoisesti. Kortteleissa on eroa esimerkiksi tonttitehokkuuden sekä muiden vaatimusten myötä, joilla on vaikutusta mahdollisten maalämpökaivojen määrään sekä muiden lämmönlähteiden hyödyntämiseen. Helsingin kaupungin uuden linjauksen mukaisesti yksityisiä maalämpökaivoja voidaan sijoittaa tietyin ehdoin myös yleisille alueille. Tämä edesauttaa maalämmön hyödyntämistä.

Työn tavoitteena on tuottaa toteuttamiskelpoinen konsepti korttelitason lämpöpumpputekniikkaan, geoenergiaan ja ympäristö/jätelämpöihin perustuva lämmitys-/jäähdytyskokonaisuudesta. Työn kohteena on kolme uutta asemakaavoituksessa olevaa aluetta Helsingissä:

1. Karhukallio
2. Hermanninranta
3. Länsi-Haaga



Kuva: Jussi Hellsten

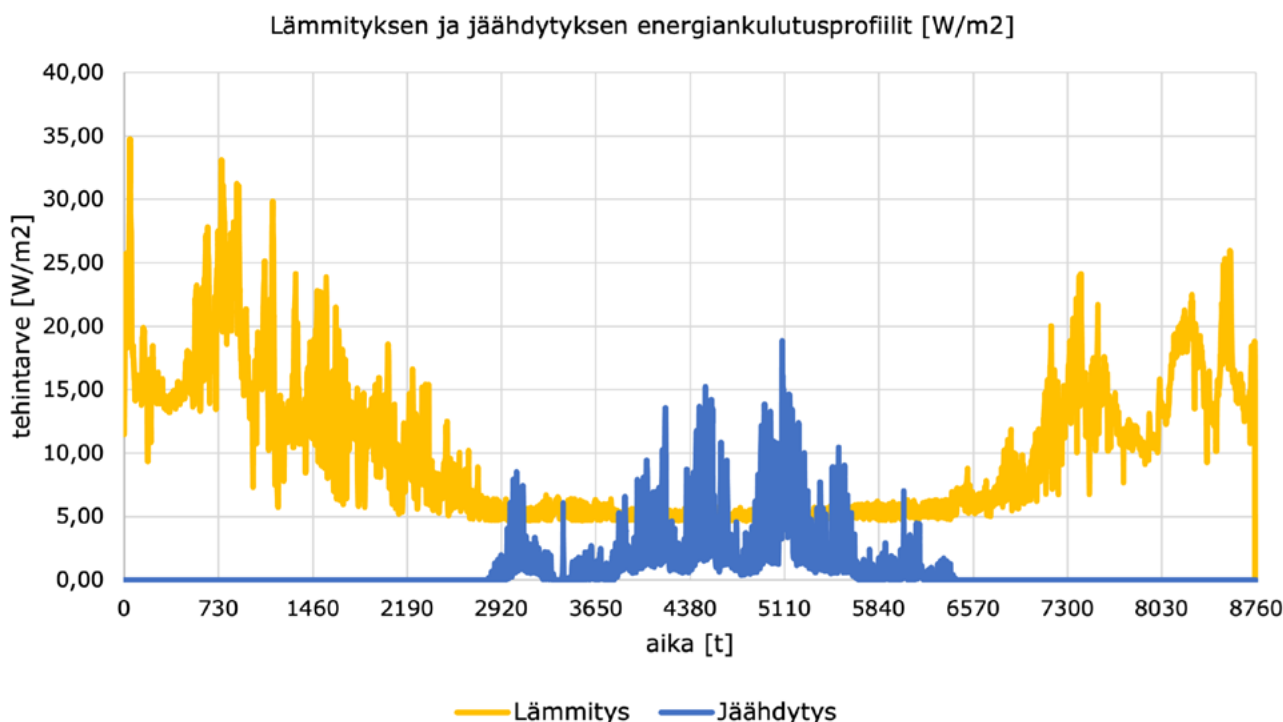
2. Laskennan kuvaus

Laskennan tavoitteena on tunnistaa millä järjestelmäratkaisuilla korttelikohtainen maalämpöjärjestelmä on kannattava suhteessa kaukolämpöön, sekä minkälaisia vaikutuksia maalämpöjärjestelmällä on korttelin energiantarpeeseen sekä päästöjen tuottamiseen. Laskenta toteutettiin simuloimalla erilaisia järjestelmävaihtoehtoja kortteleittain 50 vuoden elinkaarelle, joista tunnistettiin soveltuvimmat vaihtoehdot jokaiselle valitulle korttelille. Laskennassa toteutettiin myös meluselvitys, jossa tutkittiin katolle sijoitettavien lämmönkeräinten aiheuttaman melun leviämistä.

2.1 Rakennusten lämmitysenergiantarve

Rakennusten lämmitysenergiantarpeen arvio perustuu erityyppisten rakennusten neliöpohjaisiin kulutuksen tuntisarjoihin [W/m^2], joiden pohjalta määritettiin erikseen jokaisen tarkasteltavan korttelin lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksen tunti-profiilit. Kuvassa 1 on esitetty neliöpohjaiset tunti-profiilit, yhden vuoden jaksolta.

Kuva 1. Asuinkerrostalokorttelin vuosittainen ominaislämmön- ja jäähdytysenergiantarve.



Asuinkerrostalon vuosittainen lämmitysenergiantarve on noin $88 \text{ kWh}/\text{kem}^2$, ja jäähdytysenergiantarve noin $8.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Lämmitysenergiantarve sisältää tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen. Jäähdytysenergiankulutus sisältää ilmanvaihdon ja tilojen viilennystarpeen.

Asuinkerrostalojen lämmityksenkulutus perustuu viidenkymmenen vuosina 2013–2018 valmistuneiden asuinkerrostalorakennusten tuntikohtaiseen mit-

tausdataan, joka on säädöryhtymä vastaamaan energialaskennan testivuoden TRY2020 Helsingin säädöryhtymä dataa. Käyttöveden kulutusprofiilissa sovellettiin yhden asuinkerrostalon 30 minuutin tarkkuudella mitattua kulutusprofiilia, sekä edellä mainittujen 50 asuinkerrostalon mittausdatan yhdistämistä yhdeksi keskimääräisestä käyttöveden kulutusta kuvaavaksi tuntisarjaksi. Jäähdytyksen kulutusprofiili pohjautuu asuinkerrostalon dynaamisiin energiamallinnuksiin.

Maalämpöjärjestelmän mitoitusperusteena käytetään usein järjestelmän energiaperustaa, eli vuositasolla järjestelmän tuottaman lämmön määrä suhteessa lämmöntarpeeseen. Järjestelmä on usein todettu olevan kannattava toteuttaa, jos energiaperitto on yli 80 %. Luku voi vaihdella merkittävästi investointi- ja käyttökustannusten muutosten sekä rakennushankkeen tavoitteiden myötä. Tässä työssä 80 %:n energiaperitto toimii tavoitearvona. Kun energiaperitto on 80 %, vastaa se tehopeitoltaan tyypillisesti noin 40 %. Tarkoitetaan että 60 % huipputehontarpeesta tulee tuottaa jollain muulla järjestelmällä kuin maalämpöpumpulla. Tukilämmitysmuotona voidaan hyödyntää esimerkiksi suoraa sähkölämmitystä (sähkökattila) tai kaukolämpöä. Tässä työssä on oletettu, että lämpöpumpujärjestelmän tukena hyödynnetään sähkökattilaa.

Maalämpöä voidaan myös tukea erilaisilla rinnakkaislämmitysmuodoilla. Tässä työssä rinnakkaislämmitysmuotoina on tutkittu ilma-vesi lämmönkeräintä sekä jäteilman lämmöntalteenottoa. Rinnakkaislämmitysmuoto toimii nimensä mukaisesti maalämmön rinnakkaisena lämmönlähteenä, jota voidaan hyödyntää mahdollisesti maalämmön sijaan ja/tai sillä voidaan ladata lämpöä maakeräintään.

2.2 Simulointimallin kuvaus ja yleiset lähtötiedot

Tässä työssä suoritettavat maalämpösimuloinnit tehtiin käyttämällä IDA ICE v4.8-ohjelmistoa. Tällä ohjelmistolla voidaan mallintaa dynaamisesti maalämpöjärjestelmää, johon sisältyy kaivokenttä ja siihen liitetty lämpöpumpujärjestelmä sekä energiaa kuluttavat rakennukset. IDA ICE simulointien lähtötietona käytettiin rakennusten lämmitysenergiakulutuksen ja jäähdytyksen tuntiprofileita.

IDA ICE simulointimalli pitää sisällään energiakaivokentän, jossa jokaisen kaivon sijainti on yksilöllisesti määritetty tarkoilla koordinaateilla. Kaivokentän liuosverkosto (etyleeniglykolin ja veden seos) kulkee lämpöpumpuilta höyrystimelle, joka ottaa liuosverkosta lämpöä ja siirtää sen lauhduttimen kautta lämmönjakeluverkostoon. Lämmönjakeluverkosto syöttää rakennuksille lämpöä. Se osuu rakennusten lämmöntarpeesta, jota ei saada maalämpöpumpulta, kompensoidaan sähkökattilalla. Järjestelmä sisältää jäätymisenestoautomaatiikan, joka mittaa

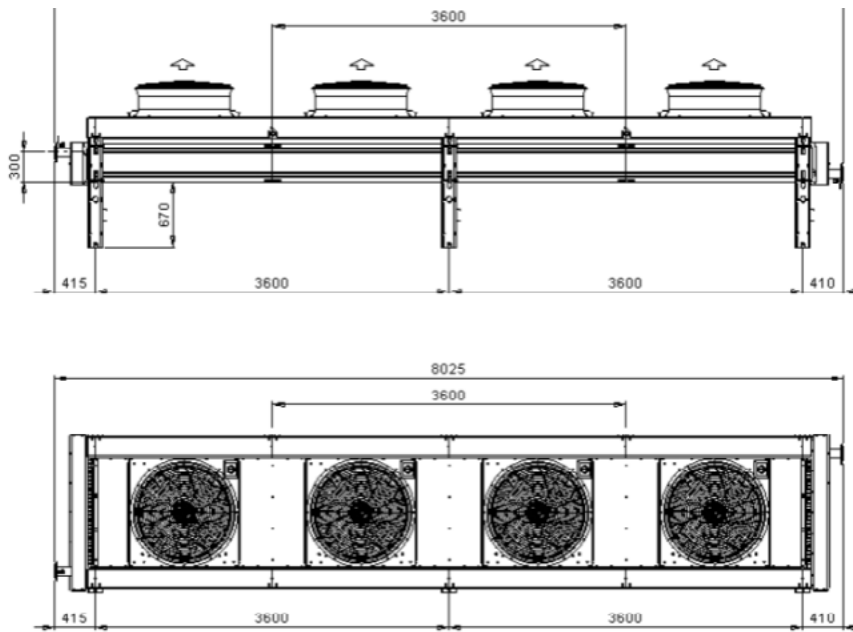
energiakaivoista lämpöpumpulle palaavan liuoksen lämpötilaa ja sen perusteella tarvittaessa rajoittaa lämpöpumpun tehoa, estäen kallioperän jäähtymisen liian kylmäksi. Jäätymisenestoautomaatiikan takia maalämpöjärjestelmä tuottaa tyypillisesti ensimmäisinä vuosina eniten energiaa, kun kallioperä on vielä lämmin. Vuosittainen lämmöntuotanto alkaa vähitellen vähentymään sitä enemmän mitä enemmän kallioperä (ja liuoksen lämpötila) ajan mittaan jäähtyy. Simuloinneissa lämpöpumppujen hyötysuhde (COP) pohjautuu todellisten maalämpöpumppujen suorituskykyarvojen pohjalta laadittuun simulointikomponenttiin, joka laskee dynaamisesti COP arvoa hetkellisistä lämpötilaolosuhteista ja tehosta riippuen.

Simuloinneissa maalämpökenttää hyödynnetään aina vapaajäähdytykseen. Vapaajäähdytys tuottaa rakennuksille jäähdytystä ja lataa samaan aikaan energiaa maalämpökaivoihin. Mitä kylmempi kallioperä ja mitä enemmän kaivoja, sitä enemmän jäähdytystehoa kentästä saadaan. On huomattava, että vapaajäähdytyksen teho saattaa loppua kesken, erityisesti kesäkesän jäähdytyspiikkien aikana. Vapaajäähdytyksen kanssa tulisi siten tunnistaa mahdollisuus, että jäähdytystä ei ole aina tarpeeksi saatavilla vaan kyseessä on siten enemmänkin viilennysratkaisu.

Simuloinneissa tarkasteltiin kahta vaihtoehtoista tapaa ladata lämpöä maalämpökenttään: lämmönkeräimet ja rakennuksen ilmanvaihdon jäteilman lämmöntalteenotto.

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. Tämän takia lämmönkeräinten energiantuotanto painottuu erittäin voimakkaasti kesäkaudelle, kun ulkolämpötila on selvästi lämpimämpää kuin liuos. Lämmönkeräimen ensisijainen tarkoitus on parantaa kaivokentän energiasaantoa kasvattamalla maaperän energiamäärää. Tämä mahdollistaa suuremman lämpöenergian saannin kaivoista pitkällä aikavälillä.

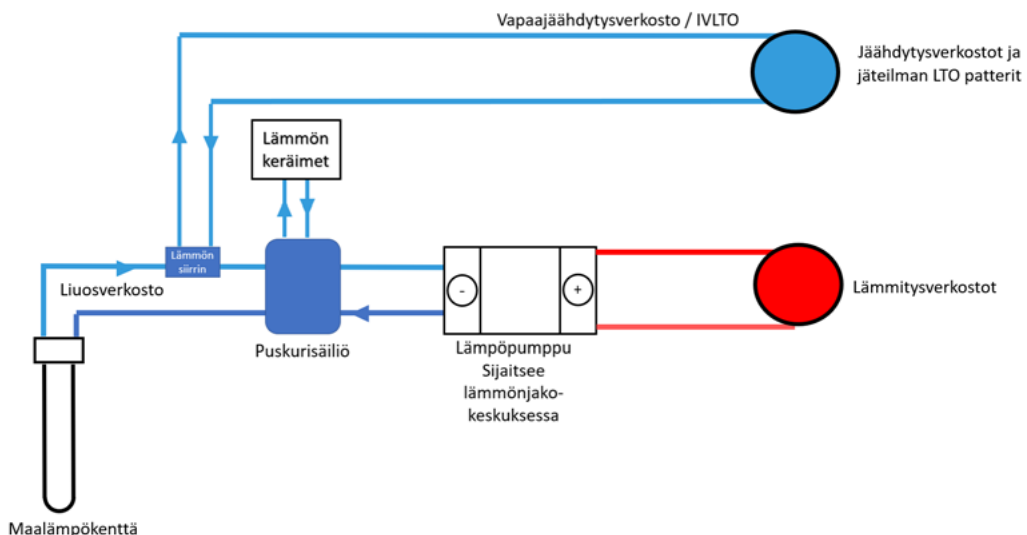
Kuva 2. Periaatekuva lämmönkeräimestä (Yhden lämmönkeräinyksikön teho: 100 kW (kun sisään tuleva liuos on +5 °C ja ulkoilma +10°C)).



