

**GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN KESKISYVISTÄ KAIVOISTA
ASUNTO-OSAKEYHTIÖN LÄMMITYKSEEN**

Hinni Kerola
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Energiatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Hinni Kerola

Opinnäytetyön otsikko: Geoenergian hyödyntäminen keskisyvistä kaivoista asunto-osakeyhtiön lämmityksessä

Työn ohjaajat: Hannu Sarkkinen & Kalle Nuortimo

Kevät 2025

Sivumäärä: 32 + 3 liitettä

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin geoenergian hyödyntämismahdollisuuksia 1970-luvulla rakennetun asunto-osakeyhtiön lämmityksessä keskisyvien lämpökaivojen avulla. Työn taustalla on tarve siirtyä energiatehokkaampiin ja vähäpäästöisempiin lämmitysratkaisuihin ja fossiilisten polttoaineiden vähentämiseksi. Asunto-osakeyhtiöllä on tavoitteena päästä riippumattomaksi energiantuotantolaitoksista ja tuottaa energiaa omaan käyttöönsä geoenergiaa hyödyntäen.

Tavoitteena oli määrittää optimaalisin lämpökaivojen syvyys sekä arvioida niiden energiantuotantopotentiaali suhteessa taloyhtiön lämmöntarpeeseen. Lisäksi työssä laskettiin suuntaa antavat investointikustannukset ja takaisinmaksuaika, jotka tukevat taloyhtiön päätöksentekoa geoenergian investoinnin suunnittelussa.

Työ perustuu kirjallisuuskatsaukseen, teknisiin laskelmiin ja energiantarpeen mitoitukseen, hyödyntäen alan ohjeita, tutkimuksia sekä laitevalmistajien luetteloita. Tulokset osoittivat, että keskisyvät lämpökaivot voivat kattaa suurimman osan rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta ja parantaa energiatehokkuutta merkittävästi. Ratkaisu osoittautui teknisesti toteuttamiskelpoiseksi, ja sillä voidaan pitkällä aikavälillä pienentää lämmityskustannuksia. Johtopäätöksenä geoenergia tarjoaa kannattavan vaihtoehdon perinteiselle kaukolämmölle. Työtä voisi viedä pidemmälle tutkimalla geoenergian ja aurinkosähköjärjestelmän toimintaa yhdessä, jolloin lämmitysjärjestelmä voisi olla täysin omavarainen.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in energy engineering

Author: Hinni Kerola

Title of thesis: Utilization of geoenergy from medium-deep wells in the heating of a housing company

Supervisor: Hannu Sarkkinen & Kalle Nuortimo

Spring 2025

Number of pages: 32 + 3 appendices

This thesis explores the potential of utilizing geoenergy through medium-deep boreholes to provide heating for a residential apartment building in Oulu, Finland. The study was motivated by need to find more energy-efficient and low-emission heating solutions in response to climate change and the reduction of fossil fuel use. The main object was to determine the optimal depth of boreholes and estimate their energy production capacity in relation to the building's heating demand. Additionally, the study includes indicative investment cost estimate and payback time to support decision-making regarding the implementation of a geoenergy system.

The thesis is based on a literature review, technical calculations, and energy demand assessments using current guidelines, research data, and manufacturer documentation. The findings suggest that medium-deep boreholes can significantly improve the building's energy efficiency and offer a technically and economically feasible alternative to traditional district heating systems. The study concludes that geoenergy is a viable investment for housing companies, with further research recommended into more detailed economic modeling and integration with smart energy solutions.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS.....	4
SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 GEOTERMISEN ENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN LÄMMITYKSEEN.....	7
2.1 Geoterminen energia	8
2.2 Geoenergia	9
2.3 Keskisyvän lämpökaivon toimintaperiaate.....	11
2.4 Energiakaivojärjestelmän tekninen käyttöikä.....	12
2.5 Energiakaivojärjestelmän mitoitus ja sijoitus	13
2.6 Maalämpöpumput ja kylmäaineet.....	16
2.7 Annuiteetti ja takaisinmaksuaika.....	18
3 GEOENERGIAN KÄYTTÖ ASUNTO-OSAKEYHTIÖN LÄMMITYKSESSÄ	20
3.1 Geoenergian käyttö olemassa olevaan asunto-osakeyhtiöön.....	20
3.2 Lämpökaivojen lukumäärän vaikutus lämmönsaantiin	22
3.3 Geoenergian pumppaus	25
4 GEOENERGIAN SUUNTAA ANTAVAT INVESTOINTIKUSTANNUKSET ESIMERKKI ASUNTO-OSAKEYHTIÖISSÄ.....	26
5 TULOKSET	28
6 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	31
LIITTEET	33

SANASTO

COP	Coefficient of performance tarkoittaa montako yksikköä lämpöpumppu tuottaa lämpöä verrattuna siihen paljonko se käyttää sähköenergiaa.
GEOENERGIA	Maa- ja kallioperään varastoitunut energia. Osittain peittäisin myös auringosta.
GEOTERMINEN	
ENERGIA	Yli 300 metrin syvyisiä lämmönlähteitä, jotka koostuvat
GWP	Indeksi, jolla kuvataan ilmaston lämpenemispotentiaalia.
MAANKAMARA	Maankamara on yhteisnimitys kiteiselle kalliolle ja sitä peittävälle maapeitteelle. Se voi koostua pelkästä avokalliosta tai kalliosta, jonka päällä on irtonaisia maala-jeja.
LÄMPÖKAIVO	Lämpökaivo on kallioon porattu kaivo, jota käytetään siirtämään lämpöä tai viilennystä rakennukseen. Se voi sekä ottaa lämpöä maaperästä että luovuttaa sitä sinne tarpeen mukaan.
TRT-MITTAUS	Mittauskeino, jolla selvitetään kallion energiapotentiaalia.

1 JOHDANTO

Vähäpäästöisiä energiantuotantoratkaisuja tutkitaan nykyään laajasti. Geoenergian ollessa vähäpäästöinen lämmöntuotantomuoto, siihen siirtymiseen on yhä enemmän kiinnostusta. Siksi keskisyvän maalämmön käyttöä suurten kiinteistöjen lämmityksessä selvitetään yhä enemmän. Tämän lämmitysratkaisun avulla hyödynnetään maankamaran geotermistä energiaa vähäpäästöisesti. Ratkaisu on erityisen hyvä taajamissa, joissa tontit ovat pieniä ja asutus tiivistä. Tutkimuksen aiheena on asunto-osakeyhtiön lämmitysmuodon tarkastelu ja se, voitaisiinko vaihtaa kaukolämmöstä kokonaan tai osittain geoenergiaan.

Tarkastelussa on myös geoenergiajärjestelmän kustannukset, käyttöikä ja takaisinmaksuaika. Keskeisenä osana on myös sen tarkastelu, montako energiakivoa olisi kannattava porata, jotta asunto-osakeyhtiön lämmitysenergia voitaisiin kattaa kokonaan geoenergialla. Suurten hankintakulujen takia on tärkeää selvittää kaivojen lämmöntuotantopotentiaali.

Epävakaan maailmantilanteen vuoksi yhä useampi pohtii myös energiaomavaraiseen lämmitysmuotoon siirtymistä. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat polttoainoiden nopean hintaheittely ja huoltovarmuus. Huoltovarmuus kysymys on erittäin ajankohtainen, sillä sitä varmemmin Suomen energiantuotantokenttä on turvattu, mitä enemmän pystytään tuottamaan energiaa muista maista riippumattomasti. Suomen geoenergiapotentiaalia olisi mahdollisuus hyödyntää vielä enemmän, kuin nykyisin keskisyvien lämpökaivojen avulla.

2 GEOTERMISEN ENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN LÄMMITYKSEEN

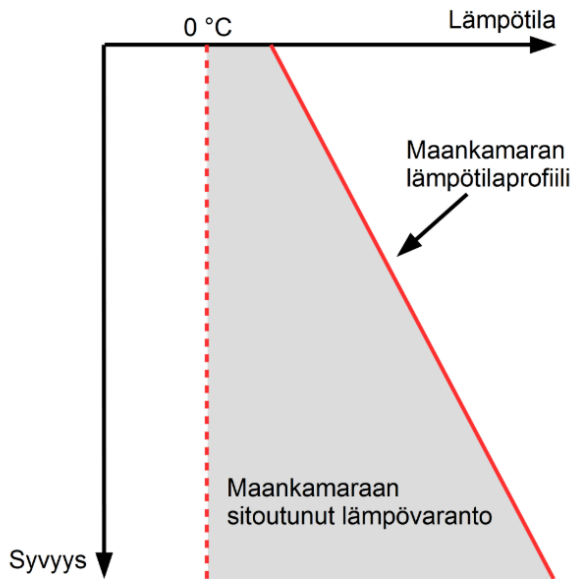
Geotermisen energian avulla saadaan hyödynnettyä maankamaraan varastoitunutta energiaa rakennusten lämmitykseen. Tämä on uusiutuva energiamuoto, koska syvällä maankuoressa tapahtuu radioaktiivisten isotooppien reaktioita, jotka tuottavat lämpöenergiaa. Nykyisin Suomessa tuotetaan vuosittain geoenergiaa lämpöpumpuilla noin 10 TWh. Vaikka geoenergiaa voidaan käyttää myös jäähdytysratkaisuihin, tässä työssä se jätetään tarkastelujen ulkopuolelle. Kuvassa 1 on kuvattu Oulun alueen geoenergiapotentiaalia eri väreillä. Tummemman punaiset alueet kuvaavat korkeamman lämmityspotentiaalin omaavaa aluetta, kun taas vaalealla alueella geoenergian esiintymä on matalampaa. (1; 2.)

