

Oiva Partanen

**JÄÄTYMISONGELMAISEN MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUKSEN  
TARKISTUS**

# **JÄÄTYMISONGELMAISEN MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUKSEN TARKISTUS**

Oiva Partanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma, Energiatekniikka

---

Tekijä: Oiva Partanen

Opinnäytetyön nimi: Jäätymisongelman maalämpöjärjestelmän mitoituksen tarkistus.

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Freezing Problem of Geothermal Heat Pump System

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: 5/2021

Sivumäärä: 25 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyön kohteena oli asuinkiinteistö Haukiputaan Kellossa. Tilaajana oli kohteen isännöitsijä. Kohteessa oli viiden energiakaivon kaivokenttä, joka oli jäähtynyt viimeisten vuosien aikana liikaa, joten maalämpöpumppu oli sammunut kaivosuojan vuoksi useita kertoja. Tavoitteena oli tarkistaa maalämpöjärjestelmän kaivokentän mitoitus ja tarkastella ratkaisua maalämmön rinnalle toiseksi lämmitysjärjestelmäksi tai selvittää toimenpiteitä kaivojen toiminnan parantamiseksi.

Tiedonkeruu toteutettiin tilaajalta kyselemällä sekä kohteesta laitteita ja järjestelmää tutkimalla. Kaivokentän mitoitus tarkistettiin kolmella eri tavalla. Esimerkkinä mitoitus tehtiin epätarkalla geoenergiapotentialimenetelmällä. Tarkempi mitoittaminen tehtiin laskemalla keskimääräisen tehon menetelmällä kaivojen kapasiteetti. Vielä varmuudeksi kaivokentän jäähtymistä tarkkailtiin Energy Earth Designer -ohjelmistolla.

Kaivokentän havaittiin olevan huomattavasti liian pieni. Tarvittava lisäenergian tarve laskettiin ja tarkistettiin, että toimeksiantajalle tarjottu vesi-ilmalämpöpumppu nykyisen lämpöpumpun rinnalle olisi toimiva ratkaisu järjestelmän toiminnan korjaamiseksi. Todettiin, että tarjottu vesi-ilmalämpöpumppu nykyisen maalämpöpumpun rinnalla riittäisi tyydyttämään kohteen energiatarpeen. Lisäksi käytiin läpi aurinkolämmön hyödyntämistä liikaa jäähtyneen kaivokentän elvyttämiseksi.

Johtopäätöksenä saatiin yleisellä tasolla varmuus siitä, että varsinkin suuremmissa kohteissa energiajärjestelmiä saneerattaessa olisi laskelmat ja mitoitus hyvä tarkistuttaa jollain kolmannella osapuolella. Esimerkiksi Insinööritoimistolla tai kilpailevalla toimittajalla. Lisäksi havaittiin että kaivokentän elvytystä aurinkoenergialla on haastava mitoittaa, koska kyseisistä järjestelmistä ei löydy mittausdataa. Pohjaveden virtauksien ja kallion koostumuksen vaikutusta kaivon elvyttämiseen ei ollut vielä tarpeeksi tieteellisesti tutkittu. Suositeltiin vesi-ilmalämpöpumpun asentamista nykyisen järjestelmän rinnalle lämmitysenergiaa tuottamaan. Lisäksi suositeltiin pientä noin 10 m<sup>2</sup>:n aurinkokeräinjärjestelmää elvyttämään kaivokenttää joka on tällä hetkellä jäähtynyt huomattavasti liian kylmäksi.

---

Asiasanat: maalämpö, energiakaivo, porakaivo, lämpökaivo, mitoitus, vesi-ilmalämpöpumppu, aurinkoenergia, aurinkokeräin

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA .....	6
2.1	Maalämpökaivo .....	8
2.2	Lämpökaivon alimitoitus ja jäätymisongelma.....	9
3	TOIMEKSIANTO JA LÄHTÖTIEDOT .....	11
3.1	Energiakaivot.....	11
3.2	Kulutustiedot.....	13
3.3	Mittaukset.....	14
4	MITOITUS .....	15
4.1	Kaivon kuormitus.....	15
4.2	300 metrin geoenergiapotentiaali .....	15
4.3	Porakaivon syvyyden arviointi keskimääräisen tehon perusteella .....	17
4.4	Mitoitus EED-ohjelmalla .....	18
5	LISÄLÄMMÖNLÄHDE .....	23
5.1	VILP lisälämmönlähteenä.....	23
5.2	Energiakaivojen elvytys aurinkolämmöllä .....	24
6	POHDINTA .....	26
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET .....	27

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkistaa vuonna 2011 asennetun maalämpöjärjestelmän energiakaivojen mitoitus. Maalämpöjärjestelmä sijaitsee Haukiputaan Kellossa. Kohteessa on viisi kappaletta 230 metriä syviä energiakaivoja. Mitoituksen tarkistaminen tuli ajankohtaiseksi, koska maalämpöpumppu on kahtena vuotena peräkkäin sammunut useita kertoja kaivosuojan aktivoituessa. Lisäksi tavoitteena oli tarvittaessa mitoittaa ainakin kaksi erilaista lämmitysjärjestelmää maalämmön rinnalle.

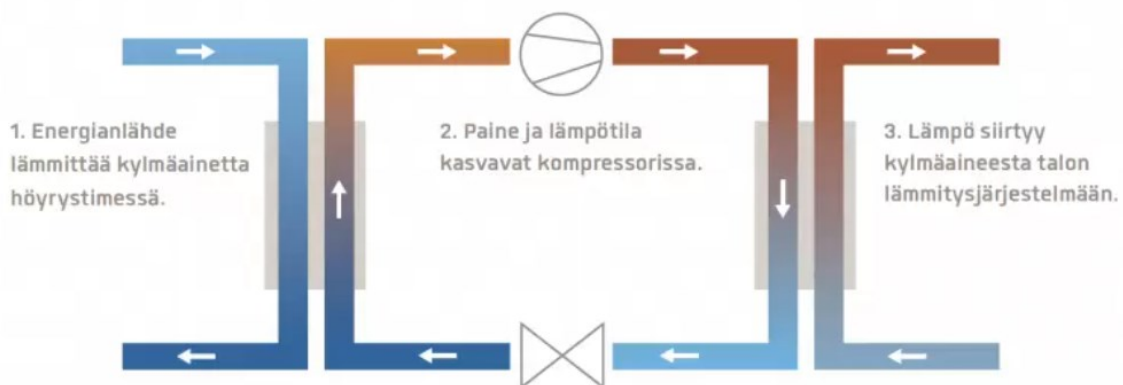
Tiedon saanti kohteesta ja varsinkin kaivoista oli melko puutteellista, koska LVI-urakoitsija ei ollut toimittanut aikanaan kunnollisia loppudokumentteja tilaajalle. Kohteessa mitattiin myös kaivojen nestekierto, koska oli epäily, että niitä ei ollut säädetty tasapainoon.

Energiakaivojen mitoitusta tarkasteltiin laskemalla tarvittava ja teoreettisesti kaivoista saatava energia vertaillen niitä keskenään. Laskennan tuloksia verrattiin myös Earth Energy Designer ohjelmalla tehtyyn mitoitukseen. Laskennan lähtöarvoina olivat kallion tyyppi, kaivojen syvyys, maakerroksen paksuus ja kaivojen kappalemäärä. Lisäksi laskennassa käytettiin vanhan öljylämmityksen polttoaineenkulutukseen perustuvaa mitoitustehoa, jolle järjestelmä oli aikoinaan mitoitettu.

## 2 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

Maalämpöjärjestelmä käyttää lämmönlähteenään hyvin viileää matalalämpöenergiaa. Lämpöpumpun kompressoriteknikan avulla alle 5 °C:n keruunesteestä saadaan tuotettua jopa 65-asteista vettä lämmityksen ja käyttöveden lämmitykseen. Maalämpöpumppu käyttää energianlähteenään maaperän lämpöä. Energia otetaan talteen maahan kaivettua keruupiiriä tai porakaivoa hyödyntäen. Jos kiinteistö sijaitsee riittävän suuren vesistön rannalla, keruupiiri voidaan laskea riittävän syvälle pohjaan ja kerätä lämpöä vesistöstä. Yleisin lämmönkeruutapa on kuitenkin porakaivo sen vaatiman pienen pinta-alan vuoksi.