Jäteilman lämmöntalteenottojärjestelmän (IVLTO) avulla, rakennusten ilmanvaihdon jäteilmavirrasta on mahdollista ottaa lämpöenergiaa talteen ja tukea sillä maalämpöjärjestelmän toimintaa, samaan tapaan kuin lämmönkeräinten avulla. Tässä järjestelmässä ilmanvaihdon koneissa on lämmönsiirrin poistupuolen jäteilmakanavassa, lämmöntalteenotto (LTO)-patterin jälkeen. Tästä lämmönsiirtimestä otetaan talteen jäteilmassa olevaa lämpöenergiaa, joka muussa tapauksessa menisi täysin hukkaan. IVLTO-patteri voidaan kytkeä samaan tilajäähdytyksen putkistoon, jolla tuotetaan rakennusten viilennys. Näin ollen samaa jäähdytyksen runkoputkistoa

voidaan hyödyntää sekä tuloilman viilennykseen että jäteilman lämmöntalteenottoon. Voidaan siten ajatella, että mikäli ilmanvaihdon koneet on lähtökohtaisesti varusteltu tuloilman viilennyksellä, niin jäteilman LTO-järjestelmä ei vaadi juuri lainkaan erillisiä putkituskustannuksia (lyhyitä kytkentäputkia lukuun ottamatta). IVLTO-järjestelmä olisi järkevintä toteuttaa keskitetyillä ilmanvaihdon koneilla, jotta putkitus ja lämmönsiirrin asennukset voidaan keskittää muutamaankin IV-koneeseen. Simuloinneissa jäteilman lämpötila- ja kosteusprofiilit perustettiin asuin-kerrostalon tavoite-energia IDA ICE simulointimallin tuloksiin.

Kuva 3. Yksinkertaistettu periaatekaavio simulointimallista.



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

Maalämpösimuloinneissa käytettyjä keskeisiä lähtöarvoja:

- Kallioperän lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti, sekä tiheys valittiin korttelikohtaisesti, perustuen paikallisiin kallion ominaisuuksiin.
- Lämmönkeruu kollektorin tyyppi: U-putki kollektori
- Porakaivon sisäinen lämpövastus: 0,1
- Lämpöpumppujen mitoitusperiaate: 45 W/parametri
- Simulointijakson pituus: 50 vuotta
- Yhden lämmönkeräyksikön teho: 100 kW (kun sisään tuleva liuos on +5 °C ja ulkoilma +10°C)
- IVLTO järjestelmässä hyödynnettävä jäteilmavirta: 0.425 l/s, m²
- Lämpötila, jonka alle kentästä palaavaa liuosta ei päästetä putoamaan: +0.5 °C
- Kaivo - ja U-putkidimensiot ja virtaamat sekä kallion lämpötila arvioitiin tapauskohtaisesti kaivosyvyyden mukaan. Työssä haarukoitiin lukuisia kaivosyvyyksiä.
- Porakaivojen syvyys: simuloinneissa haarukoitiin seuraavia syvyyksiä: 200 m, 300 m, 400 m ja 500 m.

Tärkein simuloinneista saatava tulos on maalämpöpumpun lämmitysenergiantuotantoprofiili, joka saatiin jokaisesta simuloinnista 50 vuoden pituiselle simulointijaksolle. Tämän perusteella voitiin laskea esimerkiksi maalämmön energiapeitto prosentti, joka kuvaa kuinka suuri osuus korttelin lämmöntarpeesta voidaan tuottaa maalämpöpumpulta. 50 vuoden tuotantoprofiilin perusteella nähdään myös selvästi, miten hyvin kallioperässä riittää lämpöenergia pitkällä aikavälillä eri tapauksissa. Tuloksissa voidaan olettaa, että tuotantoprofiilin kehittyminen jatkuu samalla trendillä, miten se on kehittynyt vuoteen 50 asti. Simulointitulosten pohjalta laskettiin myös energiantuotannon CO₂-päästöt ja energiantuotantokustannukset.

Keskisyviä energiakaivoja ei simuloitu dynaamisesti, vaan ne käsiteltiin yksinkertaisella vuosittaisella tuottoarviolla: 800 MWh lämpöpumpun lämmöntuotantoa per yksi 1500 m syvä kaivo ja hyötysuhteena (COP, Coefficient of Performance) 3.8. Käytetyt arvot perustuvat mallinnuksiin sekä käytännön kokemuksiin toteutuneista hankkeista.



2.3 Kustannuslaskenta

Työssä on laskettu eri järjestelmävaihtoehdoille investointi – ja käyttökustannusarvot 50 vuoden elinkaarelle, joita on verrattu kaukolämmön hintaan vastaaviin kohteisiin. Investointiarvot perustuvat toimittajien arvioihin ja Rambollin kokemuksiin vastaavista kohteista. Investointiarvot perustuvat tietoihin, jotka on kerätty viimeisen kahden vuoden ajalta. Investoinneissa on tällä hetkellä suurta epävarmuutta maailmantilanteesta johtuen (korkea inflaatio, lämpöpumppujen kasvanut kysyntä jne.).

Käyttökustannuksissa on otettu huomioon energian hinnat (sähkö, kaukolämpö), laitteiden huoltokustannukset sekä laiteuusinnat elinkaaren aikana. Sähkön hinta perustuu vuosien 2021 ja 2022 SPOT-hintojen keskiarvoon sekä Helen sähköverkkojen siirtomaksuihin. Sähkön hinta on tällä hetkellä (vuonna 2022) hyvin korkea verrattuna aiempiin vuosiin, eikä lyhyen ajan kehityksestä ole varmuutta. Kaukolämmön hinta perustuu Helenin kaukolämmön hinnastoon viimeisen vuoden ajalta. Kaukolämmön hinnassa on myös ollut suurta vaihtelua. On myös epävarmaa, miten kaukolämmön vähähiilistäminen tulee vaikuttamaan kaukolämmön hinnan kehitykseen.



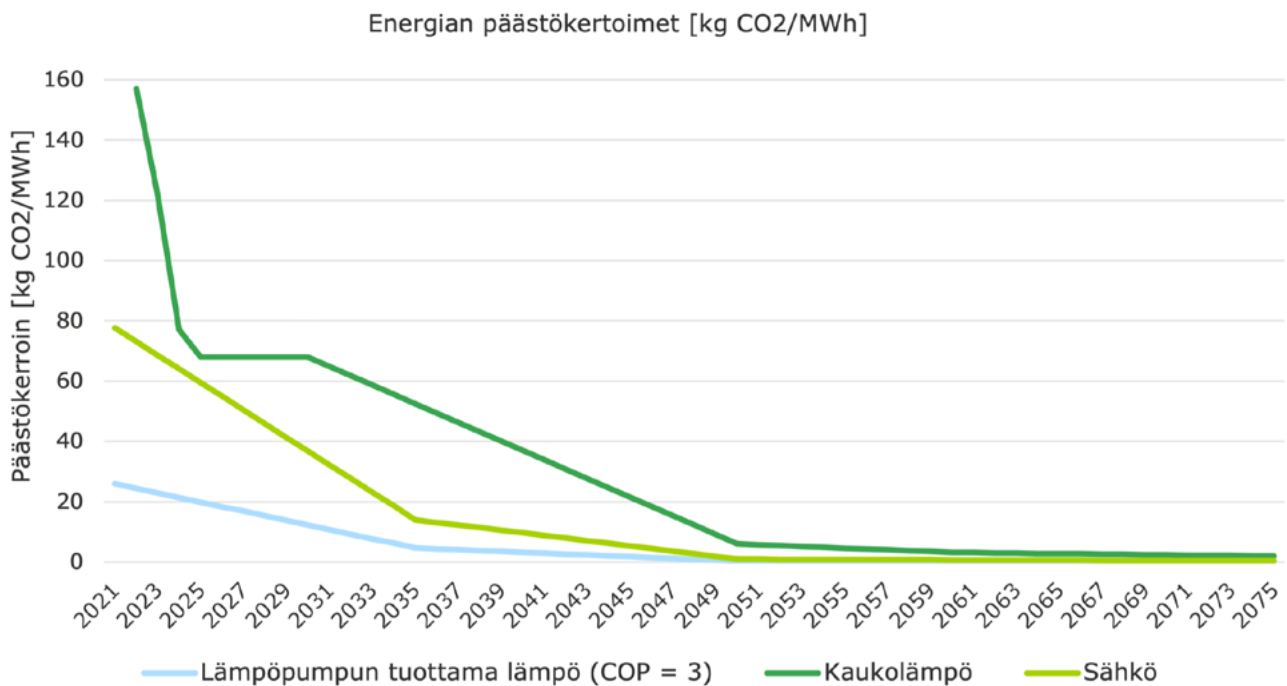
Kuva: Saija Laaksonen

2.4 Päästölaskenta

Työssä on laskettu energian käytöstä syntyvät päästöt eri järjestelmävaihtoehdoille. Päästölaskennan perustana on käytetty sähkön osalta Energia-alan vähähiilisyystiekartan perusskenaarion mukaista sähkön päästökertoimen kehitystä. Kaukolämmön osalta on käytetty Helsingissä tuotetun kaukolämmön ominaispäästökerrointa ja sen odotettua kehitystä.

Päästökertoimen on laskenut HSY vuoteen 2030 asti. Tästä eteenpäin päästökerroin on oletettu jatkuvan Energia-alan vähähiilisyystiekartan mukaisesti. Päästökertoimien kehitys on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 4), jossa on havainnollistettu myös keskimääräisen lämpöpumpun tuottaman lämmön päästöt (kun hyötysuhde on 3).

Kuva 4. Energian päästökertoimet.



3. Maalämpöjärjestelmien kuvaus

Selvitys tehtiin kolmelle eri asemakaava-alueelle:

1. Karhukallio
2. Hermanninranta
3. Länsi-Haaga.

Jokaiselta alueelta valittiin kolme korttelia, joihin maalämpöjärjestelmän toteuttaminen olisi haastavinta. Arvio tehtiin tutkimalla, kuinka monta energia-kaivoa korttelin alueelle mahtuisi suhteutettuna korttelin lämmöntarpeeseen. Kaivosijoittelun lähtökohtana käytettiin Helsingin kaupungin ohjeita maalämpökaivojen varoetäisyyksistä eri kohteisiin kuten rakennuksiin, puustoon sekä muuhun infraan.

Maalämpöjärjestelmän osana tutkittiin mahdollisuuksia hyödyntää lämmönkeräimiä sekä jäteilman lämmöntalteenottoa (IVLTO). Lämmönkeräimet on sijoitettava katolle vaakatasoon. Keräinten paino on luokkaa 1 500–2 000 kg. Kattojen kaltevuudella ei periaatteessa ole väliä, sillä vaakatasoon sijoittaminen onnistuu telineiden avulla. IVLTO sijoitetaan ilmanvaihtokoneeseen eli siitä ei tule näkyviä osia kortteliin. IVLTO sopii hyödynnettäväksi parhaiten nk. keskitetyllä ilmanvaihtojärjestelmässä.

Järjestelmän keskeisten komponenttien sijoittelua korttelissa on hahmoteltu kuvassa 5. Järjestelmä toimii siten että lämmitys ja jäähdytys tuotetaan keskitetysti energiakeskuksessa, jossa sijaitsee lämpöpumppu. Energiakeskuksesta jaetaan lämmitys ja jäähdytys kiinteistöjen lämmönjakohuoneiden kautta asuntoihin. Mahdollinen lämmönkeräin sijoitetaan sopivalle paikalle korttelin katolle, josta vedetään putket energiakeskukseen. Maalämpökaivot sijoitetaan sopiville kohdille korttelia ja/tai korttelia sivuville yleisille alueille. Tarvittava maalämpökaivojen määrä riippuu korttelin lämmöntarpeesta, kaivojen syvyydestä sekä tontilla käytettävissä olevasta pinta-alasta. Tässä työssä on arvioitu erikseen maksimi määrä kaivoja, joita voi sijoittaa tontille sekä siihen määrään eri syvyisillä kaivoilla tuotettu lämpöenergia.

Tässä työssä kaivojen määrä vaihtelee eri alueilla seuraavasti:

- | | |
|-------------------|------------|
| 1. Karhukallio | 13–32 kpl |
| 2. Hermanninranta | 34–36 kpl |
| 3. Länsi-Haaga | 12–23 kpl. |

Maalämpökaivojen sijoittelussa on otettava huomioon myös alueiden muut käyttötarpeet kuten viherrakenteet sekä muu infra. Helsingin kaupunki on ohjeistanut maalämpökaivojen sijoittamisesta yleisille alueille, jossa on listattu varoetäisyyksiä esimerkiksi eri infrakohteista sekä puista. Maalämpöjärjestelmän osia ei tulisi sijoittaa katupuiden kasvualustoille, vaan niiden ulkopuolelle. Kortteleiden maankäyttö voi olla hyvin rajallista, joka aiheuttaa tarpeen priorisoinnille. Tilanteessa vaaditaan eri tavoitteiden yhteensovittamista sekä mahdollisesti kompromisseja.

Keskisyviä kaivoja tarvitaan kohteesta riippuen noin 1–2 kappaletta per kortteli. Keskisyvät kaivojen toimintaperiaate on sama kuin matalammilla maalämpökaivoilla. Sijoittelussa on käytetty Helsingin kaupungin ohjeita varoetäisyyksistä. Keskisyvät kaivot ovat tällä hetkellä vielä pilottivaiheen teknologiaa. Tällä hetkellä on vain yksittäisiä järjestelmiä, jotka on saatu toimimaan halutulla tavalla suunnitellulla sijainnilla.