KUVA 1. Oulun alueen geoenergiapotentiaali (2)

2.1 Geoterminen energia

Geoterminen energia on yläkäsite useille tavoille hyödyntää maankamaran lämpöenergiaa erilaisiin lämmitys- ja jäähdytysratkaisuihin. Tämä energiamuoto perustuu maaperän, kallion tai vesistöjen lämpökapasiteettiin, jota voidaan hyödyntää lämpökaivojen, lämpöpumppujen ja lämmönvaihtimien avulla. Lämpöpumppujen avulla maaperästä talteenotetun energian lämpötilaa voidaan nostaa ja näin ollen geoenergiasta saatavaa lämmön saantia voidaan maksimoida. EU:n uusiutuvan energian direktiivin mukaan geoenergia luokitellaan uusiutuvaksi energiaksi. (1.)

Geoterminen energia tarkoittaa yli 300 metrin syvyisiä lämmönlähteitä. Tästä energiasta yli kaksi kolmasosaa on peräisin radioaktiivisten isotooppien hajoamisesta. Isotooppeja ovat uraani, torium ja kalium. Viimeinen kolmannes geotermisestä lämpöenergiasta tulee Maan ytimeistä ja vaipasta syvältä maan sisältä. Maankuoren lämpötila Suomessa nousee keskimäärin 0,5–1 °C/100 m. Maankamaran lämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan, mutta noin 15 metrin syvyydessä se pysyy vakaana ja vastaa alueen keskimääräistä vuosilämpötilaa riippumatta vuodenaikasta. Kallioperän lämpötilan nousu ja geoterminen lämmön vaikutus ulottuvat jopa 200 metrin syvyyteen. Mitä syvemmälle maaperään porataan, sitä enemmän lämpöenergiaa saadaan kerättyä. Jotta Suomessa voidaan hyödyntää geotermistä energiaa, tarvitaan huomattavia poraussyvyyyksiä. (3; 4.)

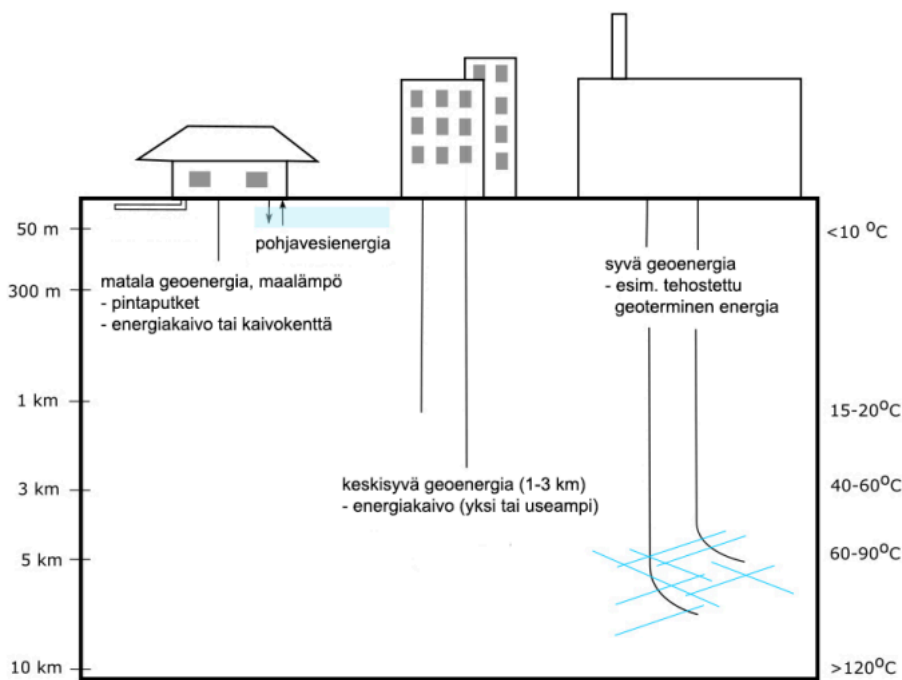


KUVA 2. Maankamaraan lämpötilaprofiili (5)

2.2 Geoenergia

Geoenergialla viitataan energiaan, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään, joka Suomen alueella on osittain peräisin auringosta. Kallio- ja maaperä on lämmentynyt auringon avulla miljoonia vuosia, ja täten maahan on varastoitunut huomattava määrä energiaa. Tätä energiaa hyödynnetään monilta eri syvyyksiltä. Matalilta syvyyksiltä lämpöä kerätään vaakasuuntaisten lämmönkeruuputkistojen avulla. Tätä lämmitysjärjestelmää käytetään yleensä omakotitalojen tai muiden pienempien rakennusten lämmitykseen harvaan asutetuilla alueilla. Suurempien rakennusten lämmönlähteenä käytettyjä lämpökaivoja porataan syvemmälle kallioperään, jolloin energiaa saadaan käytettyä suurempiin energiatarpeisiin. Tämä ratkaisu sopii taajamiin tai alueellisen lämmön jakeluun paremmin. Poraussyvyyden ulottuvat tällaisissa tapauksissa korkeintaan alle 300 metrin syvyyksiin. Tällöin käytössä on usein vain yksi energiakaivo. Geoenergiaa voidaan myös hyödyntää matalammilta syvyyksiltä, jolloin lämmönkeruuputkisto asennetaan maan pinnan mukaisesti vaakatasoon. Lämmönkeruuputkistojen avulla voidaan kerätä lämpöä myös vesistöistä ja vesistöjen pohjasedimenteistä.

Keskisyvää geoenergiaa voidaan hyödyntää suurempien rakennusten lämmön-
tuotantoon, koska syvemältä maasta on mahdollista saada enemmän energiaa
käyttöön. Keskisyvää geoenergiaa hyödynnetään yli 300 metrin syvyydestä aina
useampiin kilometreihin yhden tai useamman kaivon avulla. Syvää geoenergiaa
käytetään suurempien teollisuusrakennusten energiatarpeisiin useiden kilomet-
rien syvyydestä usein tehostetusti. Kuvasta 1 nähdään geoenergian hyödyntämi-
sen eri sovellukset. (5.)



Kuva: Kaiu Piipponen, GTK

KUVA 2. Havainnekuva eri syvyyksistä lämpökaivoista (6)

Geoenergian varastot Suomessa eivät yllä Keski-Euroopan tasolle, mutta se ei
tarkoita sitä, etteikö syvempien lämpökaivojen käyttö olisi silti kannattavaa Suo-
messä. Lämpökaivojen porausyvyudet Suomen kallioperässä ovat yleisesti
200–300 metrin syvyydessä, mutta syvempiä yli 600 metrin lämpökaivoja löytyy
yksittäisistä kohteista ympäri Suomea. (3.)

Keskisyvällä geotermisellä energialla viitataan laajaan energiajärjestelmään, jo-
hon kuuluvat lämpökaivo, lämmönkeruuputkisto, lämpöpumppu ja mahdolliset
lämpövarastot sekä jakelulaitteet. Geotermisen energian hyödyntämiseksi

maanpintaan porataan pystysuora reikä, joka ulottuu maanpinnalta tarpeeksi syvälle kallioperään. (3; 4.)

2.3 Keskisyvän lämpökaivon toimintaperiaate

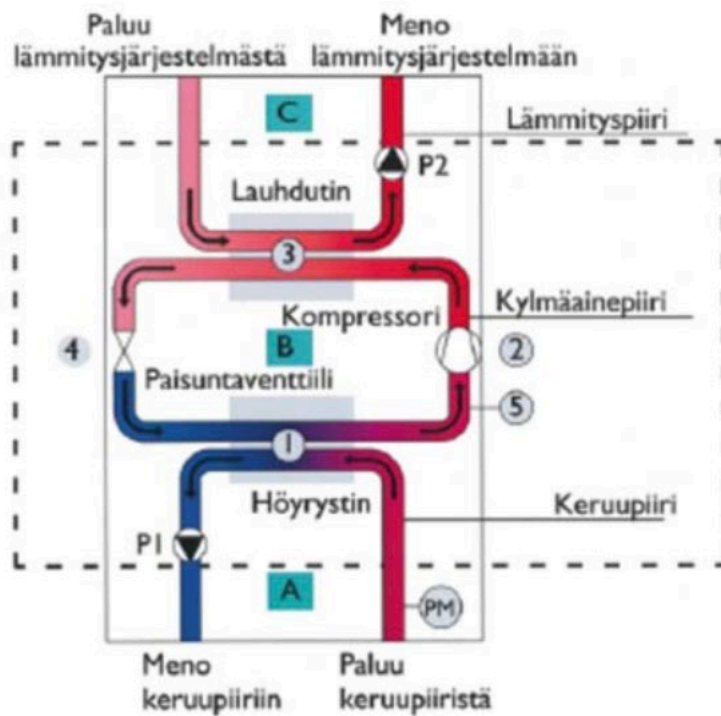
Keskisyvät lämpökaivot toimivat samalla periaatteella kuin matalat lämpökaivot, mutta niiden porausvyvydet ulottuvat jopa tuhansiin metreihin. Normaalisti kaivo täyttyy itsestään pohjavedellä. Tällöin lämmönkeruuputkiston voidaan asentaa keräämään lämpöä pohjaveden avulla. Geoenergia saadaan hyödynnettyä lämpökaivoista keruuputkien avulla. Putkien sisällä kiertävä lämmönsiirtoneste kerää maankamaran lämpöenergiaa ja kuljettaa sen maanpinnalle. Usein keruuputket on asennettu U-putkina, jolloin neste pääsee kiertämään vaivattomasti kaivossa. Lämmönsiirtonesteinä U-putkissa toimii vesi-etanoliliuos, jossa etanoli estää nestettä jäätymästä. Tämän kaltainen tekniikka on käytössä matalissa- ja keskisyvissä lämpökaivoissa. (6.)

Keskisyvät lämpökaivot porataan 500–800 m:n syvyyteen. Niiden yhteydessä toimii lämpöpumppu, joka kuljettaa maanalaisen lämpöenergian maanpinnalle lämmönkeruuputkistojen avulla. Tällaisten lämpökaivojen avulla energiaa saadaan hyödynnettyä enemmän metriä kohden verrattuna mataliin lämpökaivoihin. Yksistään näissä syvyyksissä geoenergia ei riitä kattamaan esimerkiksi kerrostalon lämmitystä, joten prosessissa olevalla lämpöpumpulla on suuri merkitys lämmön tarpeen takaamiseksi. (7.)

