

2017

Maanalaista Energiaa



Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto

Maanalaista Energiaa, 16.2.2017
Geoteknisen osaston julkaisu 97

Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geotekninen osasto
PL 2202, 00099, Helsinki

Tekijä: Jutta Peura

Kannen valokuva: Tieteen kuvalehti (tieku.fi/kw/tulivuorenpurkaus)

ISBN (PDF) 978-952-331-240-1
ISSN (verkkoj.) 1458-2198

ALKUSANAT

Tämän raportin juuret ovat apulaiskaupunginjohtaja Anni Sinnemäen (Kaj) kysymyksessä geotekniselle osastolle. Kaj kysyi ensitapaamisen yhteydessä 3.3.2015 mahdollisuutta hyödyntää uusiutuvaa maalämpöä eli geoenergiaa Helsingissä. Kysymystä syvennettiin 26.6.2015 järjestetyn puolen päivän ekskursion yhteydessä, johon Kaj:n lisäksi osallistui kiinteistöviraston, Helenin ja GTK:n asiantuntijoita.

Nyt käsillä oleva raportti osoittaa, että Suomi ja erityisesti Helsinki on potentiaalinen sekä geoenergian että geotermisen energian hyödyntäjä. Toistaiseksi ylivoimaisesti suurin geoenergian hyödyntäjäryhmä on omakotikiinteistöt.

Kiinteistöviraston geoteknisen osaston käsityksen mukaan uusiutuvaa geoenergiaa kannattaisi jatkossa hyödyntää enemmän alue- ja korttelikohtaisesti. Ratkaiseva askel olisi energiapotentiaaliselvitysten sisällyttäminen uusiin tontinluovutuskilpailuihin ja uusiin kaavahankkeisiin. Myös yleisempi koko kaupungin kattava energiapotentiaalin kartoitus olisi syytä ottaa työlistalle.

Ilkka Vähäaho

TIIVISTELMÄ

Geoenergialla tarkoitetaan kallio- ja maaperästä tai vesistöstä saatavaa lämmitys- ja viilennysenergiaa. Suomessa geoenergian lähde on käytännössä kallioperä. Geoenergiaa voidaan hyödyntää kaikenkokoisten rakennusten lämmittämässä ja jäähdyttämässä. Yhdellä energiakaivolla voidaan tuottaa esimerkiksi pientalon tarvitsema lämpömäärä tai energiakaivojärjestelmä voi koostua kymmenistä tai jopa sadoista pora-reista, jolloin lämmitys- ja viilennysenergiaa käytetään suurten kiinteistöjen tarpeeseen.

Geoenergiaa hyödynnetään Suomessa varsin laajasti pientaloissa – uusista omakotitaloista jo yli puolet valitsee geoenergian. Suurkohteissa, kuten liikerakennuksissa, ostoskeskuksissa ja asuintaloalueilla, geoenergian hyödyntäminen on toistaiseksi ollut varsin vähäistä. Viime vuosina kiinnostus on herännyt myös näiden kohteiden osalta, mikä osaltaan johtuu suurkenttien laskennan, mallinnuksen ja kotimaisen suunnitteluosaamisen lisääntymisestä. Suurkohteissa geoenergiakentän tuotantokapasiteetin selvittäminen mittauksen, mitoituksen ja mallinnuksen avulla on ensiarvoisen tärkeää, jotta suunniteltu energiakenttä vastaa haluttua lämmitys- ja viilennystarvetta. Ns. geoenergiapotentiaalitutkimuksilla varmistetaan, että energian saanti on riittävällä ja kestäväällä pohjalla.

Suomessa geoenergian hyödyntämiseen käytettävät mitoitus- ja mallinnusmenetelmät kaipaavat vielä kehitystyötä ja yhtenäistämistä. Nykyiset mitoitusmenetelmät sisältävät paljon oletuksia, jotka perustuvat nyrkikisäntöihin ja kokemusperäisiin arvioihin. Alalle ei ole myöskään saatavissa yleistä koulutusta, mikä tarkoittaa sitä, etteivät mitoitusmenetelmät ole vakiintuneet koko alan käyttöön. Edellä mainituista syistä suurkohteille palveluja tarjoavien ja osaavien konsulttitoimistojen määrä Suomessa on vielä varsin vähäinen.

