



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janina Juntunen

Maalämpökaivokenttien optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.4.2020

Tekijä Otsikko	Janina Juntunen Maalämpökaivokenttien optimointi
Sivumäärä Aika	37 sivua + 5 liitettä 30.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	projektipäällikkö Jose Tamayo Vera yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Äyräväinen Oy:lle, ja työn tavoitteena oli ottaa kantaa maalämpökaivojen sijoitteluun, lämpökaivokentän kokoon ja syvyyteen optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Opinnäytetyössä käytettiin apuna Earth Energy Designer -ohjelmaa, joka on kehitetty lämpökaivokenttien mitoitukseen.</p> <p>Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelussa on tehtävä valintoja ja päätöksiä, jotka vaikuttavat kustannuksiin, energiatehokkuuteen, järjestelmän käyttöikään ja turvallisuuteen sekä ympäristöön pääseviin päästöihin. Ensi tekijöiksi käsitellään rakennuksen lämmitys- ja jäähdystarpeiden vaikutus lämpöpumpun järjestelmälaskentaan ja suunnitteluun. Tämän jälkeen havaitaan minkälainen optimaalinen geokenttä on mahdollista saada aikaiseksi eri muuttujia ja parametreja käyttäen.</p> <p>Taivallahden koulun peruskorjauksen yhteydessä tutkittiin, onko osa rakennuksen lämmitystehontarpeesta ja sähköenergiantarpeesta järkevää tuottaa maalämpöä käyttäen. Järjestelmän toteutuksesta tehtiin investointilaskelma ja elinkaarikustannuslaskelmat. Maalämpö mitoitettiin osatehoiseksi, kattamaan 74 % rakennusten IV-lämmitys ja lämmitystehosta. Koulun piha-alueita käytettiin geokenttä alueina, joista olisi mahdollista saada katetua 80 % koko rakennuksen tavoitteellisesta lämmitysenergiantarpeesta.</p> <p>Geoenergiakentälle saatiin mahtumaan 47 energiakaivoa, jotka ovat 319 m syviä. Poraaaminen on mahdollista toteuttaa vinoporauksena, jolloin vältytään vahingoittamasta nykyisiä pihaelementtejä, sekä kalliota ja puita.</p>	
Avainsanat	maalämpö, maalämpökaivokenttä, optimointi

Author Title	Janina Juntunen Optimizing geothermal heating well fields
Number of Pages Date	37 pages + 5 appendices 30 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jose Tamayo Vera, Project manager Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The aim of this thesis was to study the optimal location size and depth of geothermal wells. Earth Energy Designer programme, developed for the design of thermal well fields, was used in order to do this for a case facility, a school to be renovated.</p> <p>Since the heat pump system design includes parameters and decisions that affect cost, energy efficiency, system lifespan and safety as well as emissions, first, the effect of the heating and cooling need of the case building on the design of the heat pump is considered. After this it was possible to see what the optimal geo fields with different variables and parameters were.</p> <p>The final year project investigated whether it was feasible to heat part of the school with geothermal energy. Investment and life cycle cost calculations for the implementation of the system were made. Geothermal energy was rated as partial power covering 74 % of the building's heating capacity. The school's courtyards if used as geo fields could provide 80 % of the facility's total heating energy requirement.</p> <p>With 47 energy wells at 319 meters deep, it is possible to drill avoiding damage to existing elements and rock and trees of the yard.</p>	
Keywords	geothermal heating, geothermal well field, optimization

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maalämpö	2
2.1	Maalämpökaivot	2
2.2	Maalämpöpumput	3
2.2.1	Kylmäaineet	5
2.3	Lämmönkeruupiirit	7
3	Maalämpöjärjestelmä	8
3.1	Lämpökaivojärjestelmä	8
3.2	Pintamaajärjestelmä	9
3.3	Vesistöjärjestelmä	10
4	Suunnittelukohde	11
4.1	Kohteen tiedot	11
4.2	Järjestelmän valinta ja mitoitus	11
4.3	Tilavaraukset	14
5	Geokentän optimointi	15
5.1	Maapiirin mallinnus EED ohjelmalla	17
5.2	Viilennysenergian vaikutus geoenergiakentän elinkaareen	25
5.3	Geokentän konfiguraatio	28
5.4	Maalämpöjärjestelmän kustannukset	29
5.5	Lopputulokset	29
5.5.1	Lämmönsiirtonesteen virtaaman vaikutus	33
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	36
	Liitteet	

- Liite 1. Taivallahden koulun geokenttä
- Liite 2. Geo-energiakentän esimitoitus
- Liite 3. Lämpöpumpun tekniset tiedot
- Liite 4. EED-laskentaraaportti
- Liite 5. Jäähdytyksen EED-laskentaraaportti

Lyhenteet

CFC	ChloroFluoroCarbons, kloori-, fluori- ja hiilipitoiset aineet.
COP	Coefficient Of Performance, hyötysuhde, jolla ilmaistaan kuinka tehokkaasti, kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi.
EED	Earth Energy Designer, ohjelma, joka on kehitetty energiakentän mitoittamiseen.
EWT	Entering water temperature, tuloveden lämpötila.
GTK	Geoenergian tutkimuskeskus
GWP	Global warming potential, luvulla kuvataan kylmäaineen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen.
HCFC	Hydro-ChloroFluoroCarbons, kloori-, fluori-, hiili- ja vetypitoiset aineet.
HFC	HydroFluoroCarbons, fluori-, hiili- ja vetypitoiset aineet.
IDA ICE	Indoor Climate and Energy, simulointiohjelmisto monivyöhykemallinnukseen.
MagiCAD	Tietokoneavusteinen suunnittelujärjestelmä talotekniseen suunnitteluun.
MLP	Maalämpöpumppu
ODP	Otsonin haitallisuuskerroin.
RIUSKA	Olosuhde- ja energiasimulointiohjelmisto.
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, vuotuinen lämpökerroin.

SPF-luku Seasonal performance factors, lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin.

1 Johdanto

Insinööriyö tehtiin Äyräväinen Oy:lle, joka on vuonna 1972 perustettu LVIA- ja sähkötekniikkaan erikoistunut insinööritoimisto. Työn ohjaajana toimi projektipäällikkö Jose Tamayo Vera, joka toimii Äyräväisellä energia-asiantuntijana. Työn tavoitteena oli ottaa kantaa maalämpökaivojen sijoitteluun, lämpökaivokentän kokoon ja kaivojen syvyyteen optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Opinnäytetyössä käytettiin apuna Earth Energy Designer -ohjelmaa, joka on kehitetty työkaluksi muun muassa lämpökaivokenttien mitoitukseen.

Insinööriyössä kerrotaan yleisesti maalämmöstä sekä maalämpöjärjestelmistä ja niiden valinnasta ja mitoituksesta. Tämän lisäksi työssä perehdytään tarkemmin käsittelemään lämpökaivojärjestelmää ja sen mitoitusta EED-ohjelmistoa apuna käyttäen. EED on tietokoneelle suunniteltu simulointiohjelma, jota voidaan käyttää esimerkiksi työkaluna lämpöpumppujärjestelmien suunnitteluun. Suunnitteluohjelman avulla mitoitetaan maalämpökaivokenttä ja sen konfiguraatio mahdollisimman optimaaliseksi.

Työn lopputuloksena suunniteltiin maalämpöjärjestelmä Taivallahden koululle osana kohteen peruskorjaus suunnittelua. Tavoitteena oli tehdä ehdotussuunnitelma, josta nähtäisiin, olisiko kohteen kaukolämpöjärjestelmä mahdollista korvata suurimmalta osin maalämpöjärjestelmällä. Ehdotussuunnitelmassa esitettiin kaikki järjestelmän vaihtoon tarvittavat tiedot sekä uuden järjestelmän vaativat tilavaraukset. Näiden lisäksi työssä esitettiin mitoituksen tulokset, maalämpöjärjestelmän kannattavuus sekä kaivokentän lopullinen optimoitu konfiguraatio.

2 Maalämpö

Maalämmöllä eli geoenergialla tarkoitetaan maaperään, kallioon tai vesistöihin varastoitunutta puhdasta ja uusiutuvaa lämpöenergiaa, joka on pääasiallisesti peräisin aurin-gosta. Syvällä kallioperässä esiintyvä lämpöenergia on taas usein radioaktiivisten aineiden hajoamisesta syntynyttä geoenergiaa. Maanpinnan keskilämpötila vaihtelee vuosittaisen ilmalämpötilan mukaan, mutta tasoittuu tiettyyn lämpötilaan esimerkiksi Etelä-Suomen alueella 14–15 metrin syvyydessä viidestä kuuteen celsius asteeseen. Syvem-mällä kallioperässä 100 metrin jälkeen geotermisen energian vuoksi lämpötila nousee puolen ja yhden asteen välillä. Kallioperässä 300 metrin syvyydessä lämpötila on noin 6,5–9 °C astetta. [1]

Maalämpö on ekologista uusiutuvaa energiaa, minkä vuoksi sen käyttäminen on ollut viime vuosina paljon esillä ilmastolupausten vuoksi. Geoenergia on täysin luotettava ja loppumaton energianlähde, ja sillä voitaisiin korvata fossiilisia energian lähteitä koko Suomen alueella. [2]

Erilaisten maalämmön keruujärjestelmien avulla tätä varastoitunutta lämpöenergiaa voidaan käyttää rakennuksen ja sen järjestelmien lämmittämiseen sekä jäähdyttämiseen [3].

Maalämpöjärjestelmä koostuu pääasiassa lämpöpumpusta, siirtoputkistosta sekä keruupiiristä. Keruupiirin asennustapa riippuu järjestelmän valinnasta. Vaihtoehtoisia järjestelmiä ovat lämpökaivojärjestelmä, pintamaajärjestelmä sekä vesistöjärjestelmä.

2.1 Maalämpökaivot

Maalämpökaivo on yksi osa maalämpöjärjestelmää. Tämä osa esiintyy maalämpöjärjestelmässä, jos se on valittu toteutettavaksi maalämpökaivojärjestelmänä. Maalämpökai-von avulla lämpöenergia saadaan rakennuksen käyttöön poraamalla maahan kaivo ja rakentamalla sen sisälle lämpöenergian keruuputkisto. Tämän keruuputkiston sekä siihen yhdistetyn lämpöpumpun avulla saadaan kerättyä maan sisäistä energiaa käyttöä varten. Maalämpökaivo koostuu eri osista, jotka sijaitsevat kaivon kokonaissyvyyden matkalla. [1;4.]

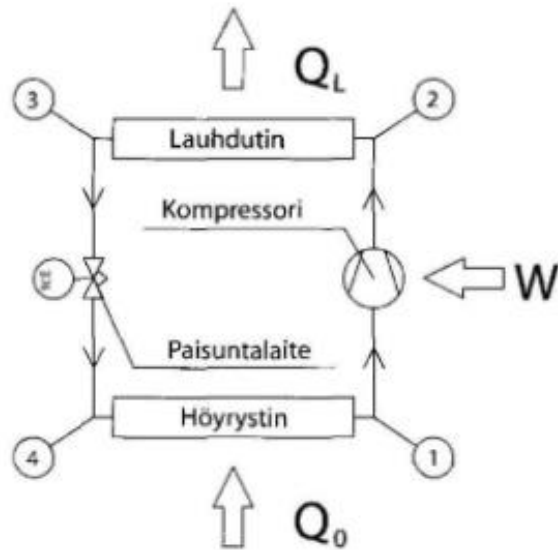
Maalämpökaivon sisältämät osat ovat:

- suojakaivo
- suojahattu
- suojaputki
- lämpökaivon vesieristys
- keruuputket
- paluuputkikäyrä
- pohjapaino.

2.2 Maalämpöpumput

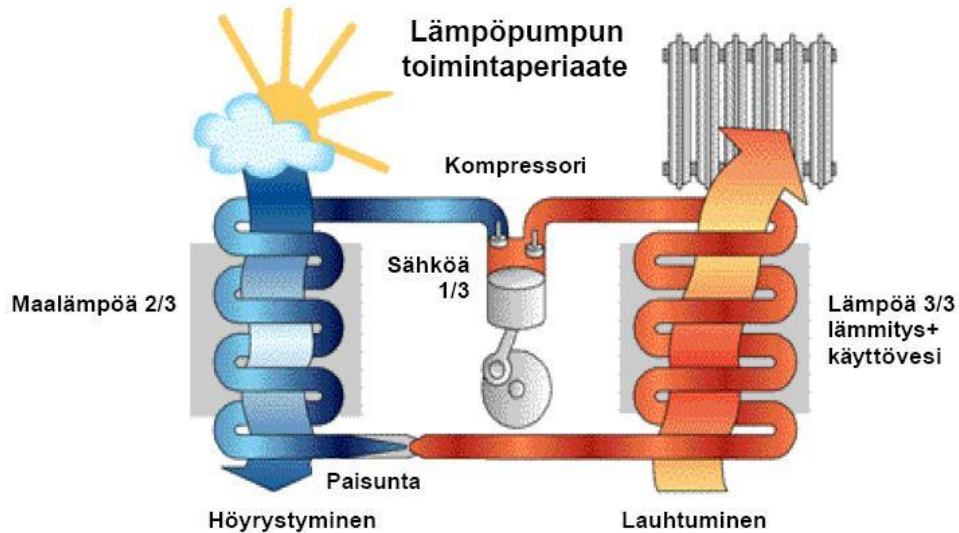
Maalämpöpumppu on välttämätön osa toimivaa maalämpöjärjestelmää. Maalämpöpumpun toimintaperiaate on siirtää lämpöä matalasta lämpötilatasosta korkeammalle lämpötilatasolle, jolloin sitä voidaan hyödyntää edelleen rakennuksien käyttöön. Varastoitunutta maalämpöä voidaan lämpöpumpun avulla käyttää lämmönlähteenä. Samaa lämpöä voidaan käyttää lämmityksen lisäksi lauhduttimena, kun jäähdytykselle on tarvetta joko suoraan tai vapaalla jäähdytyksellä. [5]

Lämpöpumppu koostuu monista eri osista, joihin lukeutuu myös neljä pääkomponenttia. Näitä pääkomponentteja ovat kuvassa 1 esitetyt lauhdutin, kompressori, höyrystin sekä paisuntaventtiili.



Kuva 1. Lämpöpumpun osat. (Kylmälaitoksen suunnittelu, Opetushallitus)

Lämpöpumpun toiminnan perustana on suljettu kylmäaineen kiertoprosessi, jossa tapahtuu kylmäaineen faasimuutoksia. Faasimuutoksia kylmäaineessa tapahtuu, kun se vuorotellen höyrystimessä höyrystyy sitoen lämpöä ja lauhduttimessa lauhtuu nesteeksi. Höyrystimen ja lauhduttimen välillä sijaitsee kompressori, jolla taas nostetaan kylmäaineen painetta ennen sen ohjaamista lauhduttimelle. Kylmäaine sitoo höyrystimessä lämpöä, ja tämä lämpö on merkittävästi isompi kuin kompressorin vaatima työ. Höyrystimessä energia liikkuu lämmönkeruupiirissä ja siirtyy lämpöpumpun kylmäainepiiriin. Putkista koostuvassa lämmönkeruupiirissä kiertää maalämpöpumpun lämmönkeruuneste. Lämmönkeruuneste muodostuu tyypillisesti alkoholin ja veden sekoituksesta, joka varmistaa sen, ettei lämmönkeruuneste pääse jäätymään alhaisissakaan lämpötiloissa. Kuva 2 havainnollistaa lämpöpumpun toimintaperiaatetta. [1]



Kuva 2. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Lämpöässä).

