

KAUKOLÄMMÖSTÄ MAALÄMPÖÖN

Asunto Oy Sammonkartano, Tampere

Ruokanen Mikko

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennusinsinööri (AMK)

2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennusinsinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Ruokanen	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Petri Kuisma		
Toimeksiantaja	Asunto Oy Sammonkartano, Tampere		
Työn nimi	Kaukolämmöstä maalämpöön		
Sivu- ja liitesivumäärä	35 + 7		

Opinnäytetyötäni varten seurasin tamperelaisen asunto-osakeyhtiön maalämpöprojektin etenemistä vaihe vaiheelta. Taloyhtiö on saanut Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskuksen (ARA) myöntämän energiatuen. Kohteessa siirryttiin kaukolämmöstä maalämpöön ja se sisälsi 224 huoneistoa kolmessa eri kiinteistössä.

Tein havaintoja ja muistiinpanoja, kävin paikan päällä ja työmaakokouksissa sikäli kuin se oli mahdollista näin korona-aikana. Lisäksi huomioin mahdolliset ongelmat ja miten ne ratkaistiin. Lopuksi tein yhteenvedon siitä, miten maalämpöprojektin läpivieminen tässä tapauksessa onnistui.

Projektia johti tamperelainen Knowtek Oy, jolta sain asiakirjoja tätä opinnäytetyötä varten. Myös projektin vetäjän kanssa keskustelin maalämpöprojektiin liittyvistä asioista.

Tämä opinnäytetyö antoi minulle käytännön lisätietoa maalämmön käytöstä kiinteistöjen lämmittämismuotona sekä niihin liittyvistä tekniikoista ja tulevaisuuden kehitysnäkymistä.

Avainsanat maalämpö, energiakaivot, energiatehokkuus

Construction and community engineering
Bachelor of Science in Civil Engineering

Author	Mikko Ruokanen	Year	2021
Supervisor	Petri Kuisma		
Commissioned by	Asunto Oy Sammonkartano, Tampere		
Subject of thesis	From district heating to geothermal heating energy		
Number of pages	35 + 7		

For my thesis, I followed the progress of the Tampere-based housing company's geothermal project step by step. The housing association has received energy support from the Housing Financing and Development Centre of Finland (ARA). The site switched from district heating to geothermal energy and contained 224 apartments in three different properties.

I made observations and notes, attended on-site and site meetings as far as possible during the Corona period. In addition, I consider possible problems and how they were solved. Finally, I summarized how the implementation of the geothermal project was successful in this case.

The project was led by Knowtek Oy from Tampere, from whom I received documents for this thesis. I also discussed issues related to the geothermal project with the project leader.

This thesis gave me practical additional information about the use of geothermal heat as a form of real estate heating, as well as related technologies and future development prospects.

Keywords geothermal, energy wells, energy efficiency

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
2 MAALÄMPÖPUMPUT	7
2.1 Maalämpöpumppujen historia.....	7
2.2 Maalämpöpumppujen toimintaperiaate	7
2.3 Lämpöpumppuprosessi paine-entalpia-diagrammilla	8
2.4 Carnot lämpökerroin ja lämpökertoimen laskentaperiaate.....	10
2.5 Tutkimuksia maalämpö- ja poistoilmalämpöpumpun toiminnasta	11
3 KAUKOLÄMMÖSTÄ MAALÄMPÖÖN PROJEKTI	13
3.1 Asunto-osakeyhtiön päätös hakea ARA:n energiatukea	13
3.2 Projektin aloitus	14
3.3 Energiakoekaivon lämpötilaluotaus, mittausmenetelmä ja tulosten analysointi sekä tulokset	14
3.4 Lämmitysenergian- ja tehontarve.....	18
3.5 Maalämpöpumpun määrittely ja lämmitysvaihtoehdot.....	20
4 ENERGIKAIVOKENTTÄ JA ENERGIKAIVOJEN PORAUKSET JA TEKNISET ASENNUKSET	24
4.1 Energiakaivokenttä	24
4.2 Energiakaivokentän simulointi.....	27
4.3 Energiakaivojen poraukset.....	27
4.4 Energiakaivojen kollektoriputkien asennukset.....	28
5 MAALÄMPÖPUMPUN VALINTA- JA ASENNUSTYÖT	30
5.1 Maalämpöpumppu ja tekniset tiedot.....	30
5.2 Maalämpöpumpun asennus ja testikäyttö	34
5.3 Maalämpöpumpun toimivuus	35
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	36
7 POHDINTA.....	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	39

ALKUSANAT

Kiitän saamastani materiaalista, tuesta ja kommenteista opinnäytetyöhöni KnowTek Oy:n Mikko Aroa ja Tero Mäkipäätä sekä AsOy Sammonkartanon hallitusta.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on antaa käsitys siitä, millaista on siirtyä jo hyväksi todetusta kaukolämmöstä maalämpöön ja mitä kaikkea on otettava huomioon, jotta siirtyminen maalämmön käyttöön onnistuu suunnitelmien mukaisesti.

Kohteeksi valikoitui 1958 valmistunut tamperelainen 224 huoneiston taloyhtiö, johon olin tehnyt vuonna 2020 energiatehokkuuslaskelman ARA:n energiatukea varten (Liite 1, kuva 1). Laskelman avulla päästiin tukeen vaadittavaan 36 % energiatehokkuuden paranemiseen maalämmön ja vanhojen ikkunoiden uusimisella. Laskelmat osoittivat energiatehokkuuden paranevan noin 57 %.

Minun tehtävänäni on seurata projektin etenemistä ja eri työvaiheita. Havainnoin ja teen muistiinpanoja sekä selvitän, millaisia tekniikoita ja mittauslaitteita on käytetty energiakaivojen (porareikien) energiasaannon laskemiseen. Lisäksi kerron, miksi ja millä perusteilla päädytään käyttämään tietyn valmistajan laitteita.

Maalämpöprojektin onnistumista en voinut seurata loppuun asti, koska tämä on projektina melko pitkä, arviolta 2,5 vuotta. Opinnäytetyöhöni ei sisälly kaikkia maalämpöprojektin loppuvaiheen osioita.

2 MAALÄMPÖPUMPUT

2.1 Maalämpöpumppujen historia

Maalämpö on käytännössä auringon energiaa, joka on sitoutunut maaperään ja veteen. Riittävän syvälle mentäessä energiaa saadaan geotermisestä lämmöstä.

Lämpöpumpun toimintaa on hahmoteltu jo 1853 lähtien lordi Kelvinin toimesta ja vuonna 1855 Peter Ritter von Rittinger kehitteli sen. Rober C. Wbber rakensi suoran vaihdon maalämpöpumpun 1940-luvun loppupuolella, sitä ennen kokeiltuaan toimivuutta pakastimilla. Kaupallisesti onnistunut ensimmäinen maalämpölaite asennettiin Commonwealth Building rakennukseen Oregonin pääkaupungissa Portlandissa USA:n länsirannikolla (Resolution Trust Corp., 1980).

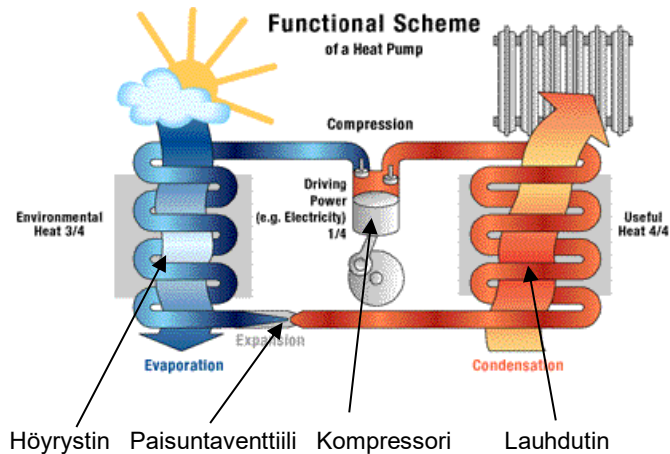
Maalämpöpumppujen suosio lähti kasvamaan varsin hitaasti, kunnes suljetun kierron polybuteeniputken kehitys teki suljetusta kierrosta kilpailukykyisen 1979. Tällöin erikoisesti USA:ssa ja Ruotsissa maalämpöpumppujärjestelmien myynti lähti reippaaseen kasvuun. Myös Suomessa EU-direktiivien ja hiilijalanjäljen pienentämisen johdosta on entistä enemmän siirrytty lämpöpumppujärjestelmiin, josta maalämmön osuus on merkittävä.

2.2 Maalämpöpumppujen toimintaperiaate

Maalämpöpumppu tai paremminkin lämpöpumppu koostuu seuraavista pääkomponenteista (Kuvio 1):

- 1) kompressorista, joka puristaa tulistetun höyrystyneen kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin lämpö kohoaa jopa sataan asteeseen. Siitä höyrystynyt kuuma kylmäaine johdetaan lauhduttimelle.
- 2) lauhduttimesta, jossa kuuma kaasumainen kylmäaine jäähtyy luovuttaen lämpöenergiaa esim. veden tai ilman lämmittämiseen. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine on jälleen nestemäistä.
- 3) paisuntaventtiilistä, joka alentaa paineen sopivaksi ennen höyrystintä. Tässä vaiheessa tapahtuu yleensä myös kylmäaineen alijäähdytys.

4) höyrystin, jossa kylmäaine muuttuu jälleen höyrymäiseen muotoon. Nestemäisen kylmäaineen höyrystyessä siihen sitoutuu lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa voidaan ottaa esim. vedestä ja ilmasta. Höyrystimen loppupäässä tapahtuu yleensä tulistus, jolla varmistetaan, ettei kompressoriin pääse nestemäistä kylmäainetta. Kompressorin käyttöikä ja toimivuus huononee, jos sinne pääsee nestemäistä kylmäainetta.