Vuoden 2017 alussa maalämpökaivoja oli porattu Helsingin alueella 3 310 kappaletta. Näistä valtaosa, yli 95 %, on pientalojen maalämpökaivoja. Suurimmat maalämpökohteet Helsingin alueella ovat Meilahden sairaala (49 energiakaivoa), Malmin sairaala (30 energiakaivoa), Viikin ympäristötalo (25 energiakaivoa) ja Sakarimäen koulu (21 energiakaivoa). Suomen suurin geoenergiaan perustuva energiatuotantolaitos on Sipoon logistiikkakeskus, joka lämpiää 150 energiakaivon ja biopolttoaineita hyödyntävän yhdistelmälaitoksen avulla.

Geoterminen energia on lämpöä, joka syntyy ja varastoituu syvemmällä kallioperässä. Sen pääasiallisena lähteenä on maapallon sisältämä luonnollinen lämpö, jota syntyy pitkäikäisten radioaktiivisten isotooppien hajoessa maan kuoren yläosassa. Geoterminen energia on lähes rajaton energianlähde. Sen merkittävimpiä etuja ovat uusiutuvuus, energian edullisuus sekä riippumattomuus sääolosuhteista. Geoterminen energia on myös lähes päästötöntä.

Taloudellisesti kannattavia geotermisiä sähkön ja lämmön tuotantolaitoksia on rakennettu lähes maailmanlaajuisesti, mutta ne sijaitsevat pääosin vulkaanisesti aktiivisilla alueilla. Ei-vulkaanisesti aktiivisilla alueilla, kuten Suomessa, lupaavin geotermisen energian hyödyntämismenetelmä on EGS-tekniikalla toteutettavat voimalat. Perusidea EGS-voimalassa on kierrättää vettä kallioperässä vähintään kahden syvän porareian välillä. Tuotantoreiät ovat tyypillisesti 3-7 kilometrin syvyyksiä.

Porausmenetelmien kehittyminen on mahdollistanut sen, että erittäin syvien tuotantoreikien poraaminen saattaa olla tänä päivänä jo kannattavaa liiketoimintaa. EGS-voimaloiden suunnitteluvaiheessa on keskeisintä arvioida taloudellisen kannattavuuden lisäksi myös ympäristöön aiheutuvien riskitekijöiden merkitystä, laajuutta ja todennäköisyyttä mahdollisimman monipuolisesti ja läpinäkyvästi. Merkittävimpiä ympäristöriskitekijöitä ovat mikroseismiset maanjäristykset, maannousu ja kallioperän jäähtyminen ajan kuluessa.

Suomen ensimmäinen geoterminen lämpölaitos valmistunee vuonna 2017 Espoon Otaniemeen.

SISÄLLYSLUETTELO

Käsitteet ja sanasto	4
1. Maanalaista Energiaa	6
1.1 Mitä on geoenergia?.....	6
1.2 Mitä on geoterminen energia?.....	6
1.3 Geotermisen energian valjastaminen yhteiskunnan käyttöön	8
2. Energiakaivot Suomessa.....	10
2.1 Energiakaivon toimintaperiaate	10
2.2 Hyödyntäminen Suomessa	11
2.3 Geoenergian mahdollisuudet	12
2.4 Geoenergian tulevaisuuden näkymiä	14
2.5 Geoenergian mahdollisuudet Helsingin energiatuotannossa	15
3. Geotermiset Voimalat	19
3.1 Geoterminen energia maailmalla	19
3.2 Onko geotermisen energian hyödyntäminen mahdollista Suomessa?.....	19
3.2.1 Suomen kallioperä.....	19
3.2.2 Helsingin seudun geologiset ominaispiirteet	20
3.2.3 Voimalaitostekniikka	20
3.2.4 Case St1 – Suomen ensimmäinen geoterminen lämpövoimalaitos.....	22
3.2.5 Kokemuksia EGS-tuotantolaitoksista.....	23
Lähteet.....	25