Keskisyvien kaivojen toteuttamisessa on tullut vastaan odottamattomia haasteita, jotka liittyvät muun muassa kallioperän ruheisuuteen. On tullut tilanteita, joissa kaivoa ei olla voitu porata ruhevyöhykkeen takia. Jos näin käy, tulee kaivolle etsiä uusi sijainti. Tiivisrakenteisissa kortteleissa tätä mahdollisuutta ei välttämättä ole, jolloin korttelille jäisi liian matala kaivo eikä haluttua lämmöntuottoa voida saavuttaa. Jos keskisyvää kaivoa ei voida toteuttaa suunnitellulla tavalla, voi koko työmaa myöhästyä, eli ongelmat heijastuvat myös itse rakentamiseen. Keskisyvien kaivojen tuloksissa on siten suurempi epävarmuus kuin matalammilla maalämpökaivoilla.

Kuva 5. Periaatepiirustus korttelin energiajärjestelmästä (ei mittakaavassa, sijainnit ja etäisyydet viitteellisiä).

Selite	
	Lämmönjakeluverkko
	Energiakaivon suunta
	Energiakaivon suojakansi (voi olla maan alla) min. 3 m rakennuksesta.
	Kiinteistökohtainen lämmönjakohuone
	Korttelikohtainen energiakeskus (sisätiloissa)
	Katolle sijoitettava ilma-neste lämmönkeräin



4. Tulokset

Tässä luvussa on esitelty laskennan tulokset kortteleittain. Tuloksissa esitetään millä kaivometrimäärillä kortteleissa päästään noin 80 % energiapiittoon 50 vuoden elinkaarella ilman lisälämmönlähteitä. Tulokset on myös esitetty vastavalle kaivomäärille kaivokentän lataamisella lisälämmönlähteillä. Tuloksissa on eritelty järjestelmän hyödyntävät lämmönlähteet (maasta saatava lämpö, lisälämmönlähde, tukilämmitys ja käytetty sähkö).

Tuloksissa esitellään korttelin ja maalämpökaivokentän perustiedot sekä hahmotelma maksimimäärän kaivosijoittelusta. Laskennan tuloksissa esitetään energiapiiton kehitys elinkaaren aikana sekä elinkaaren lämmöntuotantojakauma. Kustannus- ja päästölaskennan tuloksena esitetään investointi- ja käyttökustannukset sekä vertaillaan käyttökustannuksia ja päästöjä kaukolämpöratkaisuun.

4.1 Hermanninranta

Hermanninrannasta valittiin korttelit 21681, 21683 ja 21685. Näissä kortteleissa todettiin olevan haastavinta asettaa energiakaivoja suhteessa rakennettavaan kerrosalaan nähden. Korttelit 21681 ja 21683 jakavat samaa puistoaluetta, jolloin molempien korttelien kaivojen mahdolluttaminen alueelle vaatii yhteensovittamista ja suunnittelua. Näin huolehditaan, että puistoalueelle sijoitettavat kaivot eivät vahingoita alueen viherkasveja ja puustoa. Kortteli 21685 taas ei voi hyödyntää yleisiä alueita juuri lainkaan, johtuen katualueille sijoitettavasta muusta infrastruktuurista kuten kaukolämpöputkista. Kuvassa 6 on esitetty korttelit sekä kortteleille sijoitettavien energiakaivojen mahdollisia sijoituksia punaisilla ympyröillä.

Kuva 6. Yleiskuva Hermanninrannan valituista kortteleista.



4.1.1 Kortteli 21681

Kortteli 21681 sijaitsee Hermanninrannan länsiosassa. Kortteliin mahtuu 36 maalämpökaivoa, joista 10 sijaitsee viereisessä puistossa. Kortteli ei voi hyödyntää katualueita johtuen kadun alle sijoitettavasta infrastruktuurista. Puistoon sijoitettavien kaivojen osalta tulee ottaa huomioon Helsingin kaupungin määräykset puuston suojaetäisyyksistä. Kuvaan piirretyt kaivot ovat hahmotelma kaivojen mahdollisesta sijoittamisesta, joka tulee tarkemmassa suunnittelussa tehdä uudestaan.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotannon energiaperite putoaa noin 50 %:iin elinkaaren lopussa jopa 500 m syvillä kaivoilla. Kahdella lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiaperite pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräimen avulla voidaan korvata tukilämmityksen tarvetta sekä maasta otettavaa lämpöä.

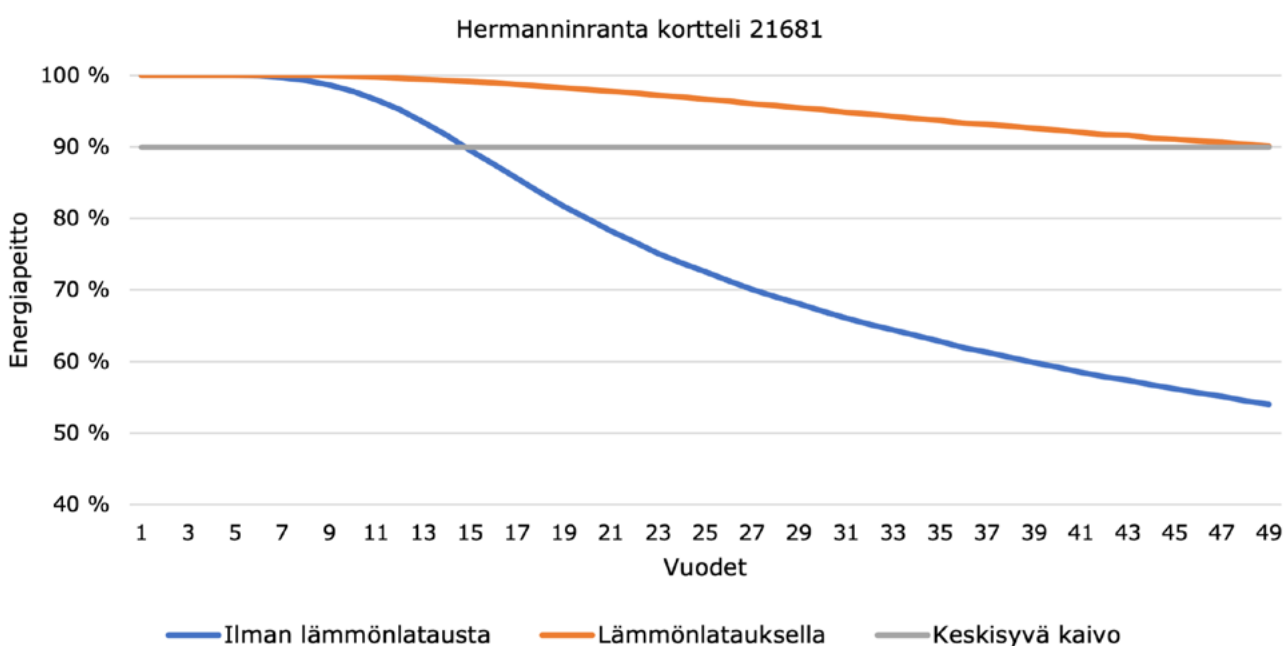
Taulukko 1. Korttelin 45368 maalämpöjärjestelmän tiedoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	27 600
Tontin pinta-ala [m ²]	8 290
Tonttitehokkuus	3,3
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	10 140
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,2
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	36
Valittu kaivosyvyys [m]	500

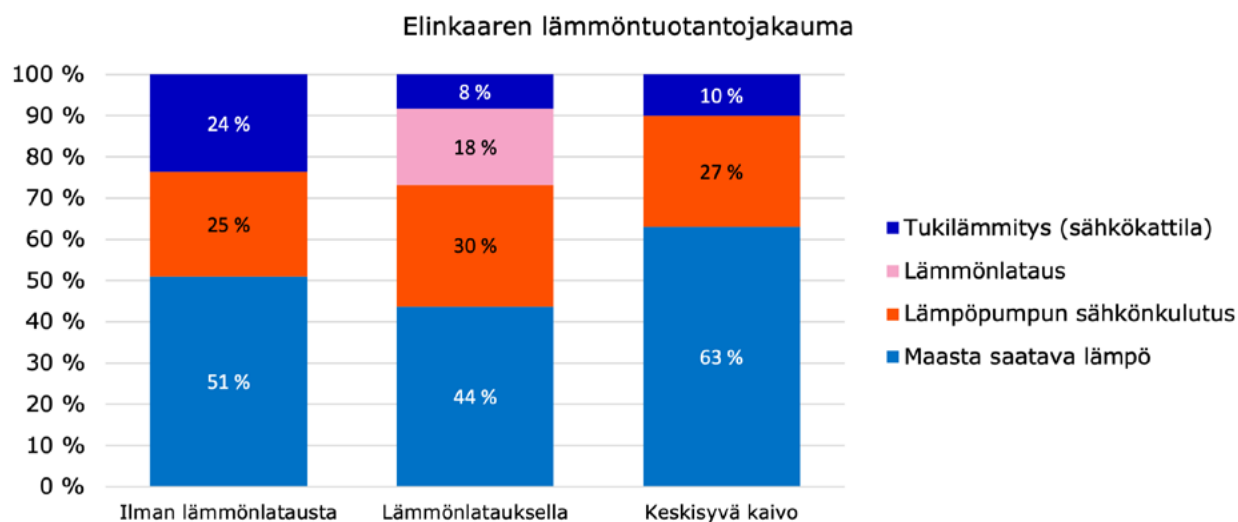
Kuva 7. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 21681.



Kuva 8. Energiaperite korttelissa 21681.



Kuva 9. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 21681.



Taulukko 2. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	22	23	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	81	69	64
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	368	346	336
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	2581	2581	2581
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	113	90	74
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	441	441	441

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kalliimpaa kuin kaukolämpö. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvän kaivon

investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista keskisyvillä kaivoilla on pienimmät päästöt, johtuen korkeammasta hyötysuhteesta.

4.1.2 Kortteli 21683

Kortteli 21681 sijaitsee Hermanninrannan länsiosassa. Kortteliin mahtuu 38 maalämpökaivoa, joista 9 sijaitsee viereisellä viheralueella. Kortteli ei voi hyödyntää katualueita johtuen kadun alle sijoitettavasta infrasta. Puistoon sijoitettavien kaivojen osalta tulee ottaa huomioon Helsingin kaupungin määräykset puuston suojaetäisyyksistä. Tässä esitetyt kaivot ovat ensimmäinen hahmotelma kaivoista, eikä niitä kaikkia ole välttämättä mahdollista sijoittaa viheralueelle.

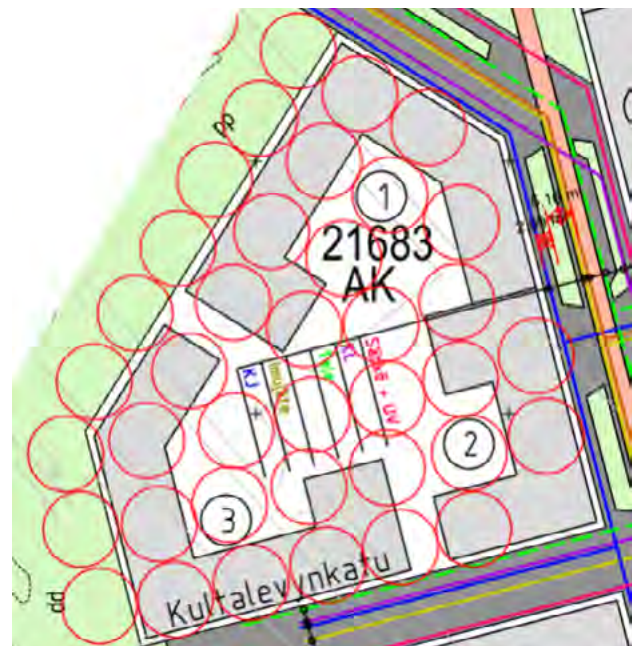
Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotannon energiaperitto putoaa noin 50 % elinkaaren lopussa jopa 500 m syvillä kaivoilla. Kahdella lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiaperitto pysyy noin 90 %:ssa elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin neljännessä lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

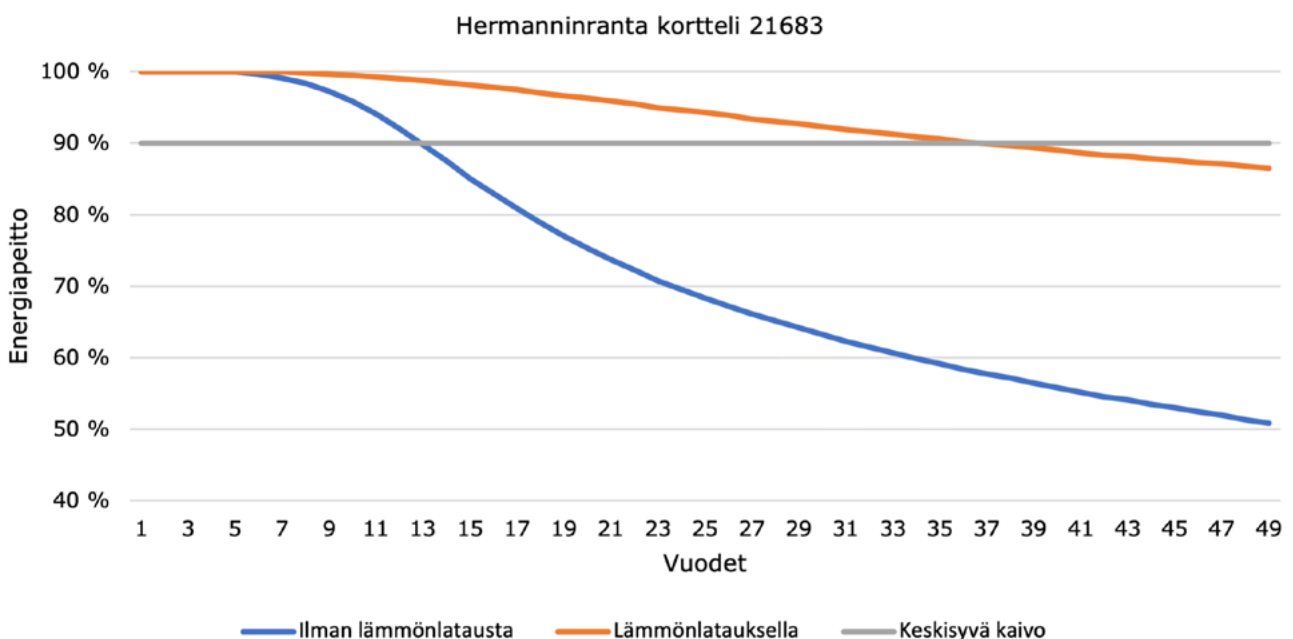
Taulukko 3. Korttelin 21683 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	30 365
Tontin pinta-ala [m ²]	7 740
Tonttitehokkuus	3,9
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	10 220
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,3
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	38
Valittu kaivosyvyys [m]	500