Lämpöpumpun sisältämät apulaitteet sekä kompressori tarvitsevat toimiakseen sähköä. Lämpöpumpun tehokkuuden kuvaamista varten on olemassa lämpökerroin (COP). Lämpökertoimen avulla voidaan esittää, kuinka paljon lämpöpumpulla saadaan tuotettua lämpöä sen käyttämään sähköenergiaan verrattuna. Hyvänä COP-kertoimena voidaan pitää lukua kolme ja sitä suurempia lukuarvoja. Tällöin lauhduttimesta vapautuva lämpöenergia on kolme kertaa suurempi kuin kompressorin ja apulaitteiden tarvitsema sähköenergia. Lämpöpumpun tehokkuutta esitetään useimmiten käyttäen SCOP-lukua. SCOP on lämpöpumpulla vuodessa tuotetun ja lämpöpumpun vuoden aikana kuluttaman energian suhde, kesällä tehdään lämmintä käyttövettä. [1]

2.2.1 Kylmäaineet

Kylmäaineissa kannustetaan siirtymään kokonaan pois F-kaasuista ja siirtymään luonnollisempiin ja ympäristöystävällisempiin kylmäaineisiin. Tavoite olisi saavuttaa vähintään 60 %:n päästövähennys vuoteen 2030 mennessä. Taulukossa 1 on esitetty tarkemmat prosenttiluvut F-kaasujen vähentämisestä. [6]

Taulukko 1. F-kaasujen määrän vähentäminen. (F-kaasuasetus)

F-kaasujen määrän vähentäminen

Vuodet	Prosenttiluku, jolla lasketaan fluorihilivetyjen markkinoille saattamista koskevat enimmäismäärät ja vastaavat kiintiöt
2015	100 %
2016–2017	93 %
2018–2020	63 %
2021–2023	45 %
2024–2026	31 %
2027–2029	24 %
2030	21 %

Kylmäaineet jaetaan neljään eri ryhmään, joita ovat CFC-aineet, HCFC-aineet, HFC-aineet ja halogeenittomat kylmäaineet. CFC-aineet ovat kokonaan halogenoituja ja sisältävät klooria, hiiltä ja vetyä. Nämä kylmäaineet ovat erittäin rajoitettuja ja niiden käyttö on jo lain mukaan osittain kiellettyjä, sillä ne hajottavat otsonikerrosta nopeasti. Tästä kylmäaineryhmästä esimerkkinä kylmäaineet R12 ja R502. HCFC-aineet taas ovat vain osaksi halogenoituja ja sisältävät edellisen kylmäaineryhmän lisäksi vetyä. Nämäkin kylmäaineet ovat haitallisia otsonikerrokselle, mutta ei kuitenkaan yhtä paljon kuin CFC-aineet. Kylmäaineista ovat esimerkkinä R22 ja R401A. CFC- ja HCFC-aineita sisältäviä laitteita saa edelleen käyttää, mutta niitä ei saa korjata tai huoltaa, lisätä esimerkiksi kylmäainetta kylmäpiiriin. HFC-kylmäaineet taas eivät sisällä ollenkaan klooria ja ovat fluori, hiili ja vety pitoisia aineita. Nämä kylmäaineet eivät rasita otsonikerrosta yhtään ja ovat siksi suosittuja aineita käyttää esimerkiksi lämpöpumpuissa. Näistä kylmäaineista esimerkkinä R134a ja R407C. Viimeinen ryhmä on kokonaan halogeenittomat aineet, joita kutsutaan myös nimellä luonnonmukaiset kylmäaineet. Näiden kylmäaineiden ODP on nolla. Näistä kylmäaineista ovat esimerkkinä butaani ja hiilidioksidi. [6;7.]

Kylmäaineiden vaikutusta ilmaston lämpenemiseen kuvataan GWP-luvun avulla, tällä luvulla kuvataan kylmäaineen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen verrattuna hiilidioksidin vaikutukseen, jonka GWP-arvo on 1. [6;7.]

Nykyisiä vielä sallittuja useimmin käytössä olevia kylmäaineita ovat esimerkiksi R134a (GWP = 1430, R407C (GWP = 1520), R410A (GWP = 1720). Näitä kylmäaineita käytetään yleisesti muun muassa henkilöautojen ilmastoinnissa, vedenjäähdytyskoneissa sekä huoneilmastointikojeissa. [6]

Tulevaisuudessa halutaan ja pyritään siirtymään kokonaan luonnollisempiin ja ympäristöä vähemmän kuormittaviin kylmäaineisiin. Näiden kylmäaineiden GWP-luku on erittäin matala verrattuna nykyisten kylmäaineiden arvoihin. Mahdollisia tulevaisuuden kylmäaineita ovat esimerkiksi R32, R290 (propaani), R600a (isobutaani) sekä R744 (hiilidioksidi). R600a on jo monissa Euroopan maissa korvannut kokonaan R134a kylmäaineen kotitalouskäyttöisissä kylmälaitteissa. R290 kylmäaine on tarkoitettu ja suunniteltu korvaamaan suurten kylmälaitosten kylmäaineita kuten R22. Luonnonmukaiset kylmäaineet R600a ja R290 ovat kummatkin hiilivetyjä. R744 taas on hiilidioksidi ja sen vuoksi suosituu kylmäaine, jonka voi luonnollisuutensa vuoksi päästää huoletta ilmakehään, ilman erillistä talteenottojärjestelmää. Hiilidioksidipohjainen kylmäaine on myös edullinen vaihtoehto verrattuna moniin muihin kylmäaineisiin. [7]

2.3 Lämmönkeruupiirit

Lämmönkeruupiiri on toinen välttämätön osa toimivaa maalämpöjärjestelmää. Lämmönkeruupiiri voidaan asentaa niin vaakatasoon pintamaahan kuin pystysuunnassa porattuna maaperään tai kallioon riippuen valittavasta järjestelmästä. Lämmönkeruuputkisto on yleisesti järkevintä asentaa energiakaivoon, kuitenkin tapauksissa, joissa lämpökai-
von poraaminen ei ole mahdollista, voidaan käyttää pintamaahan tai vesistöön asennettua keruupiiriä. [8]

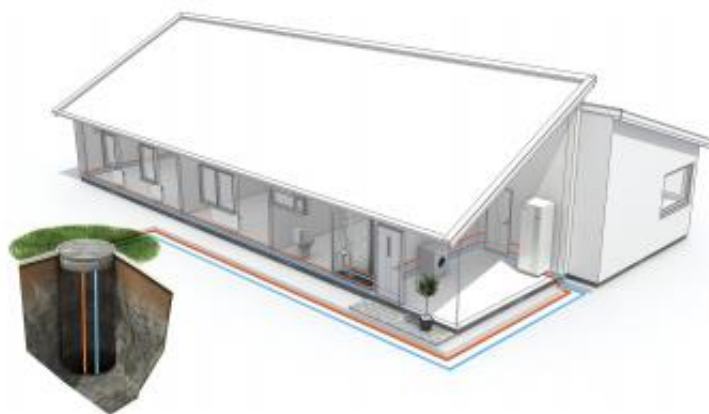
Lämmönkeruupiirissä kiertää vesi-etanoli nestettä, sen hyvän pakkasen sietokyvyn sekä myrkyttömyyden vuoksi. Kun lämmönkeruuneste kiertää putkistossa, kerää se samalla lämpöenergiaa sen lähellä olevasta aineesta. [9]

3 Maalämpöjärjestelmä

3.1 Lämpökaivojärjestelmä

Energiakaivoperusteinen maalämpöjärjestelmä on ehkä tunnetuin ja suosituin maalämpöenergian keruujärjestelmä. Toisin kuin esimerkiksi pintamaajärjestelmä mahtuu lämpökaivojärjestelmä myös pienemmille tonteille. Kaivojärjestelmä on sopiva vaihtoehto myös useisiin peruskorjauskohteisiin. Energiakaivoja voidaan porata sekä kallioperään, että erilaisten maakamara-ainesten läpi. Kuitenkin irtomaahan poratessa tulee ottaa huomioon, että jokaiseen porausreikään tulee asentaa erillinen suojaputki, jotta vältetään pohjaveden likaantuminen. Pohjaveteen ei myöskään saa päästä pintavettä, ja suojaputki pitää myös tästä huolen. Kallioperään poraaminen on siis suositeltavampaa sen edullisuuden ja helppouden vuoksi. [10;11.]

Lämpökaivojärjestelmässä lämmönkeruuputkisto asennetaan maaperään tai kallioon porattuun kaivoon. Kaivon poraamisen syvyyteen vaikuttaa suuresti kohteen vuotuinen lämmitys- ja jäähdytysenergiantarve. Parhaimman arvion tarvittavasta poraus syvyydestä saa käyttämällä siihen tarkoitettua laskentaohjelmaa. Kuvassa 3 on esimerkki maalämpökaivojärjestelmästä kuva.

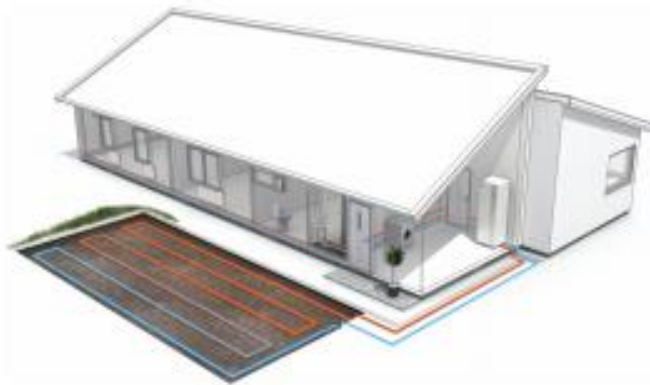


Kuva 3. Lämpökaivojärjestelmän esimerkkikuva. (NIBE, Pientalojen maalämpöpumppu opas)

Lämpökaivoja on mahdollista asentaa tarpeen mukaan enemmän kuin yksi kappale samalle alueelle, kuitenkin noudattaen minimi etäisyyksiä. Näitä kaivoja rajoittavia määräyksiä ovat esimerkiksi niiden sijainti toisista saman järjestelmän kaivoista, naapurin kaivoista sekä tontinrajasta. Ympäristöopas 2013-dokumentissa on esitetty minimietäisyyksiä, joita tulee noudattaa suunniteltaessa ja asentaessa energiakaivoja. Energiakaivon suurimpiin hyötyihin kuuluu sen mahdollisuus myös rakennuksen viilentämiseen kesäaikana. [10]

3.2 Pintamaajärjestelmä

Pintamaajärjestelmä perustuu maahan varastoituneen aurinkoenergian keruuseen vaakaan asennetulla lämmönkeruuputkistolla. Tämä järjestelmämuoto vaatii paljon tilaa piha-alueelta, minkä vuoksi se ei ole aina mahdollinen vaihtoehto. Pihamaaputkiston asennuksessa tulisi välttää asennusta ja suunnittelua kulkureittien tai muiden paljon käytössä olevien reittien varsille. Kuvassa 4 on esitetty pintamaajärjestelmän periaate. [10]



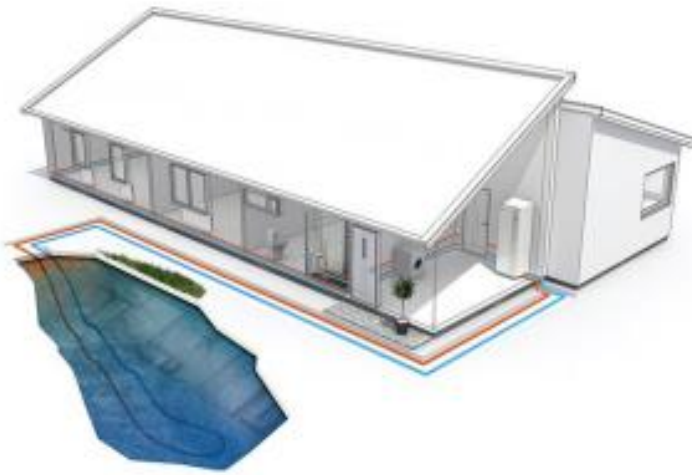
Kuva 4. Pintamaajärjestelmän esimerkkikuva. (NIBE, Pientalojen maalämpöpumppu opas)

Pintamaajärjestelmässä lämmönkeruuputkisto asennetaan maahan vaakatasossa. Vaakatasoputkisto on halvempi vaihtoehto verrattuna energiakaivon investointikustannuksissa. Huoltotoimenpiteet ovat myös erittäin vähäisiä tässä järjestelmämuodossa. Läm-

mönkeruuputkisto kaivetaan maahan noin metrin syvyyteen. Lämmönkeruuputket asennetaan kiemurtelemaan maastoon, periaatteella että niiden tulee sijaita vähintään metrin etäisyydellä toisistaan. [10;12.]

3.3 Vesistöjärjestelmä

Vesistöjärjestelmä on nimensä mukaan vesistöön asennettava lämmönkeruujärjestelmä. Rakennuksen sijaitessa lähellä vesialuetta, voidaan tätä lämmönkeruujärjestelmää käyttää hyödyksi. Kuvassa 5 on esimerkki vesistöjärjestelmästä.



Kuva 5. Vesistöjärjestelmä esimerkki kuva. (NIBE, Pientalojen maalämpöpumppu opas)

Vesi on erittäin hyvä elementti, joka sitoo lämpöä itseensä. Vesistöjärjestelmässä lämmönkeruuputkisto tulee asentaa vähintään kahden metrin syvyyseen vesistöön. Putkisto ankkuroidaan aina vesistön pohjaan turvallisuussyistä. Vesistöjärjestelmässä putkisto on eristettävä heti vedestä nousevasta kohdasta aina rakennuksen sisäänmeno kohtaan asti, ilman eristystä osa lämmöstä pääsee häviämään matkan aikana. [10]

4 Suunnittelukohde

4.1 Kohteen tiedot

Maalämpöjärjestelmä suunniteltiin ja maalämpökaivojärjestelmä mitoitettiin Taivallahden peruskoululle. Taivallahden peruskoulu on yhteiskoulu, jossa luokkia on ensimmäisestä luokasta yhdeksänteen luokkaan. Koulu sijaitsee Etelä-Helsingissä Eteläinen Hesperian katu 38, 00100 Helsinki, ja sen opiskelijamäärä on noin 770. Koulurakennuksia on kaksi kappaletta Ylätalo sekä Alatalo, ja kummankin rakennuksen välittömässä läheisyydessä on omat piha-alueet, joita olisi maalämpökaivokenttää suunniteltaessa mahdollista hyödyntää.

Taivallahden koulun peruskorjauksen yhteydessä haluttiin selvittää, onko mahdollista ainakin osa kohteen lämmitystarpeesta tuottaa maalämpöä hyväksikäyttäen. Lähtötietoina kohteesta saatiin asemapiirustus, kattava aluekuva, arkkitehtisuunnitelmat sekä nykyisten LVI-laitteiden mitoitustiedot. Kohteelle tehtiin tavoite-energiälaskelma, jonka perusteella laskelmat tehtiin.

4.2 Järjestelmän valinta ja mitoitus

Maalämpöjärjestelmä mitoitetaan ilmanvaihdon ja rakennuksen lämmityksen sekä käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan tehontarpeen tai energian kulutuksen perusteella. Esimerkkikohteen mitoituksessa ei huomioitu käyttöveden lämmitystehoa.

Uudiskohteissa rakennuksen LVI-suunnittelija laskee mitoitustehon- ja lämmitystehontarpeet. Vanhoissa jo olemassa olevissa rakennuksissa tarvittavat lähtötiedot selviävät luotettavimmin toteutuneiden kulutustietojen perusteella. Mikäli luotettavia kulutustietoja ei ole syystä tai toisesta saatavilla, on suunnittelijan ammattitaidolla ja kokemuksella iso merkitys onnistuneen mitoituksen tekemisessä.

Maalämpö voidaan mitoittaa täysi- tai osatehoiseksi. Osatehomitoituksessa maalämmöllä saadaan 60–90 % lämmitystehontarpeesta kovalla pakkasella. Loput tehon tar-

peesta katetaan esimerkiksi kaukolämmöllä tai maalämpöjärjestelmässä olevalla sähkövastuksella tai muulla lisälämmönlähteellä. Osatehomitoituksessa vuosittaisesta energian tarpeesta katetaan maalämmöllä kuitenkin 98–99 %, koska kovia pakkaspäiviä on vähän. Täystehomitoituksessa taas maalämmöllä katetaan koko lämmitys ja käyttöveden lämmittämisen energiantarve, jopa kovallakin pakkasella. [13]

Suunnittelija laskee kohteen lämmitystehontarpeen perinteisellä tavalla, esimerkiksi simulointiohjelmaa (RIUSKA, IDA ICE) käyttäen. Simulointiohjelmaa käytettäessä on mahdollista saada myös jäähdytystehontarve laskettua, jos kohteeseen ajatellaan olevan tarvetta jäähdytykselle.

Maalämpöjärjestelmän keruupiirin kiertopumpun energiankulutuksella on mahdollista viilentää sisäilmaa tiettyyn pisteeseen asti. Rakennuksen vaatiessa isomman jäähdytystehon, on maalämpöjärjestelmä suunniteltava alusta alkaen myös jäähdytystä varten. Kun järjestelmä sisältää jäähdytyksen, maalämpökenttään latautuu takaisin siitä aiemmin otettua lämpöä ja näin ollen saadaan pidennettyä järjestelmän käyttöikä.

Insinööriyössä mitoitettiin Taivallahden koululle maalämpökaivojärjestelmä. Maalämpökaivojärjestelmä valikoitui kohteeseen sen kannattavuuden vuoksi. Maalämpökaivojärjestelmä on myös suosituin menetelmä ja aina tilanteen sekä alueen sen salliessa kannattavin vaihtoehto. Maalämpökentän esimitoituksessa käytettiin esimitoitus-Excel-taulukkoa (liite 2). Tavoitteellinen energiankulutus saatiin kohteen energiasuunnittelijalta (taulukko 2).

Taulukko 2. Rakennuksen tavoitteellinen energiankulutus.