Kuvio 1. Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit (Lämpöässä 9/2007)

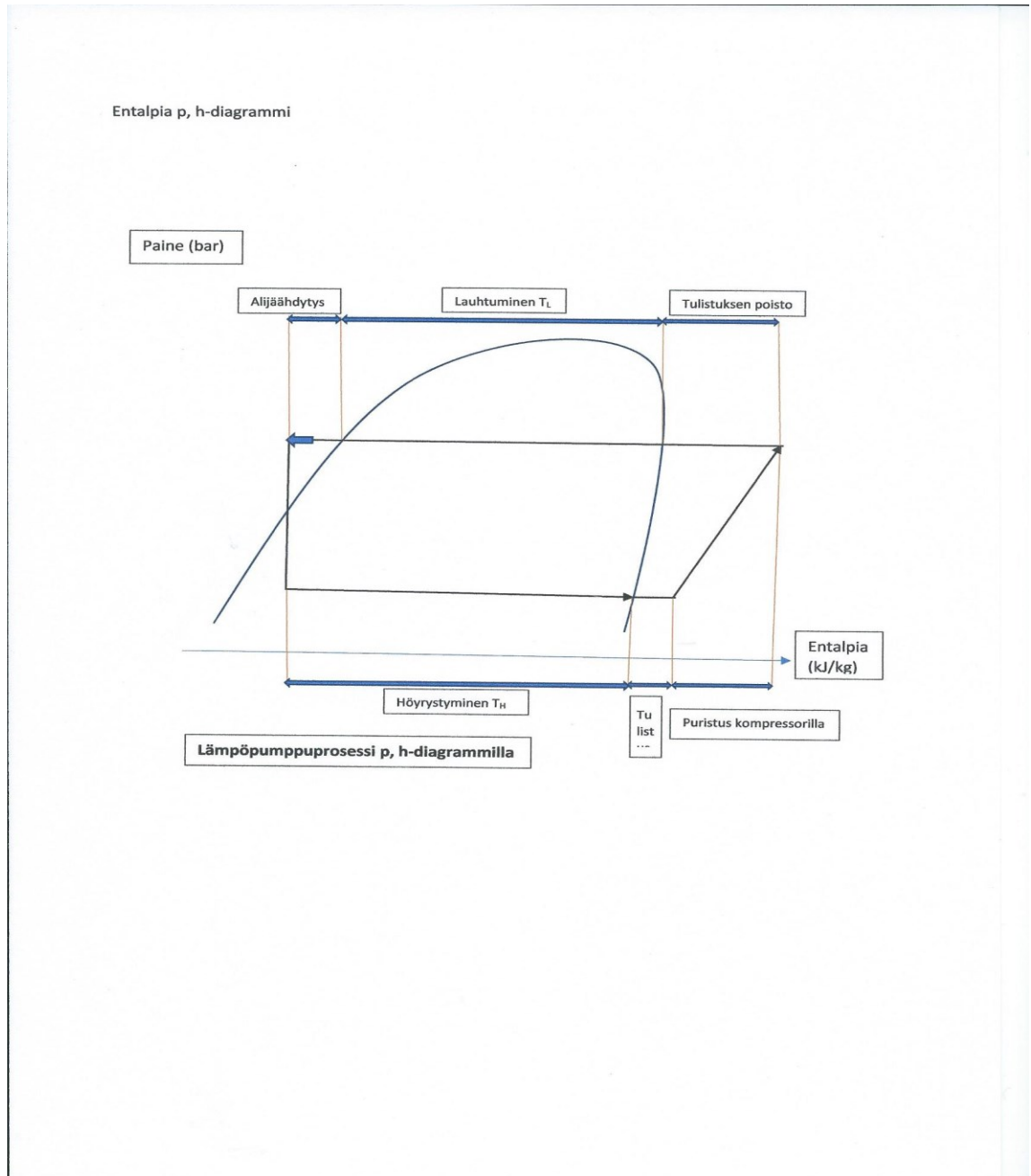
2.3 Lämpöpumpppu-prosessi paine-entalpia-diagrammilla

Lämpöpumpppu-prosessia voidaan tarkastella kylmäaineen fysikaalisten tilan muutosten avulla käyttäen paine-entalpia-diagrammia (p, h-diagrammi). Aluksi selvitetään prosessin alkupisteet (paineet, alijäähdytys, tulistus, kompressorin tuotto), jolloin diagrammin avulla voidaan määrittää seuraavia asioita:

- kaikkien pisteiden lämpötilat
- kaikki tehot (kylmä, lämpö, kompressori)
- lämpö- ja kylmäkertoimet
- kylmäaineen tiheydet eri pisteissä

On huomioitava, että diagrammit ovat kylmäainekohtaisia. Diagrammin pystyakselille on merkitty paine (MPa) ja vaaka-akselille kylmäaineen ominaisentalpia (kJ/kg). Näitä tarvitaan tehojen laskemiseen. Kylmäkoneprosessit tapahtuvat

faasirajakäyrän sisällä. Alla kuvataan prosessin kulku p, h-diagrammissa (Kuvio 2).



Kuvio 2. Lämpöpumppprosessi p, h-diagrammi (Kuisma 2021)

Prosessin eteneminen vaiheittain (Maalämpö ja Motiva 2020):

1. Tulistunut höyry johdetaan kompressorille, joka puristaa höyryn korkeaan paineeseen. Tämä on kompressorin tekemä työ.
2. Tulistus poistetaan höyrystä, joka johdetaan lauhduttimelle.

3. Lauhduksessa kuumasta kylmäaineen höyrystä siirtyvä energia johdetaan esim. lämmittämään huoneilmaa tai lämmittämään vettä. Jäähdyessään höyry muuttuu nesteeksi.
4. Alijäähdytyksellä varmistetaan, että kaikki höyry on muuttunut nesteeksi.
5. Paineessa oleva nestemäinen kylmäaine siirtyy paisuntaventtiin ohjaamana alempaan paineeseen, jossa höyrystyminen alkaa.
6. Höyrystimen alkupäässä neste-höyryseos alkaa enenevässä määrin höyrystymään. Nestemäisen olomuodon muutos höyrymäiseen muotoon vaatii energiaa, joka saadaan höyrystimen ulkopuolelta. Tarvittava lisäenergia saadaan esim. maaperästä, vedestä tai ilmasta.
7. Höyrystimen loppupäässä kylmäaine on saavuttanut höyrymäisen muodon ja sitonut höyrystimen ulkopuolelta tulevan energian itseensä. Höyrystimen tulistuksella vielä varmistetaan, että kylmäaine ei sisällä nestettä ennen kuin se johdetaan kompressorille.

2.4 Carnot lämpökerroin ja lämpökertoimen laskentaperiaate

Ranskalainen insinööri Sadi Carnot'n keksi vuonna 1824 lämpövoimakoneen mallin, jolla saataisiin mahdollisimman suuri hyötysuhde (Carnot'n 1824). Carnot'n kierto lämpövoimakoneelle voidaan laskea tehokerroin (ϵ_{cK}) seuraavasti (Kaava 1). Kaavat löytyvät LAMK:n opiskelumateriaalista (Kuisma 2021).

$$\epsilon_{cK} = Q_H/W = Q_H/(Q_L - Q_H) = T_H \cdot \Delta S / (T_L \cdot \Delta S - T_H \cdot \Delta S) = T_H / (T_L - T_H). \quad (1)$$

Vastaavasti Carnot tehokerroin (ϵ_{cL}) kylmäkoneelle (Kaava 2):

$$\epsilon_{cL} = T_L / (T_L - T_H) \quad (2)$$

Q_H = höyrystimen sitova lämpömäärä (J)

Q_L = lauhduksen luovuttama lämpömäärä (J)

W = prosessiin tehty mekaaninen työ (W)

ΔS = entalpiaero (kJ/kg)

T_H = höyrystimislämpötila (K)

T_L = lauhtumislämpötila (K)

Kylmäkoneen tehokerroin on yhden yksikön pienempi kuin lämpöpumpun.

Todellisuudessa lämpöpumpulle ja kylmäkoneelle laskettava tehokerroin laskeaan kuvion 2. mukaisesti, jossa on alijäähdytys ja tulistus mukana. P, h-diagrammista määritellään kunkin kylmäaineen entalpia-arvot (kJ/kg) kriittisissä pisteissä, jonka mukaan tehokertoimet voidaan laskea (Kaava 3 ja 4).

$$\epsilon_L = (h_1 - h_6)/(h_2 - h_1), \text{ tehokerroin kylmäkoneelle} \quad (3)$$

$$\epsilon_H = (h_2 - h_5)/(h_2 - h_1), \text{ tehokerroin lämpöpumpulle} \quad (4)$$

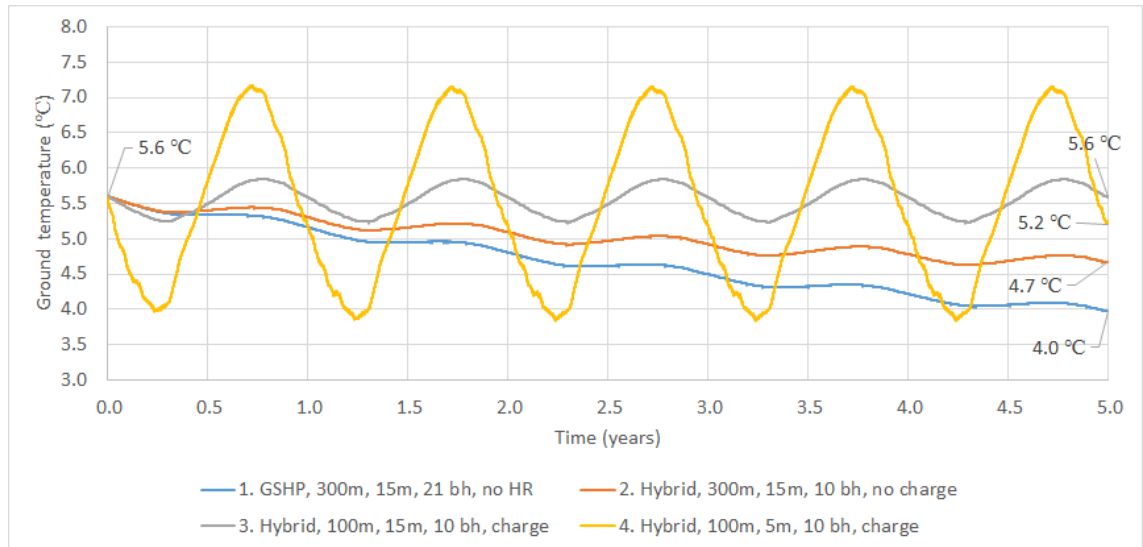
2.5 Tutkimuksia maalämpö- ja poistoilmalämpöpumpun toiminnasta

Tutkijatohtori Janne Hirvonen (2021) Aalto yliopistosta on julkaisemassaan artikkelissa ja 24.11.2020 FinWAC-webinaarissaan esiteltyt laskelmiaan maalämpöpumpun, poistoilmalämpöpumpun (PILP) sekä jäteveden lämmöntalteenoton yhteiskäytöstä.