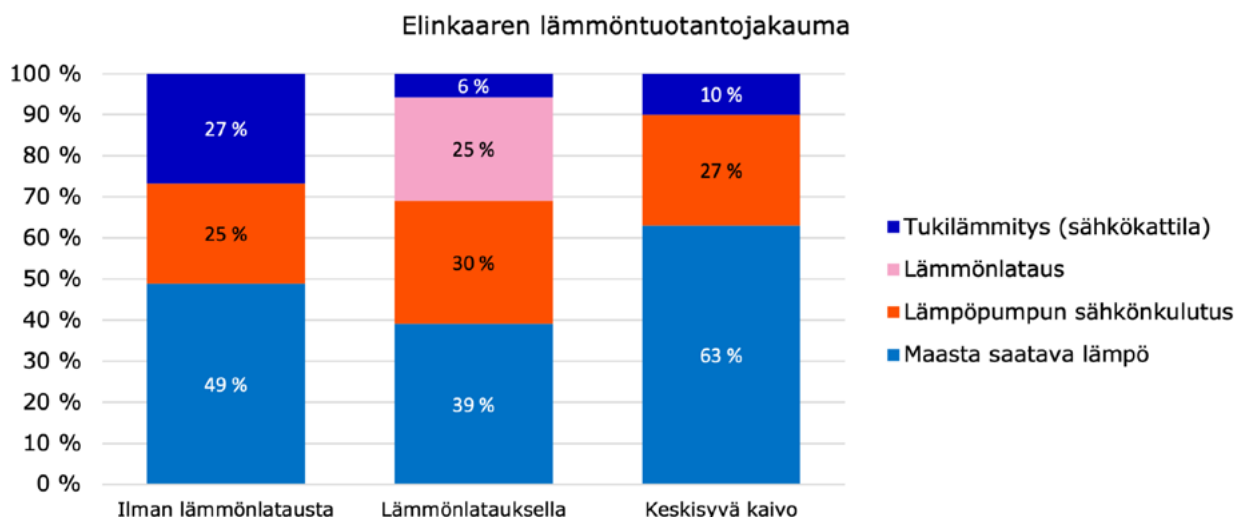
Kuva 10. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 21683.



Kuva 11. Energiaperitto korttelissa 21683.



Kuva 12. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 21683.



Taulukko 4. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	21	22	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	82	70	64
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	415	387	370
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	2839	2839	2839
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	130	104	81
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	485	485	485

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kalliimpaa kuin kaukolämpö. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvän kaivon

investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista keskisyvillä kaivoilla on pienimmät päästöt, johtuen korkeammasta hyötysuhteesta.

4.1.3 Kortteli 21685

Kortteli 21685 sijaitsee Hermanninrannan eteläosassa. Kortteliin mahtuu 34 maalämpökaivoa. Kortteli ei voi hyödyntää katualueita johtuen kadun alle sijoitettavasta infrasta.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotannon energiaperitto putoaa noin 50 % elinkaaren lopussa jopa 500 m syvillä kaivoilla.

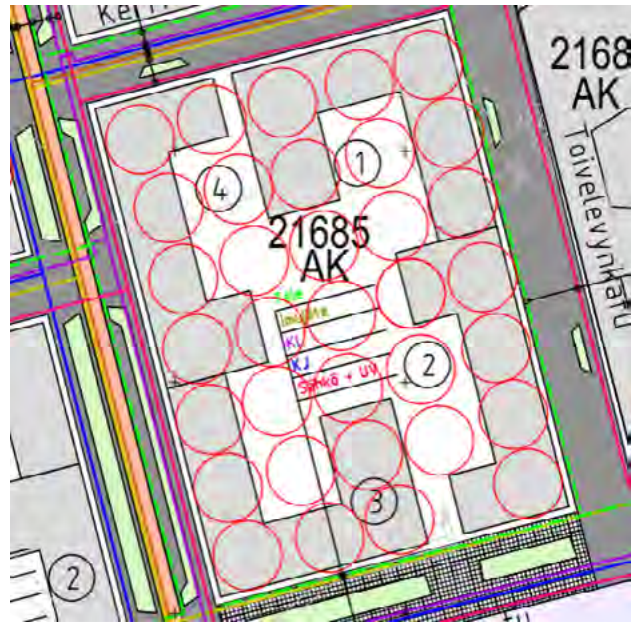
Kahdella lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiaperitto pysyy noin 80 %:ssa elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin viidenneksen lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

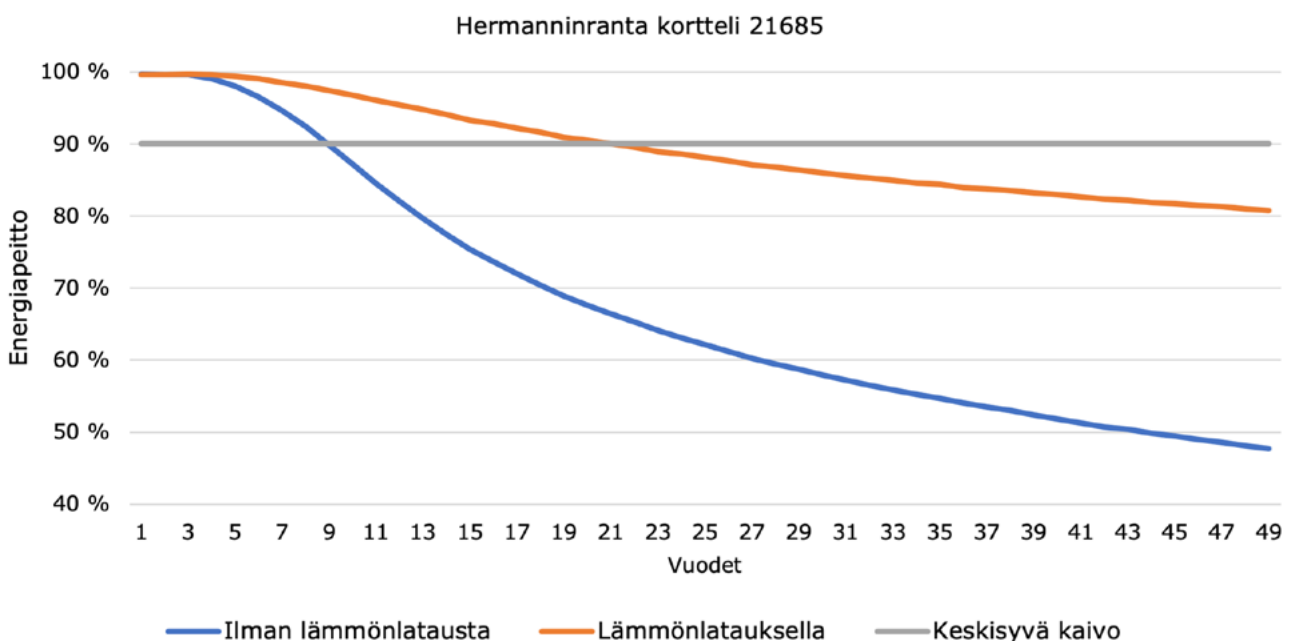
Taulukko 3. Korttelin 21683 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	32 100
Tontin pinta-ala [m ²]	9 070
Tonttitehokkuus	3,5
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	9 075
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,0
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	34
Valittu kaivosyvyys [m]	500

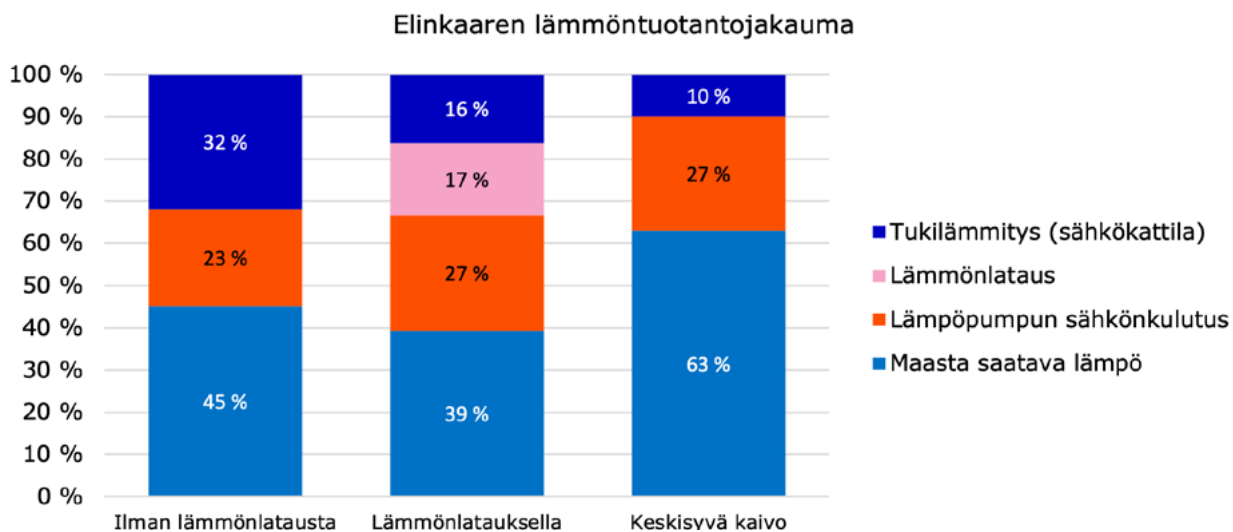
Kuva 13. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 45368.



Kuva 14. Energiaperitto korttelissa 21685.



Kuva 15. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 21685.



Taulukko 6. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	19	21	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	85	69	64
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	75	75
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	471	424	391
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	3001	3001	3001
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	146	110	86
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	513	513	513

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kalliimpaa kuin kaukolämpö. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvän kaivon

investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista keskisyvillä kaivoilla on pienimmät päästöt, johtuen korkeammasta hyötysuhteesta.

4.2 Karhukallio

Karhukallion alueelta valittiin korttelit 45363, 45365 sekä 45368. Korttelit valikoituivat korkeiden tontti-tehokkuuksien vuoksi sekä osaltaan haasteiden

hyödyntää yleisiä alueita maalämpökaivojen sijoittamiseen. Kortteli 45365 ei voi esimerkiksi hyödyntää viereisiä katualueita niihin sijoitettavan infran vuoksi.

Kuva 16. Yleiskuva Karhukallion valituista kortteleista.



4.2.1 Kortteli 45368

Kortteli 45368 sijaitsee Karhukallion eteläosassa. Kortteliin mahtuu 13 maalämpökaivoa, joista kaksi sivuaa pohjoisosan puistoaluetta ja seitsemän viereisiä katualueita.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiaperiteossa

elinkaaren aikana 300 m syvyisillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiaperiteo pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin kolmannesta lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä

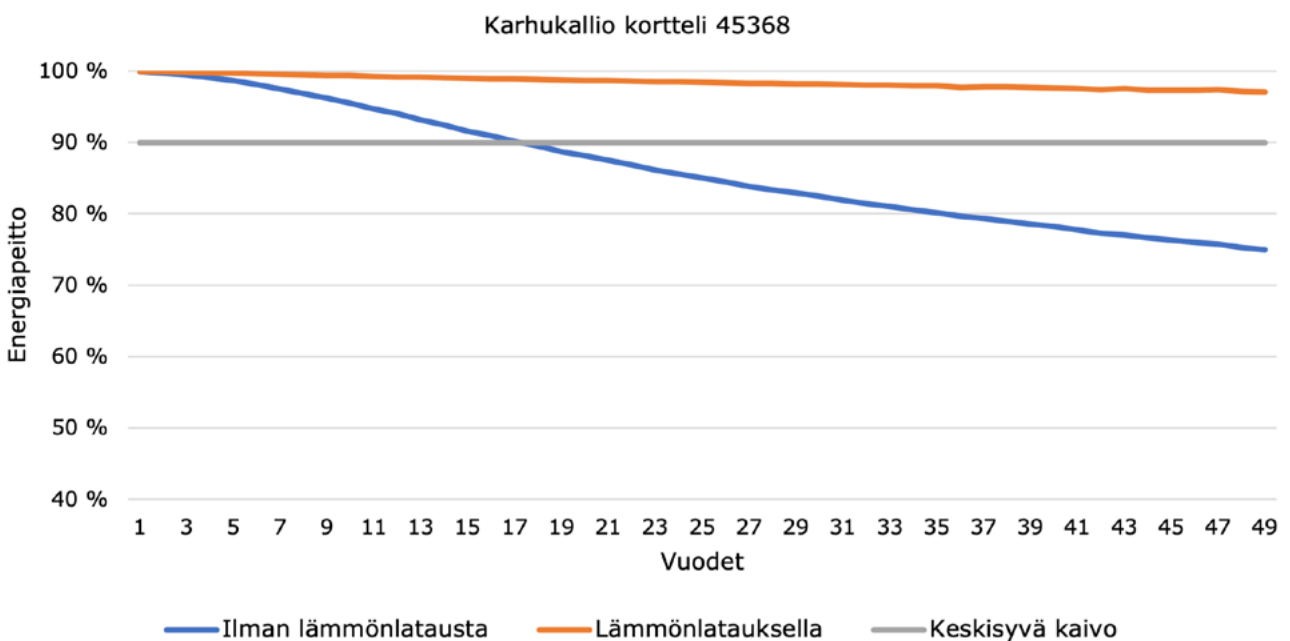
Taulukko 7. Korttelin 45368 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	6 100
Tontin pinta-ala [m ²]	2 720
Tonttitehokkuus	2,2
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	3 300
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,2
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	13
Valittu kaivosyvyys [m]	300

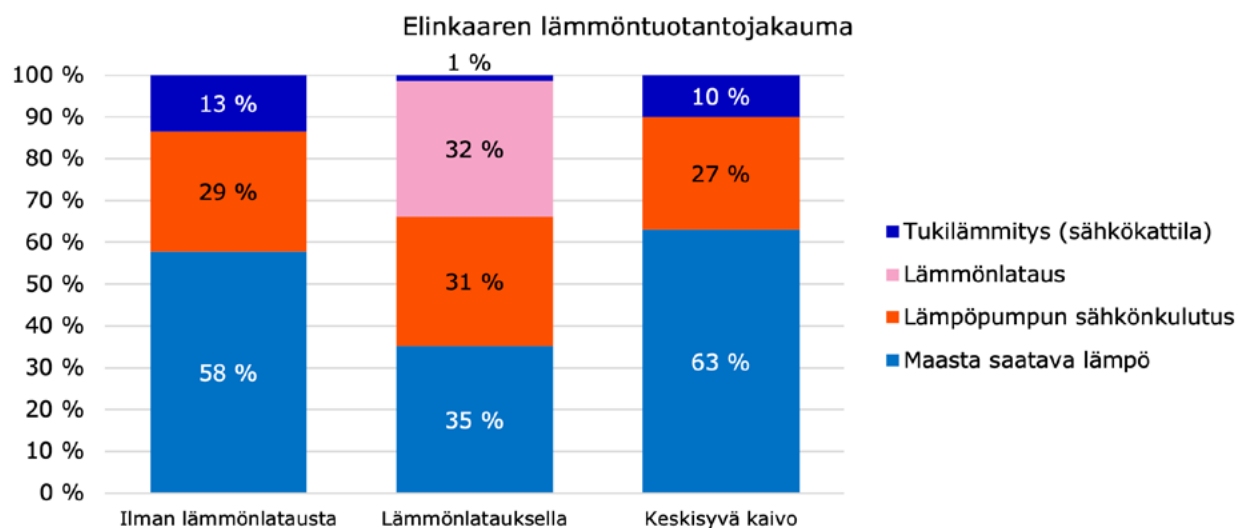
Kuva 17. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 45368.