Kuvassa 1 on havainnollistettu yksinkertaisella kaaviolla maalämpöpumpussa kiertäviä nesteitä ja kylmäainetta. Keskellä on kylmäainekierto. Kuvan yläreunassa kylmäainekaasun painetta nostetaan kompressorissa, ja samalla kaasun lämpötila nousee jopa yli 100 °C:n lämpötilaan. Kuuma kylmäainekaasu johdetaan lämmönsiirtimeen eli lauhtuttimeen, jossa kaasu tiivistyy nesteeksi eli lauhtuu ja samalla luovuttaa energiaa lämmitettävään veteen. Seuraavaksi nesteeksi muuttunut kylmäkaasu johdetaan paisuntaventtiin, jossa kylmäaineen paine laskee ja samalla lämpötila laskee noin -2 ... -10 °C:seen ja kylmäaine höyrystyy osittain. Höyrystinsiirtimellä kylmäaine höyrystyy kaasuksi. Olomuodon muutos vaatii energiaa ja tämä energia otetaan keruupiiristä, jolloin keruupiirin lämpötila laskee. Keruupiirin vesi palaa takaisin maapiiriin lämpiämään, ja kaasuuntunut kylmäaine jatkaa kompressorille.

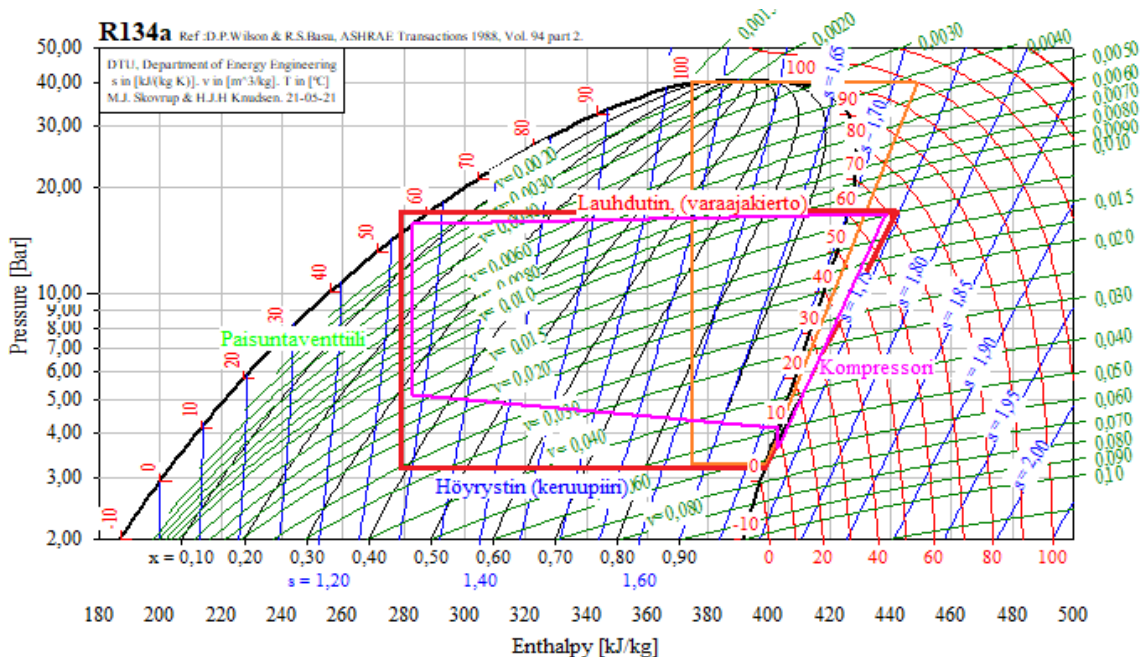


KUVA 1. Maalämpöpumpun toimintakaavio (1)

Maalämpöpumppujen lämpökerroin COP on yleensä ilmoitettu ja nykyisin myös vuosihyötysuhde tai vuosilämpökerroin SCOP. Myyntiesitteessä ilmoitetun COP-luvun määrittämiseen on olemassa

standardi, jonka mukaan COP on määritelty. Kuitenkin paremman vertailuarvon saa SCOP-arvosta, joka on kaikissa Suomessa myytävissä pumpeissa ilmoitettu Helsingin ilmasto-olosuhteiden mukaisesti ja ilmaisee vuosilämpökertoimen eli vuoden keskimääräisen lämpökertoimen. Molemmissa tapauksissa kerroin ilmaisee, kuinka monta yksikköä lämpöenergiaa saadaan yhdellä yksiköllä sähköä. Esimerkiksi jos ilmoitettu arvo on 3,1, yhdellä kilowatilla sähköä saadaan 3,1 kW lämpöenergiaa.

Kuvasta 2 nähdään kylmäainekierto kylmäaineen log-ph-diagrammissa. Vaaka-akselilla on kylmäaineen entalpia eli käytännössä energiasisältö kilojouleina yhtä kylmäainekilogrammaa kohden. Muita luettavia arvoja ovat paine pystyakselilla, lämpötila punaisella, tiheys vihreällä ja entropia sinisellä viivalla esitettyinä. Lisäksi kuvaan on merkattu kaarevalla mustalla käyrällä kylmäaineen olomuotoraja. Jos olosuhdepiste on käyrän vasemmalla puolella, kylmäaine on nestettä, ja jos taas oikealla, se on kaasua. Käyrän alapuolella oleva alue on kaasun ja nesteen sekoitusta.



KUVA 2. Kylmäainekiertoja log-ph diagrammissa. (CoolPack)

Punaisella piirretty suorakulmainen puolisuunnikas on ideaalinen, häviötön kylmäainekierto. Oikealla puolella, missä punainen viiva menee yläviistoon, kompressorin nostaa kylmäkaasun painetta ja samalla kylmäaineen lämpötila nousee. Seuraavaksi viiva jatkuu vasemmalle, ja kylmäaine on siirtynyt lauhduttimeen ja alkaa muuttua nesteeksi ja samalla jäähtyy hieman. Pystysuora viiva vasemmalla kuvaa paisuntaventtiilin toimintaa. Paine laskee venttiilillä, ja samalla osa nesteestä alkaa höyrystymään. Alhaalla höyrystimessä loputkin kylmäaineesta höyrystyy

ennen kompressoria, josta kierto jatkuu samanlaisena. Lila väri kuvaa kylmäainekompressorin normaalia toimintaa. Käytännössä putkissa, lauhduttimessa ja höyrystimessä tapahtuu aina jonkin verran painehäviötä.

Kolmantena on piirretty oranssi kylmäprosessi, joka kuvaa tilannetta, jossa lämpöpumppu tuottaa hyvin lämmintä vettä, esimerkiksi käyttövettä. Kuumakaasun lämpötila pitää nostaa korkeaksi, että lämpöä saadaan siirtymään lauhduttimella tehokkaasti. Punaista ja oranssia kiertoa vertaamalla voidaan havaita lämpöpumpun lämpökertoimen muuttumisen tuotettavan lämpötilan mukaan. Punaisessa kierrossa kompressorin toimintajakson ja lauhduttimen jakson välinen suhde on noin 3,8 Lauhduttimen osuuden, ylhäällä oleva vaakaviivan siirtymä sivusuunnassa on 3,8 kertaa suurempi kuin kompressorin toimintajakson aikainen siirtymä. Oranssissa vastaava suhde on 1,48. Lämpökertoimen voi laskea kaavalla 1

$$COP = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad \text{KAAVA 1}$$

$h_1$  = Entalpia ennen kompressoria

$h_2$  = Entalpia kompressorin jälkeen

$h_3$  = Entalpia lauhduttimen jälkeen

$$COP = \frac{449 \text{ kJ/kg} - 375 \text{ kJ/kg}}{449 \text{ kJ/kg} - 399 \text{ kJ/kg}} = 1,48$$

## 2.1 Maalämpökaivo

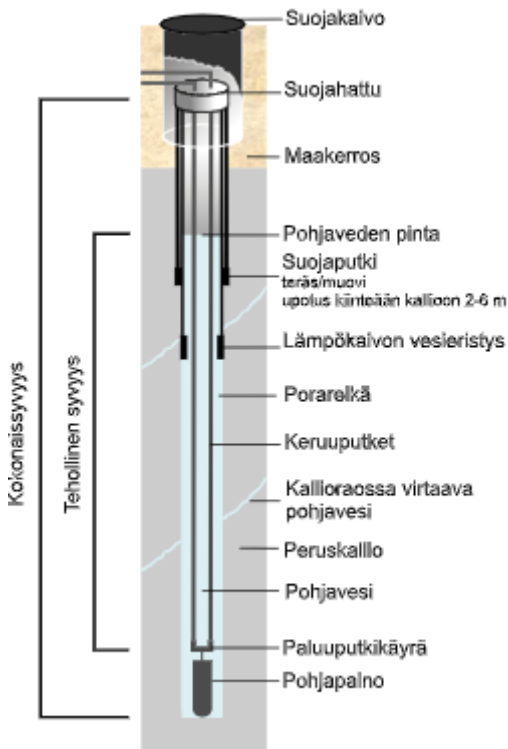
Opinnäytetyön kohteena olevassa kiinteistössä on energiankeruutapana kaivokenttä. Tämä tarkoittaa, että lämpökaivoja on kytketty useampi rinnan ja keruuneste yhdistyy yhteen putkeen ennen maalämpöpumppua ja höyrystimeen menemistä.