Syvissä lämpökaivoissa, jotka ulottuvat useamman kilometrin syvyyteen, käytetään myös koaxial-putkea, jossa lämmönsiirtonesteinä toimii vesi. Tässä teknologiassa porakaivoon asennetaan vain yksi putki, ja neste kulkeutuu putken avonaisesta pohjasta ylös maanpinnalle. Tätä teknologiaa ei ole hyödynnetty matalissa- ja keskisyvissä lämpökaivoissa veden jäätymisen vuoksi. (8; 9.)

Lämpökaivojen yhteydessä käytetään usein lämpöpumppua tehostamaan lämmön saantia kaivosta sähkön avulla. Lämpöpumppu toimii lämpökoneen tavoin eli siirtää lämpöä lämpökaivosta sisätiloihin ulkoista sähköenergiaa hyödyntäen. Maalämpöpumpun lämmönsiirtoliuokseen sitoutuu energiaa, joka siirretään höyrytimestä laitteen kylmäainepiiriin. Tällöin kylmäaine muuttuu nesteestä

kaasuksi. Kompressorin tehtävä on seuraavaksi muuttaa höyrystynyt kylmäaine korkeapaineiseksi kaasuksi. Prosessissa kaasun lämpötila nousee ja tämän ansiosta sähköenergia, jota käytettiin kaasun puristamiseen, muuttuu lämpöenergiaksi. Kylmäaine palautuu takaisin nestemäiseen muotoon lauhduttimen avulla, kun kylmäaineen lämpöenergia johdetaan rakennuksen lämmitykseen. Kylmäaineen lämpötila ja paine laskee edelleen, kun se johdetaan lopuksi paisuntaventtiiliin kautta takaisin kylmäainepiiriin kiertoon kuvan 2 mukaisesti. (7.)



KUVA 4. Maalämpöpumpun toimintakaavio (7)

2.4 Energiakaivojärjestelmän tekninen käyttöikä

Energiakaivojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös niiden tekninen käyttöikä. Maalämpöjärjestelmässä on useita komponentteja, joilla saattaa olla erilaiset elinkaaret, ja niiden huomioon ottamisella voi parantaa järjestelmän suunnittelua ja käyttöikä. Maalämpöpumpun tekninen käyttöikä on 15–30 vuotta. Maalämpöpumpun kompressorin käyttöikä on lyhyempi, 10–15 vuotta. Sen uusimisen kustannukset ovat 2000–3000 €. Lämmitysjärjestelmään tarvitaan myös lämmönvaihdin, jonka käyttöikä on pidempi eli noin 20–30 vuotta. Niiden uusimiskustannukset ovat 5000–6000 €. Jos kuitenkin rakennus on ollut liitettyä

kaukolämpöön, samaa lämmönvaihdinta voidaan hyödyntää myös maalämpöjärjestelmässä. Lämpökaivot pystyvät tuottamaan energiaa oikeanlaisella käytöllä vuosikymmenten ajan. (8.)

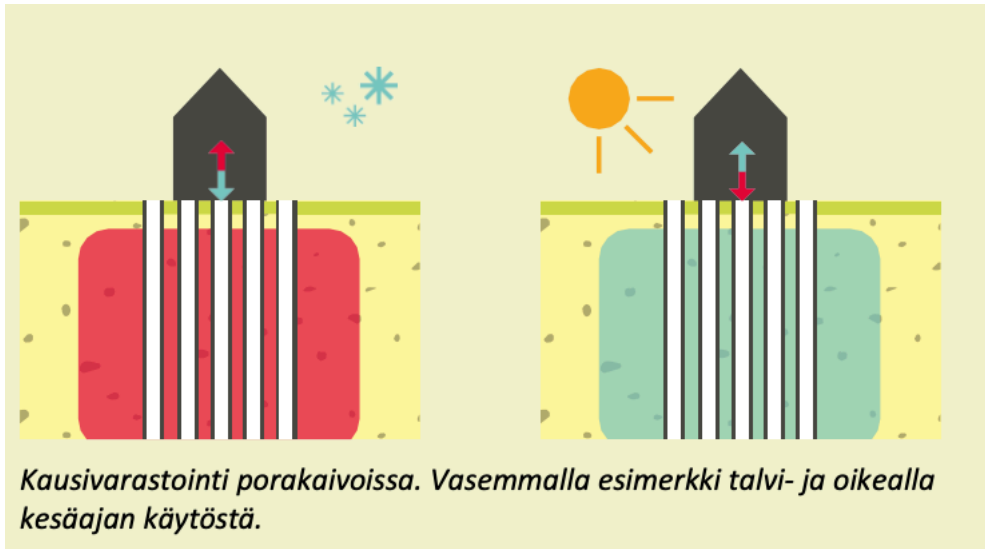
Lämpöpumpun COP-arvo (Coefficient Of Performance) eli lämpökerroin kertoo kulutetun ja tuotetun energian suhteen. Mitä isompi COP-luku on, sitä energiataloudellisempi laite on. Lämpöpumppujen COP-arvot löytyvät pumppuvalmistajien tuotekatalogeista. (9.)

2.5 Energiakaivojärjestelmän mitoitus ja sijoitus

Energiakaivon oikeanlainen mitoitus on tärkeä vaihe energiakaivojen suunnitteluprosessissa. Kun maahan porataan syvä kaivo, se muuttaa maankamaran energiatasapainoa. Yksi mitoituksen tärkeä osa on tasapainottaa energian otto ja palautus. Kun energiaa siirretään aktiivisesti lämmityskäyttöön, sitä kutsutaan aktiiviseksi geoenergiajärjestelmäksi. Tähän kuuluu lämmön otto kaikenlaisesta maasta, kalliosta, pohja- ja pintavesistä sekä kuopista ja kalliovarastoista.

Kesäaikaisessa viilennyskäytössä kiinteistöstä poistuva lämpö siirtyy kiertävän nesteen mukana takaisin maaperään putkiston kautta. Tämä lämpö siirtyy lämpökaivoihin muodostaen matalalämpöisen varaston, josta energiaa voidaan hyödyntää seuraavan lämmityskauden aikana. Tätä kutsutaan kausivarastoinniksi, ja sen avulla pyritään ylläpitämään geoenergiakentän energiatasapainoa ja estämään sen heikkenemistä pitkällä aikavälillä.

Suomen ilmasto-olosuhteissa lämmityskausi on kuitenkin pitkä, kun taas viilennystarve on lyhytaikainen. Tämän seurauksena geoenergiakentän lämpötila laskee vähitellen vuosien mittaan, mikä voi heikentää järjestelmän hyötysuhdetta. Tämä on tärkeä huomioida etenkin silloin, kun järjestelmässä on useita lämpökaivoja. Siksi mitoitus ja simulointi ovat keskeisessä osassa suunnitteluvaihetta. Kuvassa 5 esitetään kaivojen latautumista seuraavalle lämmityskaudelle. (1; 10)



KUVA 5. Porakaivojen kausivarastointi (1)

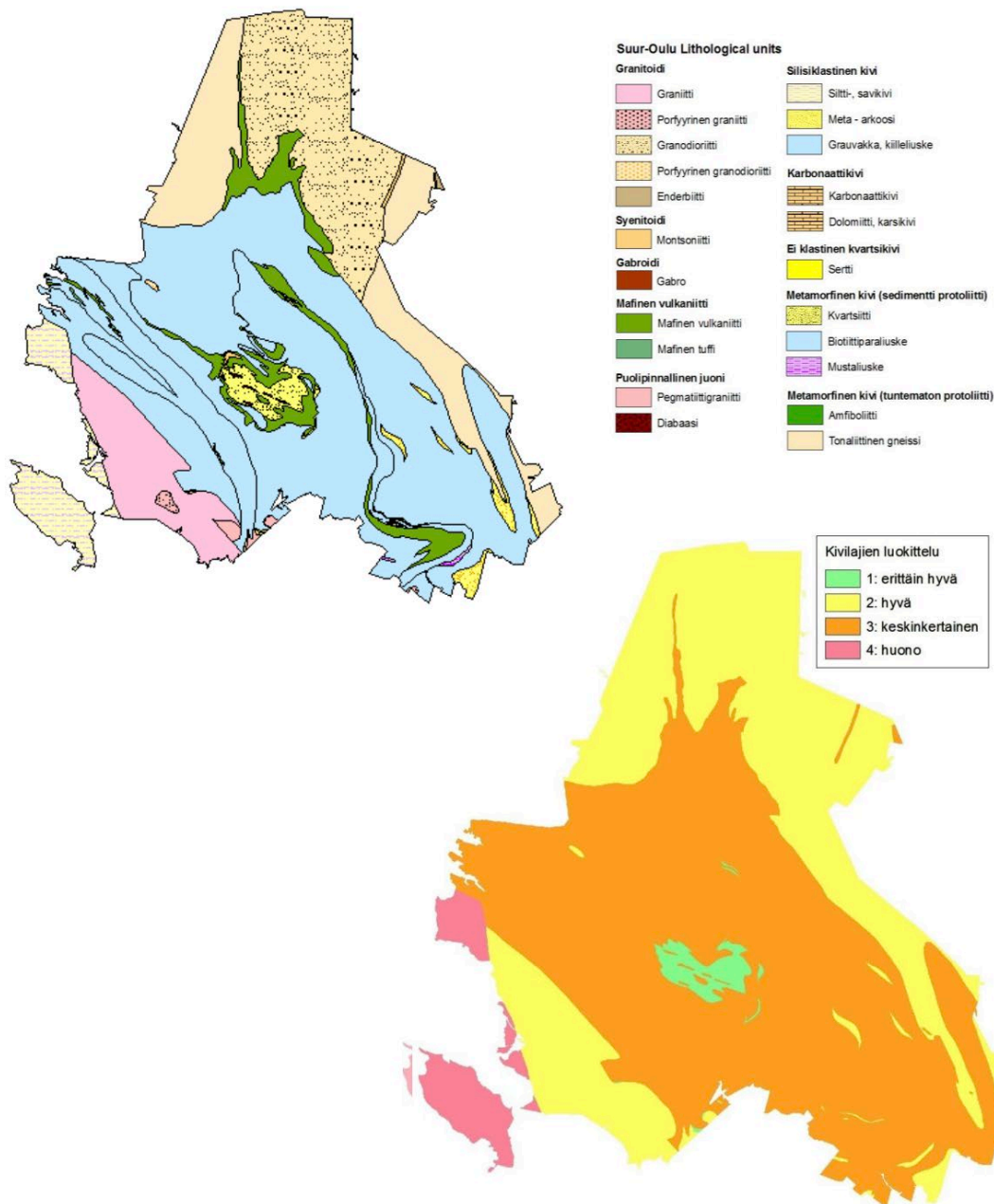
Kaivot tulee sijoittaa vähintään 15 metrin etäisyydelle toisistaan. Tontin rajasta kaivojen etäisyyden tulisi olla 7,5 metriä. Porakaivojen porauksen suunnittelussa otetaan huomioon monta seikkaa niiden toiminnan ja laitteiston sijoittelun helpouden takaamiseksi. Kaivot kannattaa sijoittaa rakennuksen lähelle, jotta lämmönkeruuputkistot on helppo johtaa maalämpöpumpulle rakennuksen sisään.