Laskelmissaan Hirvonen on simuloinut erilaisia vaihtoehtoja energiakaivojen hyödyntämiseksi (Kuvio 3). Käyrästä tulkitaan seuraavasti:

1. Maalämpöpumppu (Ground source heat pump, GSHP), jossa on 21 kpl 300 metriä syviä energiakaivoja 15 metrin välein, ei ylijäämälämmön energialatausta. Voidaan havaita, että 5 vuoden aikana energiakaivojen lämpötila alenee lähtötalanteesta 1,6°C (5,6°C - 4,0°C).
2. Hybridiversio, jossa otetaan PILP:n ja jäteveden lämpö talteen, mutta ei ylimääräistä lämpöä ladata energiakaivoon. 300 metriä syviä energiakaivoja on 10 kpl 15 metrin välein. Energiakaivon lämpötila alenisi 0,9°C.
3. Hybridiversio, jossa otetaan PILP:n ja jäteveden lämpö talteen ja ylimääräinen energia ladataan energiakaivoon. 100 metriä syviä energiakaivoja on 10 kpl 15 metrin välein. Lämpötila ei alenisi energiakaivossa lainkaan.
4. Hybridiversio, jossa otetaan PILP:n ja jäteveden lämpö talteen ja ylimääräinen energia ladataan energiakaivoon. 100 metriä syviä energiakaivoja on 10 kpl 5

metrin välein. Lämpötila alenisi energiakaivossa varsin vähän 5 vuoden aikana, mutta lämpötilavaihtelu olisi verrattain suurta, yli 3°C vuoden aikana.



Kuvio 3. Maalämpöpumpun ja PILP + jäteveden lämmöntalteenoton käyrästöt (Hirvonen 2020)

Hirvosen (2020) laskelmissa simulaatioissa todetaan, että maalämpöpumpun + PILP:n ja investoinnin kannattavuuden salliessa jäteveden lämmön talteenotolla päästään noin 20 % suurempaan energiasäästöön verrattuna pelkkään maalämpöpumpun käyttämiseen.

Laskelmissa jäteveden ylijäämälämmön syöttäminen maaperään tapahtui ideaalisella lämmönsiirtimellä jätevesivaraajan poistovirtauksesta, jolloin iso osa lämmöstä, jota ei napattu varaajaan, saatiin talteen maaperään. Käytännössä ideaalinen lämmönsiirto ei onnistuisi, joten tuloksia on sen suhteen pidettävänä liian optimistisina.

3 KAUKOLÄMMÖSTÄ MAALÄMPÖÖN PROJEKTI

3.1 Asunto-osakeyhtiön päätös hakea ARA:n energiatukea

Vuonna 1958 valmistunut asunto-osakeyhtiö Sammonkartano koostuu 224 huoneistosta kolmessa eri kerrostalossa Tampereella. Rakennustilavuutta löytyy kokonaisuudessaan 54850 m³ ja lämmitettävää nettoalaa 15970 m². Kerroksia on seitsemän kussakin kerrostalossa sekä kellaritilat. Lisäksi kiinteistöt sisältävät liiketiloja ja varastoja noin 1900 m². Kiinteistö on liitetty paikalliseen kaukolämpöverkkoon (Liite 1, Kuva 1).

Euroopan parlamentin ja neuvoston EU-direktiivin 2018/844 mukaan halutaan hiilidioksidipäästöjen vähentämistä vuoteen 2030 mennessä vähintään 40 % vuoden 1990 tasosta (EU 2018/844). Suomi on kärkimaiden joukossa energiatehokkuuden parantamisessa ja hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä. Valtiovallan taholta päätettiin antaa 2020–2022 ARA:n energiatukea asumiskohteisiin, joissa energiansäästö on merkittävä. Energiatuen määrä riippuu asumismuodosta (omakotitalo, rivitalo tai kerrostalo). Näistä on tarkemmin määritelty ARA:n Energia-avustus taloyhtiöille hakuohjeessa 2020 (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2020).

Sain tehtäväksi keväällä 2020 AsOy Sammonkartanolta laskea ARA:n energiatukea varten energiatehokkuuslaskelmat (E-luku) alkuperäisen öljylämmityksen ja vastaavasti suunnitellun maalämpöjärjestelmän pohjalta, jotta voidaan verrata, että saadaanko riittävä energiatehokkuuden paraneminen aikaan. Lisäksi taloyhtiö suunnitteli alkuperäiset ikkunat vaihdettavaksi uusiin energiatehokkaisiin ikkunoihin. ARA on määritellyt, että asuinkerrostalossa energiatukeen vaadittavan parannuksen on oltava yhteensä 32 % parempi kuin alkuperäinen energiatehokkuusluku.

Käytin E-lukujen laskentaan lisensioimaani laskentapalvelut ohjelmaa (Laskentapalvelut 2019). Laskelmien perusteella E-luku parani keskimäärin 52 % siirtymällä maalämpöön ja ikkunoiden uusimisella verrattuna alkuperäiseen. Pelkäs-

tään maalämpöön siirtyminen olisi parantanut E-lukua keskimäärin 46 %. Alkuperäinen lämmitysmuoto oli öljylämmitys. Tämänhetkinen lämmitysmuoto on kaukolämpö.

ARA:n energiatukihakemus lähetettiin helmikuussa 2020 ja positiivinen päätös saatiin syksyllä 2020. Tämän päätöksen perusteella päätti taloyhtiö lähteä toteuttamaan maalämpöprojektia.

3.2 Projektin aloitus

Asunto Oy Sammonkartano kilpailutti tärkeimmät urakat. LVI-tekniikan suunnittelun ja asennukset tekee Knowtek Oy ja lämpökaivotekniikan suunnitteluun valittiin Lapon Oy. Maalämpöprojekti on jaettu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kiinteistön piha-alueelle porataan koelämpökaivo sekä varsinaiset lämpökaivot ja asennetaan ulkopuoliset putket. Riippuen koelämpökaivosta saadusta tuloksesta, porataan varsinainen lämpökaivokenttä sen laskelmien mukaiseen kokonaissyvyyteen. Toisessa vaiheessa asennetaan lämpöpumppulaitteisto.

Knowtek toimii projektissa tilaajan edustajana ja hankkeen rakennuttajana.

Energiatohokkuuden parantamiseen kuuluu tässä kohteessa myös poistoilman talteenoton (PILP) asentaminen. Kiinteistöön asennetaan suunnitelmien mukaiset poistoilman LTO-putket ja varausputket.

3.3 Energiakoekaivon lämpötilaluotaus, mittausmenetelmä ja tulosten analysointi sekä tulokset

Koe-energiakaivon poraajaksi valittiin vantaalainen Rototec Oy, jolla on vuosien kokemus maalämpöprojekteista ja energiakaivojen poraamisesta (Liite 1, Kuva 2). Varsinaisen energiakaivokentän mitoituksen teki Lapon Oy.

Geologisen tutkimuskeskuksen (GTK) kallioperäkarttaa tutkimalla todettiin, että kohde sijaitsee Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeellä, jossa pääkivilajina on kiillegneissi ja suonigneissi. Kivilajien lämmönjohtavuus on lähellä Suomen kalliope-

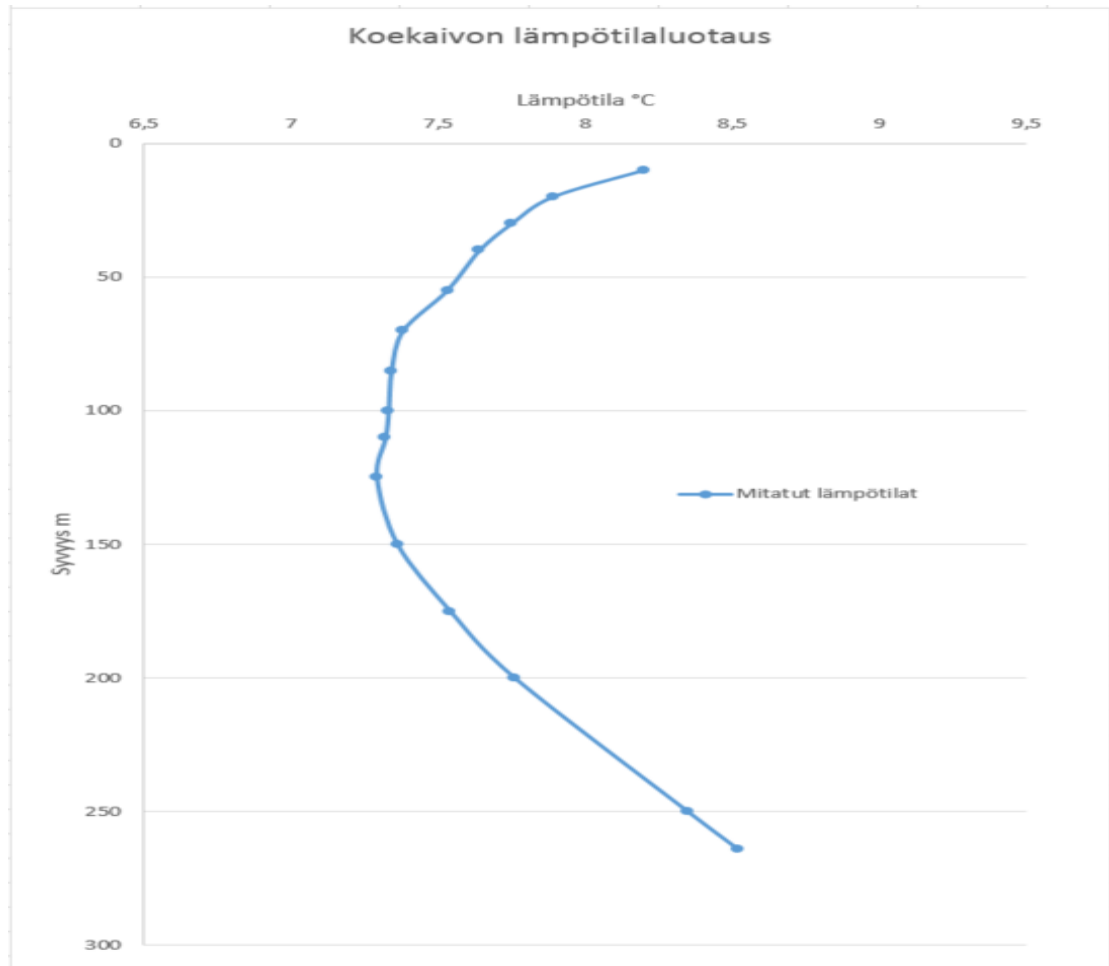
rän keskimääräistä lämmönjohtavuutta 3 W/m*K. Koska kallioperäkartat on laadittu pääosin pintakivinäytteiden perusteella, ei voida varmuudella tietää, mitä kilajeja porakaivoista tulee löytymään.