Kuvasta 3 nähdään maalämpökaivon rakenne. Suojakaivo voidaan jättää myös kokonaan maan alle, joten kaivoa ei näe ollenkaan maan päällä. Maakerroksen osalle lämpökaivoon täytyy asentaa suojaputki. Tästä syystä maakerrokseen poratut metrit ovat kalliimpia kuin kalliioon poratut. Jos kohteessa on paljon maata ennen kalliota, tulee varautua suurempiin porauskustannuksiin.

Kaivon tehollinen syvyys lasketaan pohjaveden pinnasta alaspäin, koska pohjaveden yläpuolella kaivossa oleva ilma on huono lämmönvälittäjäaine eikä sillä osalla lämmön siirtymistä juurikaan tapahdu. Kaivon tehollinen pituus mitoitetaan tarvittavan energian, kallion ominaisuuksien ja kohteen



sijainnin perusteella. Lopullinen kaivo porataan kohteen pohjaveden korkeus ja maapeitteen paksuus huomioon ottaen.



KUVA 3. Maalämpökaivon rakenne (2, s. 35)

## 2.2 Lämpökaivon alimitoitus ja jäätymisongelma

Jos kaivo mitoitetaan liian matalaksi, tulee kaivon käytön aikana ongelmaksi kaivon jäähtyminen liian kylmäksi, jolloin keruunesteen lämpötila laskee paljon pakkasen puolella ja keruuputken ympärillä oleva pohjavesi jäätyy putken pintaan. Veden jäätyessä keruuputken ympärille lämpö ei enää siirry kalliosta keruuputkiin yhtä tehokkaasti kuin normaalisti. Lisäksi lämpöpumpun hyötysuhde laskee sitä pienemmäksi, mitä kylmempää keruuneste on. Kaivon tuottokapasiteetti romahtaa, eikä kaivosta saada tarvittavaa tehoa, joten lämpöpumpun automatiikka lämmittää vettä suoraan sähkövastuksilla. Lopulta keruunesteen tarpeeksi jäähtyessä automatiikka sammuttaa lämpöpumpun kokonaan, jolloin vettä lämmitetään pelkästään sähkövastuksilla.

Kaivon jäätyminen voi joissain tapauksissa aiheuttaa keruuputkien litistymisen. Keruuputkien litistymiseen liittyvän tutkimuksen, Luulajan yliopistossa tehdyn lopputyön mukaan sitä voi aiheuttaa kaksi erillistä jäätulppaa, joiden välissä olevan nesteen jäätyminen aiheuttaa niin kovan

paineen, että putket litistyvät. Suurimmassa osassa jäätyviä kaivoja tätä ongelmaa ei ole havaittu. Litistymistä tapahtuu enemmän lämpökaivoissa, joissa maakerroksen läpi menevä teräsputki on kovin pitkä. (3.)

### 3 TOIMEKSIANTO JA LÄHTÖTIEDOT

Toimeksiantajalla oli isännöintikohteessaan maalämpöjärjestelmä, joka oli vaihdettu öljylämmityksen tilalle vuoden 2011 loppupuolella. Edellisten kahden vuoden aikana energiakaivot olivat jäähtyneet liikaa ja maalämpöpumppu oli sammunut suurimpien kulutushuippujen aikana, kun kiertonesteen lämpötila laski alle  $-9\text{ °C}$ :seen. Käytännössä kovimman tarpeen aikaan lämmitys oli pelkästään sähkövastusten varassa ja asuntojen sisälämpötilat alkoivat laskea. Kaivot siis vaikuttivat alimitoitetuilta. Tuli tarve laskea kaivojen mitoitus uudelleen ja tarkastella tarvittavan lisälämmönlähteen rakentamista maalämmön rinnalle.

Maalämpöjärjestelmän asennuksen dokumentaation puutteen vuoksi toimeksiantaja kysyi LVI-urakoitsijalta kaiken mahdollisen tiedon, jonka sieltä sai. Lisäksi yksi taloyhtiön asukkaista oli kerännyt aiemmin öljynkulutustietoja ja maalämmön asentamisen jälkeen sähkö- ja käyttövesimittareiden lukemia säännöllisesti ylös. Näistä muistiinpanoista oli apua, kun tarkisteltiin, onko kohteen energiankulutus muuttunut tarkastelujakson aikana.

Vuonna 2011 kohteeseen saneerattiin vanhan öljylämmityskattilan tilalle maalämpöjärjestelmä. Vuosittainen öljynkulutus aikaisemmin oli ollut noin  $18\text{ m}^3$ . Energiankulutus vanhan kattilan oletetulla 80 %:n hyötysuhteella lämmityksessä ja käyttövedessä on vuositasolla yhteensä noin  $144\ 000\text{ kWh}$ , jonka perusteella maalämpöjärjestelmän mitoitus oli tehty.

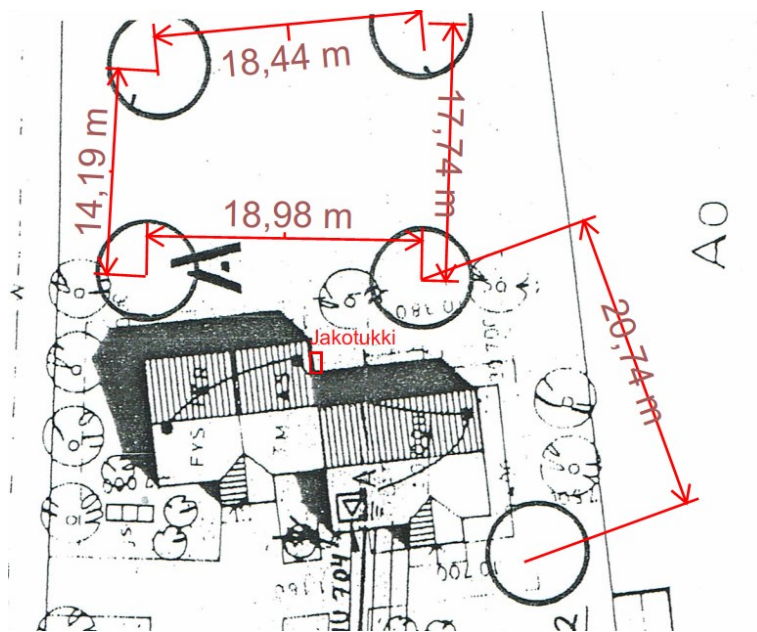
Kohteeseen oli valittu Alpha Innotec SWP 500 H -lämpöpumppu vaihtoventtiilillä sekä 500 litran käyttövesivaraaja ja 500 litran lämmitysvaraaja, jossa on  $18\text{ kW}$ :n sähkövastukset. 2017 lisättiin toinen käyttövesivaraaja, koska käyttövesi jäähtyi hetimitäin liian paljon kulutushuippujen aikana. Lämmönjakotapa oli vesikiertoinen patterilämmitys käyrällä  $+20\text{ °C}/+25\text{ °C}$ ,  $0\text{ °C}/+45\text{ °C}$  ja  $-20\text{ °C}/+65\text{ °C}$ . Lämpöpumpun mitoituksessa urakoitsijan käyttämä COP oli ollut 3,1.

#### 3.1 Energiakaivot

Kohteessa on viisi kappaletta 230 metriä syviä energiakaivoja erillisillä putkituksilla ja linjasäädöllä. Maaperän paksuus on 20 metriä, ja pohjaveden syvyys ei ole tiedossa. Kallioperä on Muhosmuodostumaan kuuluvaa savikiveä (4). Savikiven lämmönjohtavuus on huomattavasti muita

kivilajeja huonompi. Muhos-muodostumalle tyypillisellä kalliolla lämmönjohtavuus on noin 2,0–2,4 W/mK, ja Oulun seudulla maankamaran pintaosan lämpötila on noin 4–4,5°C (4).