Lämpökaivon poraamista varten haetaan toimenpidelupa kunnan rakennusvalvonnasta. Lupahakemukseen liitetään asemapiirros, johon on merkitty lämpökaivon suunniteltu sijainti. Paikan valinnassa otetaan huomioon kiinteistöllä sijaitsevat mahdolliset maanalaiset johdot ja putket. Asemapiirroksen pohjana käytetään johtokarttaa, jossa rakenteen ilmenevät. Lämpökaivojen sijoittelussa noudatetaan Ympäristöministeriön Energiakaivo-oppaan suosituksia vähimmäisetäisyyksiä muihin kaivoihin, rakennuksiin, vesijohtoihin, viemäriin, jätevesijärjestelmiin ja tontin rajoihin. (11.)

Lämpökaivojen tehomitoitus on hyvä kattaa rakennuksen energian tarpeesta noin 60–80 %. Tällöin se kattaa vuoden ajan lämmöntarpeesta 95–99 %. Loput 1–5 % saadaan katettua lämpökaivon vara- tai lisälämmitysvastuksilla. Suurin osa huipputehontarpeesta koostuu talven kylmimpien päivien ajanjaksolle, joita on vuodessa huomattavan pieni määrä. Nämä mitoitussuosituksia ovat suunniteltu matalammille lämpökaivoille, joten keskisyvien lämpökaivojen mitoitustehon suunnittelussa kannattaa olla yhteydessä asiantuntijoihin. Ruotsissa

käyttöön otetuissa geoenergiaratkaisuihin lämmitystarve on yleensä katettu tuottamaan energiaa kylmimmälle ajanjaksolle 60 % huipputehosta ja lämpimämpänä ajanjaksona 80 % energiantarpeesta. (1; 11)

Oulun alueella maaperän kivilaji on graniittia. Sen koostumus on suurilta osin homogeenista punertavaa graniittia. Myös karkearakeista Pegmatiitti-graniittia esiintyy hieman. Alueella tehtyjen TRT-mittausten perusteella graniitin lämmönjohtavuus on 3,17–6,61 W/mK. Graniitin tyypillinen kirja-arvo lämmönjohtavuudelle on 3,08. Alueen graniitti soveltuu hyvin lämpökaivojen poraukseen, myös sen massamaisen rakenteen kannalta. Tämän kaltaisessa kallioperässä esiintyy myös rakoilua, joten pohjaveden liikkuaessa raoissa paranee myös lämmön siirtyminen. Oulun maaperän kivilajien lämmönjohtavuuden luokittelu näkyy kuvasta 6. Myös maaperän tarkemmat kivilajit näkyvät kuvasta 6. (10.)



KUVA 6. Oulun alueen kallioperän kivilajien muodostumat ja energiapotentiaali (10)

2.6 Maalämpöpumput ja kylmäaineet

Maalämpöpumpun mitoituksessa ei ole aina taloudellisesti järkevää mitoittaa pumpun, joka kattaisi rakennuksen huipputehontarpeen. Usein kustannustehokkuuden ja kompressorin käyttöiän parantamiseksi lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan noin 60–80 % rakennuksen lämmitystehon huipusta. Tällä mitoituksella voidaan kuitenkin kattaa suurin osa vuotuisesta rakennuksen

lämmitysenergian tarpeesta. Tämä osuus on noin 95–99 %. Loput 1–5 % lämmityksestä voidaan kattaa lisälämmityksellä tai kaivon varaavalla järjestelmällä. (12.)

Maalämpöpumppujen kylmäaineiden käyttöön on asetettu rajoituksia F-kaasujen haitallisuuden vuoksi. F-kaasut ovat fluorattuja kasvihuonekaasuja ja niihin kuuluu fluorihilivedyt (HFC), perfluorihilivedyt (PFC), rikkiheksafluoridi (SF₆) ja typipfluoridi (NF₃). Euroopan neuvosto on tehnyt linjauksen, jossa HFC-yhdisteiden kulutus lopetetaan vuoteen 2050 mennessä. Tätä ennen näiden yhdisteiden käytölle on asetettu rajoituksia niiden käyttöön. Voidaan todeta, että fluoratuilla kasvihuonekaasuilla tai F-kaasuilla viitataan HFC ja HFO-yhdisteisiin. (13.)

GWP-arvo on ilmaston lämpenemispotentiaalia kuvaava indeksi (Global Warming Potential). Tällä arvolla kerrotaan paljonko aine vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen. Tämä indeksi on hallitusten välisen ilmastopaneelin määrittämä. Esimerkkinä voidaan pitää hiilidioksidia, jonka GWP-arvo on 1. (14.)

EU:n F-kaasuasetuksen aikataulun mukaan kylmäaineiden ilmastovaikutuksia rajoitetaan asteittain. Vuonna 2025 kielletään alle 3 kg F-kaasua sisältävät single split -ilmastointilaitteet, joiden GWP-arvo on vähintään 750. Vuonna 2027 rajoitus laajenee alle 12 kW ilma-vesijärjestelmiin, jos niiden kylmäaineiden GWP ylittää 150. Vuonna 2029 samat vaatimukset koskevat myös ilma-ilmajärjestelmiä ja yli 12 kW:n laitteita, joiden GWP on yli 750. Vuonna 2033 rajoitus tiukkenee edelleen koskemaan yli 12 kW:n laitteita, joiden F-kaasujen GWP ylittää 150. Vuonna 2035 asetetaan yleinen kielto kaikille enintään 12 kW laitteille, jotka sisältävät F-kaasuja. (14.)

Yleisiä kylmäaineita maalämpöpumpuissa ovat esimerkiksi R-134a, R-407C, R-410A ja R-513A. R-410A-kylmäaine on tavallisesti käytetty kylmäaine kiinteistöjen lämpöpumpuissa. Näiden GWP arvot näkyvät kuvasta 4. (14.)

R-1234ze, GWP 7

R-32, GWP 675

R-134a, GWP 1 430

R- 407C, GWP 1 774

R- 410A, GWP 2 087

R- 513A GWP 600

R- 450A GWP 570

KUVA 7. Kylmäaineita ja niiden GWP-arvoja (13)

2.7 Annuiteetti ja takaisinmaksuaika

Lämpökaivojen suuntaa antavassa kustannusselvityksessä lasketaan investoinneille annuiteetti, jotta saadaan selville investoinnin kannattavuus asunto-osakeyhtiölle. Annuiteetti on lainan takaisinmaksutapa, jossa jokainen maksuerä koostuu sekä lainan korosta että lyhennyksestä. Maksuerän suuruus vaihtelee viitekoron mukaan. Viitekoron noustessa maksuerä kasvaa ja sen laskiessa pienee. Laina-aika pysyy kuitenkin samana koko takaisinmaksun ajan. Annuiteetti pystytään laskemaan kaavan 2 mukaan. (15.)

$$A = K * q^n * \frac{1-q}{1-q^n} \quad \text{KAAVA 2}$$

A = annuiteetti

K = lainapääoma

q = korkokerroin

q = 1 + i/m

i = vuotuinen korkokanta

m = lyhennysten määrä vuodessa

n = lyhennysten kokonaismäärä

Annuiteetin määrittäminen helpottaa asunto-osakeyhtiön hallitusta tekemään investointipäätöksiä yhdessä energiapotentiaalin määrittämisen kanssa.