Rototec porasi 400 metriä syvän koekaivon loppusyksystä 2020. Koekaivon kohdalla maakerroksen paksuun oli 12 metriä. Kaivon halkaisija oli 139 mm ja siinä oli 2 x 50 mm u-kollektori. Keruuputkia ei asennettu välittömästi poraamisen jälkeen vaan vasta kahden viikon päästä, jolloin keruuputkia ei saatu laskettua 265 metriä syvemmälle. Syyksi epäiltiin kallion rikkonaisuutta, joka olisi tukkinut porareian.

Termisen vastetestin (eli TRT-mittaus) aikana oli pohjaveden pinta kaivossa mitaushetkellä 13,5 metrin syvyydellä maan pinnalta.

Ennen TRT-mittausta koekaivon lämpötilat mitattiin eri syvyyksistä, jolloin koekaivon keskimääräiseksi lämpötilaksi saatiin 7,7°C. Lämpötilat vaihtelivat 125 metrin 7,29°C lämpötilasta 8,52°C asteeseen kaivon pohjalla 265 metrissä. Geoterminen gradientti on Suomessa keskimäärin 0,8–1,5°C/ 100 m.

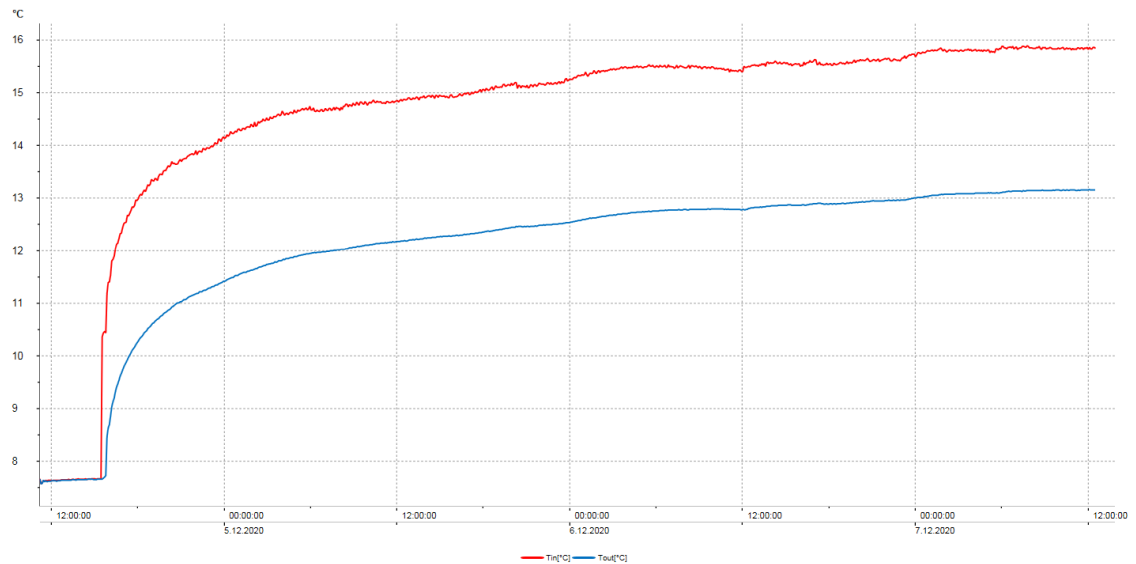
Kuviossa 4. nähdään koekaivon lämpötilaluotaus, jonka lämpötilagradientiksi saatiin noin $1,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.



Kuvio 4. Koekaivon lämpötilaluotaus (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 4)

Mitatessa koekaivoa välineinä käytettiin lämpövastusta, kiertovesipumppua ja lämpötilaa mittaavaa dataloggeria. Mittalaite kytketään koekaivon keruuputkeen, joka on täytetty vesietanoli keruunesteellä. Keruunestettä kierrätetään kaivossa kiertopumpulla ja kaivosta tulevan ja kaivoon menevän keruunesteen lämpötilaa mitataan 5 minuutin välein. Keruunestettä kierrätetään kaivossa muutaman tunnin ajan ilman lämmitystä, jotta saadaan mitattua kallion häiriintymätön lämpötila, jonka jälkeen lämpövastus kytkeytyy päälle ja alkaa lämmittämään keruunestettä. Energialoggerilla mitataan vastuksen syöttöteho. Mittausmenetelmä kesti noin 68 tuntia.

Kuviossa 5 ilmenevät keruunesteen lämpötilamuutokset meno- ja paluupiirissä.



Kuvio 5. Keruupiirin meno- ja tulo-esteen lämpötilan kehitys ajan mukaan (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 5)

Kuviossa 5 punainen viiva on lämpövastuksella lämmitetty menoneste ja sinisellä viivalla kaivosta tuleva keruuneste. Tarkasteltaessa kuvio voidaan todeta vastuksen menneen päälle noin 4 tunnin kohdalla. Lämpötilan kasvun tasoittuminen johtuu keruunesteen lämmön siirtymisestä ympäröivään kallioperään. Häiriöttömässä tilassa keruunesteiden lämpötilaero vakiintui $7,7^{\circ}\text{C}$ asteeseen.

Tästä voidaan määrittää terminen vaste. Vastetestiin liittyvää teoriaa ja käytäntöä on tutkittu Signhild Gehlin Luleån teknillisessä korkeakoulussa opinnäytetyössä. Tämän koekaivon mittauksien analysointia sovelletaan edellä mainittuun vastetestiin, jossa verrataan mitattua keruunesteen keskilämpötilakäyrää matemaattisesti laskettuun keskilämpötilakäyrään. Tästä voidaan määrittää lämpövastus ja lämmönjohtavuus, kun matemaattinen ja mitattu käyrä saadaan täsmäämään. Mittauksessa sähkövastuksen syöttötehoksi saatiin keskimäärin 9013 W (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti 2021.)

3.4 Lämmitysenergian- ja tehontarve

Edellisessä osiossa koekaivon mittaustuloksiksi saatiin:

- kaivon häiriintymätön lämpötila 7,7°C
- lämmönjohtavuudeksi (λ) 3,4 W/Km
- porakaivon lämpövastukseksi 0,07 Km/W

Voidaan todeta, että koekaivon häiriintymätön lämpötila 7,7°C on tyypillinen lämpötila 265 metriä syvässä maalämpökaivossa Tampereen alueella. Mittausten perusteella 360 metriä syvän kaivon keskimääräinen lämpötila on 8,1°C.

Lämmönjohtavuus kuvastaa sitä, että kuinka paljon kallioperällä kaivon ympärillä on johtaa lämpöä.

Porakaivon lämpövastus kuvastaa lämmönkeruunesteen ja porakaivon seinämän välistä lämpövastusta, eli mitä pienempi lämmönvastus sitä paremmin lämpö siirtyy energiakaivon seinämän ja lämmönkeruunesteen välillä. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat kaivon halkaisija, keruuputken tyyppi ja seinämävahvuus sekä keruuputken sijoittuminen kaivossa ja kaivon täyteaine (yleensä vesi).

Muut energiakaivot porataan 114 mm reikäkoolla ja niihin asennetaan 2 x 45 mm kollektoriputket. Lämmönjohtavuudeksi edellä mainitun perusteella lasketaan 0,10 Km/w.

Asunto-osakeyhtiön lämmityksen ja lämpimän veden kulutustiedoista vuosilta 2014–2019 on laskettu niiden sääkorjattu keskimääräinen lämmitysenergian tarve. Keskimääräinen vuotuinen kaukolämmön kulutus oli 2100 MWh ja sääkorjatuksi kaukolämmön kulutukseksi saatiin keskimäärin 2250 MWh.

Vuonna 2016 on tehty lämmitysvesiputkiston saneeraus ja maalämpösaneerauksen yhteydessä talojen ikkunat uusitaan, tällöin energiatehokkuus paranee. Tämän perusteella lämmitysenergiantarpeen oletetaan olevan jatkossa keskimäärin 2050 MWh vuodessa.

Taloyhtiössä kuluu lämmintä vettä 40 % kylmän käyttöveden määrästä. Kylmää käyttövettä kului keskimäärin 11100 m³ vuodessa, joten lämpimän käyttöveden

vuotuisesti määräksi saatiin 4450 m³ ja sen tuottamiseen kului energiaa noin 258 MWh vuodessa.

Laskennassa sovelletaan lämmitystehon laskentaan liittyvää kaavaa 5.

$$P = (m \cdot c \cdot \Delta T) / t \quad (5)$$

missä

P = lämmitysteho W

m = veden massa 4450000 kg

c = 4290 J/kg·K

ΔT = lämpötilan muutos Kelvineinä

t = lämmitysaika.

Lisäksi täytyy ottaa huomioon lämpimän käyttöveden kiertohäviöt, jonka arvoksi saatiin 325 MWh vuosi kaukolämmön kesäaikaisen kulutuksen perusteella.

Lämpimän käyttöveden vuotuisesti kokonaiskulutukseksi saatiin (258 + 325) MWh = 583 MWh, joka vasta noin 28,4 % koko lämmitysenergiatarpeesta.

Laskennalliseksi huipputehon tarpeeksi saatiin 750 kW, kun lämmin käyttövesi on puskuroitu.

Poistoilmasta saatava teho oli myöskin määriteltävä. Kun kaikkiin kolmeen asuinrakennukseen asennetaan LTO-laitteet, poisluettuna liikerakennukset, saadaan ilmanvaihdon suunnitelmien mukaan poistoilmanmääräksi 3900/7800 l/s.

Asuinrakennusten ilmatilavuus on noin 36 000 m³. Rakennusmääräysten suosituksena on, että huoneistojen ilmatilavuuden tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa eli 12 kertaa vuorokaudessa. Tällöin saadaan laskemalla 36000000 l * 12 = 360000000 l/vrk = 5000 l/s. LTO:ta varten asennetaan uudet portaattomasti säädettävät (taajuusmuuttujalla) poistoilmapuhaltimet, jolloin perusilmamäärää voidaan nostaa nykytasosta. Ratkaisussa on päädytty tehdä kaivokentän/LTO:n mitoitus kokonaisilmamäärällä 4300 l/s, jolloin poistoilmamäärästä saatava teho on 95–100 kW ja siten siitä saadaan energiaa noin 72 MW/kk.

3.5 Maalämpöpumpun määrittely ja lämmitysvaihtoehdot

Lämmitysvaihtoehdoiksi tulivat tässä projektissa maalämpö + LTO ja lisäteho sähköllä tai maalämpö + LTO ja lisälämpö kaukolämmöllä.