Tavoite-energiankulutus	LKV	Tila	IV	Yhteensä, MWh/v
Ylätalo	80	529	33	641
Alatalo	148	752	164	1065
Yhteensä	228	1281	197	1706

Järjestelmän toteutuksesta laadittiin investointi- sekä elinkaarikustannuslaskelmat. Maalämpöjärjestelmä mitoitettiin kattamaan osa rakennusten lämmitystehontarpeesta, tarkalleen 74 % siitä. Koulun piha-alueita käytettiin mitoituksessa hyödyksi geoenergiakenttinä, joiden avulla pystyttäisiin kattamaan jopa 80 % rakennusten tavoitteellisesta lämmitysenergiantarpeesta. Liitteessä 1 on esitetty tarkemmin kummankin rakennuksen piha-alue sekä värjätty alue, joka on mahdollista käyttää energiakaivoja varten.

Maalämpöjärjestelmän mitoituksien perusteella valittiin myös kohteeseen sopivat maalämpöpumput. Oilonin ChillHeat RE420 SU-maalämpöpumppuja tuli mitoituksen mukaan kohteeseen kolme kappaletta (kuva 6).

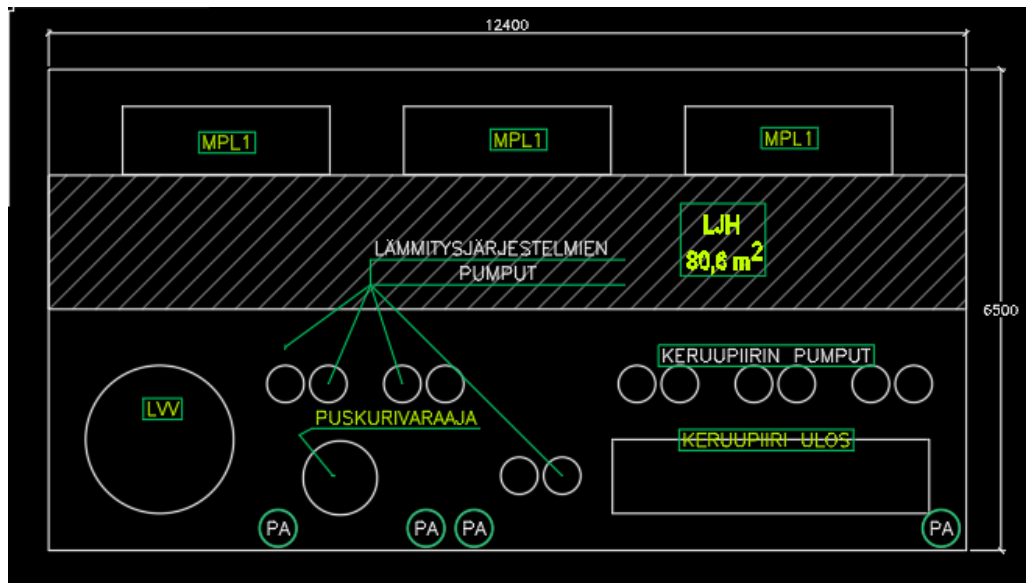
<u>Tyyppi</u>	
Lämpöpumppuja	3
Jäähdytysteho EN 12900 mukaan	740 kW
Sähkötehon kulutus	431 kW
Lämpöteho	1169 kW
COP	2,71
<u>Lämmönlähde (höyrystin)</u>	
Virtaava aine	vesi - etanoli (30 %)
Kylmän puolen sisäänmenolämpötila	1.0 °C
Kylmän puolen ulostulolämpötila	-3.0 °C
Virtaus	47.3 l/s
Lämmönvaihtimen painehäviö	19 kPa
<u>Lämpönielu (lauhdutin)</u>	
Virtaava aine	vesi
Lämpimän puolen sisäänmenolämpötila	45.0 °C
Lämpimän puolen ulostulolämpötila	60.0 °C
Virtaus	18.9 l/s
Lämmönvaihtimen painehäviö	64 kPa

Kuva 6. Lämpöpumpun mitoitustiedot. (Oilon Selection Tool)

Liitteessä 3 on esitetty tarkemmat maalämpöpumppujen tekniset tiedot. Kaikki kolme maalämpöpumppua sijoitettiin suunnitelmassa kohteen nykyiseen tekniseen tilaan. Maalämpöpumppujen kylmäaineena toimii HFC-kylmäaine R410A.

4.3 Tilavaraukset

Tilavarauksia tehdessä tulee ottaa huomioon sekä rakennuksen sisätilat, että itse ulko-alueet, joihin mahdollinen maalämpökenttä asennetaan. Rakennuksen sisätiloissa tulee varmistaa jo alkuvaiheessa, kuinka paljon tilaa itse järjestelmän komponentit vievät. Taivallahden koulun suunnitelmaa tehtäessä mitoitettiin alkuun kaikki komponentit, joiden tulisi mahtua sisätiloihin. Näitä komponentteja ovat lämpöpumput, lämminvesivaraaja, puskurivaraaja, paisunta-astiat, lämmitysjärjestelmien pumput, sekä keruupiirin pumput. Kuvassa 7 on esitetty luonnos Taivallahden teknisen tilan rakenteesta kaikkine varusteineen. Näiden lisäksi teknisen tilan mitoituksessa tulee ottaa huomioon huollettavuus, huoltotilaa on suositeltavaa varata vähintään 600 mm, jokaisen huoltoa vaativan komponentin ympärille. [14]



Kuva 7. Taivallahden koulun suunniteltu tekninen tila.

Rakennuksen ulkoalueiden tilavaraukset vievät huomattavasti enemmän tilaa, kuin sisätilojen varaukset ja jo alkuvaiheessa tulee piha-alueet kartoittaa hyvin. Taivallahden koulun yhteydessä oli kaksi piha-aluetta, joita kumpaakin olisi mahdollista käyttää keruupiirin asentamiseen. Rakennusten piha-alueista tehtiin laskelmat käyttäen apuna taulukossa 3 esitettyjä ohjearvoja minimietäisyyksistä. Näiden laskelmien perusteella pystyttiin määrittämään alueet, joille kaivoja olisi suositeltujen minimietäisyyksien mukaan mahdollista asentaa. Liitteessä 1 on esitetty alueet, jotka saatiin aikaiseksi laskelmien jälkeen.

Taulukko 3. Energiakaivojen porausreikien suositellut minimietäisyydet eri kohteisiin. (Ympäristöopas 2013)

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ^[14]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivusyvytydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Tilavarauksia suunniteltaessa tulisi myös ottaa huomioon, että energiakaivokentän tulisi olla mahdollisimman lähellä muuta maalämpöjärjestelmää eli esimerkiksi tässä kohteessa lähellä lämmönjakohuonetta. Näin toimittaessa voidaan välttää turhia vaakaveitoja keruuputkiston asennuksessa, mikä taas vähentää pumppaamiskustannuksia. Toinen asia, joka tulee ottaa huomioon, koskee lämpöhäviöitä kaivokentän ja lämmönjakohuoneen välillä. Näitä lämpöhäviöitä voidaan minimoida asentamalla teknisessä tilassa sijaitsevat maalämpöjärjestelmän osat mahdollisimman lähelle energiakenttää.

5 Geokentän optimointi

Energiakaivokenttien simuloinnissa käytettiin EED-ohjelmaa. EED on tietokoneelle suunniteltu simulointiohjelma, joka on kehitetty työkaluksi lämpöpumppujärjestelmien ja porakaivolämpövaraston suunnitteluun. Suunnitteluohjelman avulla pystytään varmistamaan riittävä geoenergian saatavuus maankamarasta sekä mitoittamaan maalämpökenttä mahdollisimman optimaaliseksi. [15]

Maalämpöpumppujärjestelmien optimoinnissa on kaksi erittäin tärkeää päävaihetta, jotka ovat rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän mitoitus ja maalämpölaitteiden valinta sekä toisena energiakaivokentän mitoitus ja optimointi.

Maapiirin koon alimitoituksella voi olla vaikutusta maalämpöpumppujärjestelmän tehokkuuteen. Peräkkäisten lämmitys- ja jäähdytyskausien aikana alimitoitettulla järjestelmällä on taipumusta ottaa enemmän energiaa maasta, kuin mitä kallioperästä ehtii johtumalla siirtyä lämpökaivoihin. [16]

Energiakaivokentän ollessa osa maalämpöpumppujärjestelmää on toteutettava toimenpiteet sen varmistamiseksi, että energiakaivo ja kaikki muut järjestelmän komponentit ovat hyvin suunniteltuja ja toiminnallisesti yhteensopivia. Nämä vaiheet sisältävät olemassa olevan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytyskuormituslaskelmat ja laitteiden koon sekä rakennuksen energiantarpeet.

Maalämpöjärjestelmässä on monenlaisia muuttujia ja parametreja, joita pyritään optimoimaan laite- sekä järjestelmäkohtaisesti. Laitekohtaisia optimointitavoitteita voivat olla esimerkiksi minimi lauhdutinlämpötilan tai maksimi höyrystinlämpötilan saavuttaminen. Näin saadaan aikaiseksi parempi COP-arvo. Järjestelmäkohtaisia optimointitavoitteita taas voivat olla mahdollisimman pieniin investointi- sekä elinkaarikustannuksiin pyrkiminen. Maalämpöjärjestelmää voidaan myös optimoida muuttamalla lämpökaivojen syvyyttä ja kaivokentän geometriaa. Näiden lisäksi optimointiin vaikuttaa erilaiset materiaalivalinnat. [17]

Uudessa rakennuksessa maalämpöjärjestelmää voidaan alkaa optimoimaan jo suunnitteluvaiheessa matalaenergiajärjestelmäksi, jonka ansiosta maalämpöä pystytään hyödyntämään entistä tehokkaammin.

Korjausrakentamisessa kannattaa aina alkuun tarkistaa, onko nykyisten rakenteiden lämmöneristävyys riittävä. Kun rakennuksen ulkovaipan lämmöneristävyys on hyvä, rakennuksen tehon- ja energiantarve on pienempi ja energiakaivokenttä investointina halvempi. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että mitä pienempi lämmitystarve on sitä, pienempi laiteinvestointi tulee olemaan. Tämän seurauksena myös CO₂-päästöt pienenevät. [17]

Maalämpö soveltuu parhaiten, jos kohteesta löytyy lattialämmitys. Menoveden lämpötilan pitää olla merkittävästi korkeampi patterijärjestelmässä kuin lattialämmitysverkossossa, mikä pienentää COP-arvoa. [17]

5.1 Maapiirin mallinnus EED ohjelmalla

Maalämpöpumppu on ekologinen tapa tuottaa lämmitysenergiaa ympärivuoden. Maa- sekä kallionsisäisen lämpötilan vaihtelevuus on erittäin vähäistä ($2\text{ °C} < t_h < 10\text{ °C}$) vuoden aikana Suomessa. Nämä lähtökohdat yhdistettynä järjestelmän asianmukaisen optimoinnin kanssa mahdollistavat korkean lämpöpumpun vuoden keskimääräisen lämpökertoimen (SPF) saavuttamisen. [17;18.]

SPF-arvot välillä 1–5 ovat mahdollisia eri lämpöpumppujärjestelmille. Matalan lämpötilan lämmitysjärjestelmissä, kuten lattialämmitysjärjestelmissä lauhtutin voi toimia lämpötilassa $t_c < 40\text{ °C}$, mikä johtaa parempiin SPF-arvoihin geotermisissä lämpöpumppujärjestelmissä. [18]

Energiakaivokentän optimointiin käytettiin EED-simulointiohjelmaa, jonka avulla saatiin laskettua sekä mitoitettua mahdollisimman optimaalinen kenttäkonfiguraatio. Ensimmäisessä tarkastelussa mitoitettiin kaivojen syvyyttä sekä kaivokentän konfiguraatiota, kun kaivokenttää käytetään pelkästään lämpöpumpun lämmönlähteenä.

Taivallahden koulun suunnitteluvaiheessa ei vielä tehty TRT-mittausta, joten simuloinnin perustana käytettiin EED:n arvoja graniitille. Kuvassa 8 näkyvät graniitin taulukkoarvot.

Ground properties		✕	
Thermal conductivity	<input type="text" value="3,500"/>	<input style="background-color: #e0f0ff; border: 1px solid #add8e6;" type="text" value="?"/>	W/(m·K)
Volumetric heat capacity	<input type="text" value="2,160"/>	<input style="background-color: #e0f0ff; border: 1px solid #add8e6;" type="text" value="?"/>	MJ/(m ³ ·K)
Ground surface temperature	<input type="text" value="8,000"/>	<input style="background-color: #e0f0ff; border: 1px solid #add8e6;" type="text" value="?"/>	°C
Geothermal heat flux	<input type="text" value="0,06000"/>	<input style="background-color: #e0f0ff; border: 1px solid #add8e6;" type="text" value="?"/>	W/m ²

Kuva 8. Graniitin ominaisuudet.

Kun EED-ohjelmaan on saatu syötettyä maaperän tiedot, lähdetään täydentämään muita laskentaa varten tarvittavia tietoja. Tässä tarkastelussa jatkettiin valitsemalla lämmönkeruuneste. Kohteen lämmönkeruunesteeksi valittiin 20-prosenttinen etanoli. Kuvassa 9 on

esitetty tämä valintaikkuna sekä kohteeseen valikoitunut lämmönkeruuneste ominaisuuksineen.

Heat carrier fluid [X]

Thermal conductivity	0,4430	W/(m·K)
Specific heat capacity	4352,0000	J/(kg·K)
Density	977,0000	kg/m ³
Viscosity	0,006800	kg/(m·s)
Freezing point	-11,00	°C

[Close]

Kuva 9. Lämmönkeruuneste etanoli (20 %).

Tämän vaiheen jälkeen siirryttiin täyttämään järjestelmän kuukausittaisia huipputehoja, jotka saatiin esimitoitus-Excel-taulukosta. Rakennuksen kokonaislämmitystehontarve on 1 166 kW ja lämpöpumpun huipputeho 1 169 kW. Liitteessä 2 on esitetty esimitoitustaulukko. Esimitoitustaulukosta saatu tehonmäärä jaettiin eri kuukausille tarpeen mukaan ja täydennettiin sille varattuun taulukkoon EED-ohjelmassa. Kuva 10 on tarkempi kuva ohjelmaan syötetyistä kuukausittaisista huipputehoista.

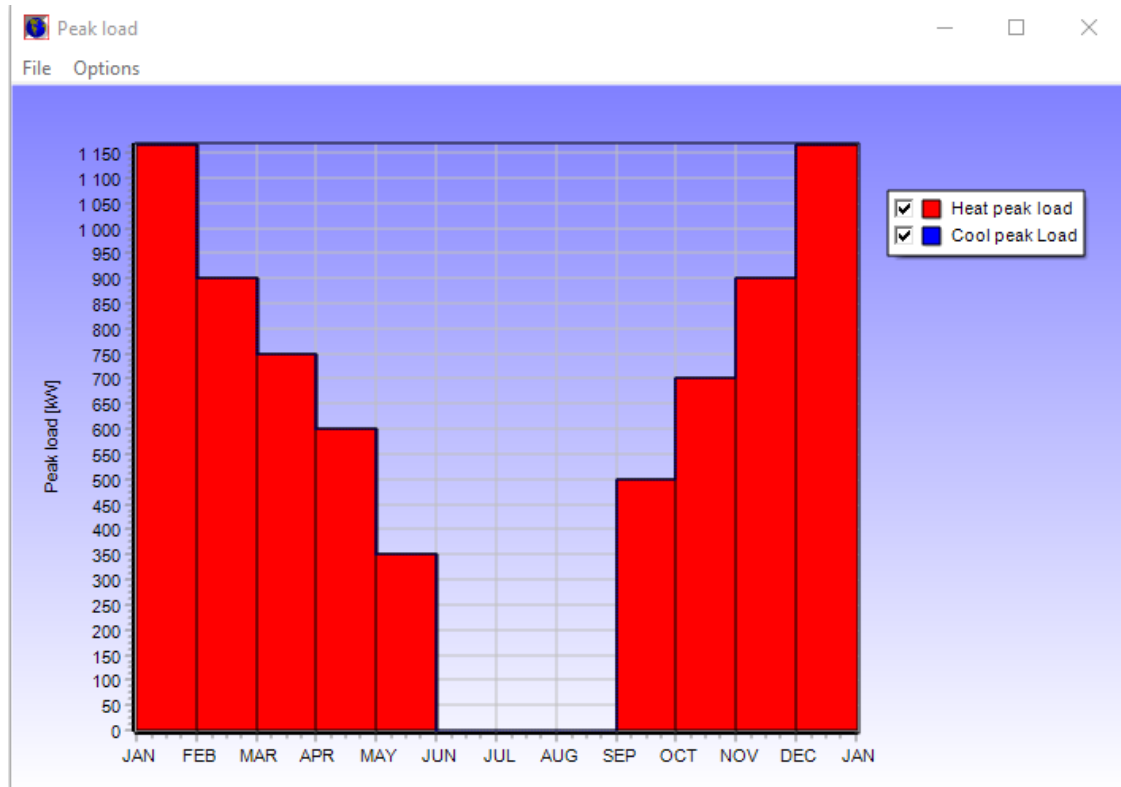
Peak heat and cool power [X]

	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	1166,000	4,000	0,000	0,000
February	900,000	4,000	0,000	0,000
March	750,000	4,000	0,000	0,000
April	600,000	4,000	0,000	0,000
May	350,000	4,000	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	500,000	4,000	0,000	0,000
October	700,000	4,000	0,000	0,000
November	900,000	4,000	0,000	0,000
December	1166,000	4,000	0,000	0,000

[Graph] [Close]

Kuva 10. Energiakaivoista otettava huipputeho eri kuukausina.