Energiakaivoista ei löytynyt mitään dokumenttia. Urakoitsija muisteli, että kaivojen halkaisija olisi noin 127–115 mm ja kollektorit 40 mm:n PEM-putkea. Putkikoko täsmää näkyvillä oleviin putkiin. Putket oli yhdistetty jakotukilla lämpöpumppuhuoneen ulkopuolella olevassa kotelossa. Kaivojen keskimääräinen etäisyys oli hiukan alle 18 metriä (kuva 4).



KUVA 4. Energiakaivojen sijainnit kohteessa ja etäisyydet toisiinsa nähden

Jostain syystä linjasäätöventtiilit olivat kaivoon menevällä puolella väärinpäin. Tämä viittaisi siihen, että putket olivat menneet ristiin lämpöpumppua asennettaessa. Tämä ei vaikuta merkittävästi kierron toimintaan, mutta TA-STAD-linjasäätöventtiilin mittaustarkkuus on heikompi väärinpäin asennettuna (5). Kuvassa 5 pinnasta jäätyneet linjasäätöventtiilit.



Kuva 5. Jakotukin linjasäätöventtiileihin kerääntyy kondenssivettä, joka jäätyy venttiilin runkoon, koska menopuolen liuos on pakkasen puolella.

### 3.2 Kulutustiedot

Käyttöveden vesimittarista on kerätty tiedot ylös kuukausittain. Käyttöveden kulutusta tarkasteltiin vuositasolla ja laskettiin siitä käyttöveden lämmitykseen mennyt energia olettaen, että käyttövedestä 40 % olisi lämmintä kaavan 1 mukaan (6).

$$Q_{LKV} = \frac{Vn\rho c\Delta t}{3600} \quad \text{KAAVA 1}$$

$Q_{LKV}$  = Lämpimän käyttöveden tuotantoon tarvittava energia vuodessa

$V$  = Käyttöveden tilavuus,  $m^3$

$n$  = Lämpimän käyttöveden osuus, %

$\rho$  = Veden tiheys,  $kg/m^3$

$c$  = veden ominaislämpökapasiteetti,  $kJ/kgK$

$\Delta t$  = lämpötilaero kylmällä ja lämpimällä käyttövedellä,  $^{\circ}C$

$$= \frac{1641m^3 * 40\% * 1000kg/m^3 * 4,7kJ/kgK * (55^{\circ}C - 5^{\circ}C)}{3600} = 38199kWh$$

Taulukossa 1 on esitetty kylmän veden kulutus ja laskettu lämpimän veden lämmitysenergia vuosina 2013–2019. Taulukosta nähdään, että 2018 käyttöveden kulutus on ollut suurempaa, ja muulloin kulutus on pysynyt hyvin pienen vaihteluvälin sisällä.

TAULUKKO 1. Käyttöveden kulutuslukemat vuosina 2013–2019

Vuosi	KV m <sup>3</sup>	Q LKV[kW]
2013	1641	38199
2014	1562	36360
2015	1598	37198
2016	1701	39596
2017	1617	37640
2018	2078	48371
2019	1705	39689

### 3.3 Mittaukset

Energiakaivojen kaikkien linjasäätöjen ollessa täysin auki heräsi epäily, että kaivojen virtaustasapainoa ei olisi säädetty asennusvaiheessa. Kaivojen virtaukset ja paluulämpötilat mitattiin kaivojen kuormituksen arvioinnin vuoksi. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 2. Taulukosta havaittiin, että yhden kaivon virtaus oli muita pienempi ja todennäköisesti ko. kaivo ei ole kuormittunut yhtä paljon kuin muut. Muita linjasäätöventtiilejä yritettiin kuristaa, mutta virtaus ei jostain syystä noussut tässä yhdessä kaivossa.

TAULUKKO 2. Energiakaivojen mittaustulokset

	k-arvo	$\Delta p$ (kPa)	Virtaus (l/s)	Paluuveden t(°C)
Kaivo 1	14,2	1,54	0,49	-1,4
Kaivo 2	14,2	1,78	0,53	-1,3
Kaivo 3	14,2	0,83	0,36	-0,4
Kaivo 4	14,2	0,5	0,28	0,4
Kaivo 5	14,2	1,44	0,47	-0,5

## 4 MITOITUS

On erilaisia tapoja arvioida tai mitoittaa energiakaivon tuottopotentiaalia. Tässä kohteessa mitoitettiin kaivot kolmella tavalla ja vertaillaan eri tapoja ja niiden hyviä ja huonoja puolia. Aluksi tarkastellaan kaivon kuormitukseen liittyvä laskelma ja sen jälkeen tehdään erilaisia energiakaivojen mitoituksia.

### 4.1 Kaivon kuormitus

Öljynkulutukseen perustuvan energiankulutuksen ja lämpöpumpun hyötysuhteen avulla laskettiin energiakaivoista tarvittavan energian määrän vuodessa kaavalla 2.

$$Q_{kaivomit} = \frac{Q}{COP} * (COP - 1) \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q_{kaivomit}$  = kaivon mitoitusenergia vuodessa, kWh

Q = mitoitusenergia vuodessa, kWh

COP = mitoituksessa käytetty maalämpöpumpun lämmöntuottokerroin

$$= \frac{144000kWh}{3,1} * (3,1 - 1) = 97548kWh$$

### 4.2 300 metrin geoenergiapotentiaali

Geologian tutkimuskeskuksen maankamara-karttapalvelu ilmoittaa jokaiseen paikkaan arvioidun 300 metrin energiakaivon vuotuisen uusiutuvan geoenergiapotentiaalin (7). Se on arvioitu laskennallisesti simuloimalla lämmön siirtymistä maankamarassa aksiaalisymmetrisen energiakaivomallin avulla (8). Geoenergiapotentiaali ei sellaisenaan sovellu energiakaivojen tai -kaivokentän mitoittamiseen. Se on työkaluna kätevä, kun maalämmön potentiaalia arvioidaan alustavasti. Tässä työssä haluttiin kuitenkin tuoda esille vertailun vuoksi myös tällainen karkea mitoitusvaihtoehto. Kuvassa 6 on kuvakaappaus karttapalvelusta.



KUVA 6. Näkymä maankamara karttapalvelusta (8)

Tutkittavan kohteen kohdalle karttapalvelu ilmoitti uusiutuvaksi tehoksi 300 metrin kaivolla 3378 wattia. Koska kohteessa oli vain 230 metriä syvät kaivot ja maaperän lämpötila on suhteellisen vakaa viidentoista metrin syvyydestä lähtien, laskettiin kohteen yksittäisestä kaivosta saatava teho karkeasti kaavalla 3.

$$\phi_{230} = \frac{l}{300m} * W \quad \text{KAAVA 3}$$

$\phi_{230}$  = 230 metrisen kaivon teho, kW

l = kaivon tehollinen pituus, m

W = maankamara-karttapalvelun ilmoittama 300 metrin geopotentiaali

$$= \frac{230m}{300m} * 3378W = 2590W = 2,59kW$$

Viiden kaivon yhteinen energiamäärä vuodessa saatiin kertomalla tulos kaivojen lukumäärällä ja ajalla eli yhden vuoden tuntimäärällä (kaava 4).

$$Q_{vuosi} = \phi_{230} * n * t \quad \text{KAAVA 4}$$

$Q_{vuosi}$  = kaivojen energiantuotto vuodessa, kWh

n = kaivojen lukumäärä

t = aika, h

$$= 2,59kW * 5 * 8760h = 113433kWh$$



Tällainen laskutapa on hyvin epätarkka. Laskuissa käytettiin kaivopituutta 230 metriä eli koko kaivoa, koska geoenergiapotentiaalin laskemisessa on otettu kallioperän ja kohteen sijainnin ohella huomioon muun muassa maakerroksen arvioitu paksuus ja pohjaveden arvioitu syvyys. Tämän laskutavan mukaan kaivojen uusiutuvan energian pitäisi riittää kohteen käyttöön.