KÄSITTEET JA SANASTO

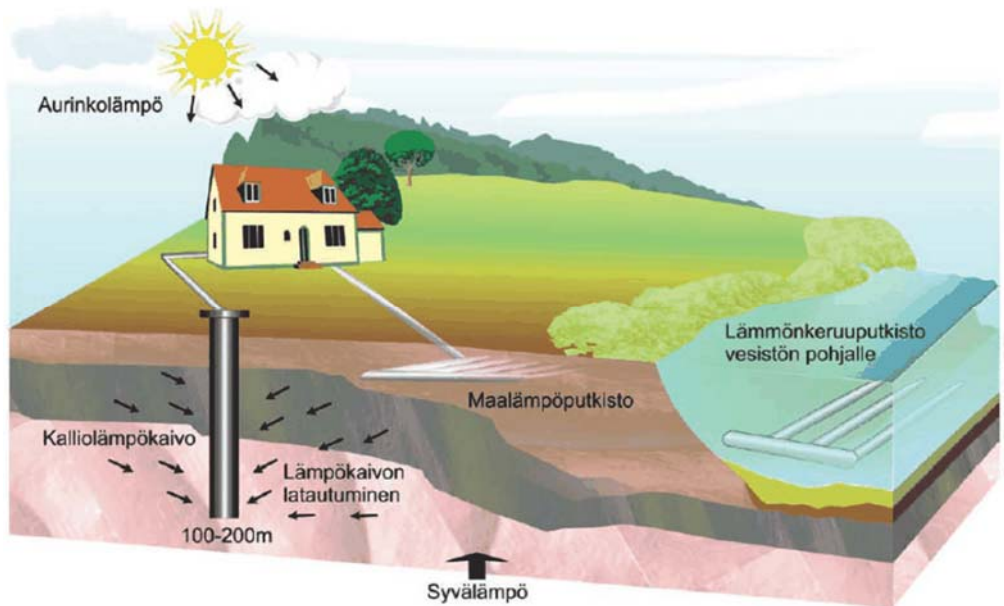
EGS-voimalaitos	Geotermistä energiaa hyödyntävä voimalaitostyyppi, jossa maankuoresta otetaan lämmintä vettä syvän pystyreian avulla ja toisesta pystyreistä syötetään tilalle jäähtynyttä vettä. Tuotantoreikien välinen yhteys saadaan aikaan keino-tekoisesti esimerkiksi murtamalla tai säröyttämällä kallioperää esimerkiksi voimakkaan ylipaineistuksen avulla. EGS-voimalaitos tuottaa sähköä, lämpöä tai molempia riippuen kierrätettävän veden lämpötilasta. EGS-voimalaita rakennetaan pääasiallisesti ei-vulkaanisesti aktiivisille alueille.
Energiakaivo	Energiakaivot hyödyntävät lämpöpumpun avulla kallioperään varastoitunutta energiaa, joka on pääosin peräisin auringon lämpösäteilystä. Pieni osa energiakaivojen hyödyntämästä energiasta on peräisin Maan sisäisestä lämmöstä, ks. <i>geoterminen energia</i> . Pystysuuntaisia energiakaivoja voidaan käyttää myös rakennusten viilentämiseen
Geoenergia	Geoenergia on maa- ja kallioperään sekä vesistöihin varastoitunutta, uusiutuvaa energiaa. Suomessa tämä energia on peräisin pääosin auringosta ja osin maan uumenista. Geoenergiaa voidaan hyödyntää rakennusten lämmityksessä ja viilennyksessä lämpöpumpun avulla.
Geoterminen energia	Maan sisäistä energiaa ja lämpöä, joka syntyy pääosin Maan sisuksissa tapahtuvien radioaktiivisten aineiden hajoamisen seurauksena. Tätä energiaa voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön tuotannossa.
Hybridienergiajärjestelmä	Hybridienergiajärjestelmällä tarkoitetaan useaa eri energialähdettä käyttävää järjestelmää. Siinä yhdistetään monta eri energiamuotoa yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Tavoitteena on tuottaa lämpöä mahdollisimman taloudellisesti käyttäen kunakin vuodenaikana edullisimpia energialähteitä, kuten aurinkolämpöä, aurinkosähköä, maalämpöjärjestelmiä, hukkalämpöä, ilmalämpöpumppuja, tuulivoimaa, kaukolämpöä, öljylämmitystä ja niin edelleen.
Ilmalämpöpumppu	Laitteisto, jolla siirretään lämpöenergiaa ulko- ja sisäyksikön avulla. Sisätilan lämpötilaa säädellään siirtämällä lämpöä ulkoilmasta sisäilmaan ja tarvittaessa päinvastoin sisäilman jäähdyttämiseksi.
Ilma-/vesilämpöpumppu	Lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu, jossa ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Kompressorilla voidaan lämmittää myös tilojen lämmitys- ja käyttövesi noin +50 °C saakka, jonka ylimenevä osa on lämmitettävä esimerkiksi sähkövastuksella.
Kallioenergiakaivo	Ks. energiakaivo
Kalliolämpökaivo	Ks. energiakaivo
Maalämpö	Auringon lämpösäteilystä peräisin oleva energia on varastoitunut maaperään tai vesistöön. Maalämpöä hyödynnetään vaakasuuntaisen putkiston avulla.
Maalämpökaivo	Ks. energiakaivo

Poistoilmalämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa talosta poistettavasta ilmasta. Pumppu siirtää lämmön tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan myös viilentää sisäilmaa.
Yhdistelmälaitos	Ks. hybridienergiajärjestelmä

1. MAANALAISTA ENERGIAA

1.1 Mitä on geoenergia?

Geoenergia on pääosin auringon lämpösäteilystä peräisin olevaa energiaa, joka on varastoitunut maa- tai kallioperään taikka vesistöön. Tätä varastoitunutta energiaa voidaan hyödyntää rakennusten lämmittämisessä lämpöpumppujen avulla. Vaakasuntaista lämmönkeruuputkistoa kutsutaan maalämmöksi, ja pystysuuntaista maalämpökaivoksi (ks. Kuva 1). Useimmiten maalämmöstä puhuttaessa tarkoitetaan itse asiassa energiakaivoja. Energiakaivoja voidaan käyttää myös rakennusten jäähdyttämiseen.



Kuva 1. Geoenergiaa voidaan hyödyntää joko a) kalliolämpökaivon avulla, b) vaakasuntaisen maalämpöputkiston avulla joko maaperästä tai c) vesistä. (<http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=43>)

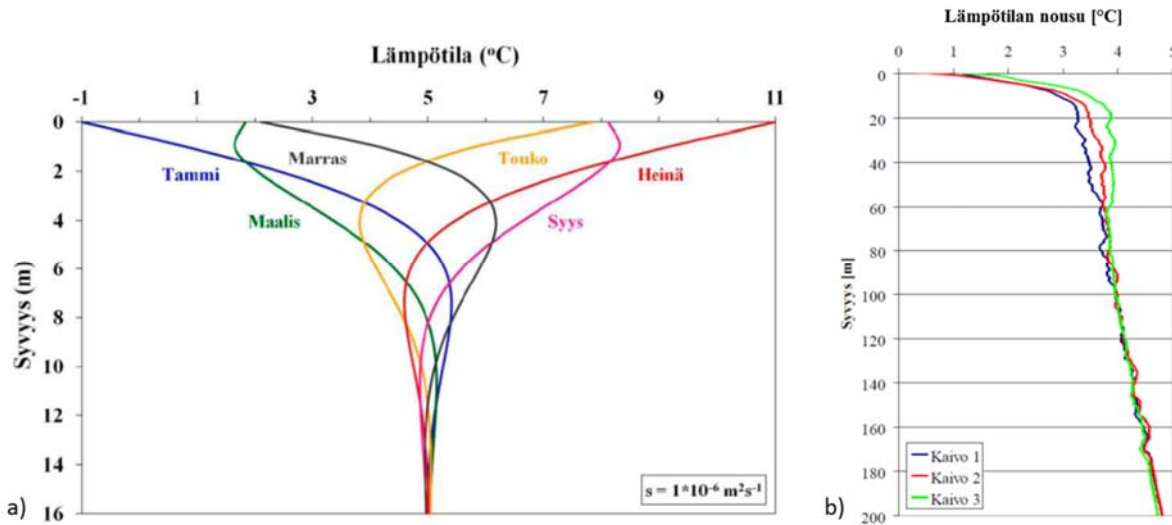
Geoenergiaa voidaan hyödyntää kaikenkokoisten rakennusten lämmittämisessä ja jäähdyttämässä. Yhdellä energiakaivolla voidaan tuottaa esimerkiksi pientalon tarvitsema lämpömäärä. Energiakaivojärjestelmä voi koostua kymmenistä tai jopa sadoista porareistä. Suomen suurin geoenergiaan perustuva energiatuotantolaitos on Sipoon logistiikkakeskus, joka lämpiää 150 energiakaivon ja biopolttoaineita hyödyntävän yhdistelmälaitoksen avulla (S-ryhmä, 2016). Helsingin suurin geoenergiaan perustuva lämmitys- ja viilennysjärjestelmä on Meilahden sairaalassa. Meilahden sairaalan energiatehokkuutta parannettiin perusparannuksen yhteydessä ns. hybridienergiajärjestelmällä avulla. Tätä nykyä Meilahden sairaalan alueella on 49 maalämpökaivoa, ja lisäksi energiavirtoja kierrätetään ja otetaan talteen sekä hyödynnetään aurinkolämpöä.