Kuva 18. Energiaperiteo korttelissa 45368.



Kuva 19. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 45368.



Taulukko. 8 Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	30	35	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	80	73	68
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	75	75	75
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	83	77	74
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	572	572	572
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	22	18	16
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	98	98	98

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kalliimpaa kuin kaukolämpö. Latauksen kanssa kaivoilla tuotettu lämpö on kustannuksiltaan samaa tasoa kuin kaukolämpö. Keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa, kuitenkin investointi-

kustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista keskisyvillä kaivoilla on pienimmät päästöt, johtuen korkeammasta hyötysuhteesta.

4.2.2 Kortteli 45365

Kortteli 45368 sijaitsee Karhukallion länsiosassa. Kortteliin mahtuu 23 maalämpökaivoa, joista kolme sivuaa viereistä katualuetta.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiapeitossa elinkaaren aikana 400 m syvillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteen-

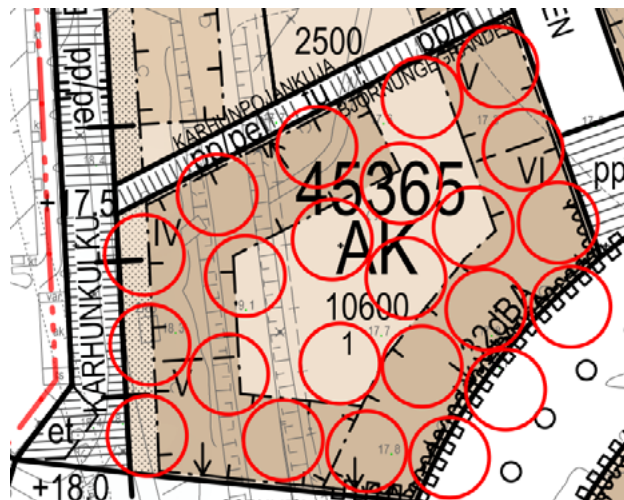
otolla energiapeitto pysyy noin 100 %:ssa, joka tarkoittaa, että tukilämmitys ei tuota juurikaan lämpöä. Tukilämmitystä tarvitaan kuitenkin varmistamaan että lämpöä riittää myös kovimmilla pakkasilla.

Lämmönkeräin vastaa noin kolmannelta lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

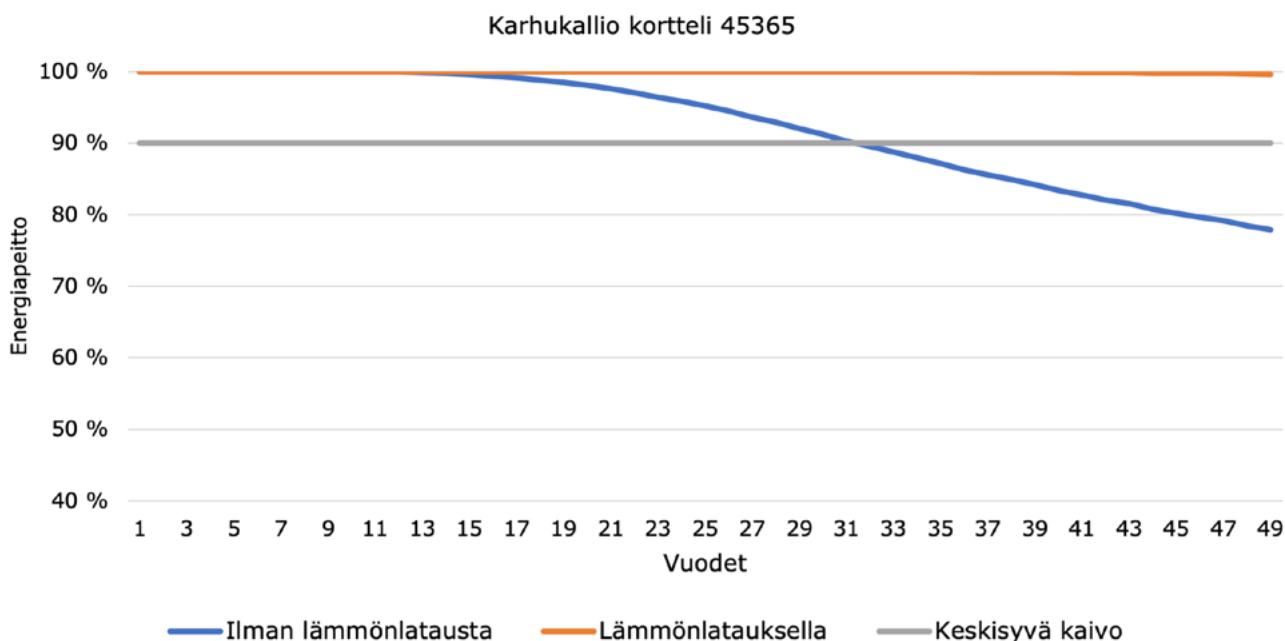
Taulukko 9. Korttelin 45365 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	10 600
Tontin pinta-ala [m ²]	5 211
Tonttitehokkuus	2,0
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	6 130
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	12
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	23
Valittu kaivosyvyys [m]	400

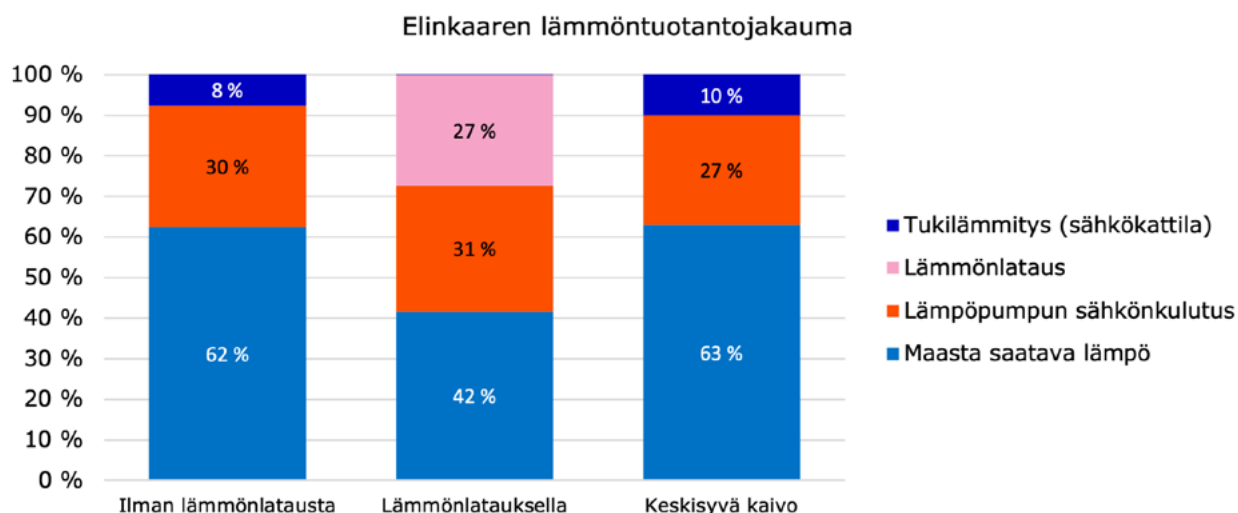
Kuva 20. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 45365.



Kuva 21. Energiapeitto korttelissa 45365.



Kuva 22. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 45365



Taulukko 10. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	31	34	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	76	70	66
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	132	128	129
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	992	992	992
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	34	29	28
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	169	169	169

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kalliimpaa kuin kaukolämpö. Latauksen kanssa kaivoilla tuotettu lämpö on kustannuksiltaan hieman edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on selvästi alhaisempaa,

kuitenkin investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista latauksen kanssa on pienimmät päästöt johtuen korkeasta energiaperitöstä.

4.2.3 Kortteli 45363

Kortteli 45363 sijaitsee Karhukallion pohjoisosassa. Kortteliin mahtuu 32 maalämpökaivoa, joista 16 sivuaa korttelin viereisiä katualueita.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiapeitossa

elinkaaren aikana 500 m syvillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiapeitto pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin kolmannesta lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

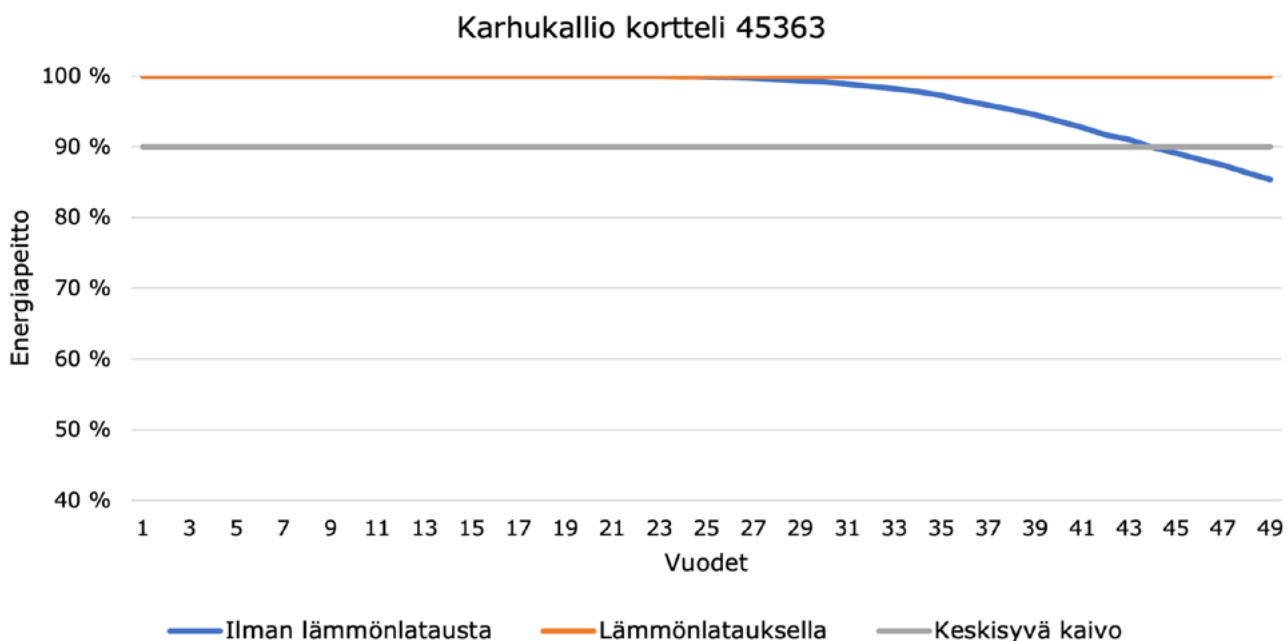
Taulukko 11. Korttelin 45363 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	15 600
Tontin pinta-ala [m ²]	6 750
Tonttitehokkuus	2,3
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	8 670
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,3
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	32
Valittu kaivosyvyys [m]	500

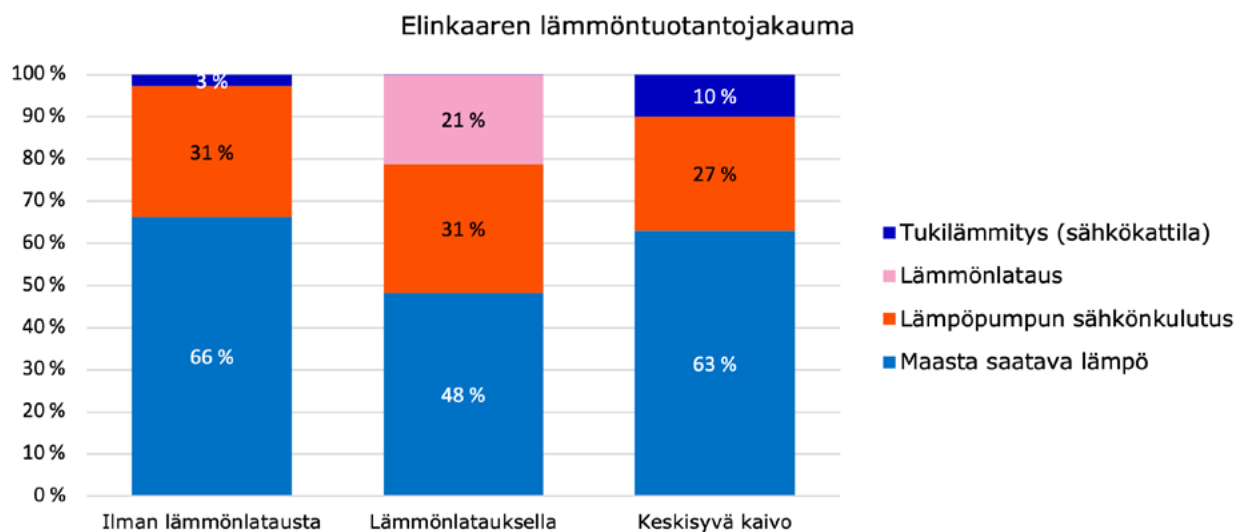
Kuva 23. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 45363.