Kun kuukausittaiset huipputehot on saatu syötettyä oikein ohjelmaan, antaa se ulos alhaalla kuvassa 11 nähtävän pylväsdigrammin kuukausittaisista tehoista.



Kuva 11. Energiakaivoista kuukausittain otettava huipputehokaavio.

Seuraava vaihe simuloinnin lähtötietojen täytössä on valita simulointi ajanjakso, kuinka pitkältä ajalta dataa halutaan nähdä ja laskea. Kuvassa 12 on esitetty tämä vaihe. Tässä vaiheessa täytetään vuodet sekä kuukausi, josta laskenta aloitetaan.

Simulation period

Simulation period: 25 years

First month of operation: 9 (SEP)

For hourly simulations:

Show results after: 0 years

Close

Kuva 12. Simulointiajanjakso.

Tämän vaiheen jälkeen avataan peruskuorma välilehti, jossa voidaan määritellä rakennuksen vaatima vuotuinen lämmitys- ja jäähdytysenergia ja sen kuukausiprofiili sekä mikä osuus lämmitys- ja jäähdytysenergiasta otetaan maaperästä. Kuvassa 13 on esitetty välilehti, johon on syötetty vuotuinen lämmitysenergian tarve ilman käyttövettä ja lämmitysenergian käyttöprofiili joka kuukausi. Vuotuisten tehojen jälkeen lisätään valintaikkunaan SPF-luvut. Pohjakuorma ikkunassa voidaan valita, halutaanko laskelma tehdä vuotuisella vai kuukausittaisella energiankulutuksella. Tässä valinta ikkunassa asetetaan myös kuukausittaiset pohjakuormat sekä lämmitykselle, että tarvittaessa jäähdytykselle. Tällä kertaa haluttiin tehdä tarkastelu ainoastaan lämmitystehojen pohjalta, joten jäähdytyksen sarakkeet jätettiin tyhjäksi.

Taivallahden koulun lämmitystehontarve on laskelmien mukaan 1 448 MWh vuodessa. Kohteessa käytetään varalämmityksenä kaukolämpöä, joten maalämpöjärjestelmä mitoitettiin ilmanvaihdon sekä tilojen lämmitysenergian tarpeen perusteella. Näistä energian tarpeista saatiin summaksi 1 448 MWh. Tämä arvo syötettiin valintaikkunaan, minkä jälkeen ohjelma laskee annetuilla pohjatehoilla pumpun sekä maankamaran antaman tehon.

Base load (without DHW):

Annual energy and monthly profile
 Monthly energy values

[MWh]	Heat	Cool	Ground
Annual	1478,000	0,000	Update
SPF	3,50	30,00	
	<input type="checkbox"/> Direct	<input type="checkbox"/> Direct	
January	0,155	0,000	163,636
February	0,148	0,000	156,246
March	0,125	0,000	131,964
April	0,099	0,000	104,516
May	0,064	0,000	67,566
June	0,000	0,000	0,000
July	0,000	0,000	0,000
August	0,000	0,000	0,000
September	0,061	0,000	64,399
October	0,087	0,000	91,847
November	0,117	0,000	123,519
December	0,144	0,000	152,023
Sum:	1	0	1055,7

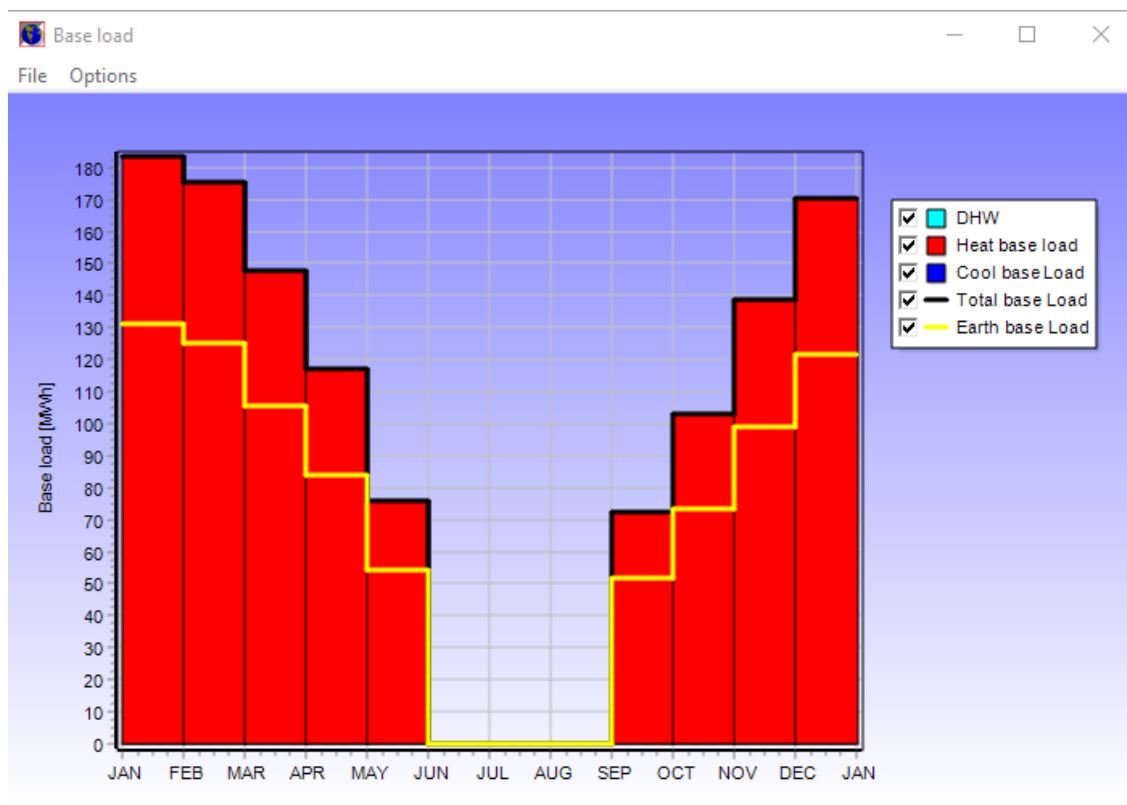
Domestic hot water (DHW):

Annual SPF

[MWh]	Heat pump	Ground	Building
Heat:	1478x1/3,5 (422,29)	+ 1478x2,5/3,5 (1055,7)	= 1478
DHW:	0x1/3,5 (0)	+ 0x2,5/3,5 (0)	= 0
Cool:	0x1/30 (0)	+ 0x31/30 (0)	= 0
Heat:	Heat pump 422,29 ==> ^	Building 1055,7	Building 1478
Cool:	Heat pump 0 ==> v	Building 0	Building <== 0
Heat extracted from ground: 1055,7+0-0=1055,7			

Kuva 13. Mitoituksen pohjakuorma.

Näistä pohjakuormista ohjelma antaa pylväsdiagrammin, joka on esitetty kuvassa 14. Diagrammissa nähdään kuormien jakautuminen eri kuukausille.



Kuva 14. Pohjakuormakaavio.

Pohjakuormien syöttämisen jälkeen siirrytään itse kaivon sekä lämmönsiirtimen mitoittamiseen. Mitoitus EED-ohjelmalla aloitetaan valitsemalla muoto, johon kaivot haluttaisiin sijoittaa piha-alueelle. Sen jälkeen avataan valikko, josta päästään valitsemaan tarkempi haluttujen kaivojen lukumäärä sijoitettuna haluttuun muotoon. Tässä osassa mitoittusta asetetaan myös haluttu kaivojen syvyys sekä etäisyys toisistaan.

Tässä esimerkkikohteen mitoituksessa EED-ohjelmalla laskettiin energiakaivojen tarvittavaksi syvyydeksi 319 m ja kaivojen väliseksi etäisyydeksi 15 metriä. Energiakaivoja saataisiin piha-alueille laskelmien mukaan 48 kappaletta.

Borehole and heat exchanger ×

Borehole

Type: Single-U

Config.: 255 ?

255 ("48 : 2 x 24, rectangle")

Depth: 318,95 m

Spacing: 15,00 m

Diameter: 110,000 ? 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

1,500 l/s

Series factor (1=parallel): 1 $Q_{bh}=Q=1,5$ l/s

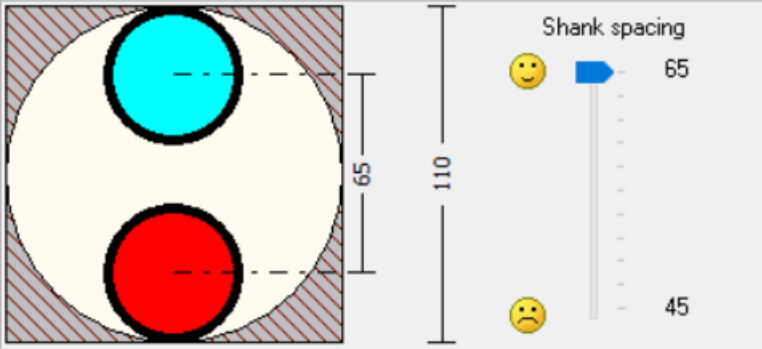
U-pipe

Outer diameter: 45,000 mm

Wall thickness: 2,600 ? mm

Thermal conductivity: 0,420 W/(m·K)

Shank spacing: 65,000 mm



Kuva 15. Lämpökaivon sekä lämmönvaihtimen mitoitus.

Ohjelmassa saadaan kuvissakin näkyvän kysymysmerkkisymbolin takaa auki valikko, josta saadaan tehtyä tarkempia lisävalintoja. Esimerkiksi kuvassa 15 on kohta "U-pipe", jonka alta löytyy kysymysmerkin symboli. Painamalla symbolista avautuu ikkuna (kuva 16.), jossa pääsee valitsemaan putkityyppiä ja sen kokoa.

U-pipe

Convert values:

No SI => ENG ENG => SI

PE DN25 SDR-17	d=25 mm t=2.0 mm l=0.42	0.0250	0.0020	0.42
PE DN32 SDR-17	d=32 mm t=2.0 mm l=0.42	0.0320	0.0020	0.42
PE DN40 SDR-17	d=40 mm t=2.4 mm l=0.42	0.0400	0.0024	0.42
PE DN45 SDR-17	d=45 mm t=2.6 mm l=0.42	0.0450	0.0026	0.42
PE DN50 SDR-17	d=50 mm t=2.9 mm l=0.42	0.0500	0.0029	0.42
PE DN20 SDR-11	d=20 mm t=2.0 mm l=0.42	0.0200	0.0020	0.42
PE DN25 SDR-11	d=25 mm t=2.3 mm l=0.42	0.0250	0.0023	0.42
PE DN32 SDR-11	d=32 mm t=3.0 mm l=0.42	0.0320	0.0030	0.42
PE DN40 SDR-11	d=40 mm t=3.7 mm l=0.42	0.0400	0.0037	0.42
PE DN45 SDR-11	d=45 mm t=4.1 mm l=0.42	0.0450	0.0041	0.42
PE DN50 SDR-11	d=50 mm t=4.6 mm l=0.42	0.0500	0.0046	0.42
PE DN63 SDR-11	d=63 mm t=5.8 mm l=0.42	0.0630	0.0058	0.42
PE DN75 SDR-11	d=75 mm t=6.9 mm l=0.42	0.0750	0.0069	0.42
PE DN90 SDR-11	d=90 mm t=8.2 mm l=0.42	0.0900	0.0082	0.42
SCH 40 3/4"	d=26.7 mm t=2.9 mm l=0.42	0.0267	0.0029	0.42
SCH 40 1"	d=33.4 mm t=3.4 mm l=0.42	0.0334	0.0034	0.42
SCH 40 1-1/4"	d=42.2 mm t=3.6 mm l=0.42	0.0422	0.0036	0.42
SCH 40 1-1/2"	d=48.3 mm t=3.7 mm l=0.42	0.0483	0.0037	0.42
SCH 40 2"	d=60.3 mm t=3.9 mm l=0.42	0.0603	0.0039	0.42
SDR-11 3/4"	d=26.7 mm t=2.5 mm l=0.42	0.0267	0.0025	0.42
SDR-11 1"	d=33.4 mm t=3.0 mm l=0.42	0.0334	0.0030	0.42
SDR-11 1-1/4"	d=42.2 mm t=3.9 mm l=0.42	0.0422	0.0039	0.42

Kuva 16. Putkityypin ja koon valinta.

Putkityypiksi valitaan PE-muoviputki, joka on kooltaan DN 45. Valittu putkityyppi näkyy maalattuna kuvassa 16.

Liitteessä 4 on esitetty kokonaisuudessaan EED-raportti. Tämä raportti käsittelee ensimmäisen tarkastelun laskelmia.

5.2 Viilennysenergian vaikutus geoenergiakentän elinkaareen

EED-ohjelmalla tehtiin myös toinen tarkastelu, jossa tutkittiin rakennuksen jäähdytystarpeita ja mahdollista viilennystä.

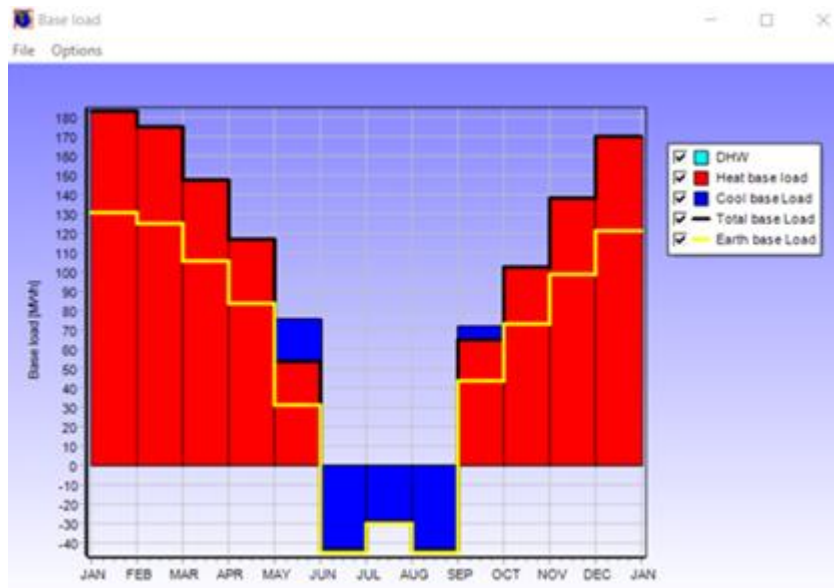
Viilennykselle on uusissa matalaenergiarakennuksissa nykypäivänä enemmän tarvetta. Rakennuksen jäähdytystarpeeseen riittää yleensä passiivinen viilennys. Passiivisessa viilennyksessä maalämmön keruupiiristä kierrätetään kylmää nestettä esimerkiksi ilmanvaihtokoneelle. Lämpöpumpun ei tarvitse käynnistyä lainkaan, jos maaperästä saatu energia riittää rakennuksen sisäolosuhteiden ylläpitämiseen. Maaviilennyksen käyttökustannukset muodostuvat ainoastaan keruupiirin kiertopumpun käyttämästä sähköstä.

	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	1166,000	4,000	0,000	0,000
February	900,000	4,000	0,000	0,000
March	750,000	4,000	0,000	0,000
April	600,000	4,000	0,000	0,000
May	350,000	4,000	400,000	0,000
June	0,000	0,000	650,000	0,000
July	0,000	0,000	800,000	0,000
August	0,000	0,000	700,000	0,000
September	500,000	4,000	150,000	0,000
October	700,000	4,000	0,000	0,000
November	900,000	4,000	0,000	0,000
December	1166,000	4,000	0,000	0,000

Kuva 17. Järjestelmän jäähdytyksen kuukausittainen huipputeho.