1.2 Mitä on geoterminen energia?

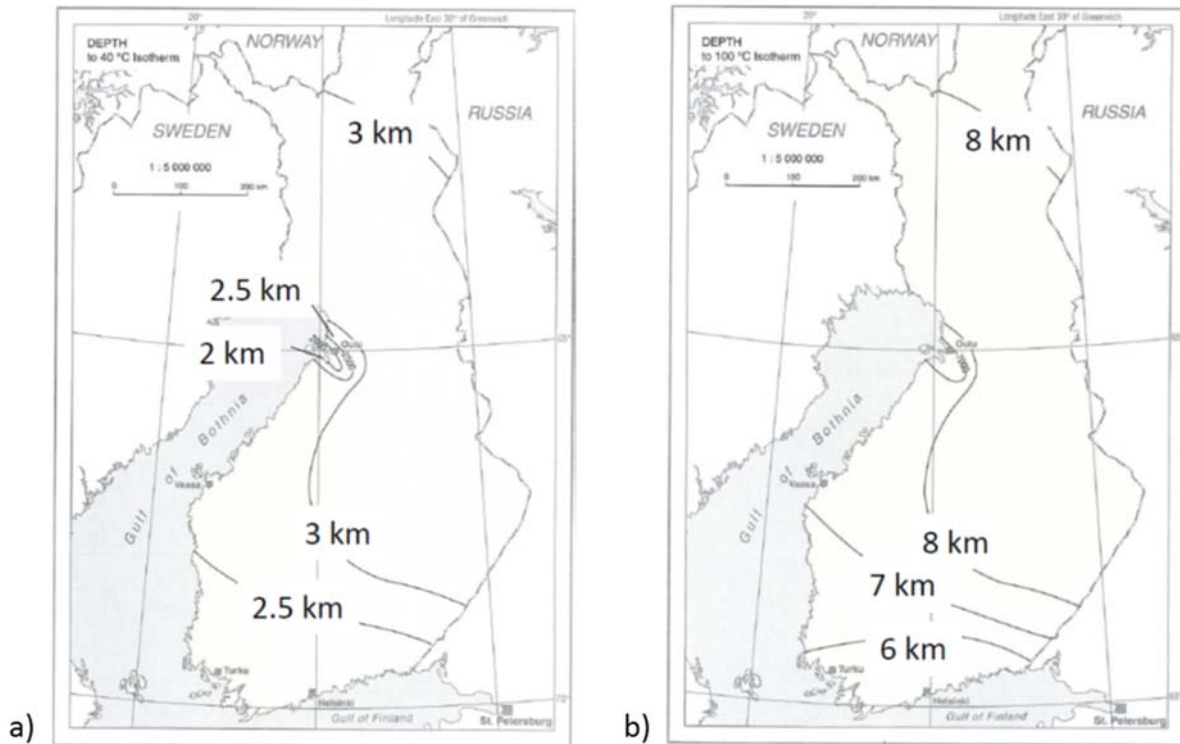
Energiaa, joka on varastoinut lämpönä maankuoreen, kutsutaan geotermiseksi energiaksi tai lämmöksi. Reilu kaksi kolmasosaa geotermisestä lämmöstä on peräisin radioaktiivisten isotooppien, kuten uraanin, toriumin ja kaliumin, hajoamisesta maan sisuksissa. Loppu kolmannes geotermisestä lämmöstä on peräisin syvältä Maan ytimestä ja vaipasta. Euroopan energianeuvosto EREC (European Renewable Energy Council) luokittelee geotermisen energian uusiutuvaksi energian lähteeksi (EREC, 2012).