### 4.3 Porakaivon syvyyden arviointi keskimääräisen tehon perusteella

Porakaivosta saatava keskimääräinen teho voidaan arvioida, kun tiedetään kaivon syvyys ja halkaisija, haluttu minimilämpötila kalliassa, kallion alkulämpötila ja lämmönjohtavuus. Tässä laskennassa kaivon syvyydellä tarkoitetaan aktiivisyvyyttä. Pohjaveden korkeus ei ollut tiedossa, mutta laskennassa käytettiin kallion pintaa aktiivisyvyyden alkuna, eli aktiivisyvyys oli 210 metriä. Kallion minimilämpötilana käytettiin 0,5 °C, jotta pohjavesi ei alkaisi jäätymään kallion sisällä. Kaavalla 5 laskettiin yhden kaivon keskimääräinen teho.

$$\phi_{\text{kaivo}} = \frac{2 * \pi * \lambda * H * (T_0 - T_B)}{\ln\left(\frac{H}{d}\right)} \quad \text{KAAVA 5}$$

$\phi_{\text{kaivo}}$  = kaivon jatkuva uusiutuva teho, kW

$\lambda$  = kallion lämmönjohtavuus, W/mK

H = kaivon aktiivisyvyys, m

$T_0$  = kallion lämpötila lähtötilanteessa, °C

$T_B$  = kallion minimilämpötila, °C

d = kaivon halkaisija, m

$$= \frac{2 * \pi * 2,4 * 210\text{m} * (4,5^\circ\text{C} - 0,5^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{210\text{m}}{0,127\text{m}}\right)} = 1,71\text{kW}$$

Yhdestä kaivosta saataisiin 1,71 kW jatkuvaa tehoa. Kaivoja on viisi kappaletta, joten kerrottiin yhden kaivon teho viidellä ja vuoden tuntimäärällä niin saatiin vuotuinen kaivosta otettavissa oleva uusiutuva energia (kaava 6).

$$Q_{\text{kaivo}} = \phi_{\text{kaivo}} * n * t \quad \text{KAAVA 6}$$

$Q_{\text{kaivo}}$  = uusituva energia vuodessa, kWh

$$= 1,71\text{kW} * 5 * 8760\text{h} = 74866\text{kWh}$$

Kun verrattiin kaivoista saatavaa energiaa maaperästä tarvittavaan energiaan, 230 metrin kaivoja pitäisi olla vielä noin 1,5 kappaletta lisää. Nykyisellä käytöllä maaperä kaivojen ympäristössä jäähtyisi liian nopeasti ja kaivot jäätyisivät.

Lisäksi laskettiin tarvittava lisälämmitysenergian määrä niin, että kaivot eivät ylikuormittuisi. Kaavassa 7 laskettiin todellinen maalämpöpumpulla saatava lämpöenergia ja kaavalla 8 puuttuva energiamäärä verrattuna mitoitustehoon.

$$Q_{\text{todellinen}} = \frac{Q_{\text{kaivo}}}{(\text{COP}-1)} * \text{COP} \quad \text{KAAVA 7}$$

$Q_{\text{todellinen}}$  = Lämpöpumpun tuottama todellinen lämpöenergia, kWh

$$= \frac{74866\text{kWh}}{(3,1-1)} * 3,1 = 110517\text{kWh}$$

$$Q_{\text{puuttuva}} = Q - Q_{\text{todellinen}} \quad \text{KAAVA 8}$$

$Q_{\text{puuttuva}}$  = mitoitustehon ja lämpöpumpulla kaivoista saatavan uusiutuvan energian erotus, kWh

$$= 144000\text{kWh} - 110517\text{kWh} = 33483\text{kWh}$$

#### 4.4 Mitoitus EED-ohjelmalla

Earth Energy Designer on energiakaivokenttien mitoitukseen suunniteltu simulointiohjelma, joka laskee kaivojen lämpötilan muutokset annettujen lähtötietojen mukaan useamman vuoden ajalta tai vastaavasti määrittää tarvittavan kaivopituuden syötettyjen tietojen perusteella. Ensin syötettiin maaperän parametrit (kuva 7). Lämmönjohtavuus ja lämpökapasiteetti on otettu EED-ohjelman materiaalipankista savikiven mukaan, ja maaperän lämpövirta saatiin niin ikään materiaalipankista Oulun paikkatiedolla.

Ground properties ×

Thermal conductivity	<input type="text" value="2,200"/>	<input style="border: 1px solid #ccc;" type="button" value="?"/>	W/(m·K)
Volumetric heat capacity	<input type="text" value="2,300"/>	<input style="border: 1px solid #ccc;" type="button" value="?"/>	MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Ground surface temperature	<input type="text" value="4,500"/>	<input style="border: 1px solid #ccc;" type="button" value="?"/>	°C
Geothermal heat flux	<input type="text" value="0,04000"/>	<input style="border: 2px dashed #000;" type="button" value="?"/>	W/m <sup>2</sup>

KUVA 7. Maaperän ominaisuudet EED-ohjelmassa

Seuraavaksi ohjelmaan syötettiin kaivojen tiedot. Konfiguraatio oli 5 kaivoa 3 x 2 -muodostelmassa. Syvyydet olivat 230 metriä ja etäisyys keskiarvona 17,9 metriä. Kaivojen halkaisijana käytettiin 120 mm ja kaivon täytteen eli veden lämmönjohtavuutena 0,06 W/mK. Virtausten keskiarvon mukaan yhden kaivon virtaus oli 0,43 l/s. U-putki vakio PEM 40 mukaan. Putkien etäisyys kaivossa ei ole tiedossa, mutta käytettiin ohjelman ehdottamaa 70:ää millimetriä. (Kuva 8.)

Borehole and heat exchanger

**Borehole**

Type: Single-U

Config: 102 ?  
102 ("5 : 3 x 2, U-configuration")

Depth: 230,00 m

Spacing: 17,90 m

Diameter: 120,000 ? mm

Contact resistance pipe/filling: 0,0000 (m·K)/W

Filling thermal conductivity: 0,600 ? W/(m·K)

Vol. flow rate Q:  
 for all boreholes  per borehole 0,430 l/s

Series factor (1=parallel): 1 Qbh=Q=0,43 l/s

---

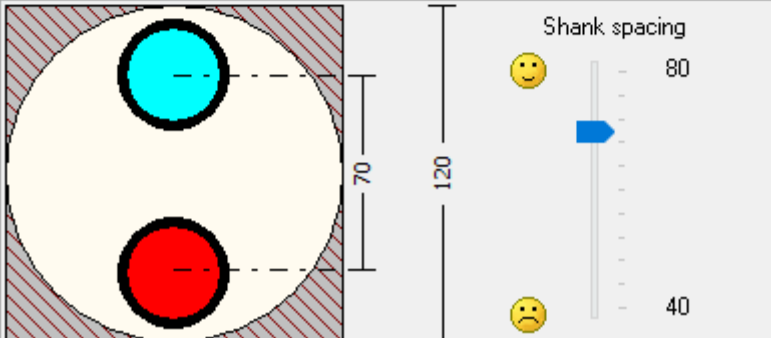
**U-pipe**

Outer diameter: 40,000 mm

Wall thickness: 3,000 ? mm

Thermal conductivity: 0,420 W/(m·K)

Shank spacing: 70,000 mm



KUVA 8. Kaivon ominaisuudet EED-ohjelmassa

Lämmönsiirtonesteenä laskennassa käytettiin EED-ohjelman materiaalipankin 28-prosenttista etanoliliuosta. Kohteessa on käytetty Naturet geosafe -etanoliuosta noin 30 %:n vahvuuksisena, joten ominaisuudet ovat hyvin lähelle samat.

Kaivokentän kuormitustiedot olivat seuraavalla välilehdellä. Käyttöveden lämmitysenergiantarpeeksi laitettiin keskiarvo taulukon 1 arvoista ja lämmityksen energiaksi loput mitoitusenergiasta. Lämmöntarpeen jakaantuminen syötettiin vasemmanpuolimmaiseen sarakkeen taulukon 3 mukaisesti (kuva 9).