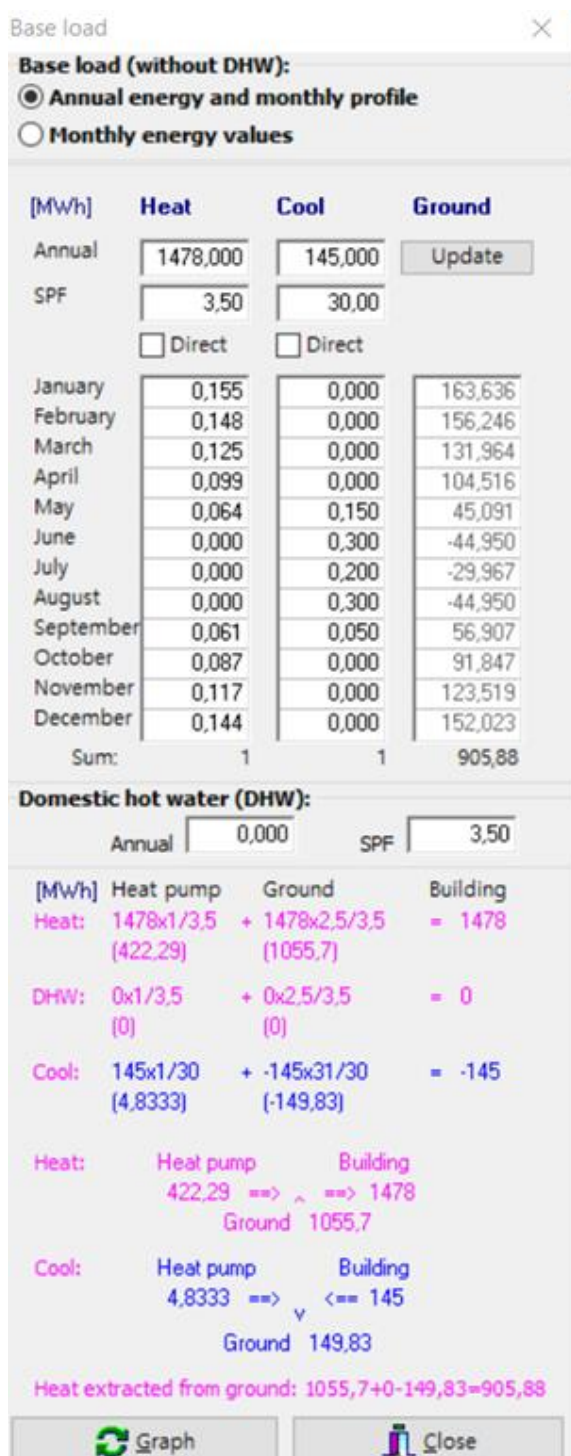
Toisessa tarkastelussa syötettiin kuukausittaisten huipputehojen taulukkoon lämmitystehontarpeiden lisäksi myös jäähdytystehontarpeet, jotka ensimmäisestä tarkastelusta jätettiin täyttämättä. Jäähdytystehontarpeet lisättiin taulukkoon vuoden lämpimille kuukausille, jolloin jäähdytykselle on tarvetta. (Kuva 17.)

Jäähdytystehontarpeiden syöttämisen jälkeen saatiin ohjelmasta ulos kuvassa 18 esitetty pylväsdiagrammi, josta näkyy selkeämmin lämmityksen ja jäähdytyksen tarve kuukausittaisella tasolla.



Kuva 18. Pohjakuormakaavio.

Taivallahden koulun jäähdytystarve on simulointien mukaan 145 MWh vuodessa. Geoenergiakentän on arvioitu vastaanottavan n. 800 kW lauhdutustehoa. Arvio on tehty keittiön koneen, sähkötilojen sekä toimistojen viilennyksen perusteella. Jäähdytysjärjestelmien energiaopas antaa vertikaaliselle putkistolle jäähdytysenergian tuotantoprosessiin kylmäkertoimen 30. Kuvassa 19 on esitetty vuotuisen jäähdytystehontarpeen vaikutus mitoitukseen.

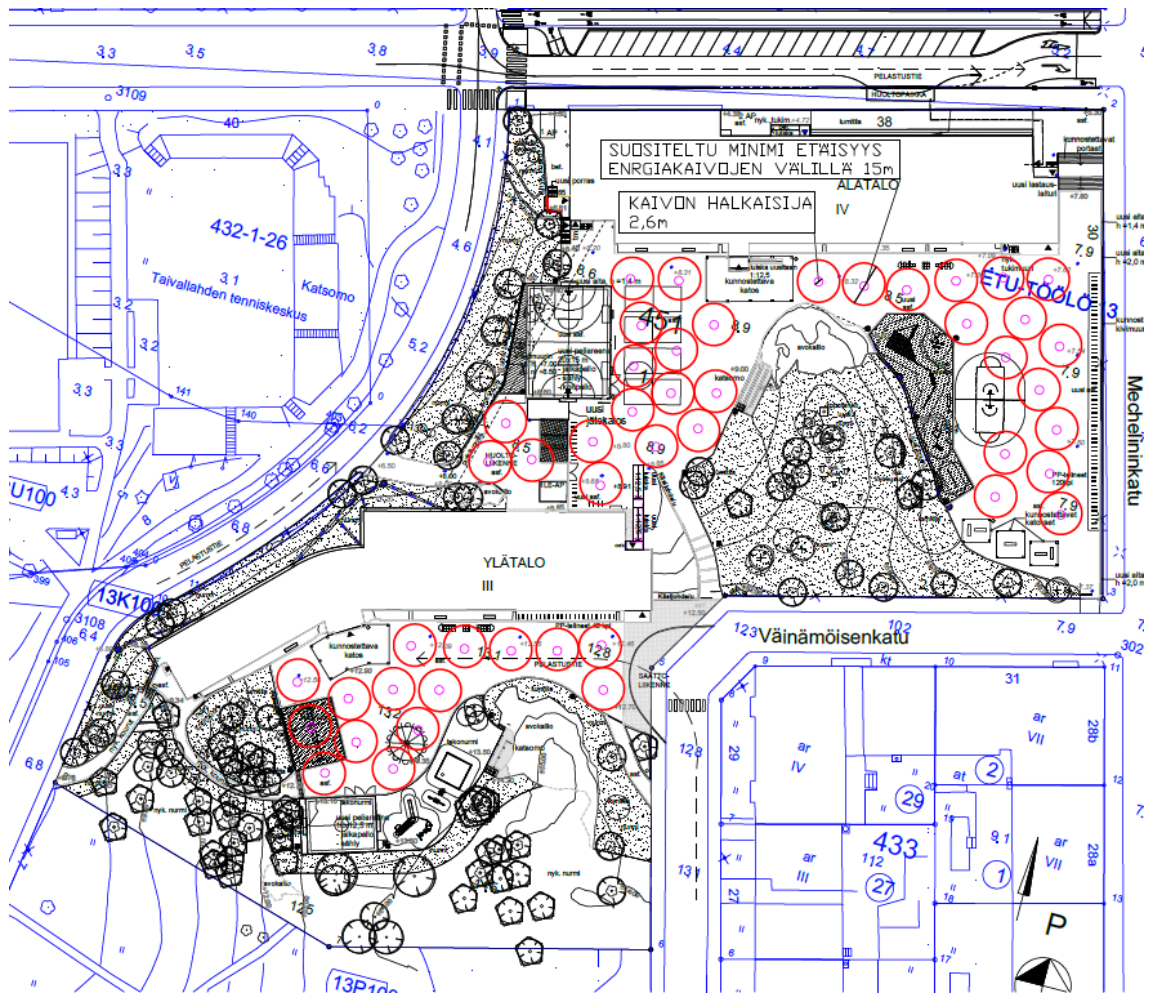


Kuva 19. Mitoituksen pohjakuorma.

Liitteessä 5 esitetty kokonaisuudessa jäädytyksen EED-raportti. Tämä raportti käsittelee toisen tarkastelun laskelmia.

5.3 Geokentän konfiguraatio

Geoenergiakenttä koostuisi yhteensä 47 energiakaivosta, jotka olisivat 319 metriä syviä. Tämän suunnitelman mukaan Ylätalon pihalle tulisi 15 energiakaivoa ja Alatalon pihalle 32 kaivoa. Energiakaivojen välinen etäisyys on 15 metriä. Kuvassa 20 esitetty, kuinka energiakaivot sijoittuisivat piha-alueille.



Kuva 20. Geokentän konfiguraatio.

Lopullisessa konfiguraatiossa otettiin tarkasti huomioon alueet, joita tulisi välttää kaivojen sijoittelussa. Kallioalueita, puita ja muita ympäristön ulkonäköön vaikuttavia elementtejä pyrittiin kiertämään kaivojen sijoittelun suunnittelussa. Kuitenkin optimaalinen kaivomäärä saatiin sijoitettua ja jaettua sopivasti kahdelle piha-alueelle näitä rajoituksia noudattaen.

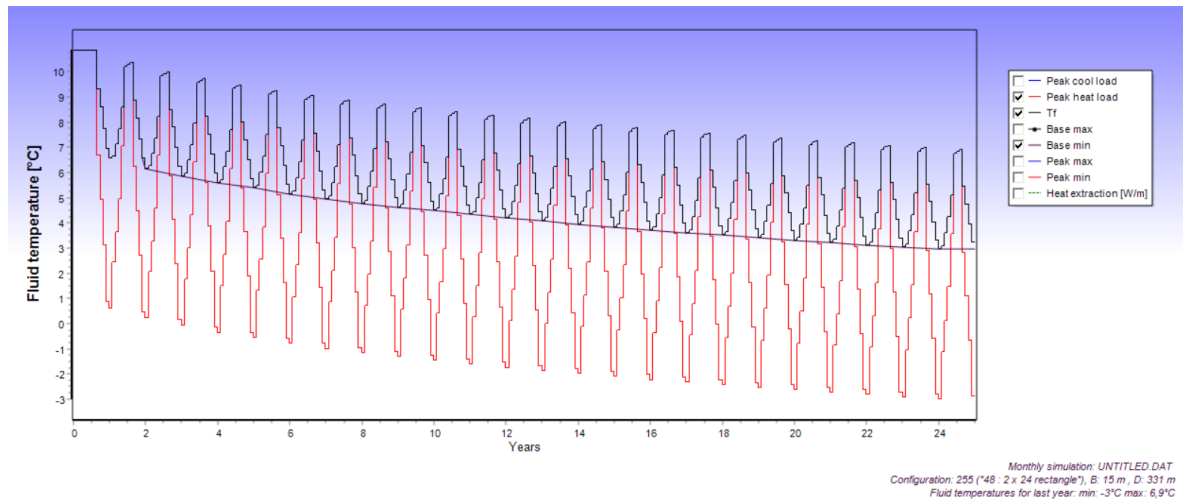
5.4 Maalämpöjärjestelmän kustannukset

Ilman erityisiä laskelmia on erittäin vaikea eritellä lämpöpumppujen asennuskustannuksia, koska niiden kustannukset ovat yksilöllisiä riippuen maanalaisen putken pituudesta ja syvyydestä, maaperän olosuhteista, asennuksesta ja muista tekijöistä. Suuntaviivana voidaan todeta, että järjestelmän rakentamiskustannukset kokonaisuudessaan ovat 1500–2500 euroa per 1 kW:n lämpöteholta. Hintaan sisältyy poraus, lämpöpumput, laitteiden asennus ja asentajan suorittama hydraulinen säätö.

5.5 Lopputulokset

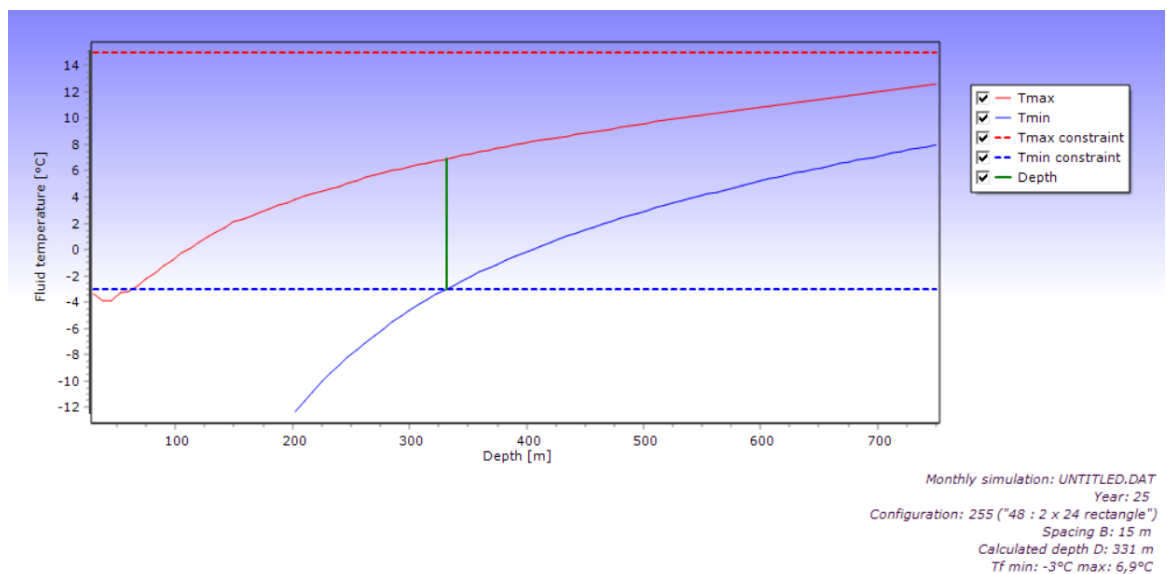
EED-ohjelmalla laskettiin ja mitoitettiin moneen otteeseen Taivallahden koulun mahdollista geokenttää, eri tietoja ja arvoja muuttaen. Tarkasteluja tehtiin kaksi, joista toisessa tutkittiin energiakentän mitoitusta lämmitystehontarpeiden perusteella. Toisessa tarkastelussa taas mitoitettiin järjestelmä sekä lämmitys- että jäähdytystehontarpeiden mukaan. Lopullisten laskelmien perusteella saatiin aikaiseksi toimiva sekä kannattava kaihokenttä.

Alla on esitetty ensimmäisen tarkastelun päätteeksi kaksi ohjelmasta saatua tulostetta, joista selviää lämmönkeruunesteen lämpötilan kehitys (kuva 21) sekä optimaalinen kaihvon syvyys (kuva 22). Lämmönkeruunesteen eli tässä tapauksessa 20-prosenttisen etanolin kehitystä on tarkasteltu 25 vuoden ajalta. Tarkastelun lopputuloksena nähdään, että lämmönkeruunesteen lämpötila on laskenut viimeisenä tarkasteluvuotena noin kolmeen celsiusasteeseen.



Kuva 21. Lämmönkeruunesteen lämpötilakehitys.

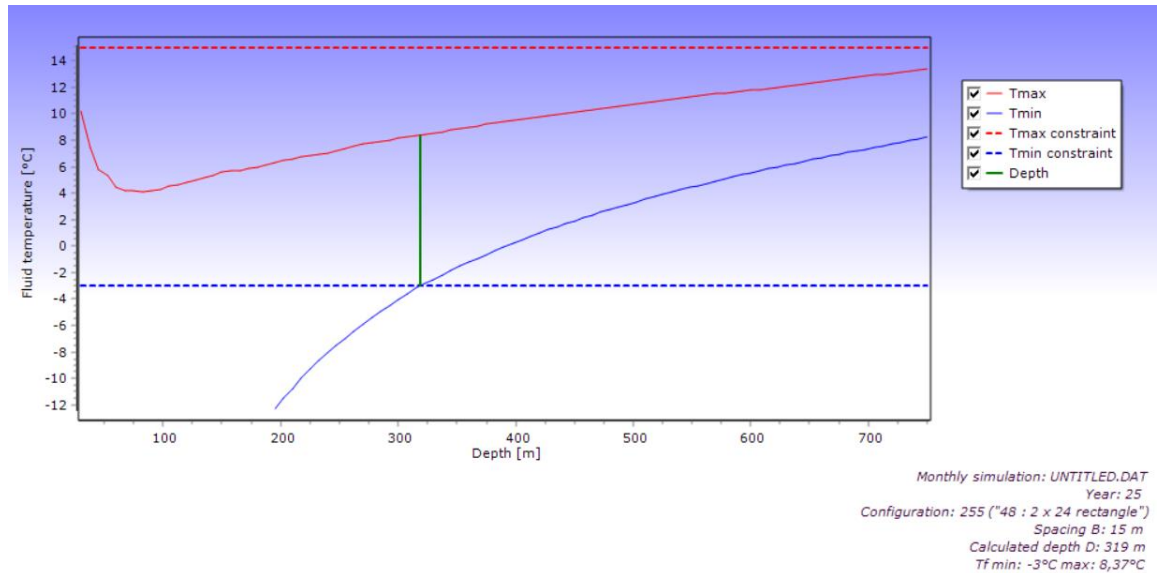
Ensimmäisessä tarkastelussa päädyttiin kaivokenttään, jossa kaivojen syvyys on 331 metriä. Tarkastelussa energiakaivokenttää käytettiin pelkästään lämpöpumpun lämmönlähteenä.



Kuva 22. Optimaalinen kaivosyvyys ilman viilennystä.