Auringosta varastoituu lämpöenergiaa ilmaan, maa- ja kallioperään sekä vesistöihin. Auringon säteilyn vaikutus ulottuu noin 15 metrin syvyyteen. Sitä syvemmällä lämpö on siis alkuperältään geotermistä energiaa. Maankuoren lämpötila nousee keskimäärin 3 °C/100 m maansisusta kohti mentäessä (Bächler, 2003). Suo-

messa maankuoren lämpötila nousee keskimääräistä vähemmän, eli noin 0,5-1 °C/100 m vastaten geotermisen lämpövirran, 0,03-0,04 W/m², aiheuttamaa lämpötilagradiienttia (Ritola, 1988). Kuva 2a osoittaa maankamaran lämpötilavaihtelun vuoden ajan mukaan. Kuvasta nähdään, että noin 15 metrin syvyydellä lämpötila on vakiintunut pintalämpötilan vuotuisen vaihtelun keskiarvoksi. Kuva 2b havainnollistaa kallioperän lämpötilan nousun ja geotermisen lämmön vaikutuksen aina 200 metrin syvyyteen saakka. Kuvasta 3 nähdään, että Suomessa geotermisen lämmön hyödyntäminen vaatii huomattavia poraussyvyyksiä.



Kuva 2. a) Maanpinnan teoreettiset lämpötila-syvyyskäyrät (Leppäharju, 2008). b) Kallioperän lämpötilan nousu ja geotermisen energian vaikutus maankamaraan 200 m syvyydelle saakka. Mittaus on tehty kolmesta energiakaivosta luonnonmukaisessa tilassa Kuopiossa. (Lauttamäki & Kallio, 2013)

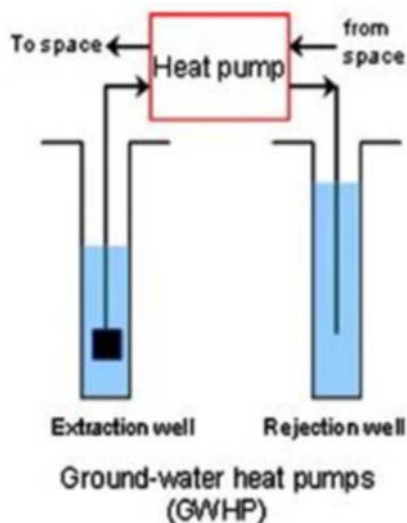


Kuva 3. Vaadittu poraussyvyys a) 40-asteen, b) 100-asteen saavuttamiseksi eri puolella Suomea. (Kukkonen, 2015)

Geotermistä energiaa voidaan hyödyntää sekä sähkön että lämmön tuotannossa. Tuliperäisillä alueilla geotermistä energiaa on hyödynnetty jo hyvin pitkään, koska kuuma höyry ja vesi ovat olleet saatavilla lähellä maanpintaa. Esimerkiksi 85 % Islannin asunnoista lämmitetään geotermisen lämmön avulla (Islannin suurlähetystö, 2016). NykYTEknologian ansiosta geotermistä lämpöä voidaan hyödyntää monin eri tavoin myös niissä maissa, jotka eivät sijaitse tuliperäisillä alueilla.

1.3 Geotermisen energian valjastaminen yhteiskunnan käyttöön

Myös syvällä maankamarassa olevia pohjavesivarantoja voidaan käyttää energian tuotantoon yleensä lämpöpumpun avulla (ks. Kuva 4). Pohjavesijärjestelmä perustuu kahteen pystykaivoon, joista toinen on lämmönlähteenä toimiva pohjavesikaivo ja toinen pohjaveden purkukaivo. Lämmönlähteestä kierrätetään lämpöpumpulla lämpöä käyttökohteisiin, esimerkiksi rakennuksen tiloihin. Käytetty, lämmitykseen hyödynnetty vesi palaa lämpöpumpun kautta pohjaveden purkukaivoon (Kemppainen, 2012). Ruotsissa, Lundin kaupungissa, hiekkakivikerroksessa olevaa pohjavesivarantoa käytetään kaukolämmön tuotantoon. Hiekkakivikerros sijaitsee noin 700-800 metrin syvyydessä ja yhdeksästä pohjavesikaivosta saadaan noin. 22-23 °C vettä kaukolämmön tuotantoa varten. Laitos on ollut toiminnassa vuodesta 1984 asti ja se on toiminut moitteettomasti ja odotusten mukaisesti siitä lähtien (Bjelm & Lindeberg, 1994).