Maalämpöpumppuratkaisussa on huomioitavaa, että sitä ei kannata mitoittaa täysitehoiseksi. 70–80 % tehomitoituksella saadaan tuotettua 97–99 % tarvittavasta lämmitysenergiasta. Suurella >90 % tehomitoituksella maalämpölaitteistosta saadaan vain 1–3 % lisäsäästö rakennuksen lämmityskuluihin, mutta suuremman laitteiston tekninen toiminta heikkenee ja maksaa enemmän. Suunnittelussa kannattaa ja pitää ottaa huomioon se, että saadaan mahdollisimman hyvä investointikustannusten suhde elinkaaren säästöihin.

Maalämpöpumppu tulisi mitoittaa siten, ettei käyntiaika ole liian pieni, jolloin käyntijaksot menevät liian lyhyiksi ja rasittavat lämpöpumppua. Toisaalta suuremmalla käyntiajalla pumppu käy talvella tauotta, eikä siltikään ehdi tuottamaan riittävästi lämmitysenergiaa ja siten ei ole optimaalista energiakaivokentän käytön kannalta. Hyväksi havaittu lämpöpumpun käyttöaikamitoitus tulisi olla 2800–4000 h/vuosi. Maalämpöpumpulla ei ole energiatehokasta tuottaa korkeaa >35°C asteista menovettä patteriverkostoon ja siten huippupakkasilla lisäteho tuotetaan joko suorasta sähkölämmityksestä tai kaukolämmöstä. Myöskin käyttöveden lämmittäminen suositeltuun >55°C vaatii ulkopuolisen lisätehon käyttöä.

Maalämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa merkittävästi lämmitysverkoston menoveden lämpötila, mitä korkeampi menoveden lämpötila maalämpöpumpulla tuotetaan sitä huonompi hyötysuhde. Hyötysuhteesta käytetään yleisesti lyhennettä COP (Coefficient Of Performance).

Vaihtoehto 1: Maalämpö + LTO, lisäteho sähköllä

Lämmöntarpeen mitoituksessa suunnittelija on valinnut optimaaliseksi lämpöpumpputehoksi 650–700 kW(B0W35), 550–600(B0W65). Laskelmat on siirretty alla olevaan taulukkoon 1., josta selviää laskelman tulokset. Lisäteho tuotetaan sähkökattilalla ja kaivokentän mitoitus tehdään 600 kW lämpöpumpputeholla.

Taulukko 1. Maalämpöpumpun laskennallinen tehontuotto (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 8)

	Pumpputeho 550 kW	Pumpputeho 600 kW
Lämmitystehon tarve kW	750	750
Pumpputeho (B0W35) kW	650	700
Pumppujen teho(B0W65) kW	550	600
Tehopeittoaste %	73,3	80,0
Lisätehon tarve vähintään kW	200,0	150,0
Lämmitysenergian tarve MWh	2050	2050
Tuotettu energia %	0,99	0,99
Tuotettu energia MWh	2025	2025
Pumpun käyntitunnit h/vuosi	3462	3215

Maalämpöpumppujen laskennallinen hyötysuhde lämmitykselle on luokkaa 3,4–3,5 ja lämpimälle käyttövedelle 2,7–2,8. Koko lämmityskauden vuosihyötysuhteen SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) kertoimeksi saadaan 3,2–3,3.

Tässä tapauksessa maalämpölaitteisto kuluttaa vuodessa 630 MWh ja tuottaa 1420 MWh energiaa hyödyntäen energiakaivosta ja PILP:stä (poistoilmalämpöpumppu) saatavan energian.

Hyötysuhde vaihtelee jonkin verran vuodenajan mukaan, sillä lämmitysverkoston tarvittavan menoveden lämpötila ja lämpimän käyttöveden suhteellinen osuus vaihtelee. Menoveden lämpötila on korkeampi kovilla pakkasilla, jolloin COP-arvo on yleensä pienempi. Taulukkoon 2 on EED-simuloinnissa laskettu maalämmöllä kuukausittain tuotettu energiamäärä sekä energiakaivokentän ja LTO:n tuottama energia. COP-arvon vuodenajasta riippuva arvon muutos on otettava huomioon simulointilaskennassa. Kuukausittainen lämmitysenergian jakauma on laskettu pitkän ajan keskiarvon lämmitysluvuista Tampereella, jota korjattu vastaamaan paremmin toteutuneita kulutuksia.

Taulukko 2. Kuukausittainen lämmitysenergian tarve (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 9)

Kuukausittainen lämmitysenergian tarve					
Osuus (%)	MWh	Maalämmöllä	Kaivo- kenttä+LTO	COP arvo	
Tammikuu	0,151	309,55	298,72	203,26	3,1
helmikuu	0,133	272,96	266,71	185,20	3,3
Maaliskuu	0,122	250,96	248,45	175,58	3,4
Huhtikuu	0,086	176,30	176,30	125,94	3,5
Toukokuu	0,052	107,32	107,32	77,77	3,6
Kesäkuu	0,028	57,48	57,48	39,83	3,3
Heinäkuu	0,025	51,62	51,62	34,75	3,1
Elokuu	0,029	60,41	60,41	42,11	3,3
Syyskuu	0,046	94,30	94,30	67,95	3,6
Lokakuu	0,085	174,74	174,74	124,79	3,5
Marraskuu	0,109	224,33	224,33	158,16	3,4
Joulukuu	0,132	270,03	264,63	184,65	3,3
Summa	1,000	2050	2025	1420	

Vaihtoehto 2: Maalämpö + LTO, lisäteho kaukolämmöllä

Tässä vaihtoehdossa kaukolämmön lisätehoa tarvitaan kovilla pakkasilla korvaamaan puuttuva maalämpöpumpun tuottama teho. Tämän lisäksi kaukolämmöllä tehtäisiin lämpimän käyttöveden kertohäviöt sekä priimattaisiin eli nostetaan veden lämpötila riittävän ylös (~55°C).

Mitoitus tehtäisiin niin, että maalämpölaitteistolla tuotettaisiin 73–74 % kokonaisenergian tarpeesta ja kaukolämmöllä loput noin 26–27 %.

Optimaalinen lämpöpumpputeho olisi noin 550–600 kW (B0W35), 450–500 kW (B0W65). Taulukkoon 3 on laskettu arvio kaukolämmöllä ja maalämpölaitteistolla tuotettavasta energiamäärästä sekä laskettu LTO:sta ja energiakaivosta otettava energiamäärä.

Taulukko 3. Kaukolämmön + maalämmön energiamäärä sekä energiakaivosta ja LTO:sta saatu energiamäärä (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 11)

Kuukausittainen lämmitysenergian tarve									
	Osuus (%)	MWh	Lämmitys	Käyttövesi	Lämminvesi kierto	Kaukolämmöllä	Lämpöpumpuilla	Kaivokenttä+LTO	COP arvo
Tammikuu	0,151	309,6	261,0	21,5	27,1	66,4	243,17	167,18	3,2
helmikuu	0,133	273,0	224,4	21,5	27,1	51,5	221,47	156,33	3,4
Maaliskuu	0,122	251,0	202,4	21,5	27,1	41,8	209,21	151,09	3,6
Huhtikuu	0,086	176,3	127,7	21,5	27,1	40,0	136,32	99,47	3,7
Toukokuu	0,052	107,3	58,7	21,5	27,1	42,1	65,18	48,03	3,8
Kesäkuu	0,028	57,5	8,9	21,5	27,1	43,2	14,27	10,71	4,0
Heinäkuu	0,025	51,6	3,0	21,5	27,1	43,2	8,41	6,31	4,0
Elokuu	0,029	60,4	11,8	21,5	27,1	43,2	17,21	12,90	4,0
Syyskuu	0,046	94,3	45,7	21,5	27,1	42,1	52,17	38,44	3,8
Lokakuu	0,085	174,7	126,2	21,5	27,1	40,0	134,76	98,34	3,7
Marraskuu	0,109	224,3	175,7	21,5	27,1	37,8	186,50	134,69	3,6
Joulukuu	0,132	270,0	221,4	21,5	27,1	44,6	225,42	159,12	3,4
Summa	1,000	2050	1467	258	325	536	1514	1083	

Taulukosta saadaan laskennallisesti selville, että kaukolämmöllä tuottava energiamäärä on noin 26 % ($100 \% * 536/2050$) kokonaisenergiantarpeesta ja maalämpölaitteistolla tuotetaan suurin osa noin 74 %.

4 ENERGIKAIVOKENTTÄ JA ENERGIKAIVOJEN PORAUKSET JA TEKNISET ASENNUKSET

4.1 Energiakaivokenttä

Koe-energiakaivon energiatuoton perusteella lähdetään selvittämään varsinaista energiakaivokenttää. Tässä käytetään apuna mallinnusta, jolla voidaan määrittellä energiakaivojen lukumäärä, aktiivisyvyys (pohjaveden ja pintakaivon pinta) sekä niiden sijainnit (kaivojen väliset etäisyydet ja kaivokentän muoto) optimoimaan kiinteistöjen energiantarpeen ja porausalueen koon mukaan.

Mallinnuksessa lämmönkeruunesteelle asetetaan minimi- ja maksimilämpötiloille reunaehdot ja simuloidaan keruunesteen lämpötilakehitys 20 vuoden ajanjaksolle siten, että reunaehdot toteutuvat vielä simulointiajan lopussakin.

Tässä Lapon Oy on käyttänyt mallinnuksessa ruotsalaista Earth Energy Designer (EDD) simulointiohjelmaa.

Simuloinnissa asetetaan lämpötilarajat keruunesteelle seuraavasti:

Lämpöpumpulle tuleva keskimääräinen keruunesteen minimilämpötila on $+0,5^{\circ}\text{C}$ ja/tai kaivosta tuleva huippulämpötila (kova pakkanen) on lämmityksessä $-2,0^{\circ}\text{C}$.

On huomioitava, että vältetään lämpöpumpulle tulevan keruunesteen lämpötilan tippumista kovin paljon alle 0°C asteen. Jos keruunesteen lämpötila on pidemmän aikaa pakkasen puolelle, lämpöpumpun hyötysuhde laskee ja kaivokentän jäätymisriski kasvaa merkittävästi. Energiakaivojen jäätyessä umpeen, jää voi laajentuessaan painaa keruuputket kasaan.

Simulointiohjelmassa lähdetään siitä, ettei energiakaivokentässä tapahdu pohjaveden virtauksista johtuvaa lämmön siirtymistä. Tämä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta, sillä pientä lämmönsiirtymistä tapahtuu sängen usein johtuen Suomen kallioperän rikkonaisuudesta. Energiakaivoista on saatu jo pitkäaikaista kokemusta, joten 20 vuoden simulointiaikaa pidetään riittävänä energiakaivokentän mitoitukseen.