Kuva 24. Energiapeitto korttelissa 45363.



Kuva 25. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 45363.



Taulukko 12. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	33	35	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	73	70	65
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	187	184	190
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	1459	1459	1459
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	46	42	42
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	249	249	249

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kustannuksiltaan samaa tasoa kaukolämmön kanssa. Latauksen kanssa kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on myös edullisempaa kaukolämpöön

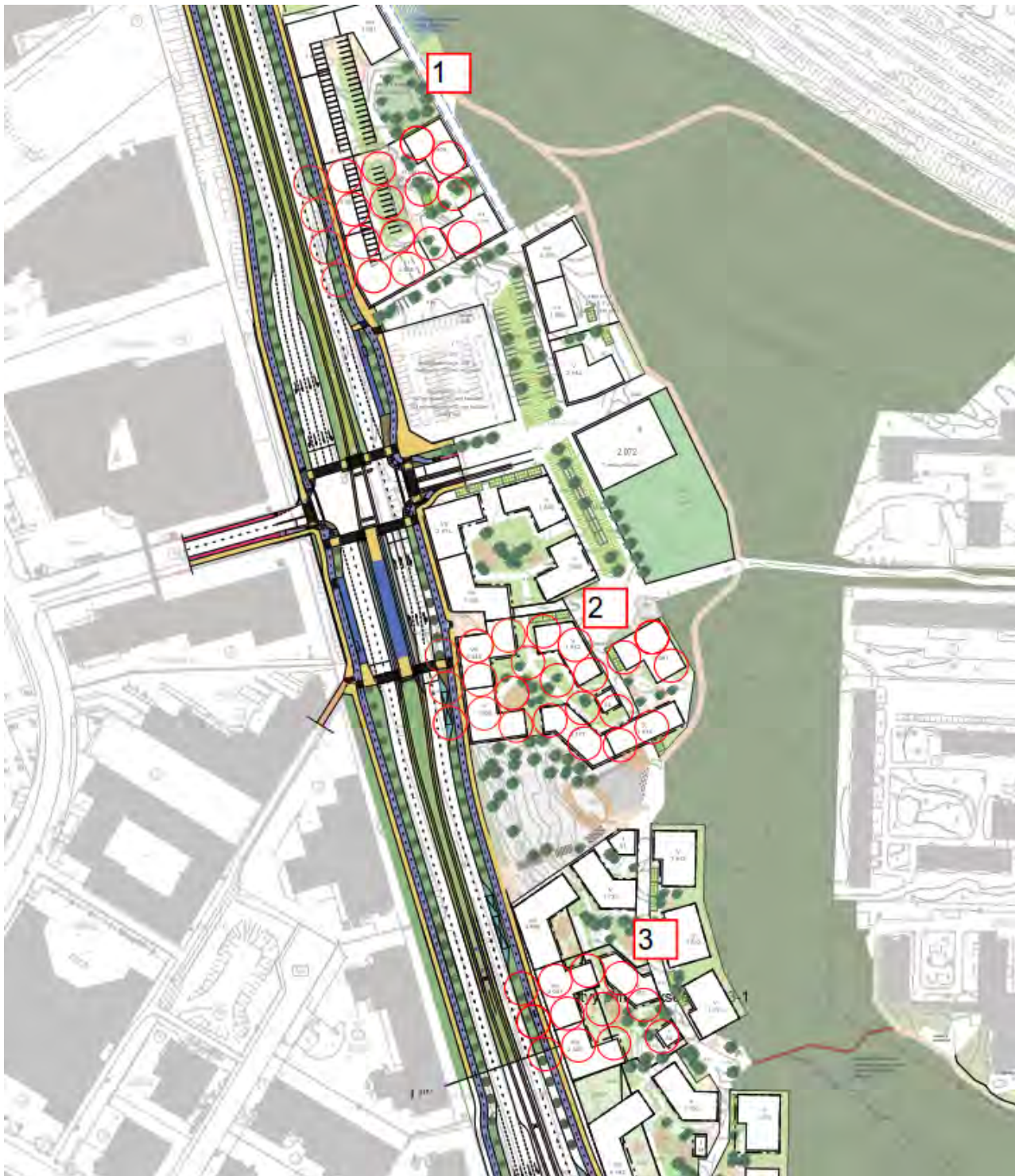
nähdessä. Investointikustannukset ovat kuitenkin moninkertaiset verrattuna muihin. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista latauksen kanssa on pienimmät päästöt johtuen korkeasta energiaperiteosta.

4.3 Länsi-Haaga

Länsi-Haagan alueelta valittiin alla olevassa kuvassa numeroidut kortteli 1, 2 ja 3 korkeiden tonttitehokkuuksien vuoksi sekä osaltaan haasteiden hyödyntää yleisiä alueita maalämpökaivojen sijoittamiseen. Korttelit sivuavat itäpuolelle sijoittuvaa luonnonmukaista viheraluetta, joka rajoittaa kaivojen

sijoittamista. Alueella tulee myös huomioida avokallioalueet, joita ei saa vahingoittaa. Kaava-alueella on kuitenkin mahdollista hyödyntää länsipuolelle jäävää katualuetta kaivojen sijoittamiseen, joka edesauttaa maalämpöjärjestelmien hyödyntämistä.

Kuva 26. Yleiskuva Länsi-Haagan valituista kortteleista.



4.3.1 Kortteli 1

Kortteli 1 sijaitsee Länsi-Haagan pohjoisosassa. Kortteliin mahtuu 19 kaivoa, joista neljä on sijoitettu viereiselle katualueelle.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiapeitossa

elinkaaren aikana 500 m syvyisillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiapeitto pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin neljänneksen lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

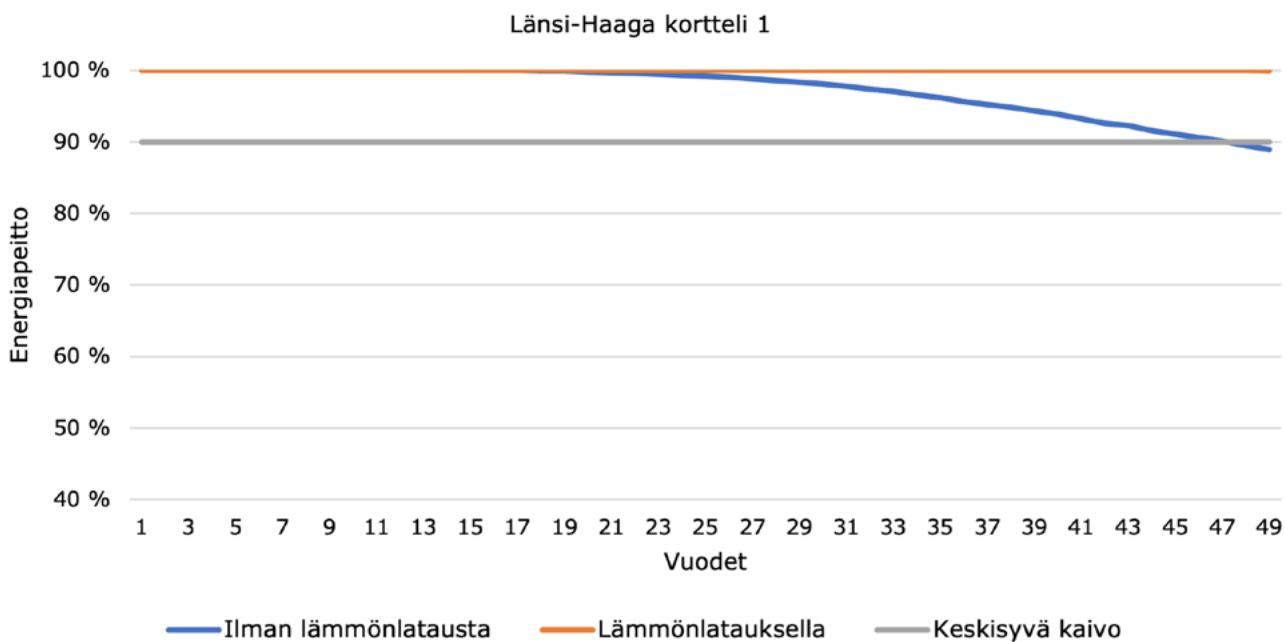
Taulukko 13. Korttelin 1 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	11 000
Tontin pinta-ala [m ²]	4 040
Tonttitehokkuus	2,7
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	5 180
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,3
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	19
Valittu kaivosyvyys [m]	500

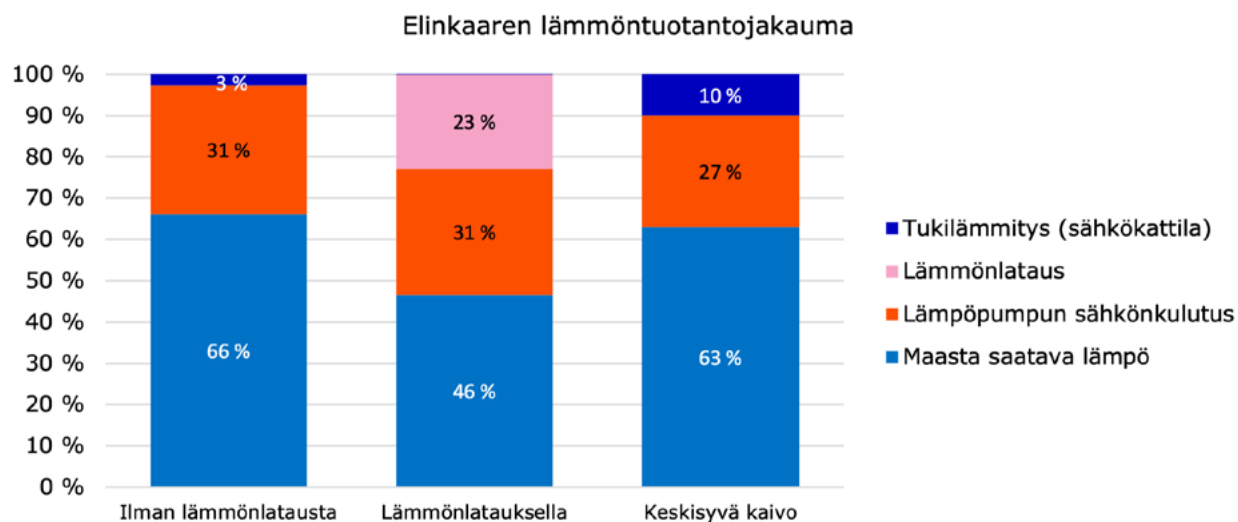
Kuva 27. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 1.



Kuva 28. Energiapeitto korttelissa 1.



Kuva 29. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 1.



Taulukko 14. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	31	33	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	71	69	66
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	133	131	134
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	1030	1030	1030
Järjestelmän käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	32	30	30
Kaukolämmön käytön aikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	176	176	176

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kustannuksiltaan samaa tasoa kaukolämmön kanssa. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvän kaivon investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpö-

järjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista latauksen kanssa on pienimmät päästöt johtuen korkeasta energiapainosta. Muista kortteleista poiketen, myös ilman latausta tuotetulla järjestelmällä on pienemmät päästöt kuin keskisyvillä kaivoilla. Tämä johtuu korkeammasta energiapainosta.

4.3.2 Kortteli 2

Kortteli 2 sijaitsee Länsi-Haagan keskiosassa. Kortteliin mahtuu 23 maalämpökaivoa, joista kolme sijaitsee viereisellä katualueella.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiapeitossa

elinkaaren aikana 500 m syvillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiapeitto pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin kolmannesta lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

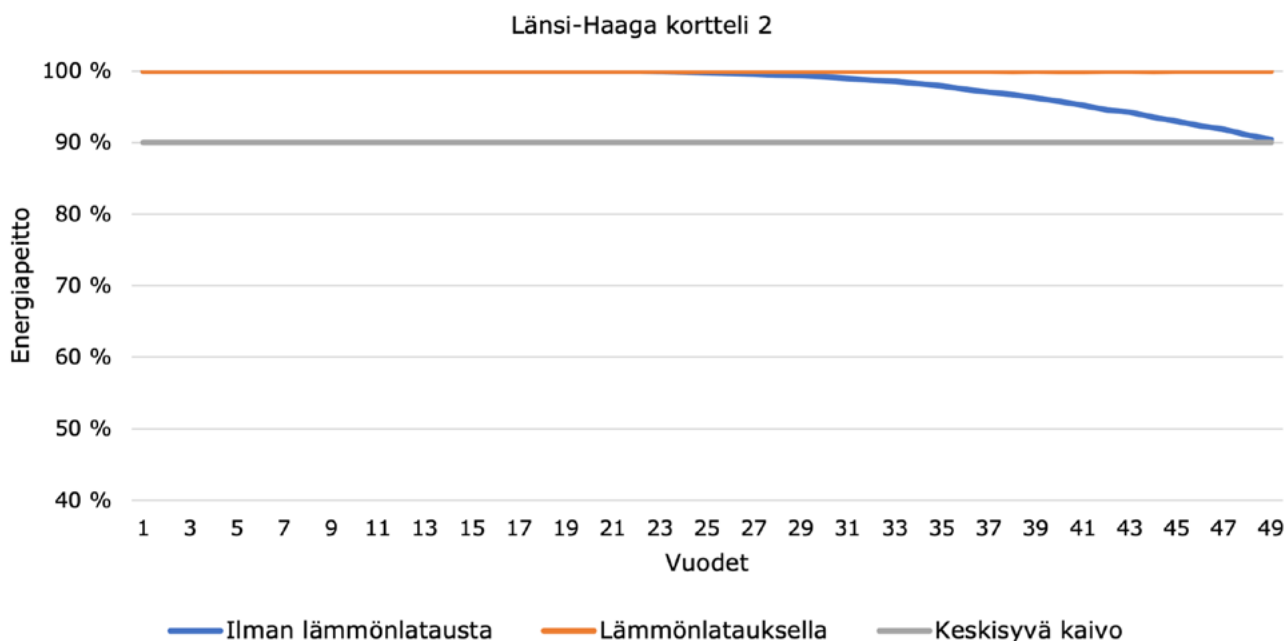
Taulukko 15. Korttelin 2 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	12 700
Tontin pinta-ala [m ²]	5 700
Tonttitehokkuus	2,2
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	6 710
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,2
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	23
Valittu kaivosyvyys [m]	500

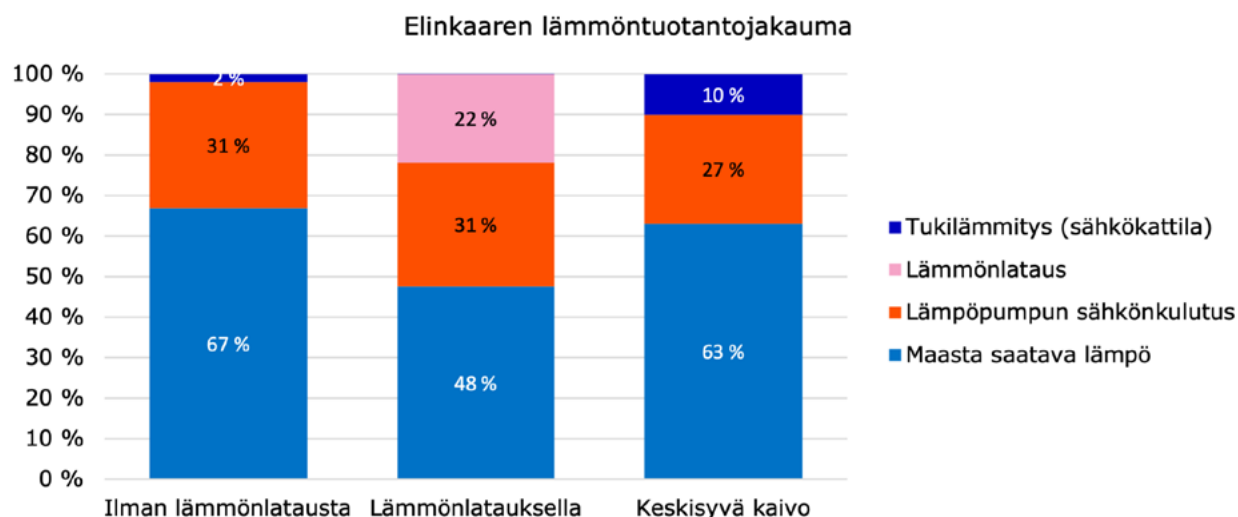
Kuva 30. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 2.