Takaisinmaksuaika on hyvä tapa selvittää investoinnin kannattavuus. Se kertoo, kuinka nopeasti investoinnin kustannukset saadaan katettua tietyssä ajanjaksona. Takaisinmaksuajan ollessa lyhyt voidaan investointia pitää kannattavana. Se määritettiin kaavan 3 avulla vertaamalla geoenergian investointikustannuksia siihen säästöön, joka saavutetaan kaukolämmön kuluissa vähentämällä geoenergian korvaama energia. Laskuissa ei huomioitu käyttö- ja huoltokustannuksia, niiden puutteellisten tietojen saamisen vuoksi. (16.)

$$TM = \frac{IK}{K_{kl} - K_{ge}} \quad \text{KAAVA 3}$$

TM = takaisinmaksuaika

IK = investointikustannukset

K_{kl} = kaukolämmön kustannukset

K_{ge} = geoenergian kustannukset

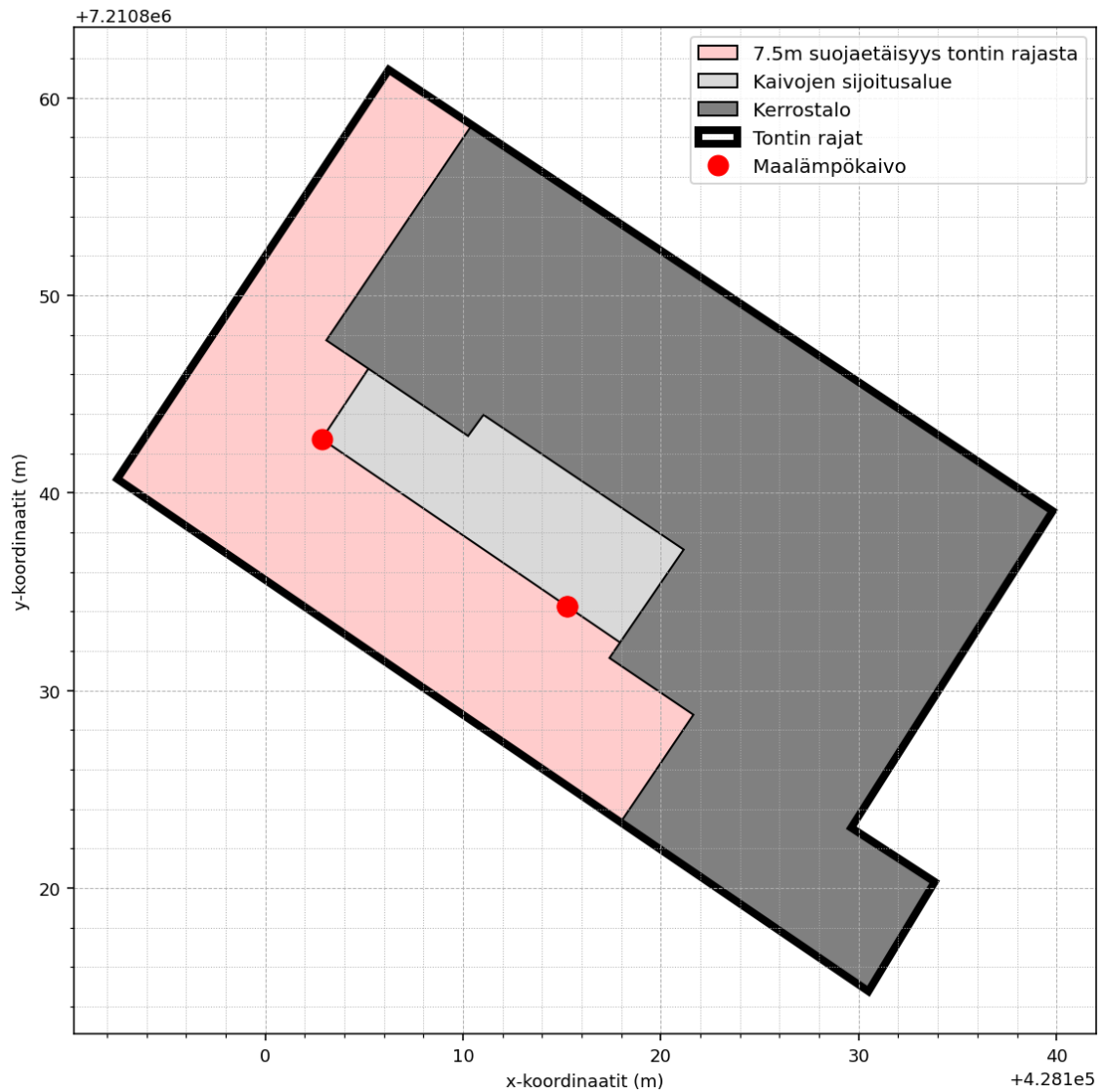
3 GEOENERGIAN KÄYTTÖ ASUNTO-OSAKEYHTIÖN LÄMMITYKSESSÄ

Tarkastelun kohteena tässä opinnäytetyössä on oululainen asunto-osakeyhtiö Oulun keskustasta. Asunto-osakeyhtiö haluaa tietää mahdollisuuden vaihtaa lämmitysjärjestelmän kaukolämmityksestä geoenergiaan. Tontille olisi GTK:n tietojen perusteella mahdollista porata kaksi 600–800 m syvää lämpökaivoa. Tontin pinta-alan takia mahdollisuudet ovat vain kahdelle lämpökaivolle, mutta tarkastelemissa otetaan huomioon myös neljän lämpökaivon tuottama energia. GTK:lta saatujen tuotantotietojen avulla pystyttiin tarkastelemaan lämpökaivojen teoreettista energian tuotantoa, jolloin kaivojen lukumäärä ja syvyys pystyttiin mitoittamaan vastaamaan rakennuksen tarvitsemaa energiankulutusta.

3.1 Geoenergian käyttö olemassa olevaan asunto-osakeyhtiöön

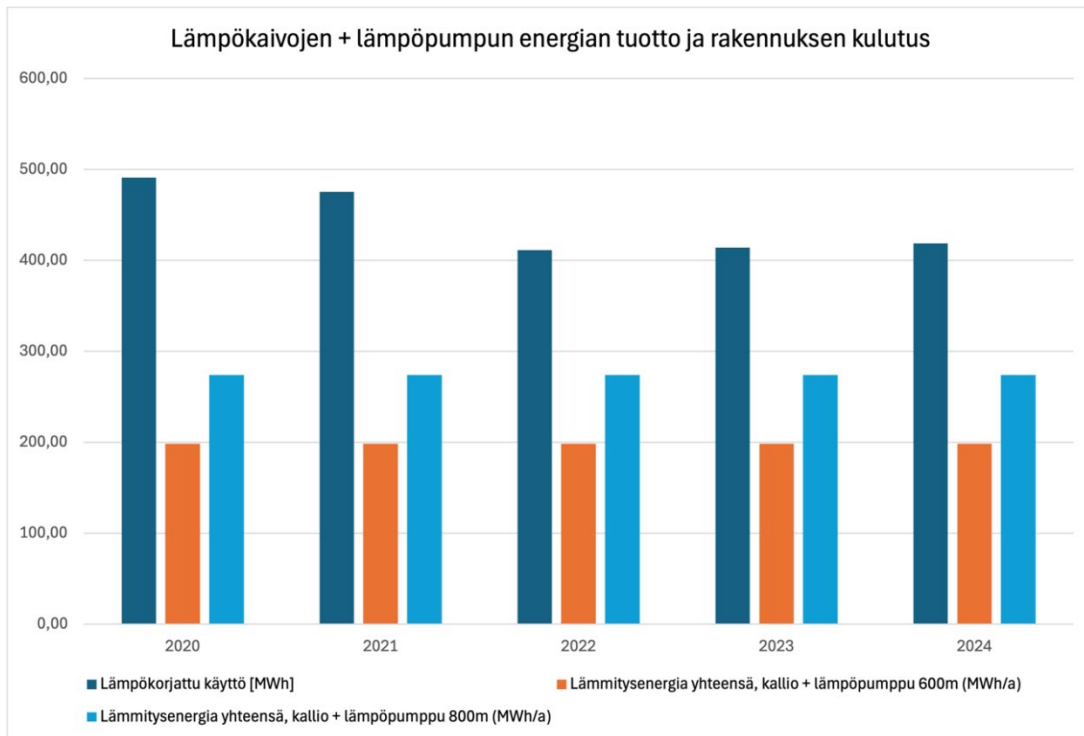
Olemassa olevan asunto-osakeyhtiön tontti on pieni, joten tilaa olisi vain kahdelle lämpökaivolle otettaessa huomioon suojaetäisyydet kaivojen, rakennuksen ja tontin välillä. Jos tontille porattavat kaivot olisivat 600 m syviä, olisi mahdollista tuottaa energiaa 198 MWh vuodessa.

Laskennallisessa teoreettisessa tarkastelussa mallinnettiin lämpökaivojen energian tuottoa rakennuksen energiantarve huomioon ottaen. Tarkastelussa oli mukana 300, 600 ja 800 metriä syviä kaivoja. Lämmön saanti on peräisin pelkästään kalliosta saatavasta energiasta lämpöpumpun tehostamana. Ajanjakso laskennassa oli 50 vuotta. Kaivojen etäisyys toisistaan olisi 15 metriä. Lämpöpumpun COP-arvona käytettiin 3,5. Tämä arvo määräytyi GTK:lta saaduista tiedoista lämpöpumppujen yleisestä COP-arvosta. Kuvasta 5 nähdään lämpökaivojen suunniteltu sijoittelu tontille. GTK:lta saamien lämpökaivojen tuotantotietojen avulla pystyttiin tarkastelemaan lämpökaivojen teoreettista energian tuotantoa, jolloin kaivojen lukumäärä ja syvyys pystyttiin mitoittamaan vastaamaan rakennuksen tarvitsemaa energiankulutusta.