Simulointiohjelmassa käytetään lämpötiloille keskimääräistä lämpötilaa energia-kaivon menevälle ja sieltä tulevalle keruunesteelle. AsOy Sammonkartanon kohteen energiakaivoista tulevan ja menevän keruunesteen lämpötilaero (ΔT) on keskimäärin 4°C luokkaa. Täten simuloinnissa käytettävät lämpötilat ovat 2°C pienemmät. Tämän mukaan, jos lämpöpumpulle tuleva keruuneste on 0°C asteista, niin kaivon menevä keruuneste on -4°C asteista. Täten keskimääräinen lämpötila on -2°C .

Energiakaivojen muotoa ja koko määriteltäessä otetaan siis huomioon kallioperästä saatavan energian määrä, johon vaikuttaa kallion termiset ominaisuudet, keruunesteen lämpötilarajojen ja lämmitysenergian tarpeen lisäksi energiakaivokentän koko ja muoto (kaivojen keskietäisyydet). Energiakaivojen keskinäiset vaikutukset on otettava huomioon, jolloin energiakaivojen määrä, porausvyvyys ja kaivojen keskietäisyys tulee optimoida siten, että kaivokentästä saadaan mahdollisimman toimiva ja kustannustehokas.

Kaivokentän muotoon ja kokoon vaikuttavat tontin koko, pinnan muodot, rakennukset ja muut rajoittavat tekijät. Tällöin on mietittävä keskietäisyyksien mukaan porattavia energiakaivosyvyyyksiä, suuremmalla keskietäisyydellä päästään yleensä pienempiin porausmetrimääriin, mutta kaivuu ja vaakaputkien määrä kasvaa. Pyritään mahdollisimman kustannustehokkaaseen energiakaivokenttään.

Poraukset eivät yleensä ole pystysuoria, vaan kallistuksia käytetään hyväksi ja näin saadaan mm. rakennuksien alla olevaa kalliomassaa hyödynnettyä. Näin menetellään suurimmassa osassa maalämpökohteissa, varsinkin jos porattavaa kenttää on rajoitetusti käytössä. Kallistettujen energiakaivojen käyttö mahdollistaa toimivan ja kustannustehokkaan kaivokentän toteutuksen. Myöskin AsOy Sammonkartanon kohteessa käytetään kallistettuja porauksia, koska energiakaivokentän kalliomassa on melko pieni (Liite 1, Kuva 5).

Poraukset eivät mene välttämättä täysin suunnitelmien mukaan. Vaakatasoinen etenemä voi olla pienempi kuin teoreettinen etenemä, koska poratessa kaivo voi

taittua alaspäin. Kuitenkin energiakaivojen yläpäät eivät saisi olla liian lähellä toisiaan, jottei tehonotto yläosan kalliomassasta olisi liian suuri. Ohjearvona pidetään energiakaivojen viiden metrin minimietäisyyttä maanpinnalla.

Taloyhtiön energiakaivokentän kalliomassan pienuudesta johtuen tulee tontin pinta-ala hyödyntää mahdollisimman tarkkaan kaivokentässä. Energiakaivojen keskinäiset vaikutukset tulevat tästä johtuen olemaan suuret, joka merkittävästi kasvattaa porausmetrimäärää.

EDD-simuloinnissa käytetään 4 x 7 (28) kaivokenttää keskietäisyydeltään 14,5 metriä, joka kuvattu kuviossa 6.



Kuvio 6. Energiakaivokentän muoto simuloinnissa (Lapon Energiakaivokentän mitoitusraportti, 2021, 14)

Todellisuudessa energiakaivojen poraukset eivät toteudu simuloinnissa olevan matriisin mukaan. Porauksia tehdään kerrostalojen Sammontie 11–13 sekä Sammontie 13–15 väliselle piha-alueelle.

4.2 Energiakaivokentän simulointi

Energiakaivokentät EED-simuloidaan sekä vaihtoehdolle (1) maalämpö + LTO + sähkö että vaihtoehdolle (2) maalämpö + LTO + kaukolämpö.

Vaihtoehto 1. EED-simuloinnilla saadaan aktiiviporausmetrejä yhteensä 9679 metriä. Koekaivohan porattiin 400 metriin, mutta tukkeutumisen vuoksi siitä voitiin hyödyntää 265 metriä. Koekaivossa pohjaveden pinta oli 13,5 metrin syvyydellä, joten aktiiviseksi porausyvydeksi saatiin 251,5 metriä. Tällöin aktiivisia porausmetrejä tarvittiin lisää 9428 metriä. Näin ollen energiakaivojen kokonaisporausyvydeksi saadaan pyöristettynä 27 x 360 metriä + 1 x 265 metriä, yhteensä 9985 metriä.

Vaihtoehto 2. Simuloinnin mukaan aktiivisia porausmetrejä tarvitaan yhteensä 6617 metriä. Vaihtoehdon 1 koekaivon tiedot huomioiden saadaan energiakaivojen kokonaissyvydeksi pyöristettynä 25 x 270 metriä + 1 x 265 metriä, jolloin porausmetrejä yhteensä 7015 metriä.

4.3 Energiakaivojen poraukset

Energiakaivojen poraaja valikoitui siten, että koeporakaivon porasi vantaalainen Rotatec Oy ja varsinaisten energiakaivojen poraajiksi valittiin jyväskyläläinen Kaivonporaus Olympia Oy (Liite 1, Kuva 2 ja 3).

Koeporakaivon syvyys oli 400 metriä ja kollektoriputket (keräysputket) oli tarkoitus upottaa kaivon pohjalle. Koska kollektoriputket upotettiin vasta neljä päivää myöhemmin koekaivoon, oli kallion rikkoutuneisuuden tai muun koekaivossa tapahtuneen syyn takia tukkeutunut niin, että keruuputket saatiin laskettu vain 265 metriin. Maanpinnalla on näkyvissä koekaivon suojaputken pää (Liite 1, Kuva 4). Energiakaivojen poraukset saatiin päätökseen lokakuun alkuun mennessä.

Asunto-osakeyhtiöllä oli poraukseen käytettävää piha-aluetta rajoitetusti. Asemakaavakuvassa on merkitty energiakaivojen sijainnit, josta nähdään, että porauksilla hyödynnetään mahdollisimman tarkkaan käytettävissä oleva piha-alue, myös asuinkerrostalojen alapuolinen kallio (Liite 2).

Maalämpökaivoja porattiin kaikkiaan 28 kappaletta ja porakaivon halkaisija oli 140 mm. Kallio tuli vastaan porauksissa 16–19 metrin syvyydessä, sitä ennen pintamaa oli savea ja hiekkaa. Porauksiin tarvittiin pintamaan kohdalla asentaa maasuojaputki, jonka ulkohalkaisija oli 168,3 mm ja paksuus 5,0 mm. Maasuojaputki on kiinnitetty ja tiivistetty betonoimalla, sekä porattu vähintään 2,0 metriä syvälle kiinteään kallioon. Näin varmistettiin, ettei pintamaa-ainesta päässyt menemään energiakaivoon ja näin aiheuttamaan ongelmia sen toiminnalle.

Energiakaivojen porausraportista voidaan todeta, että tavoiteltu porausyvyys 380 metriä saavutettiin suurimmassa osassa energiakaivoja. Porausraportista löytyy myös porauskallistus (cm/m), mahdolliset ruhjeet kalliosta ja miltä syvyydeltä sekä minkälainen vedentulo porauksissa oli (Liite 3).

4.4 Energiakaivojen kollektoriputkien asennukset

Kun poraamisessa saavutetaan haluttu syvyys, energiakaivo täytetään ensin vedellä, ennen kuin porausterä nostetaan pois kaivosta. Tällä estetään kaivon mahdollinen tukkeutuminen, jos kallio on haurasta tai muuten helposti murenevaa ja siten kivet ja lohkareen voisivat tukkia porausreiän. Kollektoriputket pyritään siten asentamaan mahdollisimman nopeasti poraamisen jälkeen.

Jotta kollektoriputket saadaan asennettua energiakaivon pohjaan, täytetään ne ensin vedellä. Tällöin putkiin saadaan riittävästi painoa niiden asettamiseksi paikoilleen. Jos putket täytetään ensin etanoliseoksella, joka on vettä kevyempää, kollektoriputkien asennuksessa voi ilmetä ongelmia. Kuvassa 5 on näkyvissä valmiiksi kaivoon asennettuja kollektoriputkien päitä sekä kuvassa 7 porakaivojen kollektoriputkien yhdistettynä kokoomakaivoihin (Liite 1, Kuva 5 ja 7).

Putkien asennuksien jälkeen ne huuhdellaan puhtaaksi riittäväällä vedellä. Kuvassa 6 on meneillään putkien huuhtelua, johon tässä tapauksessa kuluu noin 1200 litraa vettä kollektoriputkilinjaa kohden (Liite 1, Kuva 6).

Lämmönkeruuputkiston(kollektoriputkisto) materiaali oli PE 100 SDR17 45 x 27, PN 10 ja niiden sisältämä maalämpöneste etanolipohjainen Altia Naturet 28 % -liuos, jonka pakkaskesto oli -17°C.

Maalämmön keruuputkistoja päästiin kaivamaan kerrostalojen väliseen tilaan ja asentamaan sitä mukaa kuin energiakaivojen poraukset edistyivät ja alustavat työt oli tehty. Maalämmön valmiiksi eristetyt keruuputkistot viedään maanpinnalla asennusurissa kokoomakaivoihin ja niistä edelleen keskimmäisen kerrostalon kellarissa sijaitsevaan tekniseen tilaan, mihin varsinaiset maalämpöpumput liitännälaitteineen tullaan asentamaan. Kuvassa 8 on eristetyissä suojaputkissa olevia maalämmön keruuputkia, jotka on viety ulkoseinän läpi tekniseen tilaan (Liite 1, Kuva 8).

5 MAALÄMPÖPUMPUN VALINTA- JA ASENNUSTYÖT

5.1 Maalämpöpumppu ja tekniset tiedot

Maalämpöpumpun valinta ja siihen liittyvät toimenpiteet menevät loppuvuodelle 2021 tai jopa vuoden 2022 puolelle. Tästä johtuen olen tehnyt esimerkkilaskelman käyttäen Oilon Lämpöässä laskentaohjelmaa käyttäen (Oilon Selection Tool). Käytössä on kolme RE96 maalämpöpumppua.