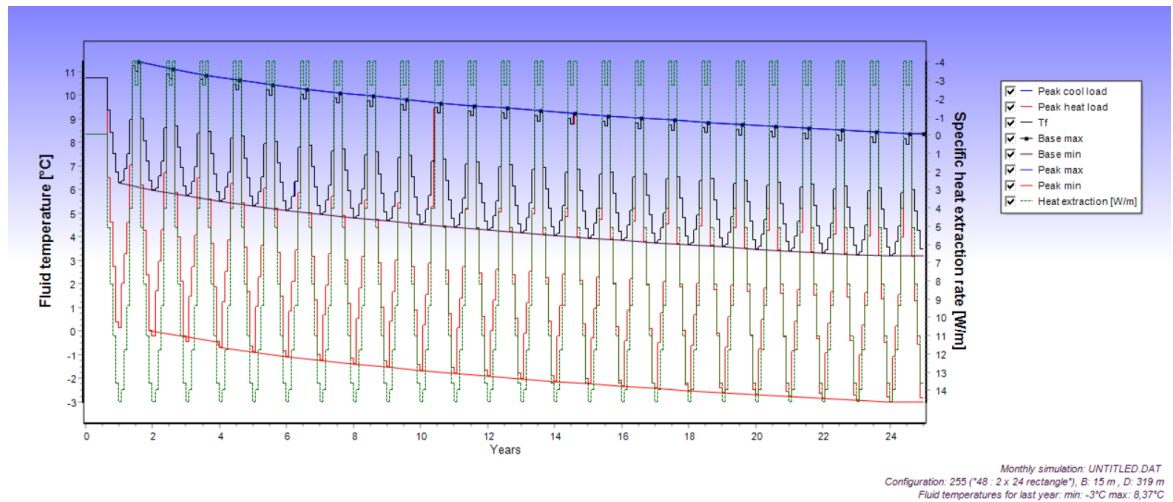
Toisessa tarkastelussa otettiin mukaan myös maanviilennys, jolloin vuoksi kaivon syvyydeksi saatiin 319 m. Kuvia 22 ja 23 vertailemalla voidaan nähdä, kuinka käyttämällä

maalämpöä sekä maanviilennystä yhdessä voidaan poraamiseen kuluja vähentää. Kai-voja porattaisiin 12 metriä vähemmän syvyysuunnassa, kun tarkastelussa käytettiin mukana maanviilennystä.



Kuva 23. Optimaalinen kaivojen syvyys viilennyksellä.

Keskimääräisiä pohjakuormalämpötiloja, jotka ovat alle 0 °C useiden viikkojen ajan, tulisi välttää ja liuoksen lämpötila ei saisi laskea alle –5 asteeseen, kun kaivosta otetaan lyhytaikaisesti enemmän tehoa. Näin estetään kaivokentän jäätymistä ja lämmönsiirto ominaisuuksien heikentämistä. Viilennyksen vaikutuksia kohde-esimerkin geokenttään nähdään kuvasta 24 alhaalla.

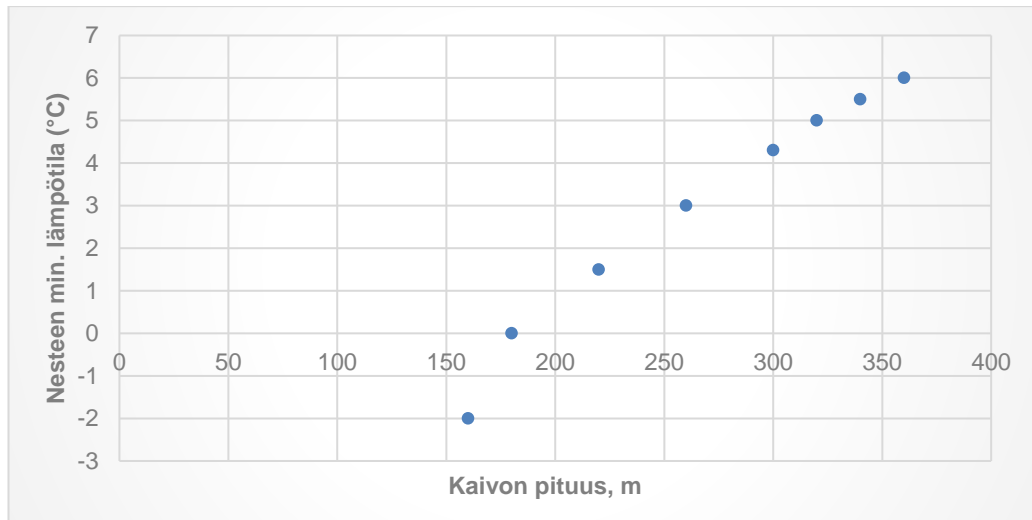


Kuva 24. Pohjakuorman ja huipputehon lämpötilojen sekä maa/kallioperän ominaislämmönluovutuksen kehitykset.

Peruskuorma kertoo lämmönkeruunesteen kehityksen muuttumisesta tarkasteluajavälillä. Tässä todelliset kuormitukset ovat siirtyneet maahan ja ulos maasta. Tässä tarkastelussa aikavälinä käytettiin 25 vuotta, jona aikana lämmönkeruunesteen lämpötila laski noin neljään celsiusasteeseen.

Toisaalta liian lyhyet kaivot voivat johtaa kentän alimitoitukseen ja jäätymiseen (kuva 25). Kaivojen pituuden vaikutusta nesteen lämpötilaan tarkasteltiin lämmönsiirtonesteen vakiovirtaamalla 1,5 l/s. Taulukon arvot on laskettu lämmityskuormituksella.

Kuvassa 25 on esitetty lämmönsiirtonesteen minimikeskilämpötila 25 vuoden kuluttua. Tätä Excelillä luotua kaaviota voidaan käyttää, kun haetaan optimaalista kaivojen syvyyttä.

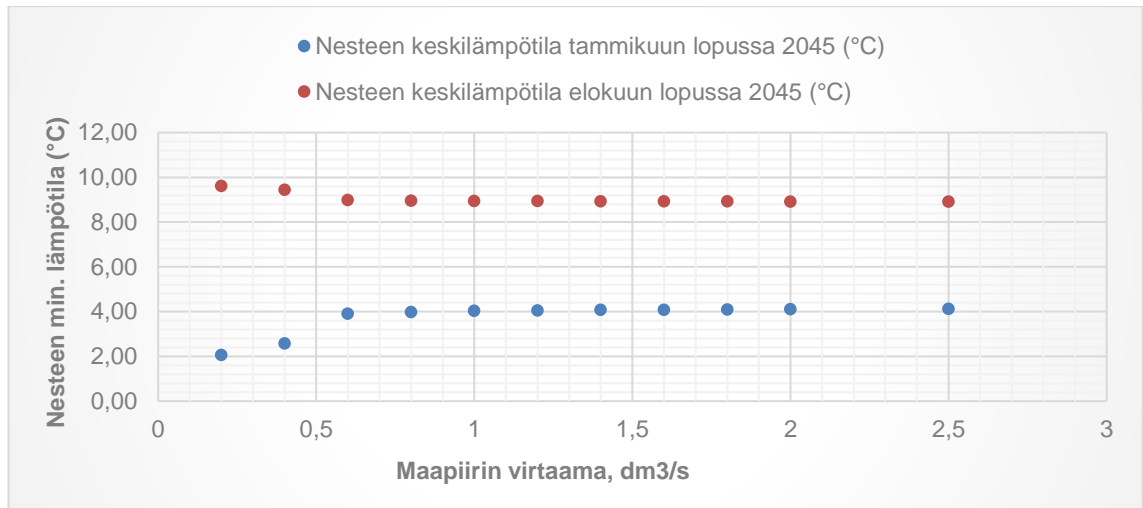


Kuva 25. Nesteen keskilämpötila eri kaivosyvyyksillä.

5.5.1 Lämmönsiirtonesteen virtaaman vaikutus

Tärkeä parametri maalämpöjärjestelmässä on myös lämmönsiirtonesteen virtaama keruupiireissä. Liian pieni virtaama johtaa laminaariseen virtaukseen niin kuin on nähtävissä kuvasta 26 alhaalla. Toisaalta liian iso virtaama johtaa pumppaamiskustannusten nousuun, vaikka ei tuottaisikaan parempaa lämmönsiirtoa. Tarkastuksen tuloksena nähdään, että lämmönsiirtonesteen virtaaman on oltava yli $0,53 \text{ dm}^3/\text{s}$ mutta n. $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ esimerkkitapauksessa. Virtaaman vaikutusta pumppaamiskustannuksiin, energiakaivokentän kustannuksiin ja lämmönkeruupiirin nesteen keskilämpötilaan ei tässä työssä selvitetty tarkemmin.

Kuvassa 26 on havainnollistettu lämmönsiirtonesteen minimi keskilämpötilaa 25 vuoden kuuluttua kentän käyttöön otosta, kun haetaan optimaalista lämmönsiirtonesteen virtaamaa.



Kuva 26. Lämmönsiirtonesteen keskilämpötila verrattuna maapiirin virtaamaan, kun kaivosyvyys on 319 m.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin maalämpökaivojen sijoittelun, lämpökaivokentän koon ja syvyyden vaikutusta optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Opinnäytetyössä käytettiin apuna Excel-mitoitustaulukkoa sekä Earth Energy Designer -ohjelmaa, joka on kehitetty lämpökaivokenttien mallintamiseen.

Ensi tekijöiksi käsitellään rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeiden vaikutus lämpöpumpun järjestelmälaskentaan ja suunnitteluun. Tämän jälkeen havaitaan minkälainen optimaalinen geokenttä on mahdollista saada aikaiseksi eri muuttujia ja parametreja käyttäen.

Taivallahden koulun peruskorjauksen yhteydessä tutkittiin, onko osa rakennuksen lämmitystehontarpeesta järkevää tuottaa maalämpöä käyttäen. Järjestelmän toteutuksesta tehtiin investointilaskelma ja elinkaari kustannuslaskelmat. Maalämpö mitoitettiin osatehoiseksi, kattamaan 74 % rakennusten IV-lämmitys ja lämmitystehosta. Koulun pihalueita käytettiin geokenttäalueina, joista olisi mahdollista saada katettua 80 % koko rakennuksen laskennallisesta lämmitysenergiatarpeesta.

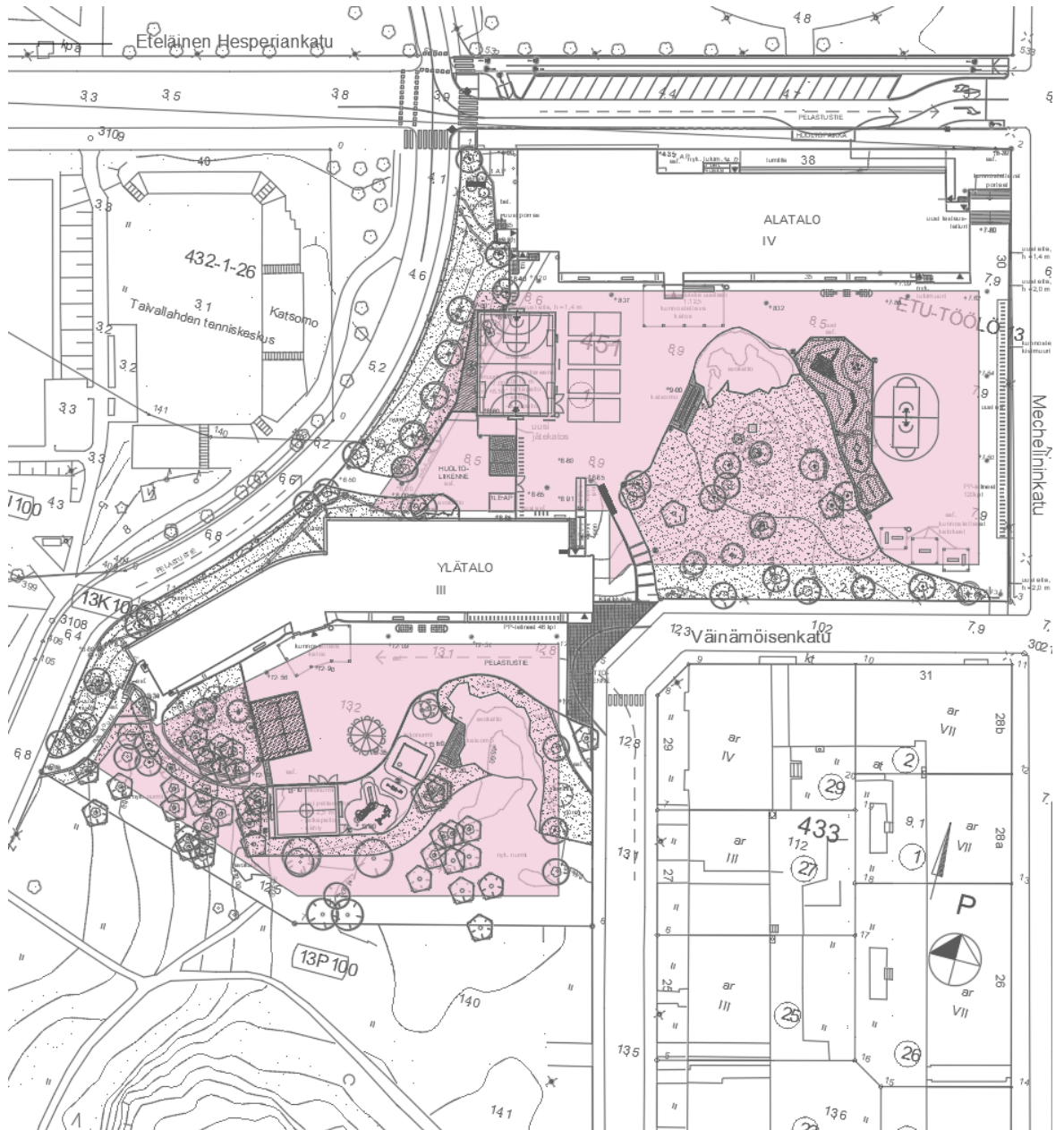
Geoenergiakentälle saatiin mahtumaan 47 energiakaivoa, jotka ovat 319 m syviä. Po-raaminen on mahdollista toteuttaa vinoporausena, jolloin vältetään vahingoittamasta nykyisiä pihaelementtejä, sekä kalliota ja puita.

Lähteet

- 1 Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013.
- 2 Huusko, Osmo. Maan povessa piilee loputtomasti energiaa. 3.3.2016. Kotimaa. < <https://yle.fi/uutiset/3-8713434> >. Luettu 20.1.2020
- 3 Miten maalämpö toimii. Verkkoaineisto. Thermia. < www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/ >. Luettu 29.1.2020.
- 4 Juvonen, Janne. 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Verkkoaineisto. Suomen porakaivo. < <http://www.suomenporakaivo.fi/files/6313/6355/4053/ymparisto-opas-lampokaivo.pdf> > Ympäristöopas. Luettu 12.2.2020
- 5 Mitä on maalämpö. Verkkoaineisto. Tomallen Senara. < www.tomallensena.fi/maalampo >. Luettu 3.2.2020.
- 6 Linden, Tero. Uusien kylmäaineiden vaikutus lämpöpumppuun. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys. < <https://www.sulpu.fi/documents/184029/2220831/9-%20Tero%20Linden%20-%20Uudet%20kylm%c3%a4aineet%20Sulpu.pdf> > Kauko markkinat.
- 7 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2005. Oppikirja. Helsinki. Opetushallitus.
- 8 Maalämpö on aurinkoenergiaa. Verkkoaineisto. Maalampo.fi. < www.maalampo.fi/artikkelit/mita-maalampo-on/ >. Luettu 3.2.2020.
- 9 Voiko maalämmön keruupiirin asentaa itse. Verkkoaineisto. Lämpöässä. < <https://www.lampoassa.fi/voiko-maalammmon-keruupiirin-asentaa-itse/> >. Luettu 14.2.2020.
- 10 Lämpöä omasta maasta. Motiva. Verkkoaineisto. Lämmitysjärjestelmät, Maalämpöpumput. < https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf >. Luettu 20.1.2020.
- 11 Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2009. Verkkoaineisto. Suomen porakaivo. < <http://www.suomenporakaivo.fi/files/6313/6355/4053/ymparisto-opas-lampokaivo.pdf> >. Luettu 15.2.2020
- 12 Määttä, Markku. 10.2.2015. Maalämpö - uusiutuvaa lähienergiaa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Pesonen, Joni. 2018. Maalämpöjärjestelmän mitoitus ja kustannusarvio. Insinöörityö. Lapin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Päivitetty 31.3.2014. Julkaisu K1/2013, s. 5
- 15 EED-Earth Energy Designer. 2020. Verkkoaineisto. Buildingphysics.com. <<https://buildingphysics.com/eed-2/>>. Luettu 20.2.2020
- 16 Oksanen, Henri. 2015. Asuinkerrostalon maalämpöjärjestelmän optimointi uudis- ja korjausrakentamiskohteissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 17 Tamayo Vera, José; Laukkanen, Timo; Sirén, Kai. 2014. Performance evaluation and multi-objective optimization of hybrid photovoltaic-thermal collectors. Solar Energy. Kirja.
- 18 Multi-objective optimization of hybrid photovoltaic-thermal collectors integrated in a DWH heating system, Energy & Buildings. 28.1.2014, s. 223–233. Kirja.