KUVA 8. Lämpökaivojen suunniteltu sijoittelu asunto-osakeyhtiön tontille

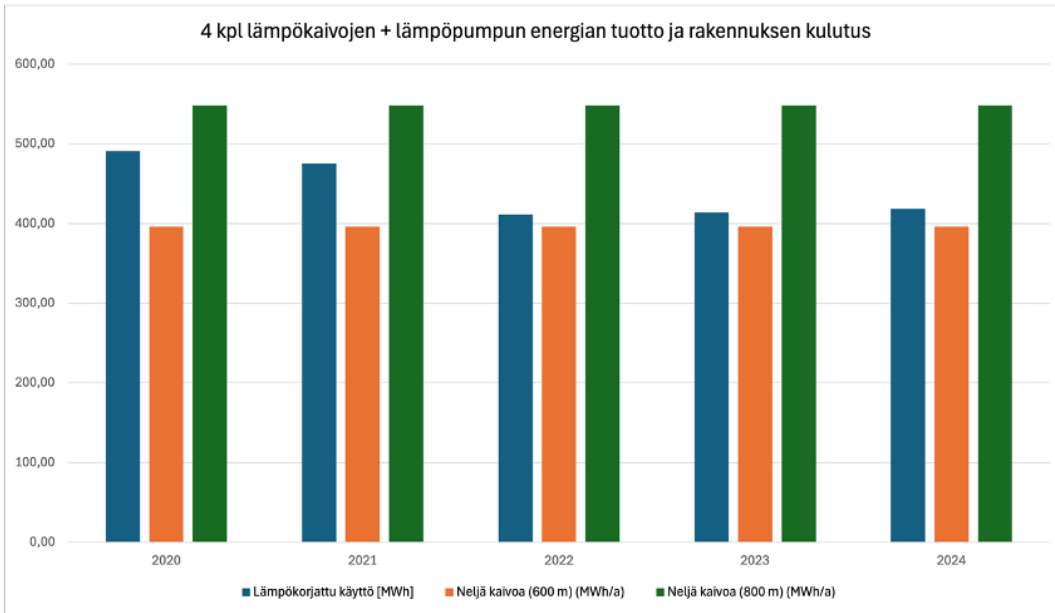
Rakennus on tällä hetkellä liitettynä kaukolämpöverkkoon, ja se kuluttaa vuodessa noin 442 MWh viiden vuoden keskiarvon perusteella. Kaksi 800 metriä syvää lämpökaivoa pystyisi tuottamaan vuodessa 278 MWh:a, kun taas kaksi 600 m kaivoa tuottaisi 198 MWh/a. Lämpöpumppu näin ollen tehostaisi geoenergialla saatavaa lämpöä. Ilman lämpöpumppua 600 metrin kaivot tuottaisivat kalliosta 154 MWh vuodessa ja 800 metrin kaivoilla 213 MWh:a. Kuvasta 6 nähdään lämpöpumppujen teoreettinen lämmöntuotto verrattuna rakennuksen energian kulu- tukseen viiden vuoden ajalta.



KUVA 9. Lämpökaivojen ja lämpöpumpun energian tuotto ja rakennuksen kulutus

3.2 Lämpökaivojen lukumäärän vaikutus lämmönsaantiin

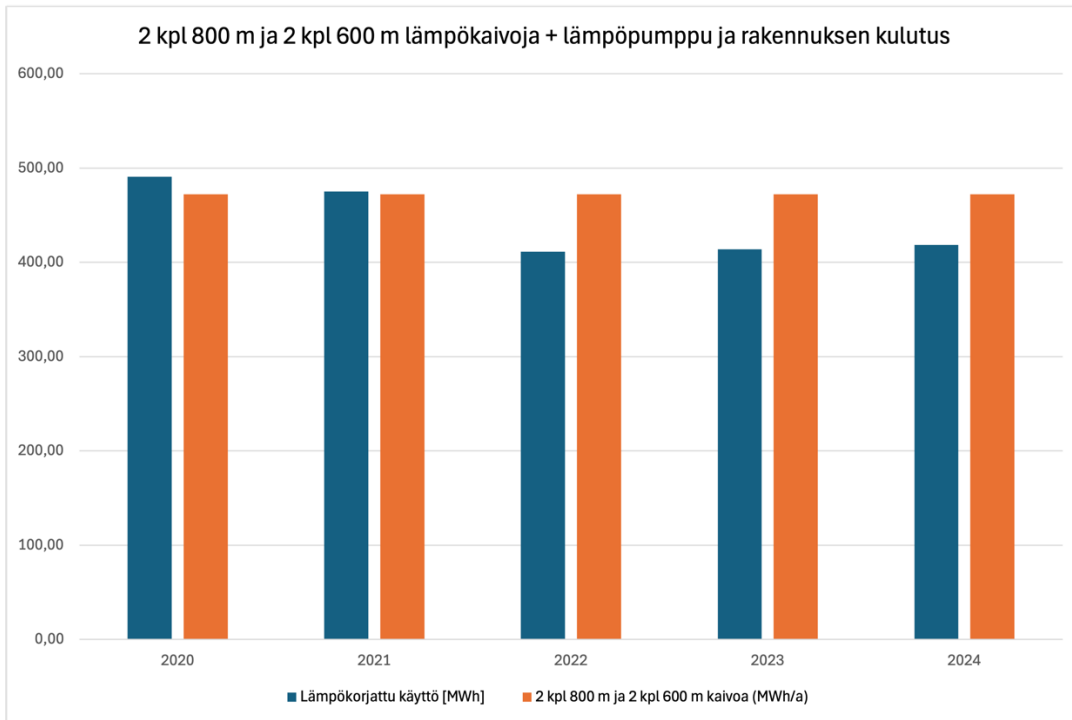
Jos asunto-osakeyhtiön lämpö haluttaisiin tuottaa pelkästään geoenergialla, tulisi kaivoja porata enemmän kuin kaksi. Jos kaivojen lukumäärä olisi neljä kappaletta, voitaisiin rakennuksen energiankulutus kattaa geoenergialla. Kuvasta 7 nähdään eri syvyisten kaivojen lämmöntuotantopotentiaali.



KUVA 10. Neljän lämpökaivon energiantuotanto verrattuna rakennuksen energian kulutukseen

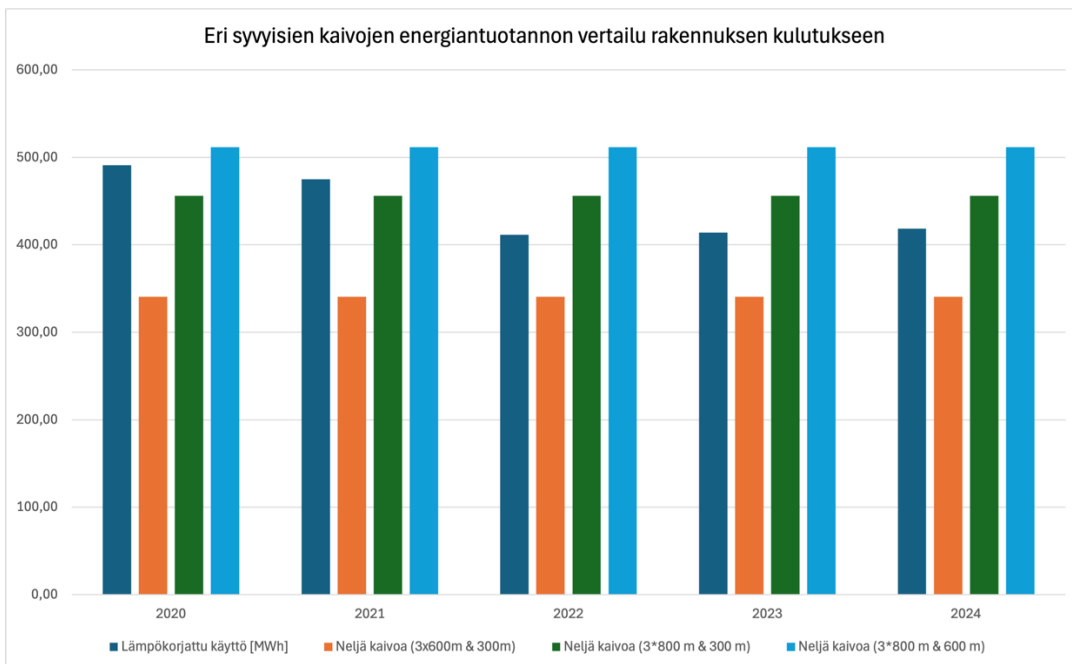
Kuitenkin tontin pinta-alan ollessa rajallinen, pitäisi lämpökaivojen poraus tehdä tontin ulkopuolelle. Kuvasta huomataan kuinka neljä 800 m lämpökaivoa tuottavat energiaa yli tarpeen. 600 m lämpökaivot tuottaisivat lähemmäksi rakennuksen kulutuksen mukaisesti energiaa.

Tarkastelussa oli myös kaksi 800 metrin ja kaksi 600 metrin lämpökaivoa, jolloin rakennuksen kulutus olisi lähempänä lämpökaivojen ja lämpöpumpun energian tuottoa. Tällä vaihtoehdolla voitaisiin tuottaa noin 470 MWh/a. Energiantuotanto olisi liian suurta verrattuna rakennuksen kulutukseen. Kuvassa 8 on esitetty edellä mainitun vaihtoehdon energiantuotanto. Tässä ratkaisussa olisi myös kaksi lämpöpumppua.



KUVA 11. 800 m ja 600 m lämpökaivot ja rakennuksen lämmönkulutus

Vaihtoehtona voisi olla myös porata yksi matalampi 300-metrinen kaivo sekä kolme 600 m:n syvyistä kaivoa. Tällöin energian tuotanto olisi optimaalisempi ja kaivojen poraussyvydet olisivat matalampia. Kuvasta 9 voidaan vertailla eri syvyisten kaivojen energiantuotantopotentiaalia.



KUVA 12. Eri syvyisien kaivojen yhteisenergiantuotanto verrattuna rakennuksen energian kulutukseen

Vaikka kiinteistön alueelle ei olisi mahdollista porata neljää lämpökaivoa, haluttiin työssä tutkia päästäisiinkö neljän kaivon energiantuotannon avulla lähemmäksi rakennuksen todellista energiantarvetta.

3.3 Geoenergian pumppaus

Maalämpöpumpun valinnassa tulee nykyisin ottaa huomioon niiden kylmäaineet niiden sisältämien F-kaasujen vuoksi. Vuonna 2027 kylmäaineet eivät saa enää sisältää näitä yhdisteitä, koska ne ovat haitallisia ympäristölle ja ihmisille. Pumpun valinnassa tulee ottaa huomioon, mitä kylmäainetta se käyttää ja mitä toimenpiteitä pumpulle tulee tehdä sen käyttämän kylmäaineen takia. Jos kylmäaine on uusien kiellettävien kylmäaineiden listalla, kannattaa toisen pumpun valintaa harkita.