Kuva 31. Energiapeitto korttelissa 2.



Kuva 32. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 2.



Taulukko 16. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	31	33	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	70	68	66
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	74	74	74
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	153	150	155
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	1188	1188	1188
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	37	34	34
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	203	203	203

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kustannuksiltaan samaa tasoa kaukolämmön kanssa. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö. Keskisyvän kaivon investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien

päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista latauksen kanssa on pienimmät päästöt johtuen korkeasta energiapietosta. Muista kortteleista poiketen, myös ilman latausta tuotetulla järjestelmällä on pienemmät päästöt kuin keskisyvillä kaivoilla. Tämä johtuu korkeammasta energiapietosta.

4.3.3 Kortteli 3

Kortteli sijaitsee Länsi-Haagan eteläosassa. Kortteliin mahtuu 12 maalämpökaivoa, joista kolme sijaitsee viereisellä katualueella. Korttelin tontilla on avokalliota, johon ei voi sijoittaa maalämpökaivon yläpäättä. Kallion alle on kuitenkin mahdollista vinoporata kaivoja.

Ilman lämmönlataamista lämpöpumppujärjestelmän lämmöntuotanto pysyy noin 80 % energiapeitossa elinkaaren aikana 400 m syvillä kaivoilla. Yhdellä lämmönkeräimellä tai poistoilman lämmöntalteenotolla energiapeitto pysyy yli 90 % elinkaaren aikana.

Lämmönkeräin vastaa noin kolmannelle lämmöntuotannosta ja korvaa maasta otettua lämpöä.

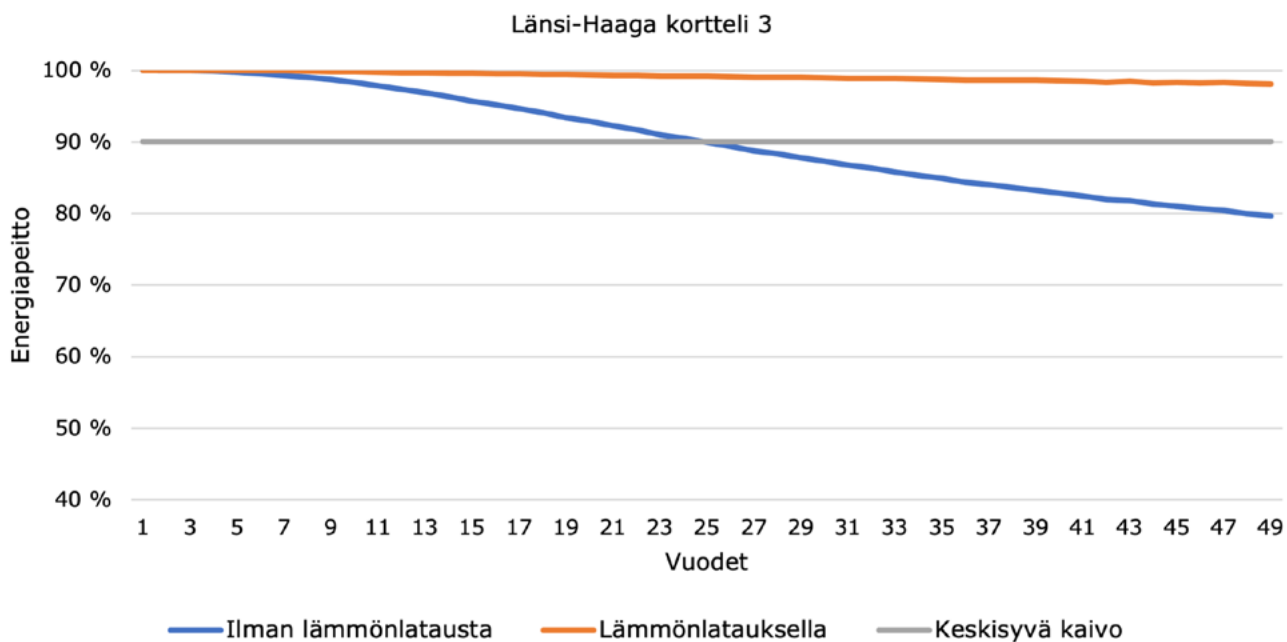
Taulukko 17. Korttelin 3 maalämpöjärjestelmän tietoja.

Tiedot	
Kerrosala [m ²]	7 100
Tontin pinta-ala [m ²]	2 580
Tonttitehokkuus	2,8
Kaivojen käyttämä pinta-ala [m ²]	3 690
Kaivojen käyttämä pinta-ala suhteessa tontin pinta-alaan	1,4
Maalämpökaivojen lukumäärä [kpl]	12
Valittu kaivosyvyys [m]	400

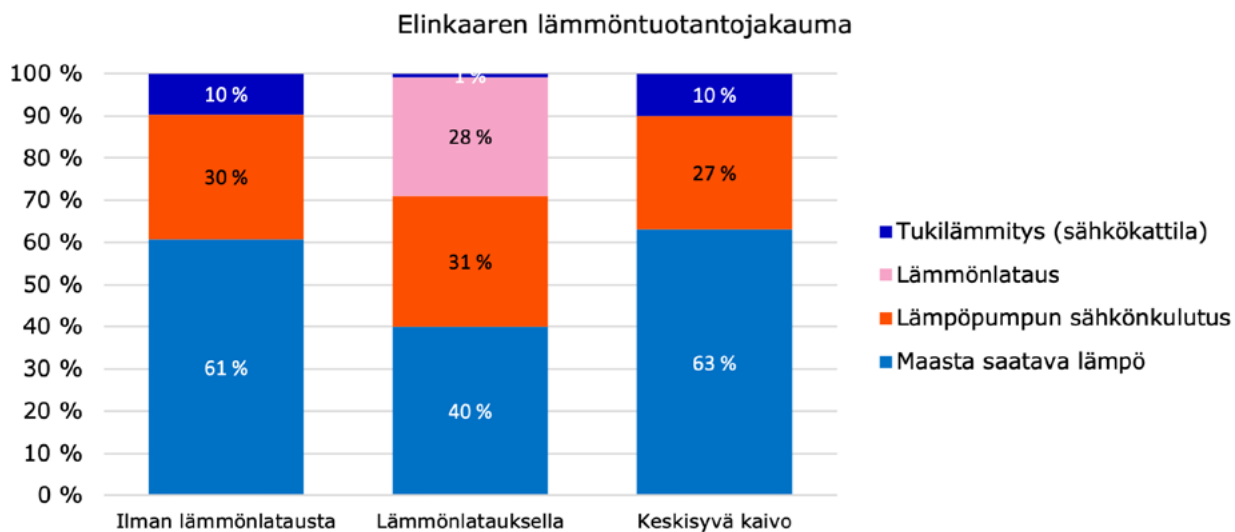
Kuva 33. Maalämpökaivojen sijoittamisen hahmotelma korttelissa 3.



Kuva 34. Energiapeitto korttelissa 3.



Kuva 35. Elinkaaren lämmöntuotantojakauma korttelissa 3



Taulukko 18. Kustannus- ja päästölaskennan tulokset.

	Ilman latausta	Latauksen kanssa	Keskisyvä kaivo
Investointi €/k-m ²	30	34	73
Tuotetun lämmön hinta [€/MWh]	76	70	68
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	75	75	75
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	92	88	87
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt 50 v [t, CO ₂]	665	665	665
Järjestelmän käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	24	20	19
Kaukolämmön käytönaikaiset päästöt v.2021 [t, CO ₂]	114	114	114

Lataus kasvattaa investointia, mutta samalla pienentää tuotetun lämmön hintaa selvästi. Ilman latausta tuotettu lämpö on kustannuksiltaan samaa tasoa kaukolämmön kanssa. Latauksen kanssa sekä keskisyvillä kaivoilla tuotettu lämpö on edullisempaa kuin kaukolämpö.

Keskisyvän kaivon investointikustannukset ovat moninkertaiset muihin verrattuna. Maalämpöjärjestelmien päästöt ovat selvästi pienemmät kuin kaukolämmön. Eri järjestelmävaihtoehdoista latauksen kanssa on pienimmät päästöt johtuen korkeasta energiaperitöstä.

5. Melutarkastelu

Melutarkastelussa arvioidaan laskennallisesti rakennusten katolle mahdollisesti sijoitettavien lisälämmönlähteenä toimivien ilma-vesi-lämmönkeräimien ympäristöön aiheutunutta melua. Melu aiheutuu lämmönkeräimen puhaltimen puhallinnopeudesta. Lähtökohtaisesti puhaltimet ovat keväät-syyskaudella jatkuvasti päällä. Työssä otetaan kantaa sijoitteluun ja toteuttavuuteen siten että sovellettavat raja-arvot täyttyvät.

5.1. Sovellettavat ohjearvot

Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan rakennuksen taloteknisten laitteiden asennukset on suunniteltava ja toteutettava siten, että niiden synnyttämä äänitaso ei ylitä rakennuksen avattavien ikkunoiden tai tuuletusluukkujen ulkopuolella tai oleskeluun käytettävillä parvekkeilla keskiäänitason LA,eq,T 45 dB. Tarkemmassa suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös ääniympäristöasetuksen ohje, jonka mukaan kullakin tontilla sijaitsevan rakennuksen talotekniset laitteet saavat tuottaa muille tonteille enintään keskiäänitason 39 dB.

5.2 Laskennallinen melutarkastelu

Laskenta tehdään yleisesti tunnettuja laskentakaavoja käyttäen. Laskennan perusteella voidaan antaa suuntaa antava arvio ilma-vesi lämmönkeräimien suurimmasta sallittavasta määrästä sekä äänitehotasosta. Tarkastelu toteutettiin selvityksessä valituille kortteille.

Laskenta on tehty vapaan äänikentän leviämismuunnoksen laskentakaavalla, jossa on huomioitu etäisyysvaimennuksen lisäksi ilman ääniabsorptio. Laskennassa on oletettu pistemäinen äänilähde ja melun leviäminen ympäristöön yleisesti palloaaltona tai puolipallona (jos voidaan olettaa merkittävä 1 heijastus). Laskennan oletuksena on äänen suora etenemisreitti äänilähteestä tarkastelupisteeseen.

Tarkasteluun valitun laitteen tietojen perusteella laskennassa on oletettu, että yksi lämmönkeräinyksikkö tuottaa 10 metrin päähän äänenpainetasoa Lp,A 55 dB. Äänitaso perustuu tyypilliseen lämmönkeräinyksikköön. Laitevalinnoilla sekä suunnittelulla on mahdollista vaikuttaa tuotettuun äänenpainetasoon. Yksinkertaisimmillaan lisäämällä puhaltimien määrää ja pienentämällä puhallinnopeutta voidaan saavuttaa sama lämpöteho pienemmällä melulla.

Lämmönkeräinten sijoittelulla korttelissa on hyvin suuri vaikutus läheisille julkisivuille aiheutuvaan äänitasoon. Melun leviämisen kannalta potentiaalisesti pahimmassa tilanteessa melulähde sijaitsee korttelin matalamman rakennuksen katolla, josta on suora näköyhteys ja siten myös suora äänen etenemisreitti läheisten korkeampien rakennuksen ylempien kerrosten julkisivuun, jossa sijaitsee asuintiloja tai oleskeluparvekkeita. Siten lämmönkeräimet tulisi lähtökohtaisesti sijoittaa korttelin korkeimman rakennuksen katolle. Lämmönkeräimet on pyritty sijoittamaan tarkastelussa melun kannalta vähiten häiriötä aiheuttavaan sijaintiin.

5.3 Laitteiden kiinnitys vesikatolla

Laitteen kiinnityksessä on huolehdittava riittävästä runkomelueristyksestä, sillä jäykällä kiinnityksellä laitteen värähtely tuottaa rakenteissa helposti etenevää runkomelua. Riittävä vaimennus saavutetaan oikein mitoitetuilla vaimentimilla, joissa on huomioitu kiinnityspisteille kohdistuva kuorma sekä laitteen pienin häiriötaajuus. Putkiläpivienneissä on käytettävä joustoliittimiä, jotta jäykät putket kytke värähtelyä rakennuksen runkoon.