[MWh]	Heat	Cool	Ground
Annual	104,421	0,000	Update
SPF	3,10	3,00	
	<input type="checkbox"/> Direct	<input type="checkbox"/> Direct	
January	0,176	0,000	14,684
February	0,138	0,000	11,996
March	0,141	0,000	12,208
April	0,097	0,000	9,096
May	0,046	0,000	5,488
June	0,011	0,000	3,012
July	0,002	0,000	2,376
August	0,007	0,000	2,729
September	0,037	0,000	4,852
October	0,095	0,000	8,954
November	0,115	0,000	10,369
December	0,135	0,000	11,784
Sum:	1	0	97,548

Domestic hot water (DHW):			
Annual	39,579	SPF	3,10
[MWh]	Heat pump	Ground	Building
Heat:	$104,42 \times 1/3,1 + 104,42 \times 2,1/3,1$		= 104,42
	(33,684)	(70,737)	
DHW:	$39,579 \times 1/3,1 + 39,579 \times 2,1/3,1$		= 39,579
	(12,767)	(26,812)	
Cool:	$0 \times 1/3 + 0 \times 4/3$		= 0
	(0)	(0)	
Heat:	Heat pump	Building	
	46,452 ==> ^	==> 144	
	Ground	97,548	

KUVA 9. Lämpökuorman syöttö EED-ohjelmassa

Huipputehot syötetään EED-ohjelmaan kuukausittain (kuva 10). Pumpun huipputeho on 45 kW, joten sitä käytetään huipputehona. EED-ohjelma laskee SFP:n mukaan kaivon kuormituksen. EED-ohjelman ohjeesta esimerkimmallista on otettu huippukäyttöajat tunteina. Kohteessa todelliset huippukäyntiajat ovat olleet pidempiä ainakin tammi-helmikuussa, koska pumppu on mitoitettu osateholle, eli huipputehopiikissä sähkövastuksetkin ovat jo päällä varaajassa.

Peak heat and cool power

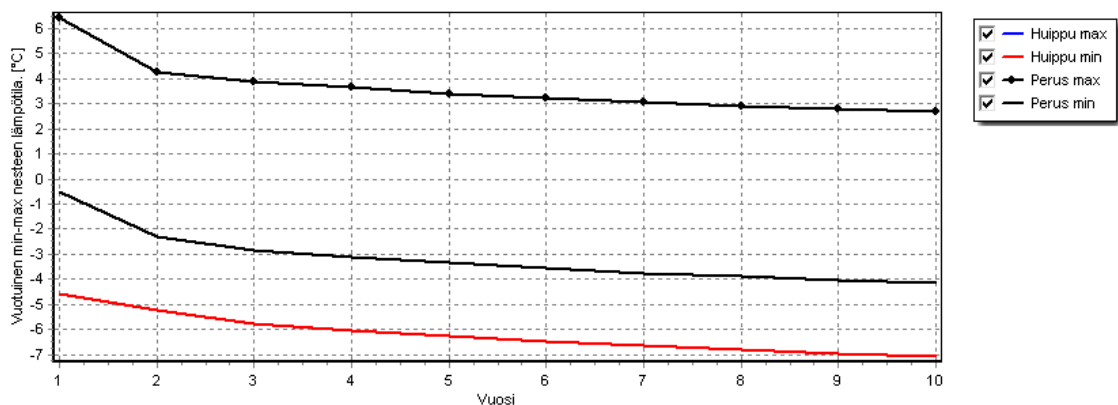


	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	45,000	24,000	0,000	0,000
February	45,000	24,000	0,000	0,000
March	45,000	12,000	0,000	0,000
April	45,000	6,000	0,000	0,000
May	0,000	0,000	0,000	0,000
June	0,000	0,000	0,000	0,000
July	0,000	0,000	0,000	0,000
August	0,000	0,000	0,000	0,000
September	0,000	0,000	0,000	0,000
October	45,000	6,000	0,000	0,000
November	45,000	12,000	0,000	0,000
December	45,000	24,000	0,000	0,000

KUVA 10. Huipputehot ja huippukäyttöajat kuukausittain EED-ohjelmassa

Simulaatiojakson aloituskuukausi laitettiin lokakuuhun, koska niihin aikoihin järjestelmä on otettu käyttöön. Simulointiaika on? 10 vuotta eli käyttöönotosta tähän hetkeen asti.

Kaivokentän mallinnus antaa vuosittaisen minimi- ja maksimilämpötilan. Lämpötila on kaivon nesteen lämpötilan keskiarvo. Kun pumpun lämpötilaeron säädöksi on asetettu 6 °C, kaivon keskilämpötilan ollessa 0 °C kaivon menevän veden lämpötila on -3 °C ja palaavan 3 °C. Kuvasta 11 nähdään, että mallinnuksen mukaan jo viiden käyttövuoden jälkeen huipputehojakson aikana menolämpötila laskee alle kaivosuojan -9 °C koska keskilämpö menee alle -6 °C. Tästä voidaan todeta, että kaivot ovat alimitoitettuja kohteen kuormitukselle.



KUVA 11. EED- ohjelman mallinnuksen lämpötilat kaivossa kymmenen käyttövuoden aikana.

Kun kaivon minimikeskilämpötilaksi asetettiin -2°C ja käyttöajaksi 25 vuotta, ohjelma mitoitti viiden kaivon pituudeksi 333 metriä. Optimointitoimintoa käyttäen ohjelma mitoitti seitsemän kaivon kentän kymmenen metrin välein porattuna kaivosyvyydellä 284 metriä.

## 5 LISÄLÄMMÖNLÄHDE

Maalämpöjärjestelmän rakentaja oli tarjonnut tilaajalle vesi-ilmalämpöpumppua (VILP) maalämmön rinnalle. Näin kaivot voisivat toipua keväästä syksyyn, kun lämmitys tehtäisiin VILPillä. Lämpöpumpputekniikka onkin kehittynyt niin paljon kymmenen vuoden aikana, että VILPillä tuotettu energia olisi halvempaa kuin nykyisellä maalämpöpumpulla. Seuraavaksi lasketaan tarjotulla pumpulla realistisesti saatava lämmitysenergia vuosittain. Lisäksi arvioidaan mahdollisuutta elvyttää maalämpökaivoa aurinkokeräimillä.

### 5.1 VILP lisälämmönlähteenä

Tarjottu VILP on Mitsubishi Electric SHWM140YAA. Pumpun lämpöteho on 2,7 - 17,9 kW ja korkein tuottolämpötila 60 °C. Urakoitsija olisi kytkenyt uuden pumpun vain lämmityskäyttöön, ja käyttövesi tuotettaisiin edelleen maalämmöllä. Kun verrattiin kohteen lämmityskäyrää ja pumpun hyötysuhdetta (9), maalämpöpumppu tulisi ottaa lämmityskäytön rinnalle, kun ulkolämpötila laskee alle -5 °C. Taulukossa 3 on laskettu vuosien 2013–2019 lämmöntarvelukujen keskiarvon perusteella kunkin kuukauden lämmitysenergian osuus prosentteina ja siitä vastaavasti kyseisen kuukauden lämmitysenergian tarve. Taulukosta voidaan havaita, että maaliskuusta joulukuuhun VILPiä olisi järkevää käyttää lämmitykseen.

Kun lasketaan kyseisen ajanjakson lämmitysenergian tarve yhteen, saadaan 71 600 kWh, joka on noin kaksi kertaa enemmän kuin lisälämmityksen tarve kaivojen kuormituksen ollessa järkevällä tasolla. Tällaisella käyttöprofiililla maalämpökaivot alkaisivat palautumaan pikkuhiljaa.

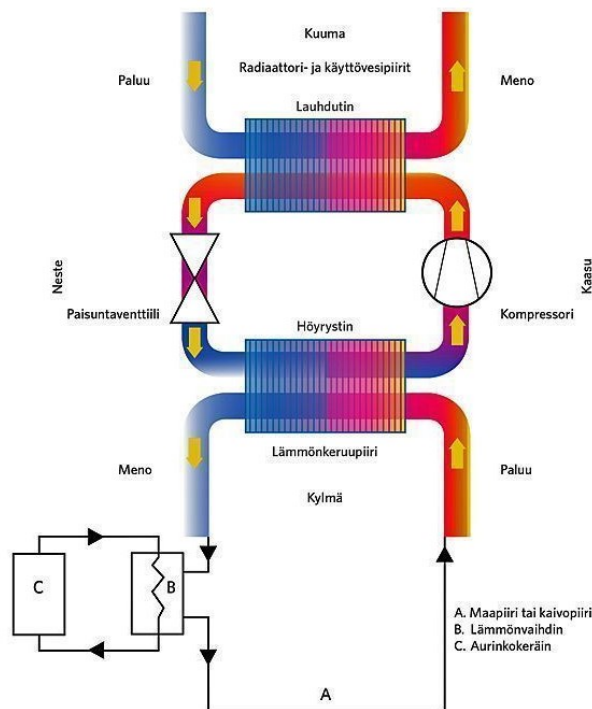
TAULUKKO 3. Lämmöntarveluvut, lämmitysosuudet, ulkolämpötila ja laskennallinen lämmitysenergia kuukauden keskiarvona vuosina 2013–2019

	Ta	He	Ma	Hu	To	Ke	He	El	Sy	Lo	Ma	Jo	Yht.
LTL	810	635	647	449	211	51	9	32	172	435	528	623	4601
%	17,6	13,8	14,1	9,7	4,6	1,1	0,2	0,7	3,7	9,5	11,5	13,5	100,0
t[°C]	-9,1	-5,6	-3,9	2,0	9,0	13,2	16,9	14,6	10,1	3,0	-0,6	-3,1	
Q[MWh]	18,4	14,4	14,7	10,2	4,8	1,2	0,2	0,7	3,9	9,9	12,0	14,1	104

## 5.2 Energiakaivojen elvytys aurinkolämmöllä

Energiakaivoihin voidaan kytkeä lämmönsiirtimen avulla aurinkokeräimet. Näin kaivoja elvytetään aktiivisesti keväästä syksyyn, jolloin kaivon kokonaiskuormitus vähenee. Vuosittainen elvytysenergia olisi hyvä olla jonkin verran suurempi kuin kaivojen ylikuormituksen määrä. Kaivot kuormittuvat nykyisin noin 24 000 kWh liikaa vuodessa. Kaivot saataisiin toipumaan kymmenen vuoden ylikuormituksesta pikkuhiljaa noin 30 000 kWh:n lisälämmöllä.