Syötin maalämpöpumppuohjelmaan Lapon Oy selvittämien lämmitysenergiatarpeiden pohjalta sekä yleiset tiedot AsOy Sammonkartanosta.

Maalämpöpumpulle saatiin seuraavanlainen maalämpölaskelma laskentakuviointeen (Kuvio 7):

RAKENNUKSEN TIEDOT

Sijainti	Tampere
Mitoitusulkolämpötila	-29.0 °C
Kaukolämmönkulutus	2050000.0 kWh
Asukasmäärä	650

RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUS

Tilalämmitys	1465000 kWh
Käyttövesi	585000 kWh
Lämmitysenergia yhteensä	2050000 kWh
Lämmitystehontarve	748.0 kW

LÄMMÖNLÄHDE: MAA, PORAKAIVO

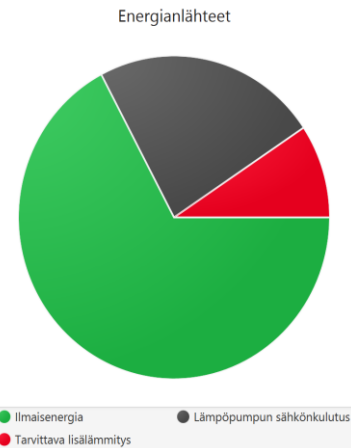
Aktiivisyvyys	12535 m
Liuoskeruupiiri on mitoitettu keskimääräisten maaperän tai vesistön ominaisuuksien mukaan. Alueellisia eroja voi olla.	
Mikäli lähtötietojen perusteella valitulla lämpöpumpulla halutaan tuottaa suunniteltua enemmän tehoa/energiaa, on se huomioitava energiakaivon pituudessa.	
Maksimi sallittu painehäviö	Huomioi maksimi sallittu painehäviö, löytyy manuaalista

ARVIO VUOTUISESTA SÄÄSTÖSTÄ TARJOAMALLAMME RATKAISULLA

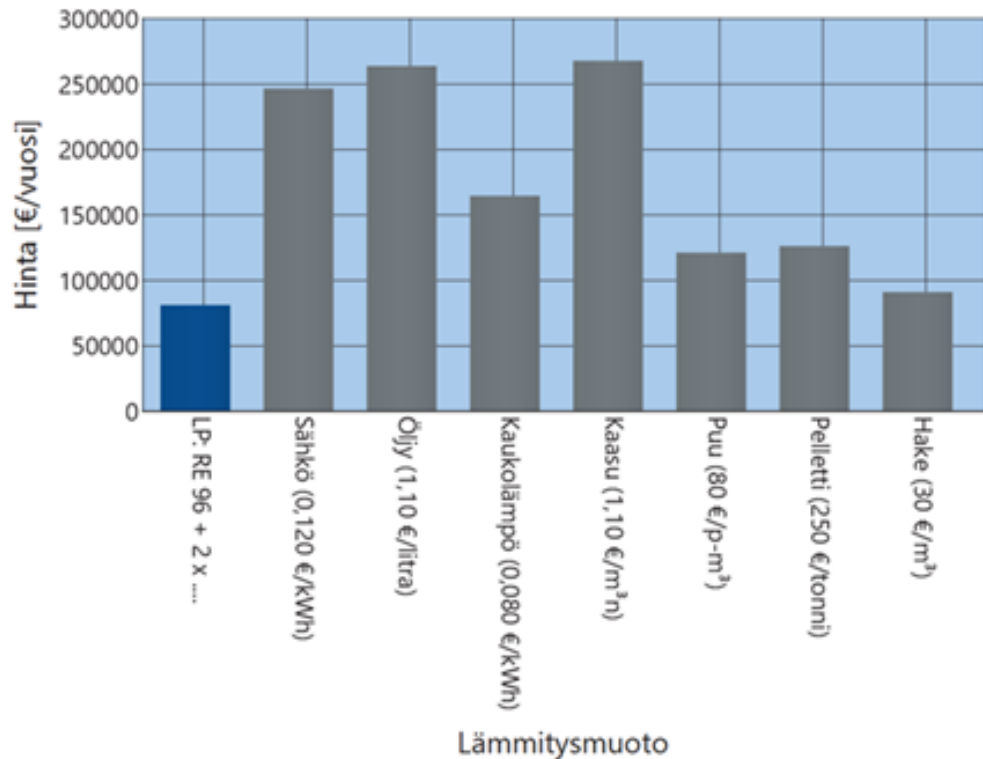
Lämmitysenergia yhteensä	2050000 kWh
Lämpöpumpun lämmöntuotto	1858018 kWh
Tarvittava lisälämmitys	191982 kWh
Ilmaisenergia	1378905 kWh
Lämpöpumpun sähkönkulutus	479113 kWh

Vuotuinen lämmityskustannus 80 531 eur
lämpöpumpulla

Lisälämmityksen tyyppin on oletettu olevan: Sähkö. Eri lämmitysmuotojen käytetyt yksikköhinnat näkyvät alla olevassa kuvaajassa.



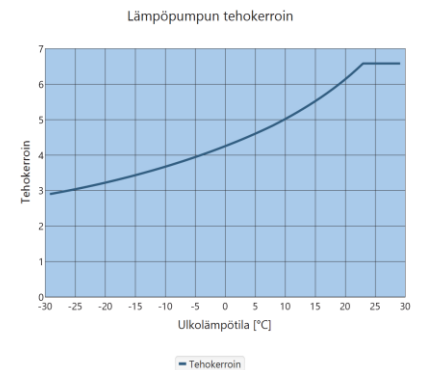
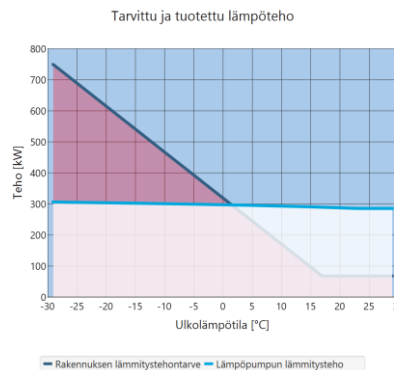
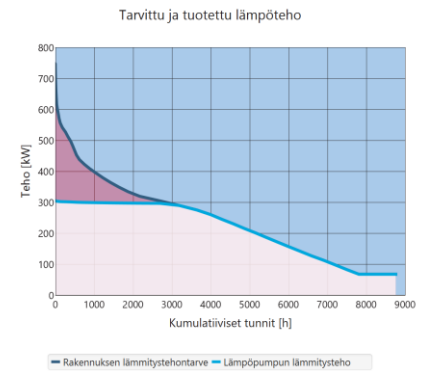
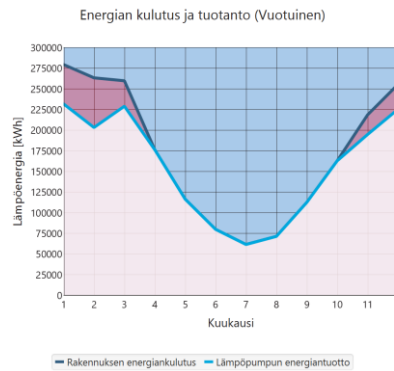
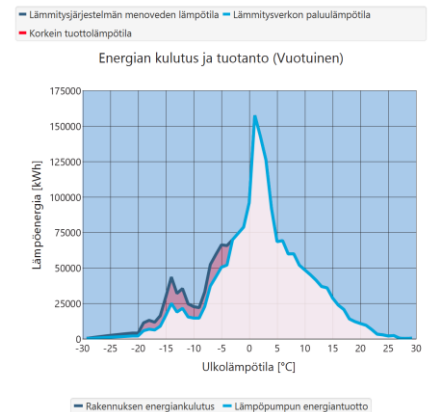
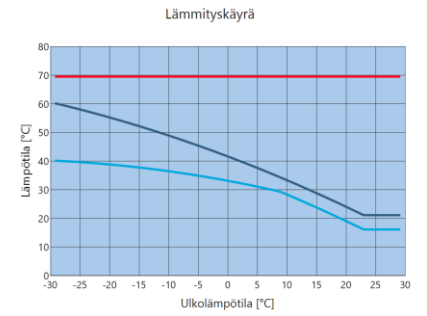
Vuotuinen lämmityskustannus



LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Menoveden lämpötila	60.0 °C
Paluulämpötila	40.0 °C
Huonelämpötila	21.0 °C
Käyttöveden lämpötila	55.0 °C

Valittu lämpöpumppu	RE 96, RE 96, RE 96
Lämpöpumpun lämmöntuotto	1858018 kWh
Tarvittava lisälämmitys	191982 kWh
Ilmaisenergia	1378905 kWh
Lämpöpumpun sähkönkulutus	479113 kWh
Lämpöpumpun osuus tehontarpeesta	41 %
Lämpöpumpun osuus vuosienergiasta	91 %
Tarvittava lisäteho	443.1 kW
COP	3,88



Kuvio 7. Oilon Lämpöässä maalämpöpumppulaskelma (Oilon Selection Tool, 2021)

Tällä laskelmalla voidaan todeta, että maalämpöpumpun kokonaisenergian tuotto on 91 % vuodessa. Tarvittava lisäteho 443,1 kW kovimpien pakkasten aikaan ja tarvittava lisälämmitys 191982 kWh vuodessa. Lapon Oy:n mittausraportissa poistoilmasta saatava teho on 100 kW luokkaa ja energiaa saataisiin 72 MWh/kk eli 864 MWh vuodessa.

Tästä voidaan päätellä, että huippupakkasella lisäsähköä tarvitaan lämmittämiseen 343 kW, mutta toisaalta kesäaikaan voidaan LTO:sta saatavaa ”ylimääräistä” lämmitystehoa ajaa energiakaivoihin lämmittämään niitä.

5.3 Maalämpöpumpun toimivuus

Myöskään maalämpöpumpun toimivuutta ei päästy tarkastelemaan opinnäytetyöhön varatun ajan puitteissa. Tulen kuitenkin seuraamaan asennettavaa maalämpöjärjestelmää ja sen toimivuutta, kunhan asennukset saadaan valmiiksi.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

AsOy Sammonkartanon projektin etenemistä on eniten haitannut koronaepidemia, koska ARA:n energiatukipäätöksen saaminen kesti yli puoli vuotta. Koko projektin aloitukselle energiatukipäätös oli ratkaiseva. Kun ARA:n päätös lopulta tuli syksyllä 2020, taloyhtiö sai nopeasti päätettyä koe-energiakaivon poraajan. Valittu koe-kaivoporaaja oli Rototec Oy, jonka pohjalta Lapon Oy pääsi tekemään omat mittauksensa energiakaivokentän mitoitusraporttia varten. Koekaivon kollektoriputkia ei kuitenkaan saatu 400 metriä syvän kaivon pohjalle vaan 265 metrin syvyyteen, koska kaivoon oli päässyt kertymään lohkareita ja roskaa neljän päivän aikana ennen kollektoriputkien asennusta. Lapon Oy:n tekemä energiakaivojen mitoitusraportti oli varsin hyvin tehty, jossa käytännön mittausten pohjalta tehdyt laskelmat vastasivat teoreettisia laskelmia.