5.4 Tulokset ja johtopäätökset

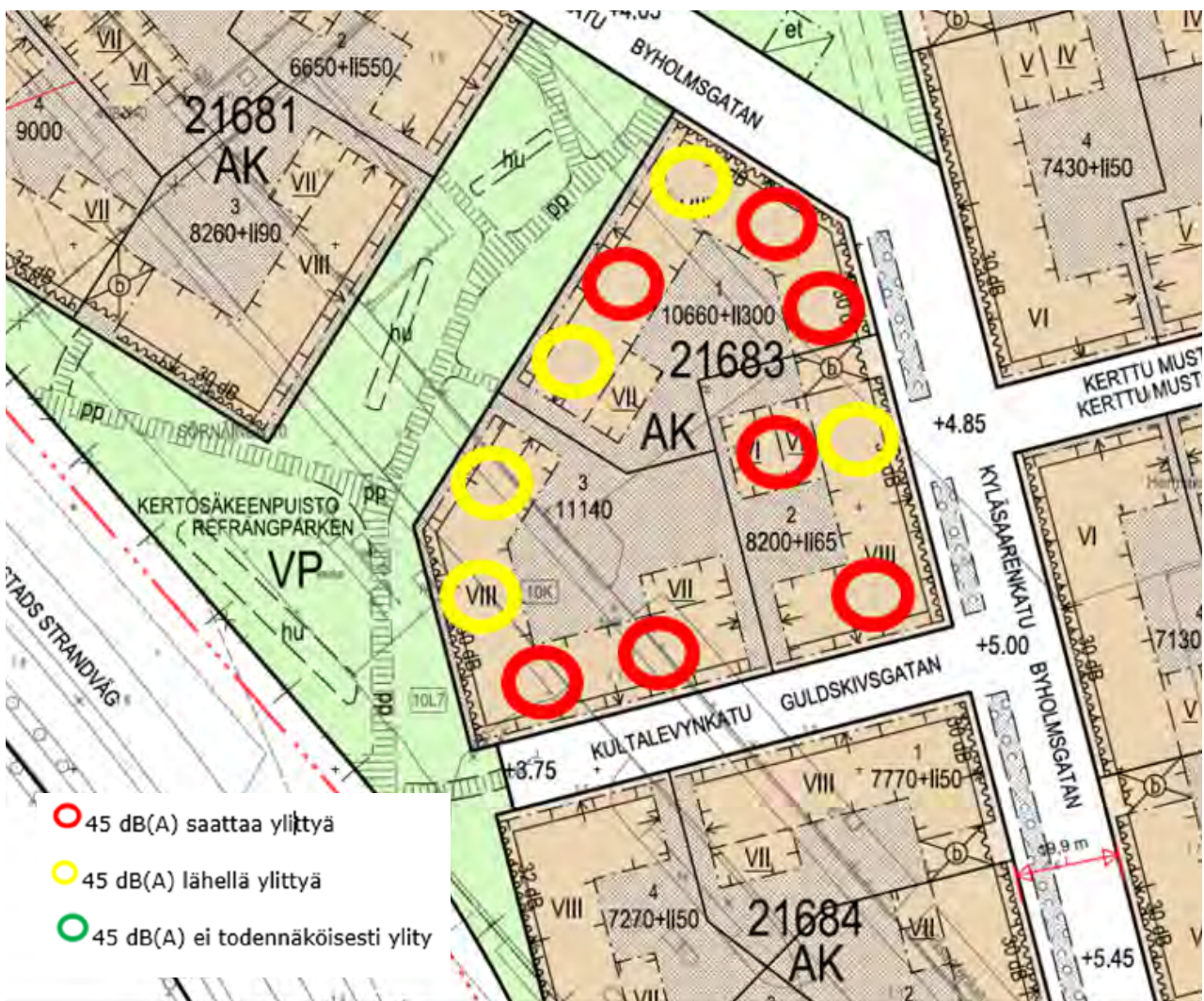
Laskennallisten tarkastelun perusteella yhden lämmönkeräimen tapauksessa melun raja-arvo LA,eq,T 45 dB ei ylitä läheisellä julkisivulla mikäli etäisyyttä äänilähteen ja tarkastelupisteen välillä on noin 21–30 metriä riippuen mahdollisesta maaheijastuksesta (vesikatto). Kolmen lämmönkeräinyksikön tapauksessa vastaava etäisyys on noin 35–48 metriä. Nämä etäisyydet pätevät tilanteessa, jossa ääni säteilee suoraan tarkastelupisteeseen.

Kuvissa 36, 37 ja 38 on esitetty jokaiselta alueelta esimerkkikorttelien katolle sijoitettavien lämmönkeräinten mahdollisten sijaintien toteutuskelpoisuutta LA,eq,T 45 dB raja-arvon mahdollisen ylittymisen kannalta. Sijainneissa on otettu huomioon äänen kulkeminen myös naapurikortteleihin. Vihreällä merkityt sijainnit ovat lähtökohtaisesti kaikkein

toteutuskelpoisimpia ilman erillistä meluntorjuntaa. Keltaiset ovat haastavampia sijainteja ja saattavat edellyttää meluntorjuntaa (esim. keräimen kotelointi) tai asettavat enemmän rajoituksia laitteiden tuottamalle melulle ja siten myös lukumäärälle. Punaisella merkityt sijainnit ovat haastavimpia ja siten vähiten suositeltavia sijainteja.

Kaikkien tarkasteltavien alueiden kortteleista löytyi vähintään yksi sijainti lämmönkeräimille, jossa aiheutettu melu pysyisi alle raja-arvon LA,eq,T 45 dB (vähintään keltainen ympyrä kartalla). Käytännössä siis keräinten laittaminen on mahdollista tarkasteluihin kortteleihin, mutta se vaatii erityistä huomiota monissa kohdissa. Tarkasteltavista alueista tiiviisti rakennettava Hermanninranta osoittautui haastavimmaksi alueeksi lämmönkeräinten sijoittelun suhteen.

Kuva 36. Hermanninrannan korttelin 21683 katolle sijoitettavien lämmönkeräinten mahdollisten sijaintien toteutuskelpoisuus esitetty värillisillä ympyröillä.



Kuva 37. Karhukallion korttelin 45363 katolle sijoitettavien lämmönkeräinten mahdollisten sijaintien toteutuskelpoisuus esitetty värillisillä ympyröillä.



Kuva 38. Länsi-Haagassa katolle sijoitettavien lämmönkeräinten mahdollisten sijaintien toteutuskelpoisuus esitetty värillisillä ympyröillä.



6. Johtopäätökset

Työssä on tutkittu korttelikohtaisten maalämpöjärjestelmien toimivuutta kolmella eri asemakaava-alueilla valituilla kortteleilla. Korttelikohtaiselle järjestelmälle asetettiin tavoitteeksi saavuttaa ja ylläpitää 80 % energiapeitto 50 vuoden elinkaaren ajan. Energiapeiton taso pohjautuu alalla yleisesti todettuun nyrkkiarvoon maalämpöjärjestelmän kannattavasta mitoituksesta.

Valituissa kortteleissa on mahdollista saavuttaa 80 % energiapeitto maalämpökaivoilla. Useissa kortteleissa on kuitenkin hyödynnettävä vähintään 500 metriä syviä kaivoja, jotta riittävä kaivometrien määrä saavutetaan kortteleissa. Näin syvät kaivot ovat keskimääräisesti nykyisiä toteutettavia kaivoja syvempiä ja kalliimpia toteuttaa. Useat korttelit joutuvat myös hyödyntämään yleisiä alueita kaivosijoittelua varten, jotta tavoitteeseen päästään. Lämmönlataamisella voidaan pienentää kaivometrien tarvetta, jolloin osassa kortteleista riittää korttelin oma tontti kaivojen sijoittamiselle. Ilman lämmönlataamista korttelin oma tontti riittää kaivojen sijoittamiselle, jos tonttitehokkuus on noin 2. Osassa kortteleista tuloksissa nähtiin, että tukilämmitysmuotoa ei tarvittu lämmöntuotannossa juuri lainkaan. Tukilämmitystä kuitenkin tarvitaan käytännössä aina varmistamaan, että lämmitystä voidaan tuottaa kovimmillakin pakkasilla. Tarkemmassa suunnittelussa tukilämmityksen tehoa voidaan optimoida tarpeen mukaan yhdessä muun lämpöpumppujärjestelmän kanssa löytääkseen kustannustehokas ratkaisu.

Kaivoja yleisille alueille sijoitettaessa on huomioitava alueiden muut tarpeet. Viheralueilla on huomioitava puiden ja muun kasvillisuuden vaikutukset kaivosijoitteluun. Katualueilla tulee ottaa huomioon infran varoetäisyydet kaivosijoittelussa. Tässä työssä on pyritty ottamaan oheisia varoetäisyyksiä huomioon. On kuitenkin tiedostettava, että tämän työn lähtötiedot ovat kaava-aineistoja eikä lopullisia suunnitelmia. Kaivosijoittelut ovat siten viitteellisiä eivätkä suoraan valmiita suunnitelmia kaivojen sijoittelusta. Työn tavoitteena on tutkia korttelikohtaisten lämpöpumppujärjestelmien potentiaalia eikä tehdä varsinaista suunnittelua järjestelmistä.

Korttelikohtaisilla järjestelmillä voidaan tuottaa kilpailukykyisesti lämpöä korttelien tarpeeseen.

Kustannusrakenteeseen vaikuttaa investointien suuruus sekä sähkön hinta. Vertailukohtana on käytetty Helenin kaukolämpöä. Etenkin lämmönlatauksen hyödyntäminen tekee lämmöntuottamisesta kannattavaa, kun tarkastelujaksona on 50 vuotta.

Kustannuslaskennassa on tällä hetkellä epävarmuutta korkeasta inflaatiosta, energijärjestelmän murroksesta sekä lämpöpumppujen kasvaneen kysynnän takia. Sähkönhinta on noussut vuonna 2022 täysin poikkeuksellisiin lukuihin eikä sen kehityksestä ole täyttä varmuutta. Tässä työssä on hyödynnetty vuosien 2021 ja 2022 sähkönhintoja laskennan pohjana. Kaukolämmön kustannuksissa on nähty myös suurta muutosta viimeisen vuoden aikana eikä sen kehityksestä ole täyttä varmuutta mihin tasoon kustannukset asettuvat pitkällä aikavälillä. Maalämpöjärjestelmä on myös ajateltu korttelien omana investointina, jolloin kustannuksiin ei tule esimerkiksi palveluntuottajan katetta tai muita organisaation ylläpitokustannuksia eikä tuottovaadetta sijoitetulle pääomalle. Jos kolmas osapuoli tekee ja myy lämmön kortteleille maalämpöjärjestelmällä, on hinta korkeampi edellä mainittujen syitten takia.

Korttelikohtaisella lämpöpumppujärjestelmällä on mahdollista pienentää korttelin energian käytöstä aiheutuvia päästöjä verrattuna Helenin kaukolämpöön. Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien on ennustettu pientyvän tulevaisuudessa merkittävästi. Saavutettava päästövähennys on siten riippuvainen minä vuonna järjestelmä toteutetaan. Lämpöpumpulla tuotettu lämpö pysyy kuitenkin valituilla ennusteilla vähäpäästöisempänä vaihtoehtona Helenin kaukolämpöön verrattuna. Sekä sähköstä että kaukolämmöstä on nykyään mahdollista ostaa päästöttömiä vaihtoehtoja. Näitä ei kuitenkaan tässä työssä otettu tarkasteluun mukaan, sillä ne eivät kuvaa korttelijärjestelmien oikeaa vaikutusta energijärjestelmään.

Jäteilman hyödyntämistä lämpöpumpun lisälämmönlähteenä ja maaperään varastoitavan lämpöenergian lämmönlähteenä kannattaa selvittää lisää. Tämä lämmön talteenottotapa tuo hyvän mahdollisuuden erittäin ekologiseen, jopa hiiliposiitiviseen asuntojen jäähdyttämiseen/viilentämiseen. Jäteilman hyödyntäminen edellyttää noin 5 m² enemmän pinta-alaa ilmanvaihtokojetta kohti.

Jäteilman hyödyntämistä puoltaa olematon meluhaitta, joka osoittautuu jonkinasteiseksi ongelmaksi lämmönkeräimille useimmissa tapauksissa. Tarkastelussa löydettiin toki sopiviakin kohtia kortteleista lämmönkeräinten sijoittamiselle. Melun ehkäisemiseksi on kuitenkin tehtävä laadukasta suunnittelua ja toteuttamista, jotta asukkaille ei kohdistu häiritsevää melua.

Keskisyvien kaivoilla voi laskennan mukaan tuottaa 50 vuoden elinkaarella kilpailukykyistä lämpöä kortteille. Jos tarkastelujakson asettaa 30 vuoteen, on keskisyvien kaivojen tuottama lämpö merkittävästi kalliimpaa. Ero johtuu siitä, miten järjestelmän investointi jyvitetään lämmön hintaan. Matalammilla maalämpöjärjestelmillä tuotetun lämmön hinta pysyy varsin vakaana elinkaaren pituudesta riippumatta. Näiden vaihtoehtojen suurin ero on keskisyvien kaivojen merkittävästi suurempi investointi.

Keskisyviin kaivoilla voi tuottaa hyvin energiatehokkaasti lämmitystä kortteille. Kokemukset toteutetuista hankkeista aiheuttavat kuitenkin epävarmuutta niiden toiminnasta. Monissa kohteissa on kohdattu odottamattomia haasteita kallioperässä, joiden vuoksi keskisyvä kaivo ei ole voitu porata haluttuun kohtaan tai se on ollut odotettua haastavampaa mm. löydettyjen ruhjevyöhykkeiden vuoksi.

Hermanninrannan kortteleiden tonttitehokkuus on korkea, joka heikentää paikallisen maalämpöpotentiaalin ja energiatarpeen suhdetta. Korkean tonttitehokkuuden vuoksi Hermanninrannassa on haastavaa toteuttaa korttelikohtaisia maalämpöjärjestelmiä ilman lämmönlatausta. Jopa 500 m syvillä kaivoilla energiaperito putoaa noin 50 % elinkaaren aikana. Katualueille sijoitettu infra hankaloittaa kaivojen sijoittamista kaduille. Lämmönlataaminen parantaa merkittävästi korttelikohtaiset lämpöpumppujärjestelmän toteutettavuutta.

Karhukallion alueella on mahdollista osassa kortteleissa toteuttaa parhaimmillaan vain 300 m syvillä kaivoilla kilpailukykyinen maalämpöjärjestelmä. Alueella on mahdollista hyödyntää katualueita kaivojen sijoittelulle. Länsi-Haagassa on myös mahdollista saavuttaa kilpailukykyinen järjestelmä 500 m syvillä kaivoilla. Mahdollisuus sijoittaa energiakaivoja vie-reiselle katualueelle helpottaa selkeästi järjestelmän toteutettavuutta.



Helsinki