Maalämpöpumpun mitoituksessa tulee ottaa huomioon lämpökaivojen lukumäärä ja syvyys. Kahden 600–800 m:n tuotannon tehostamiseksi riittää yleensä yksi noin 50 kW lämpötehoa tuottava maalämpöpumppu. Jos lämpökaivojen lukumäärä on enemmän kuin kaksi tarvitaan energian tehostamiseksi toinenkin lämpöpumppu. Tämä tehostaa lämpökaivoista saatavaa energiaa ja takaa lämmitystarpeen vuoden ympäri. Lämpöpumppujen asianmukaisesta huollosta kannattaa pitää kirjaa. Asianmukaisen huollon avulla lämpöpumpun toiminta varmistuu ja yllättäviltä kuluilta vältytään.

4 GEOENERGIAN SUUNTAAN ANTAVAT INVESTOINTIKUSTANNUKSET ESIMERKKI ASUNTO-OSAKEYHTIÖISSÄ

Geoenergialoikka-hanke antoi suuntaa antavia tietoja opinnäytetyön investointikustannusten laskemiseen. Geoenergialoikka-hankkeessa rakennetaan keskisyviä tutkimus- ja testikaivoja eri puolille Suomea. Hankkeen tarkoituksena on myös kehittää uusia mitoitustyökaluja, joiden avulla voidaan laatia valtakunnallinen kallioperän lämmönjohtavuuskartta. Tutkimuskaivot jäävät toimijoiden käyttöön ja tukevat pitkäaikaista kehitystyötä sekä tutkimusyhteistyötä. (17.)

Tämän kaltaisia geoenergiakohteita Suomessa ei ole montaa, joten laskelmat ovat vain suuntaa antavia ja keskiarvoihin perustuvia. Tällä hetkellä keskisyviä energiakaivoja on porattu esimerkiksi Tampereen Pirkkalaan ja Helsingin Kalasatamaan. (18.)

Suuntaa antavat investointikustannukset laskettiin kahdelle 600 m:n kaivolle, joiden yhteydessä toimii yksi lämpöpumppu. Hintoihin on sisällytetty maatyöt. Hintoihin on myös lisätty arvolisävero 25,5 %. Kustannusarvio saatiin Geoenergialoikka-hankkeen saamien hinta-arvioiden keskiarvona, sillä tarkat tarjoukset ovat hankkeen salassa pidettävää tietoa. Laskennan koroksi valikoitui 5 %, joka auttaa varautumaan investointilainan korkojen nousuun.

Kahden 600 m syvän kaivon arvioiduksi hinnaksi tulisi 121000 € mukaan lukien poraustyöt ja lämpöpumpun investointi. Lyhennysten kokonaismäärä määräytyi 20 vuoden perusteella. Kaavan 2 avulla selvitettiin investoinnin annuiteetti 20 vuodelle, joka olisi noin 798 €.

$$A = K * q^n * \frac{1 - q}{1 - q^n}$$

$$A = 121000\text{€} * 1,004167^{240} * \frac{1 - 1,004167}{1 - 1,004167^{240}} = 798,50 \text{€}$$

Takaisinmaksuaika määritettiin investointikustannuksien ja geoenergialla saatavien säästöjen avulla kaavan 3 mukaan. Laskennassa saatu tulos takaisinmaksulle kertoo kulujen kattamiseen käytetyt vuodet.

$$TM = \frac{IK}{K_{kl} - K_{ge}}$$

$$TM = \frac{121000\text{€}}{(28513 - 15175) \frac{\text{€}}{a}} = 9,1 a$$

Jos kaivot haluttaisiin porata 800 m:n syvyyteen, hinnaksi tulisi noin 132000 €. Tälle vaihtoehdolle laskettu annuiteetti olisi noin 871 €. Hinta-arvio on keskiarvolinen saatujen tarjouspyyntöjen perusteella.

$$A = 132000\text{€} * 1,0041667^{240} * \frac{1 - 1,0041667}{1 - 1,0041667^{240}} = 871,10 \text{ €}$$

Takaisinmaksuaika olisi noin 7,1 vuotta geoenergialla saatavien säästöjen perusteella.

$$TM = \frac{132000\text{€}}{(28513\text{€} - 18571) \frac{\text{€}}{a}} = 7,1 a$$

5 TULOKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää optimaalisin ja kustannustehokkain vaihtoehto geoenergiajärjestelmä kaukolämmön tilalle oululaiselle asunto-osakeyhtiölle, jonka vuosittainen energiankulutus on noin 418 MWh vuodessa. Tarkastelussa oli mukana kahden kaivon ja neljän kaivon geoenergiajärjestelmiä eri syvyyksillä porauksilla sekä yhdellä tai kahdella lämpöpumpulla. Neljän kaivon järjestelmää tutkittiin, jotta saataisiin enemmän tietoa keskisyvien lämpökaivojen hyödyntämismahdollisuuksista.

Koska tontille pystyisi tällä hetkellä poraamaan tilanpuutteen vuoksi vain kaksi lämpökaivoa, valikoitui tähän parhaaksi vaihtoehdoksi kaksi 800 metrin ja yhden lämpöpumpun geoenergiajärjestelmä. Lämpökaivoilla pystyisi tuottamaan energiaa vuodessa noin 275 MWh. Tämä vaihtoehto kattaisi rakennuksen energiantarpeesta noin 65 % ja se kustantaisi noin 132000 €. Sen takaisinmaksuaika olisi 7,2 vuotta ja kahden kymmenen vuoden annuiteetti takaisinmaksuun olisi noin 884 €. Tällä ratkaisulla ei pystyttäisi kattamaan kylmimpien kuukausien lämmitystä.

Optimaalisin lämmöntuotantovaihtoehto teoreettisista vaihtoehdoista olisi 396 MWh/vuosi tuottava neljän kaivon geoenergiajärjestelmä kahdella lämpöpumpulla. Kaivojen syvyydet olisivat 600 m. Tällainen järjestelmä kustantaisi suuntaa antavasti noin 233000 €. Tämä vaihtoehto pystyisi teoriassa kattamaan rakennuksen energiantarpeen noin 95 %, mikä olisi lähempänä optimaalista lämmöntuotantoa. Tämän vaihtoehdon investointikustannuksien takaisinmaksuaika on 9,1 vuotta. Ainoastaan talvikuukausien muutama kylmintä päivää jäisi kattamatta, jolloin ratkaisuna olisi lisälämmityksen käyttö lämpövaraajilla tai sähkölämmityksellä.

6 YHTEENVETO

Geoenergian hyödyntäminen keskisyvien lämpökaivojen avulla on hieman kasvussa niiden energiatehokkuuden vuoksi. Keskisyvät lämpökaivot ovat myös hyvä vaihtoehto suurempien rakennusten energiantuotantoon niiden tarvitseman pinta-alan vuoksi. Lämpökaivot eivät tarvitse suurta pinta-alaa rakennuksen tontin alueella, ja siksi tämä vaihtoehto on varteenotettava myös tiheämmin asutulla taajama-alueella. Huomioon pitää kuitenkin ottaa niille asetetut suojaetäisyyden rakennuksista ja alueen tontilta.

Tutkimuskohteena ollut asunto-osakeyhtiö voisi hankkia geoenergiajärjestelmän kattamaan lämpimimpien kesäkuukausien energiantuotannon, mutta talvella lämmitys tulisi kaukolämpöverkosta. Tämä ratkaisu voisi olla varteenotettava, jos asunto-osakeyhtiö on valmis investoimaan geoenergiajärjestelmään. Tulevaisuudessa geoenergian käyttöä voisi vielä tehostaa tekoälypohjaisella ohjauksella, mikä parantaisi mahdollisesti lämmöntuotantokapasiteettia. Myös maankamaran lämpövarastoista ei otettaisi liikaa energiaa, eivätkä lämpövarastot hupenisi niin nopeasti.

Geoenergian käyttö tulee luultavasti tulevaisuudessa kasvamaan muutaman sekkan vuoksi. Lämpökaivoja porattaessa yhä enemmän, tulee niiden porauskustannukset todennäköisesti laskemaan. Myös yhä useammat yritykset ovat investoineet lämpökaivojen porauskalustoa, jolloin poraustekniikka kehittyy ja näin ollen hinta alenee. Myös alan kasvava suosio tulee nostamaan kilpailua ja näin ollen hintojen laskua. Yhä useammat kunnat ja kaupungit tulevat varmasti miettimään myös geoenergian hyödyntämistä tulevaisuudessa saavuttaakseen omat päästöjen vähennystavoitteet. Myös maakamaran tutkimustyön lisääntyessä saadaan kartutettua Suomen energiapotentiaalia yhä tarkemmin, jolloin uusien tutkimustulosten perusteella kaupungit ja yritykset uskaltavat investoida geoenergian hyödyntämiseen rohkeammin. Suomessa keskisyvää geoenergiaa on hyödynnetty esimerkiksi Meilahden sairaalassa Helsingissä usealla lämpökaivolla, joka kattaa koko sairaalan lämmitys- ja jäähdytys tarpeen. Tulevaisuudessa tämän

kaltaiset projektit ovat varmasti kasvussa sen näyttäen esimerkkiä geoenergian hyödyntämisessä.

Geoenergian etuja ovat sen omavaraisuus ja vakaa hinta. Vaikka lämpökaivojen yhteydessä toimivat lämpöpumput tarvitsevat sähköä toimiakseen, ei se vaikuta suuresti hinnan muutokseen vuoden aikana. Geoenergian käytössä ei siis tarvitse huolehtia lämmitykseen käytettävien polttoaineiden saannista tai mahdollisista hintojen noususta. Tällöin sen käytön hinta on helppo budjetoida vuosiakin eteenpäin. Tässä tapauksessa ei myöskään olla riippuvaisia lämpöyhtiöiden jakeluverkkojen kunnostuksesta ja näiden seurauksena tapahtuvista lämpökatkoista. Jos laitteiston asiallinen huolto suoritetaan ajoittain, ei järjestelmälle tule yllättäviä kustannuksia. Muuttuvan maailmantilanteen vuoksi geoenergia on varma keino tuottaa energiaa rakennuksille, sillä se ei ole riippuvainen Suomen ulkopuolisista tekijöistä, kuten polttoaineen toimituksesta.