Varsinaiseksi energiakaivokentän poraajaksi valittiin Kaivonporaus Olympia Jyväskylästä. Koekaivoporausesta opittiin, että kollektoriputket asennettiin mahdollisimman pian porareikään ja reikä täytettiin vedellä ennen asennusta, jotta tukkeutumisilta vältyttäisiin. Yksi porakaivo jouduttaneen hylkäämään, koska kollektoriputkessa on vuoto. Tähän mennessä ei ollut vielä selvillä, voidaanko sitä käyttää lämmitykseen. Häiriötä on myös aiheuttanut porakaivosta tulevan vesipiitoisen maamassan puhdistus. Maamassasta erotetaan vesi, joka puhdistetaan puhdistuskontissa ja lasketaan puhdistettuna hulevesikaivoihin. Jossain vaiheessa vedenpuhdistus ei ole toiminut moitteettomasti ja harmaata vettä on hulevesiviemäreitä myöten mennyt paikalliseen ojaan, josta ongelma on havaittu. Nyt ongelma on korjattu. Koko energiakaivokettä saatiin poratuksi viikolla 40/2021.

Kaiken kaikkiaan suuremmilta ongelmilta on tähän saakka selvitty ja maalämpöprojekti saataneen päätökseen suunnitelmien mukaan vuonna 2022.

7 POHDINTA

Kaukolämmöstä maalämpöön projektissa on edennyt melko hyvin suunnitelmien mukaan ja johtopäätöksissä näitä asioita on käyty lävitse. Maalämpö on varsinaisesti viimeisen 20 vuoden sisällä Suomessa tullut laajempaan käyttöön sekä pientaloissa kuin suuremmissa kiinteistöissä. Kiihtyvän ilmaston lämpenemisen takia haetaan ratkaisuja, joissa energian tarve on pieni ja siten pyritään estämään hiilidioksidipäästöjä. Monien suurten kaupunkien ongelmana ovat kivihiehellä ja öljyllä käyvät lämpö- ja sähkövoimalaitokset. Niiden alasajoa helpottaa, jos voidaan siirtyä energiaystävällisimpiin lämmön- ja sähköntuotantoihin. Maalämpö on yksi näistä vähän sähköä tarvitsevista lämmöntuottomuodoista.

Tässä opinnäytetyössäni olen oppinut paljon maalämpöön liittyvistä tekniikoista ja vaatimuksista maalämpöprojektin läpiviemiseen. Lähtökohtien mahdollisimman tarkka selvittäminen, maaperän geologinen tutkiminen ja lopulta koe-energiakaivon poraaminen ovat tärkeitä, jotta päästään tekemään mittauksia ja analyysyjä. Näiden pohjalta voidaan tehdä laskelmia maaperän energiantuotosta ja siten tarvittavasta kokonaisporausvyvyydestä. Varmasti maalämmön käyttöä tutkitaan tarkemminkin, varsinkin kilometrien syvyiset energiakaivot tarvitsevat lisätutkimusta, sillä vaikeudet kasvavat mitä syvemmälle porataan.

Itselleni opinnäyteprojektista on ollut hyötyä, sillä voin hyödyntää opittua tietoa nykyisessä työssäni.

LÄHTEET

Carnot'n kierto 2020. https://fi.wikipedia.org/wiki/Carnot%E2%80%99n_kierto.

Energia-avustus taloyhtiöille hakuohje 2020. Helsinki: Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskus. https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ ja _avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta 19.6.2018/844.

Hirvonen, J., Jokisalo, J. & Kosonen, R. 2021. Seasonal storage of residential exhaust air and sewage waste heat, 4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124606009>.

Hirvonen, J. 2020. Alue- ja rakennustason lämmön varastoinnin mahdollisuudet. Espoo: Aalto yliopisto. FinVAC-webinaari. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/11/3_Janne_Hirvonen_24_11_2020.pdf.

Hirvonen, J. 2021. Maalämpöpumppu + PILP. Sähköposti janne.p.hirvonen@aalto.fi. 15.6.2021. Tulostettu 15.6.2021.

Kuisma, P. 2021. Lämpöpumput ja kylmäteknikka kurssi. Rovaniemi: Lapin ammattikorkeakoulu.

Laskentapalvelut versio 1.4. (01.12.2019). https://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php.

Lämpöpumppu-Hybridisovellutus_LTOpiippu.pdf 2021. Lahti: Oilon materiaali pankki. <https://oilon.com/fi/materiaalipankki/>.

Lämpöässä käyttöohje 9/2007, 4. Lapua: https://lampoassa.fi/wp-content/uploads/2015/08/Lampoassa_V_7-30_2007_09.pdf.

Lämpöä omasta maasta 2021. Helsinki. Helsinki: Motiva. https://www.motiva.fi/files/7965/Lampo_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf.

Maalämpö 2021. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Maal%C3%A4mp%C3%B6>.

Oilon Selection Tool laskentaohjelma 2021. Lahti.

Peltokorpi, M. 4.1.2021. Energiakaivokentän mitoitusraportti. Tampere: Lapon Oy.

Resolution Trust Corp. 1980. Commonwealth Building Heat Pump. The American Society of Mechanical Engineers. <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/46-commonwealth-building-heat-pump>.

LIITTEET

- Liite 1. Kuva 1. AsOy Sammonkartano, kerrostalot.
Kuva 2. AsOy Sammonkartano, energiakaivoporauskalusto
Kuva 3. AsOy Sammonkartano, kompressorialue
Kuva 4. AsOy Sammonkartano, koe-energiakaivon maanpinta
Kuva 5. AsOy Sammonkartano, valmiita energiakaivoja kollektoriputkineen
Kuva 6. AsOy Sammonkartano, kollektoriputkien huuhtelua
Kuva 7. AsOy Sammonkartano, maalämmön kollektoriputkien haaroituskaivo sekä piha-alueella tehtäviä putkikaivauksia ja -vetoja. Knowtek Oy.
Kuva 8. AsOy Sammonkartano, energiakaivon lämmitysputkiston läpivientejä kiinteistön kellaritilassa
- Liite 2. AsOy Sammonkartano, energiakaivokenttä asemakaavakuvaan merkittynä
- Liite 3. AsOy Sammonkartano, energiakaivon porausraportti

Liite 1. Kuva 1. AsOy Sammonkartano, kerrostalot



Liite 1. Kuva 2. AsOy Sammonkartano, energiakaivoporauskalusto



Liite 1. Kuva3. AsOy Sammonkartano, kompressorauto



Liite 1. Kuva 4. AsOy Sammonkartano, koe-energiakaivon maanpinta



Liite 1. Kuva 5. AsOy Sammonkartano, valmiita energiakaivoja kollektoriputkineen



Liite 1. Kuva 6. AsOy Sammonkartano, kollektoriputkien huuhtelua



- Liite 1. Kuva 7. AsOy Sammonkartano, maalämmön kollektoriputkien haaroituskaivo sekä piha-alueella tehtäviä putkikaivauksia ja -vetoja. Knowtek Oy.



- Liite 1. Kuva 8. AsOy Sammonkartano, energiakaivon lämmitysputkiston läpivientejä kiinteistön kellaritilassa. Knowtek Oy.



Liite 3. AsOy Sammonkartano, energiakaivon porausraportti

Porausraportti
ENERGIKAIVO

Maalämpökaivojen poraus						
Porausajankohta	VK31-35/2021					
Porauspaikan osoite	As Oy Sammonkartano Sammonkatu 13-15, 33540 Tampere					
Kohteen yhteystiedot	p. +35850 515 0229 / Mäkipää Tero, KnowTek Oy					
Maalämpökaivojen lkm.	16 kpl					
Maa- ja kalliaines (noin metriä maanpinnasta):						
0 – (16–19)	- Hiekka, savi					
(16–19) – 380	- Harmaa, musta kallio					
Lisätietoja:	- Maasuojaputki on tiivistetty ja kiinnitetty betonoimalla, sekä poraamalla kiinteään kallioon vähintään 2,0 m/kaivo.					
Porauksen tiedot:						
Kaivo:	Maasuojaputki (m):	Syvyys kallioon (m):	Kokonaisyvyys (m):	Poraukallistus (cm/m):	Veden tulo:	Ruhjeet kalliosta (m):
LK. 13	18,0	16,0	380,0	3,0	Runsas	-
LK. 14	18,0	16,0	380,0	0,0	Vähäinen	-
LK. 15	18,0	16,0	380,0	6,0	Runsas	100,0
LK. 16	18,0	16,0	380,0	7,0	Vähäinen	-
LK. 17	18,0	16,0	365,0	0,0	Runsas	105,0
LK. 18	18,0	16,0	350,0	7,5	Kuiva	-
LK. 19	18,0	16,0	380,0	6,0	Runsas	-
LK. 20	18,0	16,0	300,0	0,0	Runsas	Useita
LK. 21	18,0	16,0	376,0	5,0	Vähäinen	-
LK. 22	18,0	16,0	355,0	0,0	Runsas	100,0
LK. 23	18,0	16,0	380,0	8,0	Normaali	-
LK. 24	21,0	19,0	380,0	5,0	Kuiva	-
LK. 25	21,0	19,0	380,0	3,0	Normaali	90,0 & 110,0
LK. 26	21,0	19,0	380,0	0,0	Normaali	100,0
LK. 27	21,0	19,0	343,0	8,0	Runsas	100,0
LK. 28	21,0	18,0	380,0	0,0	Runsas	-
Suojaputken ulkomitta/ paksuus	168,3 x 5,0 mm					
Porakaivon halkaisija	140 mm					
Lämmönkeruuputkiton materiaali	PE 100 SDR17 45 x 2,7 PN 10					
Maalämpöneste	Altia Naturet, -17 °C, 28 %-liuos					
Porausraportin laatinut						
08.09.2021	Tiro Vähäkangas					



KAIVONPORAUUS
OLYMPIA

© 2020 Kaivonporaus Olympia Oy | Lääkärinkuja 5, 41800 Korpilahti | 0400 493 371 | info@kaivonporaus.fi