Oulun seudulla aurinkokeräineliömetrin tyypillinen tuotto on noin 300–400 kWh/m<sup>2</sup>a. Aurinkokeräin täytyy suunnata kaakkoon, etelään tai lounaaseen, ja ihanteellinen kallistuskulma Oulun seudulla on 45 - 60 °. Tutkimuskohteessa on lämpöpumppurakennuksessa noin 110 m<sup>2</sup>:n kattopinta-ala lounaan suuntaan, kallistuskulmaltaan noin 30°. Tälle katolle olisi mahdollista asentaa noin 100 m<sup>2</sup>:n aurinkoenergiajärjestelmä, joka kytkettäisiin lämmönsiirtimen kautta kaivojen menopuolelle kuvan 12 mukaan. Näin auringolla saataisiin lämmitettyä kaivoja yli 30 000 kWh vuodessa.



KUVA 12. Aurinkokeräin kytkettynä lämpökaivoon (10)

Aurinkolämmön siirtäminen lämpökaivoon elvyttää tehokkaasti lämpökaivoa, joskin osa aurinkolämmöstä saattaa karata pohjavesivirtausten mukaan. Kaivon elvytys nostaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta ja huipputehoa, koska keruunesteen lämpötila kaivossa nousee.



Samalla maapiirin matala lämpötila pitää aurinkokeräinpiirin hyötysuhteen korkealla. Aurinkokeräimiin palaava vesi on hyvin viileää verrattuna esimerkiksi normaaliin käyttövesivaraajan lämmitykseen.

Tasomallisen aurinkokeräimen huipputeho Oulun seudulla on noin 800 W/m<sup>2</sup>. Tämä tarkoittaisi, että 100 m<sup>2</sup>:n alalla huipputeho olisi noin 80 kW suoralla auringonpaisteella. Jos keräimien menolämpötila olisi noin 10°C ja paluulämpötila 80°C, virtauksen pitäisi olla noin 2,8 l/s (kaava 9). Kyseinen virtaama ei ole paljon nykyistä keruupiiriä suurempi, ja keräimien runkolinja voitaisiin toteuttaa samankokoisella putkella kuin keruupiirikin.

$$v = \frac{\phi_{\text{aurinko}}}{c\lambda\Delta t}$$

KAAVA 9

$v$  = virtausnopeus

$\phi_{\text{aurinko}}$  = aurinkoeräimien teho

$c$  = ominaislämpökapasiteetti

$\Delta t$  = lämpötilaero

Hellejakson aikana kaivojen jäädytystehon rajallisuus voisi kuitenkin aiheuttaa ongelman. Tällä hetkellä taulukon 2 mukaan virtaus maapiirissä on noin 2,13 l/s. Keruunesteiden ominaislämpökapasiteetin ollessa liki sama molemmissa piireissä voidaan maapiirin tarvittava lämpötilaero siirtimellä arvioida virtausten suhteella. Maapiiriin tarvitaan nykyisellä virtauksella noin 90 °C:n lämpötilaero 80 kW tehon siirtämiseen. Tämän takia täysi 100 m<sup>2</sup>:n aurinkokeräinkenttä ei olisi teknisesti järkevästi toteutettavissa siten, että kaikki energia saataisiin talteen.

Aurinkolämmöllä olisi mahdollista lämmittää myös käyttövesi- ja lämmitysvaraajia, jos lämmityskiertoon lisättäisiin lämmönsiirrin tai varaajat vaihdettaisiin malleihin, joissa on keräinpiirin lämmityskierukalle paikka. Muutoksella voitaisiin leikata huipputehon aikaan lämpökaivon lämpökuormitusta, mutta nykyisen 1000 litran käyttövesivaraajaan ei kovin pitkää aikaa voida suurella teholla lämpöä syöttää. Tämä muutos vähentäisi maalämpöpumpun ja samalla keräinpiirin kuormitusta. Toki toisen lämmönsiirrimen ja säätöautomatiikan lisääminen lisäisi aurinkojärjestelmän hintaa.

## 6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tarkastaa kohteen mitoitus ja laskea tarvittava lisälämmöntarve ja tutkia lisälämmön tuottomenetelmiä. Laskenta ja simulointi osoittivat, että maalämpöjärjestelmän energiakaivot ovat alimitoitettuja. Kaivot on mitoitettu alun perin maahantuojaan mitoitusohjelmalla. Virhe on voinut aiheutua siitä, että Haukiputaalla Kello-Virpiniemi-Isoniemi-Annalankangas-alueen kallioperä on huonosti lämpöä johtavaa savikiveä. Kyseinen järjestelmä toimisi erittäin hyvin noin 800 metriä idempänä, jossa kallioperä on graniittia, jonka lämmönjohtavuus on huomattavasti parempi.

Työstä myös havaitaan, että geoenergiapotentiaalilaskelma on hyvin epätarkka eikä sen perusteella kannata tehdä päätöksiä maalämpöjärjestelmän hankkimisesta, puhumattakaan mitoittamisesta.

Jos maalämpöjärjestelmän mitoittaa maalämpöurakoitsija tai laitteiden maahantuoja, laskelmien paikkansapitävyys kannattaa varmistaa riippumattomalla suunnittelijalla tai toimijalla. Mitoituksessa etuna on, jos mitoittajalla on käytössään Energy Earth Designerin tai IDA ICE:n kaltainen simulointiohjelma.

Kaivojen etäisyyttä ei ole laskuissa otettu huomioon, koska lähteestä riippuen kaivoja voi porata minimissään 10–20 metrin etäisyydelle toisistaan kaivojen suuremmin häiriintymättä. Kohteen kaivojen keskietäisyys 17,9 metriä on sellainen, että heikoimmillaan kaivojen teho voi olla lasketusta arvosta noin kymmenen prosenttia pienempi mutta tarjotun vesi-ilmalämpöpumpun kapasiteetti riittäisi lämmityskäytössä silloinkin antamaan kaivoille riittävästi aikaa palautua.

Kohteen tontilla ei ole sopivaa paikkaa, mihin maalämpökaivoja voisi porata lisää siten, että kaivojen väliin saisi riittävästi etäisyyttä ja maarakennustyöt olisivat kohtuulliset. Siksi vesi-ilmalämpöpumpun hankintaa suositellaan nykyisen pumpun rinnalle. Tarjottu pumppu on teholuokaltaan sopiva, jotta kaivot saisivat riittävän palautumisjakson. Lisäksi kevään ja syksyn lämmityksen sähkönkulutus vähenisi VILP:n paremman hyötysuhteen vuoksi.

Täydestä aurinkokeräinjärjestelmästä tulevan liian suuren huipputehon vuoksi järkevintä voisi olla, että asennettaisiin tarjouksen mukainen tai vastaava VILP ja lisättäisiin pieni aurinkojärjestelmä elvyttämään kaivoa, esimerkiksi 10–20 m<sup>2</sup>. Näin kaivojen lämpötilaa saataisiin nousemaan

nopeammin ja maalämmön käyttö turvattua, lisäksi kaivojen ylikuormaongelma poistuisi VILPin asentamisen myötä. Luultavasti kaivot alkaisivat vähitellen palautumaan myös ilman aurinkokeräimiä, koska VILP:n avulla kaivon kuormitus vähenee alle laskennallinen kaivosta saatavan energiamäärän. Keräimet kuitenkin nopeuttaisivat kaivojen toipumista.