Geoenergian käytön varjopuoliin kuuluu pumppujen kylmäaineiden käyttö. Osa lämpöpumpuista käytettävistä kylmäaineista tullaan kieltämään vuoteen 2027 mennessä, joten lämpöpumpun valinta kannattaa tehdä tämä mielessä pitäen.

Jatkokeskustelunä opinnäytetyön jatkamiselle onkin keskisyvän geoenergian kannustimet. Sen vähähiilisyys, ehtymättömät energiavarat, kallioperän lämpökapasiteetin parempi kartoitus ja uuden porauskaluston tullessa markkinoille geoenergia tulee olemaan tulevaisuudessa varteenotettava lämmitys- ja jäähdytysmuoto. Jos geoenergiajärjestelmä mukaan lukien lämpöpumpun saataisiin kytettyä aurinkosähköjärjestelmään, olisi se täysin riippumaton ulkoisista sähkö ja energiajakelijoista.

LÄHTEET

1. Gehlin, S. 2017. Geoenergiaopas. Svenskt Geoenergicentrum. Luettavissa: <https://www.rototec.fi/hubfs/Brochures%20and%20webinars/FI/Rototec-Geoenergiaopas.pdf>. Luettu: 30.3.2025.
2. Maankamara s.a. GTK. Karttapalvelu. <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>. Luettu: 21.5.2025.
3. Uudenmaan geoenergia 2020. Uudenmaan liiton julkaisuja. Luettavissa: https://uudenmaanliitto.fi/wp-content/uploads/2021/10/Uudenmaan_geo-energiaselvitys.pdf. Luettu: 15.4.2025.
4. Helsingin Yliopisto s.a. Geotermisen energian muodot. Seismologian instituutti. Verkkojulkaisu. Luettavissa: <https://www.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti/maanjaristykset/geotermisen-energia-ja-ihmisen-aiheuttamat-maanjaristykset/geotermisen-energian-muodot>. Luettu: 22.4.2025.
5. Leppäharju, N. 2021. Keskisyvien lämpökaivojen energiapotentiaalin hyödyntäminen Suomessa. Geologian tutkimuskeskus. Hiilineutraalisuomi. Webinaari. Luettavissa: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/download/no-name/%7B988AB8D9-F59B-4F78-9134-0C0FCFDD63E7%7D/168143>. Luettu: 7.4.2025.
6. Peura, J. 2017. Maanalaista energiaa. Geoteknisen osaston julkaisu. Helsingin kaupunki. Luettavissa: <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu97.pdf>. Luettu: 18.4.2025.
7. Geoenergia. s.a. Koillismaan syväreikä. GTK. Verkkojulkaisu. Luettavissa: http://projects.gtk.fi/syvareika/muut_tutkimukset/geoenergia/. Luettu: 18.4.2025.
8. Markinkauppi, A. Vallin, S. 10.4.2025. Tutkija. GTK. Teams-keskustelu.
9. Korhonen, K & Martinkauppi, A. 2023. Suomen keskisyvä geotermisen energiapotentiaali määritetty. GTK. Verkkojulkaisu. Luettavissa: <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/suomen-keskisyva-geotermisen-energiapotentiaali-maaritetty-avaa-mahdollisuuksia-vahahiilisen-lammitys-energian-hyotykayttoon-taajama-alueilla/>. Luettu 1.4.2025.

10. Manner, K. s.a. Maalämpökaivo mahtuu pienemmällekin tontille. Tom Allen Senera. Verkkajulkaisu. Luettavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari?utm_source=chatgpt.com. Luettu: 22.4.2025.
11. Breilin, O. Huusko, A. Martinkauppi, A. Putkinen, N ja Wik, H. 2013. Oulun geoenergiapotentialin kartoitus. Geologian tutkimuskeskus. Luettavissa: <https://www.ouka.fi/media/6941/download>. Luettu 22.5.2025.
12. Kettunen, T. 2024. Maalämpöpumppu (MLP). Motiva. Verkkajulkaisu. Luettavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu. Luettu: 7.4.2025.
13. Rajoituskäsikirja 2021. Fluoratut kasvihuonekaasut. Tulli. Luettavissa: <https://tulli.fi/documents/2912305/3048504/Fluoratut%20kasvihuonekaasut/e52be2f7-014d-4804-9dfe-d33160c9a779>. Luettu: 21.5.2025.
14. Genowa 2023. Lämpöpumppujen kylmäaineiden käyttöä tiukennetaan – kylmää kyytiä alalle vai terve muutos ympäristölle?. Blogikirjoitus. Luettavissa: <https://www.geonova.fi/ajankohtaista/lampopumppujen-kylmaaineiden-kaytto-tiukennetaan-kylmaa-kyytia-alalle-vai-tervetullut-muutos-ymparistolle>. Luettu: 19.5.2025.
15. S-pankki s.a. Annuiteetti. Verkkajulkaisu. Luettavissa: <https://www.s-pankki.fi/fi/lainat/lainasanakirja/annuiteetti/>. Luettu 22.4.2025.
16. Ylikunnari, J. 2024. Investointilaskelmat. Hybridijärjestelmät. Oulun ammattikorkeakoulu. Luettu: https://unioulu-my.sharepoint.com/:p:/r/personal/jylikunn_oamk_fi/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7BA57F6439-DA61-4618-BF39-24AC41C7A6EC%7D&file=Investointilaskelmat%20S2024.pptx&action=edit&mobileredirect=true. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 20.5.2025.
17. Geoenergialoikka s.a. Pohjois-Pohjanmaa. Verkkajulkaisu. Luettavissa: <https://projektit.gtk.fi/geoenergialoikka/pohjois-pohjanmaa/>. Luettu 1.5.2025.
18. Rototec 2023. Rototec aloittaa keskisyvien maalämpökaivojen poraamisen Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Verkkajulkaisu. Luettavissa: <https://www.rototec.fi/uutiset/rototec-aloittaa-keskisyvien-maal%C3%A4mp%C3%B6kaivojen-poraamisen-suomessa-ruotsissa-ja-norjassa>. Luettu 14.5.2025.

LIITTEET

1 kaivo	Kaivon poraus (600 m)	50000,00	€	
2 kaivoa	Kaivon poraus (600 m)	93000,00	€	
pumput	Lämpöpumppu XL	28000,00	€	
	Lämpöpumppu L	25000,00	€	
Kahden kaivon investointikustannukset:				121000,00 €
	Kahden 600 m kaivon tuotto	198		
	Kahden 800 m kaivon tuotto	274	MWh/a	
	Rakennuksen energiankulutus	418,38	MWh/a	
Geoenergialla kattamatta jäänyt osuus				
		220,38	MWh/a	
		144,38	MWh/a	
600 m	Kaukolämmön uusi hinta:	15175,4	€	
800 m	Kaukolämmön uusi hinta:	9942,0	€	
	Energian keskihinta:	68,86	€/MWh	
	(Oulun Energia)			
Takaisinmaksuaika:	800 m		7,1	vuotta
<i>Ilman käyttökuluja</i>	600 m		9,1	vuotta
Kaukolämmön vuosikustannukset 2024:			28 513,1	€/a
Vuosittaiset kaukolämmön säästöt:			18 571,1	€
			13 337,7	€
Kaukolämmön kustannukset 20 vuotta:			570 262,2	€
Kaukolämmön kustannukset 50 vuotta:			1 425 655,5	€
600 m	Neljä kaivoa	177000,00	€	
	Pumput	56000	€	
	Yhteensä:	233000,00	€	
	Kaivot 800 m			
1 kaivo	60000,00	€		
2 kaivoa	104000,00	€		
pumppu	28000,00	€		
Yhteensä:	132000,00			
	600 m	600 m	800 m	600 m
Annuiteetti	50 vuotta	20 vuotta	20 vuotta	10 vuotta
K =	121000,00	121000,00	132000,00	121000,00
i =	0,05	0,05	0,05	0,05
m =	12	12	12	12
n =	600	240	240	120
$q = 1 + i/m$	1,004166667	1,004167	1,00416667	1,004167
A [€] =	549,5	798,5	871,1	1283,4

Kaivojen välinen etäisyys (m)	Kaivon syvyys [m]	Putkityyppi	Kaivojen lkm	Lämmitysenergia yhteensä, kallio + lämpöpumppu (MWh/a)
Distance Between Boreholes (m)	Borehole Depth (m)	Pipe Type	Number of Boreholes	Total Heating Energy, Bedrock + Heat Pump (MWh/a)
15	300	single U-tube	2	87
15	600	single U-tube	2	198
15	800	single U-tube	2	275
15	300 ja 600	single U-tube	2	142,5
15	300 ja 800	single U-tube	2	181
15	600 ja 800	single U-tube	2	236,5

Vuosi	Lämpökorjattu käyttö [MWh/a]	Lämmitysenergia yhteensä, kallio + lämpöpumppu 600m [MWh/a]	Lämmitysenergia yhteensä, kallio + lämpöpumppu 800m [MWh/a]	Neljä kaivoa (600 m) [MWh/a]
2020	490,93	198	274	396
2021	475,08	198	274	396
2022	411,35	198	274	396
2023	413,87	198	274	396
2024	418,38	198	274	396

Neljä kaivoa (800 m) [MWh/a]	2 kpl 800 m ja 2 kpl 600 m kaivoa [MWh/a]	Neljä kaivoa (3x600m & 300m) [MWh/a]	Neljä kaivoa (3*800 m & 300 m) [MWh/a]	Neljä kaivoa (3*800 m & 600 m) [MWh/a]
548	472	340,5	456	511,5
548	472	340,5	456	511,5
548	472	340,5	456	511,5
548	472	340,5	456	511,5
548	472	340,5	456	511,5