Taivallahden koulun geokenttä



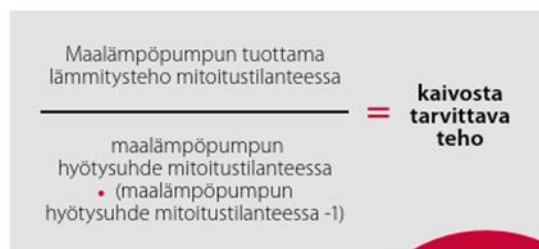
Geo-energiakentän esimitoitus

Lämpökaivon mitoituksen nyrkkisäännöt:

Energian tarpeen perusteella:



Tehon tarpeen perusteella:



Energiakentän esimitoitus lämmitysenergian tarpeen perusteella

Rakennuksen lämmitysenergia tarve*, MWh/a	LKV	Tilan lämmitys	IV lämmitys
	228	1281	197
Energiapito, %, Tilan ja IV lämmitystä	80 %		
E_L , Lämpöpumpuilta saatava lämmitysenergia, MWh/v	1183		
SCOP	3,5		
Tarvittava Geoenergia, MWh/v	$=EL-Ec = E_L(1-1/SCOP)$	845	
Geoenergian hyödynnettävä piha alueiden pinta alat***, m ²		3 280	
Geoenergian hyödynnettävä pinta alat rakennuksen sisällä***, m ²		5 090	
Yhteensä, m ²		8 370	
Yhden energia kaivon kennan \varnothing , m		15	
Yhden energia kentän minimi pinta ala, m ²		177	
Kaivojen määrä saatavissa		47	
Maasta vuotuisesti saatava lämpöenergia (Taulukosta 1), kWh/m		60	
Kaivojen syvyys, m		300	
Yhdestä kaivosta saattava lämpöenergia, MWh/v		18	
Vaativa kaivojen määrä		47	
* tieto saadaan E-todistuksesta, isännöitsijäntodistuksesta			
** LVI suunnittelijan mitoitus tietoista			
*** Saadaan asemakuvasta			

Energiakentän esimitoitus tehon tarpeen perusteella			
Rakennuksen lämmitystehon tarve, kW	LKV	Tilan lämmitys	IV lämmitys
	500	655	920
Lämmitystehon peitto, %, Tilan ja IV lämmitystä	74 %		
Q _L , kW	1165,5		
COP	3		
Höyrystimen teho, Q _H , kW	=Q _L -W _c = Q _L (1-1/COP)	777	
Alueen geo energian (maa/kalliolämmön) hyödyntämiseen (ALATALO), m ²		3 280	
Alueen geo energian (maa/kalliolämmön) hyödyntämiseen (YLATALO), m ²		5 090	
Yhteensä, m ²		8 370	
Yhden energia kaivon kennan ø, m		15	
Yhden energia kentän minimi pinta ala, m ²		177	
Kaivojen määrä saatavissa		47	
Maksimiteho, W/m (Taulukosta 2)		55	
Kaivojen syvyys, m		300	
Yhden kaivon maksimiteho, kW		16,5	
Vaativa kaivojen määrä		47	

Maankamara	ohjeellinen yksikköteho, W/m	
Kiviä, kuiva hiekka	<20	15
kiviä, märkä hiekka	55-65	55
Märkä savi, savi	30-40	35
Kalkkikivi (massiivinen)	45-60	50
Hiekkakivi	55-65	55
Felsiset muuttokivet (esim. Graniitti)	55-70	55
Alkalimetalliset kivet (esim. Basaltti)	35-55	45
Gneissin	60-70	60

Lämpöpumpun tekniset tiedot



2019-11-27

 Tekniset tiedot, 3 x RE420 SU HC+
 R410A.docx
 1/24
SUORITUSKYKY (± 5 % TARKKUUS)Tyyppi

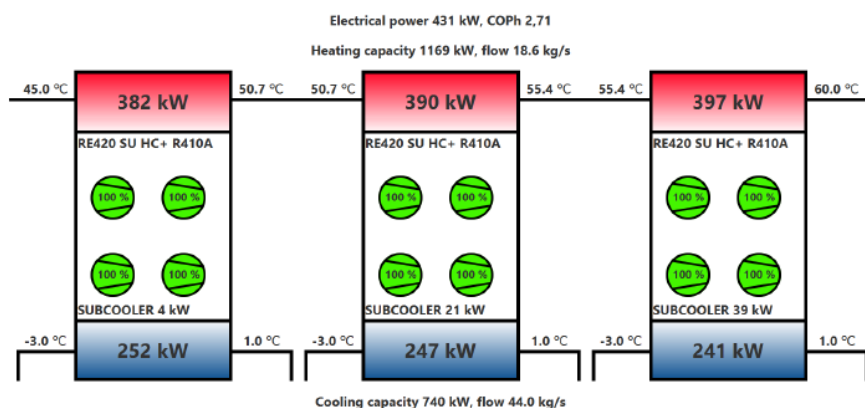
Lämpöpumppuja	3
Jäähdytysteho EN 12900 mukaan	740 kW
Sähkötehon kulutus	431 kW
Lämpöteho	1169 kW
COP	2,71

Lämmönlähde (höyrystin)

Virtaava aine	vesi - etanoli (30 %)
Kylmän puolen sisäänmenolämpötila	1.0 °C
Kylmän puolen ulostulolämpötila	-3.0 °C
Virtaus	47.3 l/s
Lämmönvaihtimen painehäviö	19 kPa

Lämpönielu (lauhdutin)

Virtaava aine	vesi
Lämpimän puolen sisäänmenolämpötila	45.0 °C
Lämpimän puolen ulostulolämpötila	60.0 °C
Virtaus	18.9 l/s
Lämmönvaihtimen painehäviö	64 kPa



Oilon Oy
 Street address:
 Metsä-Pietilänkatu 1
 Postal code: 15800
 City: Lahti
 Country: Finland
 Phone: +358 3 85 761
 E-mail: info@oilon.com
 Business ID: 2734431-3
 ID 4 886 v2.3.4

Oilon US Inc.
 Street address:
 91 Genesis Parkway
 31799(mail), 31792(visitors)
 City: Thomasville, Georgia
 Country: US
 Phone: +1 229 236 6546
 E-mail: info@oilon.com
 Business ID:

OOO Oilon Russia
 Street address:
 Leninski Prospekt 168
 Postal code: 196191
 City: St. Petersburg
 Country: Russia
 Phone: +7 812 449 0265
 E-mail: info@oilon.com
 Business ID:

Oilon Brasil Energia Ltda.
 Street address: Rua Anuar
 Dequech, 350 –Galpão 01, Iporanga, CEP
 Postal code: 18087-157
 City: Sorocaba, São Paulo
 Country: Brasil
 Phone: +55 15 5704 6240
 E-mail: info@oilon.com
 Business ID:

Oilon Burners (Wuxi) Co.Ltd
 Address: No. 111-3, Xi Mei Road,
 Wuxi, Wuxi development zone
 Postal code: 214142
 City: Wuxi Jiangsu Province
 Country: China
 Phone: +86 510 8534 2010
 E-mail: info@oilon.com
 Business ID:

RE420 SU HC+ R410A

YKSIKKÖ

Tyyppi	RE420 SU HC+ R410A
Nimike	CHRE42001H+
Kompressorit	4 scroll-kompressoria
Kylmäaine (määrä)	R410A (noin 25.0 + 25.0 kg)
Kuvaus	Lämpöpumppu AISI 304/316 juotetuilla levylämmönvaihtimilla. Kompakti ja tehdasvalmistettu yksikkö valmiina kytkettäväksi paikalleen.
Tehonsäätö	100, 75, 50, 25 %
Höyrystimen suunnittelupaine (vesipiiri)	31 bar(abs)
Lauhduttimen suunnittelupaine (vesipiiri)	24 bar(abs)
Liitäntöjen määrä	6
A-painotettu äänenpaine	-

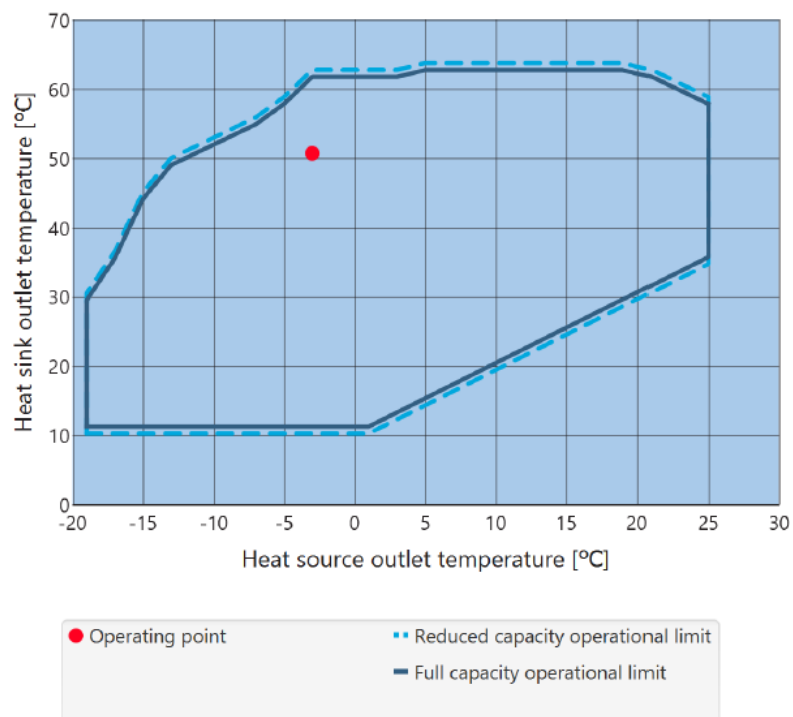
ID 4 858 v2.3.4

OPEROINTIRAJAT

Korkein sallittu kylmän puolen (höyrystin) liuoksen sisäänmenolämpötila	30.0 °C
Korkein sallittu kylmän puolen (höyrystin) liuoksen ulostulolämpötila	25.0 °C
Matalin sallittu kylmän puolen (höyrystin) liuoksen sisäänmenolämpötila	-14.0 °C
Matalin sallittu kylmän puolen (höyrystin) liuoksen ulostulolämpötila	-19.0 °C

Kaavio alla esittää lämpöpumpun sallitun operointialueen. Sallittu operointialue riippuu monesta tekijästä kuten lämpöpumpun tyypistä, kylmäaineesta ja komponenttivalinnoista. Lämpöpumpun käyttö operointialueen ulkopuolella ei ole sallittu. Käyttö rajoitetun tehoalueen sisäpuolella johtaa heikentyneeseen suorituskyykyyn. Kylmällä puolella (höyrystin) täytyy käyttää liuosta, jonka jäätymispiste on tarpeeksi matala.

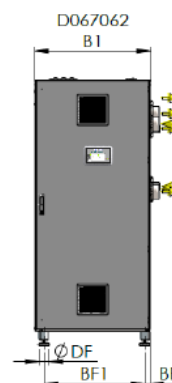
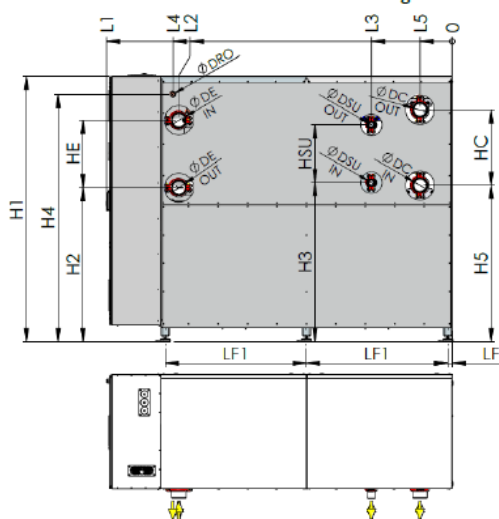
Operation limits RE420 SU HC+ R410A EXV1



ID 4 858 v2.3.4

MITAT

L1	2723 mm
L2	2151 mm
L3	635 mm
L4	2198 mm
L5	252 mm
L6	-
H1	2019 mm
H2	1213 mm
H3	1253 mm
H4	1948 mm
H5	1232 mm
HE	532 mm
HSU	456 mm
HC	595 mm
B1	911 mm
DE	DN100 VICTAULIC (Höyrytimen sisään-/ulosliitäntä)
DSU	DN50 VICTAULIC (Alijäähdyttimen sisään-/ulosliitäntä)
DRO	35 mm (Varoventtiilin ulospuhallusliitäntä)
DC	DN100 VICTAULIC (Lauhduttimen sisään-/ulosliitäntä)
LF1	1113 mm
LF	35 mm
BF1	792 mm
BF	41 mm
DF	80 mm
Paino	2000 kg



Tolerances ISO 2768-c,
except L2, L3, L4, L5,
H2, H3, H4 and H5 are ± 5

ID 4 859 v2.3.4

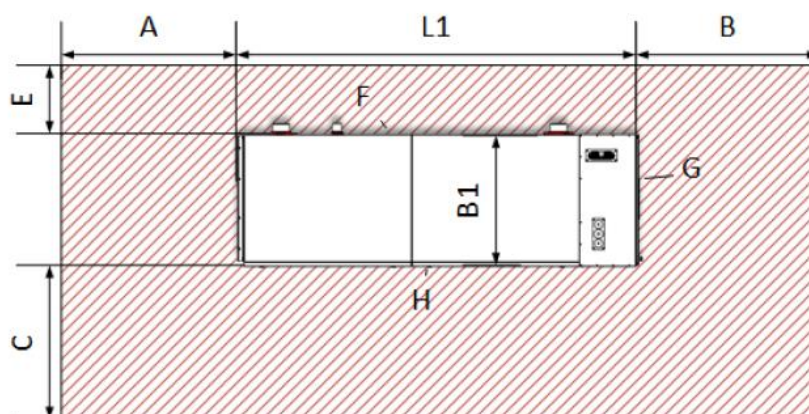
KOTELON VIIMEISTELY

Pintakäsittely
Väri

Pulverimaalattu
RAL 9006

SUOSITELTU HUOLTOTILA

A	400 mm
B	800 mm
C	800 mm
E	400 mm
L1	2723 mm
L6	-
B1	911 mm
F	Prosessiyhteet
G	Sähkökeskus
H	Huolto-ovet



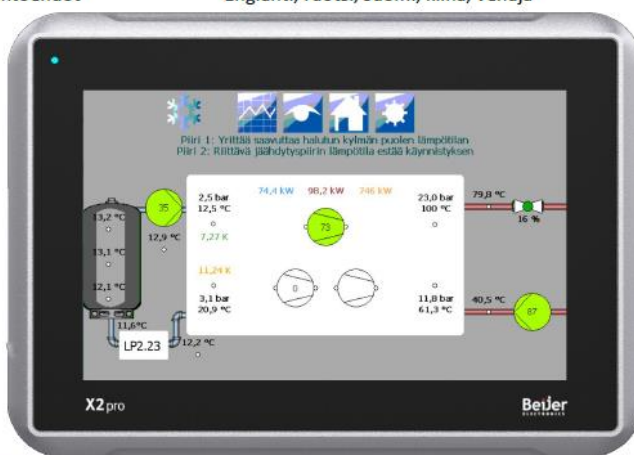
ID 4 858 v2.3.4

SÄHKÖISTYS

Jännite	3~ 400 V / 50 Hz
Suojausluokka	IP 54
Virtasulake	3 x 400 A
Käynnistystapa	Pehmokäynnistys
Sähkökeskuksen tyyppi	IP54 suojattu sähkökeskus, johon kuuluu ominaisuuksia, kuten soveltuvuus TN-maadoitukselle, päävirtakatkaisia, hätäseis-kytkin, kontaktorit öljylämmittimelle, ylivirtasuojat ja sulakkeet, tehosulakkeet, ohjauvirran muuntajat.
Kaapelin läpivienti	Ylhäältä
Virta mitoituspisteessä	220 A
Käynnistysvirta mitoituspisteessä	330 A
Maksimioperointivirta	275 A
Maksimikäynnistysvirta	413 A

OHJAUSKESKUS

Kiinteä ohjauspaneeli	Teollinen kosketuspaneeli
Koko	7"
Kustomoitavissa	Kyllä
Nimike	37286066
Väyläliitännä mahdollisuus	Modbus RTU (Profibus saatavana optiona)
Näytön kielivaihtoehdot	Englanti, ruotsi, suomi, kiina, venäjä



ANTURIT

Muut lämpötila-anturit	Ei
Virtauskytkin	Elektroninen virtauskytkin jäähdytyspuolelle (asiakkaan asennettava)

ID 4 858 v2.3.4

CHILLHEAT VAKIOAUTOMAATIO

ChillHeat vakioautomaation laajuus. Liitännät alla olevan kuvauksen mukaisesti sisältyvät vakioautomaatioon, mutta itse laitteet eivät. Varmista hinnoittelu Oilonilta.