VILP:n hankinnan- ja asennushinnan arvioidaan olevan n. 40 000 € ja aurinkokeräinjärjestelmän kokonaishinnan noin 50 000 € VILP:N ja 20 m<sup>2</sup> aurinkokeräinjärjestelmän asennushinnaksi arvioidaan n. 55 000 €. Tässä työssä ei esitetä näiden tarkempaa investointitarkastelua. VILP:n eduksi voidaan laskea myös se, että laite tuottaa keväällä ja syksyllä lämmitysenergiaa paremmalla hyötysuhteella kuin maalämpöpumppu, joten sähkönkulutus laskisi myös.

Tilojen pienuuden vuoksi kohteeseen ei mahdu esimerkiksi pientä öljypoltinta huipputehon tuottoon. Vanha piippukin on jo rakenteineen purettu paikalta. Lisäksi sähköliittymä on rajoilla jo nyt pakkaskausina, kun vastukset ovat päällä varaajassa ja pumppu käy täydellä teholla, joten suoran sähkölämmityksen lisääminenkin ei ole järkevää.

## LÄHTEET

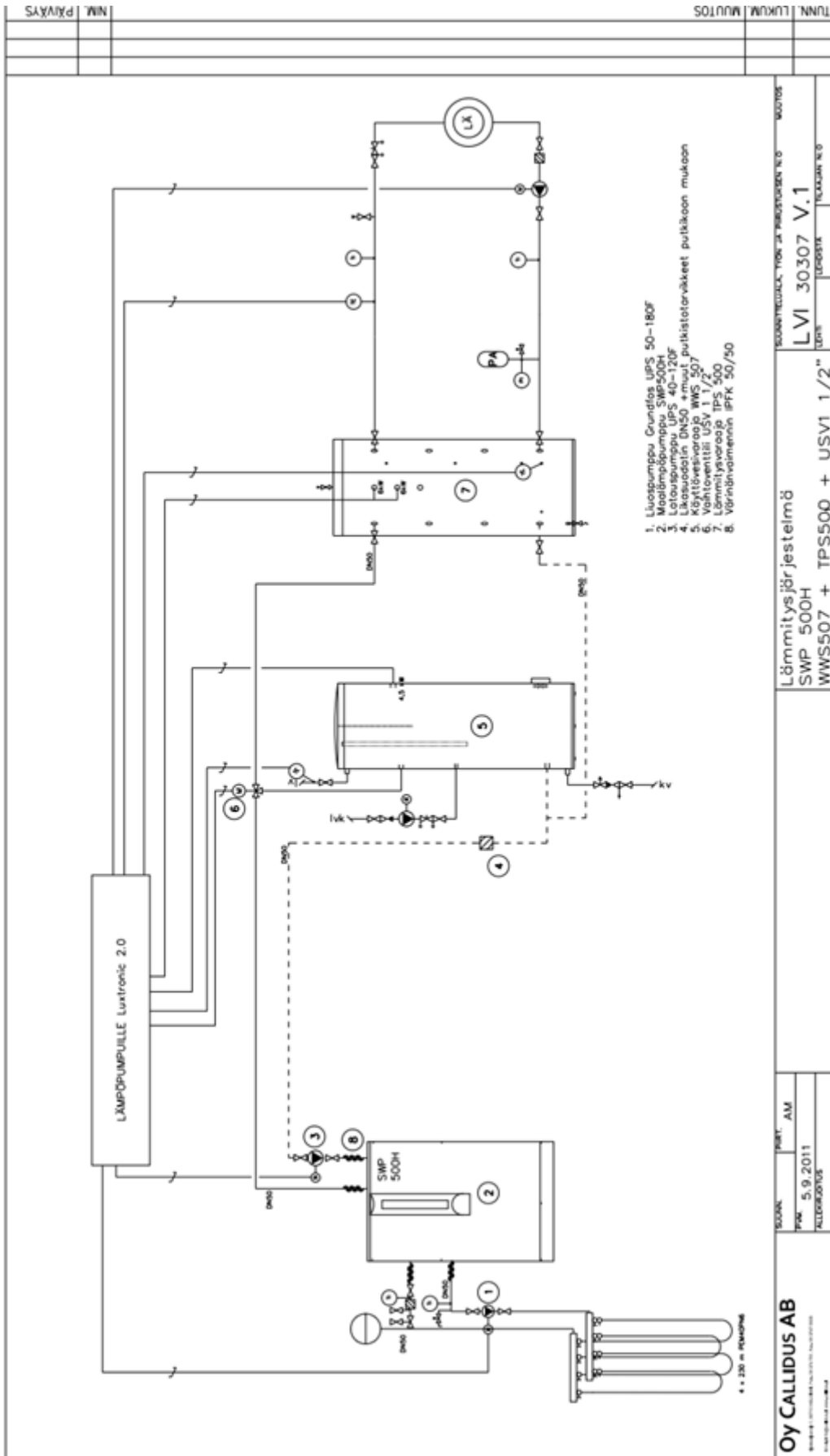
1. Tec Heat Ab Oy. Maalämpöpumput. Hakupäivä 22.5.2021. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampopumput/>.
2. Juvonen Janne, Lapinlampi Toivo. 2013 Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Ympäristöministeriö. Hakupäivä 22.5.2021. <https://docplayer.fi/152910666-Ymparistoopas-energiakaivo-maalammon-hyodyntaminen-pientaloissa-janne-juvonen-toivo-lapinlampi-ymparistoministerio.html>.
3. Ahstrom Ann-Karin. 2005. Bergvärmeanläggningar där frysning i borrhål orsakar hopklämda kollektorslangar, Hakupäivä 22.5.2021. <http://tu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1026570/FULLTEXT01.pdf>.
4. Geologian tutkimuskeskus 2013. Hiilifiksi järjestö. Oulun geoenergiapotentiaalin kartoitus. Hakupäivä 18.5.2021. [https://www.ouka.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=1f321dbe-e25d-4ee2-bdcd-c87c31a66450&groupId=64220](https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=1f321dbe-e25d-4ee2-bdcd-c87c31a66450&groupId=64220).
5. IMI Hydronic Engineering 2019, STAD Linjasäätöventtiilin tekniset tiedot. Hakupäivä 18.5.2021. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/linjasaaotventtiilit/linjasaaotventtiilit/STAD--PN-25/>.
6. Ympäristöhallinnon verkkopalvelu ymparisto.fi. 2016. Käyttövesi ja energiatehokkuus. Hakupäivä 18.5.2021. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiankulutus/Kayttovesi>.
7. Geologian tutkimuskeskus 2021, Maankamara karttapalvelu. Hakupäivä 18.5.2021 <http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>.
8. Geologian tutkimuskeskus, Geoterminen energiapotentiaali: 300 m energiapotentiaali. Hakupäivä 18.5.2021. [https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/geoterminen\\_energiapotentiaali\\_300\\_m\\_geoenergiapotentiaali.html](https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/geoterminen_energiapotentiaali_300_m_geoenergiapotentiaali.html).
9. Mitsubishi electric, ecodan data book. Hakupäivä 19.5.2021. [https://www.mitsubishi-les.info/database/servicemanual/files/201803\\_ATW\\_DATABOOK.pdf](https://www.mitsubishi-les.info/database/servicemanual/files/201803_ATW_DATABOOK.pdf).
10. Motiva 2020. Maalämpöpiirin hyödyntäminen aurinkolämmön varastoinnissa. Hakupäivä 20.5.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelma\\_n\\_kaytto/aurinkolammon\\_varastointi/maalampopiirin\\_hyodyntaminen\\_aurinkolammon\\_varastoinnissa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelma_n_kaytto/aurinkolammon_varastointi/maalampopiirin_hyodyntaminen_aurinkolammon_varastoinnissa).

11. Karoliina Auvinen. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Hakupäivä 25.2.2021. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>.



# LÄMPÖPUMPUN JA VARAAJIEN KYTKENTÄKAAVIO

LIITE 2



TUNN. / LUKUM. / MUUTOS	
NIM. / PÄIVÄYS	

OY CALLIDUS AB KALLIDUSKATU 1 00510 HELSINKI Puh. 09 251 2011 Faksi 09 251 2012 www.callidus.fi	LÄMPÖPUMPUKONJUKTION JA VARAAJIEN KYTKENTÄKAAVIO LVI 30307 V.1 TEKN. LUOKAN N°3	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ SWP 500H WWS507 + TPS500 + USV1 1/2"	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN N° LVI 30307 V.1 TEKN. LUOKAN N°3
--	---	--	--