Esikonfiguroidut sisääntulot

STOP

SETPOINT

TE00

L1-L2-L3/kWh

FIR11/FIR21

Esikonfiguroidut ulostulot

READY

RUN

ALARM

P11-RUN

P11-SPEED

P21-RUN

P21-SPEED

Vapaa I/O

Katso signaalityypit kaaviosta

Seis-käsky lämpöpumpulle

Lämmityksen/jäähdytyksen ssetusarvosignaali lämpöpumpulle

Ulkolämpötila-anturi

Sähkönkulutuksen mittaus

Tuotetun lämmitys- ja jäähdytystehon mittaus

Katso signaalityypit kaaviosta

Käyntivalmis-signaali

Käynnissä-signaali

Aktiivinen hälytys -signaali

Höyrystiniirin kiertopumpun päälle/pois-signaali

Höyrystiniirin kiertopumpun nopeusohjaussignaali

Lauhdutiniirin kiertopumpun päälle/pois-signaali

Lauhdutiniirin kiertopumpun nopeusohjaussignaali

Vapaa I/O asiakaskytkentöihin. Hinnoittelu vahvistettava Oilonilta.

4 x AI

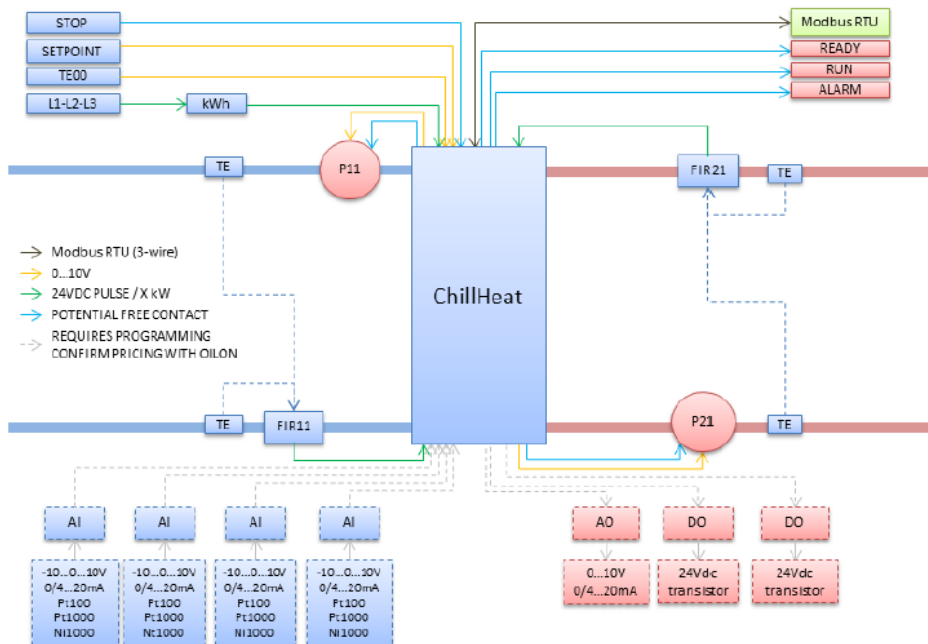
1 x AO

2 x DO

-10 ... 0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA, Pt100, Pt1000, Ni1000

0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA

24 Vdc transistori (rele ei asennettu)



ID:4859 v2.3.4

TURVALAITTEET

Tyyppi	Tuplavaroventtiiliryhmä vaihtovalvontalla
Varoventtiilit PED:n mukaan	4 josta 2 kerrallaan toiminnassa

HYVÄKSYNTÄ JA DOKUMENTAATIO

Painelaitteen hyväksyntä	Painelaitedirektiivin (2014/68/EU) vaatimustenmukaisuusvakuutukset A2 (P-sarja) ja B + C1 (RE- ja S-sarja) moduulin mukaisesti. Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi EN 378 mukaan.
NDT koetus	Rikkomaton aineenkoetus hitsisaumoille EN 1445 mukaan
Dokumenttien saatavuus	1 srj. sähköisenä, 1 srj. paperisena
Dokumentointikieli	Englanti

PAKETOINTI

Tyyppi	Muovikelmu ja palletti
Leveys	1150 mm
Korkeus	2340 mm
Pituus	3540 mm
Paketoinnin paino	145 kg
Lämpöpumpun paino	2000 kg
Yhteispaino	2145 kg
Nimike	CHPAL30001



TOIMITUS EI SISÄLLÄ

Toimitus ei sisällä	Alijäähdytin linjasäätöventtiili
---------------------	----------------------------------

ID 4 858 v23.4

EED-laskentaraportti

DESIGN DATA				
=====				
GROUND				
Ground thermal conductivity		3,5	W/(m·K)	
Ground heat capacity		2,16	MJ/(m ³ ·K)	
Ground surface temperature		8	°C	
Geothermal heat flux		0,06	W/m ²	
BOREHOLE				
Configuration:		255 ("48 : 2 x 24 rectangle")		
Borehole depth		315	m	
Borehole spacing		15	m	
Borehole installation		Single-U		
Borehole diameter		110	mm	
U-pipe diameter		45	mm	
U-pipe thickness		2,6	mm	
U-pipe thermal conductivity		0,42	W/(m·K)	
U-pipe shank spacing		62	mm	
Filling thermal conductivity		0,6	W/(m·K)	
Contact resistance pipe/filling		0	(m·K)/W	
THERMAL RESISTANCES				
Borehole thermal resistances are calculated.				
Number of multipoles		10		
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.				
HEAT CARRIER FLUID				
Thermal conductivity		0,44	W/(m·K)	
Specific heat capacity		4352	J/(Kg·K)	
Density		977	Kg/m ³	
Viscosity		0,0068	Kg/(m·s)	
Freezing point		-11	°C	
Flow rate per borehole		2	l/s	

BASE LOAD					
Annual DHW load	0 MWh				
Annual heating load (DHW excluded)	1183 MWh				
Annual cooling load	0 MWh				
Seasonal performance factor (DHW)	3,5				
Seasonal performance factor (heating)	3,5				
Seasonal performance factor (cooling)	3				
Monthly energy profile [MWh]					
Month	Heat		Cool		Ground
JAN	0,155	183	0	0	131
FEB	0,148	175	0	0	125
MAR	0,125	148	0	0	106
APR	0,099	117	0	0	83,7
MAY	0,064	75,7	0	0	54,1
JUN	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0
AUG	0	0	0	0	0
SEP	0,061	72,2	0	0	51,5
OCT	0,087	103	0	0	73,5
NOV	0,117	138	0	0	98,9
DEC	0,144	170	0	0	122
Total	1	1183	0	0	845
PEAK LOAD					
Monthly peak powers [kW]					
Month	Peak heat	Duration [h]	Peak cool	Duration [h]	
JAN	1166	4	0	0	
FEB	900	4	0	0	
MAR	750	4	0	0	
APR	600	4	0	0	
MAY	350	4	0	0	
JUN	0	0	0	0	
JUL	0	0	0	0	
AUG	0	0	0	0	
SEP	500	4	0	0	
OCT	700	4	0	0	
NOV	900	4	0	0	
DEC	1166	4	0	0	
Number of simulation years	25				
First month of operation	SEP				

CALCULATED VALUES			
=====			
* Monthly calculation *			
Total borehole length	1,51E+04 m		
THERMAL RESISTANCES			
Borehole therm. res. internal	0,39 (m·K)/W		
Reynolds number	9193		
Thermal resistance fluid/pipe	0,005196 (m·K)/W		
Thermal resistance pipe material	0,04653 (m·K)/W		
Contact resistance pipe/filling	0 (m·K)/W		
Borehole therm. res. fluid/ground	0,09711 (m·K)/W		
Effective borehole thermal res.	0,09828 (m·K)/W		
SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]			
Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	11,8	55	0
FEB	11,3	42,5	0
MAR	9,56	35,4	0
APR	7,57	28,3	0
MAY	4,89	16,5	0
JUN	0	0	0
JUL	0	0	0
AUG	0	0	0
SEP	4,66	23,6	0
OCT	6,65	33	0
NOV	8,94	42,5	0
DEC	11	55	0

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]					
Year	1	2	5	10	25
JAN	10,7	7,02	6,24	5,44	4,04
FEB	10,7	7,08	6,32	5,51	4,12
MAR	10,7	7,51	6,76	5,95	4,56
APR	10,7	8,04	7,28	6,48	5,09
MAY	10,7	8,78	8,03	7,22	5,84
JUN	10,7	10,2	9,43	8,63	7,25
JUL	10,7	10,3	9,51	8,72	7,35
AUG	10,7	10,3	9,57	8,78	7,42
SEP	9,39	9	8,3	7,52	6,16
OCT	8,75	8,39	7,71	6,94	5,59
NOV	8,03	7,68	7,01	6,26	4,91
DEC	7,36	7,02	6,37	5,62	4,28
BASE LOAD: YEAR	25				
Minimum mean fluid temperature	4,04	°C at end of JAN			
Maximum mean fluid temperature	7,42	°C at end of AUG			
PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]					
Year	1	2	5	10	25
JAN	10,7	-0,022	-0,8	-1,6	-3
FEB	10,7	2	1,24	0,43	-0,96
MAR	10,7	3,3	2,54	1,74	0,35
APR	10,7	4,65	3,9	3,09	1,71
MAY	10,7	6,88	6,13	5,33	3,95
JUN	10,7	10,2	9,43	8,63	7,25
JUL	10,7	10,3	9,51	8,72	7,35
AUG	10,7	10,3	9,57	8,78	7,42
SEP	6,3	5,91	5,21	4,43	3,07
OCT	4,45	4,09	3,4	2,64	1,29
NOV	2,56	2,21	1,55	0,79	-0,55
DEC	0,18	-0,16	-0,81	-1,56	-2,9
PEAK HEAT LOAD: YEAR	25				
Minimum mean fluid temperature	-3	°C at end of JAN			
Maximum mean fluid temperature	7,42	°C at end of AUG			

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]					
Year	1	2	5	10	25
JAN	10,7	7,02	6,24	5,44	4,04
FEB	10,7	7,08	6,32	5,51	4,12
MAR	10,7	7,51	6,76	5,95	4,56
APR	10,7	8,04	7,28	6,48	5,09
MAY	10,7	8,78	8,03	7,22	5,84
JUN	10,7	10,2	9,43	8,63	7,25
JUL	10,7	10,3	9,51	8,72	7,35
AUG	10,7	10,3	9,57	8,78	7,42
SEP	9,39	9	8,3	7,52	6,16
OCT	8,75	8,39	7,71	6,94	5,59
NOV	8,03	7,68	7,01	6,26	4,91
DEC	7,36	7,02	6,37	5,62	4,28
PEAK COOL LOAD: YEAR	25				
Minimum mean fluid temperature	4,04	°C at end of JAN			
Maximum mean fluid temperature	7,42	°C at end of AUG			

Jäähdytyksen EED-laskentaraaportti

DESIGN DATA					
=====					
GROUND					
Ground thermal conductivity	3,5 W/(m·K)				
Ground heat capacity	2,16 MJ/(m ³ ·K)				
Ground surface temperature	8 °C				
Geothermal heat flux	0,06 W/m ²				
BOREHOLE					
Configuration:	255 ("48 : 2 x 24 rectangle")				
Borehole depth	294 m				
Borehole spacing	15 m				
Borehole installation	Single-U				
Borehole diameter	110 mm				
U-pipe diameter	45 mm				
U-pipe thickness	2,6 mm				
U-pipe thermal conductivity	0,42 W/(m·K)				
U-pipe shank spacing	65 mm				
Filling thermal conductivity	0,6 W/(m·K)				
Contact resistance pipe/filling	0 (m·K)/W				
THERMAL RESISTANCES					
Borehole thermal resistances are calculated.					
Number of multipoles	10				
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.					
HEAT CARRIER FLUID					
Thermal conductivity	0,44 W/(m·K)				
Specific heat capacity	4352 J/(Kg·K)				
Density	977 Kg/m ³				
Viscosity	0,0068 Kg/(m·s)				
Freezing point	-11 °C				
Flow rate per borehole	2 l/s				

BASE LOAD					
Annual DHW load	0 MWh				
Annual heating load (DHW excluded)	1183 MWh				
Annual cooling load	145 MWh				
Seasonal performance factor (DHW)	3,5				
Seasonal performance factor (heating)	3,5				
Seasonal performance factor (cooling)	30				
Monthly energy profile [MWh]					
Month	Factor	Heat load	Factor	Cool load	Ground load
JAN	0,155	183	0	0	131
FEB	0,148	175	0	0	125
MAR	0,125	148	0	0	106
APR	0,099	117	0	0	83,7
MAY	0,064	75,7	0,15	21,8	31,6
JUN	0	0	0,3	43,5	-45
JUL	0	0	0,2	29	-30
AUG	0	0	0,3	43,5	-45
SEP	0,061	72,2	0,05	7,25	44,1
OCT	0,087	103	0	0	73,5
NOV	0,117	138	0	0	98,9
DEC	0,144	170	0	0	122

Total	1	1183	1	145	695
PEAK LOAD					
Monthly peak powers [kW]					
Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration [h]	
JAN	1166	4	0	0	
FEB	900	4	0	0	
MAR	750	4	0	0	
APR	600	4	0	0	
MAY	350	4	400	0	
JUN	0	0	650	0	
JUL	0	0	800	0	
AUG	0	0	700	0	
SEP	500	4	150	0	
OCT	700	4	0	0	
NOV	900	4	0	0	
DEC	1166	4	0	0	
Number of simulation years					
					25
First month of operation					
					SEP

CALCULATED VALUES			
=====			
* Monthly calculation *			
Total borehole length	1,41E4 m		
THERMAL RESISTANCES			
Borehole therm. res. internal	0,39 (m·K)/W		
Reynolds number	9193		
Thermal resistance fluid/pipe	0,005196 (m·K)/W		
Thermal resistance pipe material	0,04653 (m·K)/W		
Contact resistance pipe/filling	0 (m·K)/W		
Borehole therm. res. fluid/ground	0,08735 (m·K)/W		
Effective borehole thermal res.	0,08838 (m·K)/W		
SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]			
Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	12,7	59,1	0
FEB	12,1	45,6	0
MAR	10,3	38	0
APR	8,13	30,4	0
MAY	3,07	17,7	-29,3
JUN	-4,37	0	-47,6
JUL	-2,91	0	-58,6
AUG	-4,37	0	-51,3
SEP	4,28	25,3	-11
OCT	7,14	35,5	0
NOV	9,6	45,6	0
DEC	11,8	59,1	0

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]					
Year	1	2	5	10	25
JAN	10,5	6,7	6,03	5,31	4,1
FEB	10,5	6,76	6,1	5,38	4,18
MAR	10,5	7,2	6,53	5,83	4,63
APR	10,5	7,75	7,07	6,37	5,17
MAY	10,5	9,11	8,43	7,74	6,55
JUN	10,5	11,2	10,5	9,84	8,65
JUL	10,5	10,9	10,3	9,61	8,43
AUG	10,5	11,4	10,8	10,1	8,91
SEP	9,35	9,1	8,5	7,84	6,66
OCT	8,51	8,22	7,63	6,98	5,8
NOV	7,75	7,46	6,87	6,23	5,06
DEC	7,05	6,77	6,18	5,54	4,38
BASE LOAD: YEAR 25					
Minimum mean fluid temperature 4,1 °C at end of JAN					
Maximum mean fluid temperature 8,91 °C at end of AUG					
PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]					
Year	1	2	5	10	25
JAN	10,5	-0,4	-1,07	-1,79	-3
FEB	10,5	1,64	0,97	0,26	-0,95
MAR	10,5	2,96	2,29	1,58	0,38
APR	10,5	4,34	3,66	2,96	1,76
MAY	10,5	6,86	6,19	5,49	4,3
JUN	10,5	11,2	10,5	9,84	8,65
JUL	10,5	10,9	10,3	9,61	8,43
AUG	10,5	11,4	10,8	10,1	8,91
SEP	6,13	5,87	5,27	4,61	3,43
OCT	4,17	3,89	3,29	2,64	1,47
NOV	2,24	1,95	1,36	0,72	-0,46
DEC	-0,19	-0,47	-1,06	-1,7	-2,86
PEAK HEAT LOAD: YEAR 25					
Minimum mean fluid temperature -3 °C at end of JAN					
Maximum mean fluid temperature 8,91 °C at end of AUG					

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	10,5	6,7	6,03	5,31	4,1
FEB	10,5	6,76	6,1	5,38	4,18
MAR	10,5	7,2	6,53	5,83	4,63
APR	10,5	7,75	7,07	6,37	5,17
MAY	10,5	9,11	8,43	7,74	6,55
JUN	10,5	11,2	10,5	9,84	8,65
JUL	10,5	10,9	10,3	9,61	8,43
AUG	10,5	11,4	10,8	10,1	8,91
SEP	9,35	9,1	8,5	7,84	6,66
OCT	8,51	8,22	7,63	6,98	5,8
NOV	7,75	7,46	6,87	6,23	5,06
DEC	7,05	6,77	6,18	5,54	4,38
PEAK COOL LOAD: YEAR 25					
Minimum mean fluid temperature 4,1 °C at end of JAN					
Maximum mean fluid temperature 8,91 °C at end of AUG					