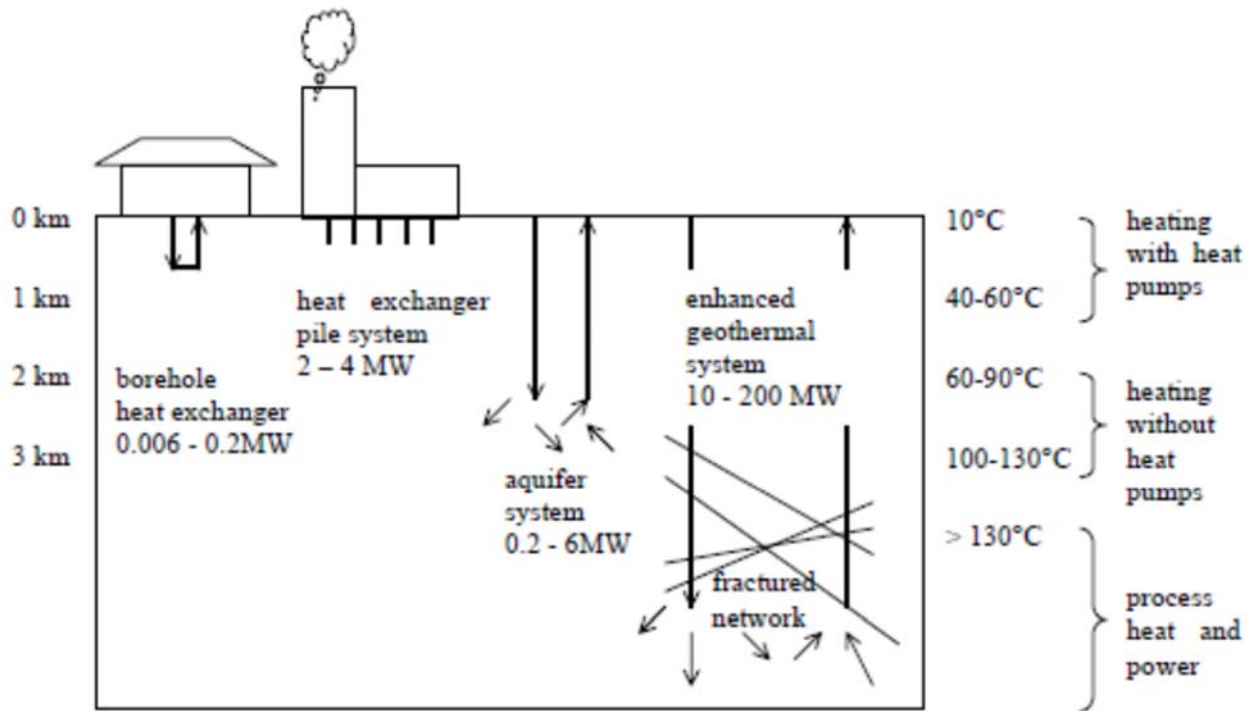
Kuva 4. Pohjavesijärjestelmä (Kemppainen, 2012).

Syvemmällä maakuoressa olevia vesi- tai höyryesiintymiä, joiden lämpötila on yli 130 °C, voidaan käyttää suoraan lämmitykseen tai sähköntuotantoon ilman lämpöpumppuja. Geotermisiä voimaloita on kolmea tyyppiä (Wikipedia):

- 1) Dry steam -laitoksissa hyödynnetään suoraan maan kuoresta tulevaa kuumaa vesihöyryä turbiinien avulla (lämpötila-alue > 374 °C).
- 2) Flash steam -laitoksissa kuuma korkeapaineinen vesi muutetaan maan pinnalla höyryksi laskemalla sen painetta (lämpötila-alue 182-374 °C).
- 3) Binäärikiertolaitoksissa vesi pumpataan maasta lämmönvaihtimeen, josta lämpö siirtyy työaineeseen, joka höyrystyy lämmön vaikutuksesta (lämpötila-alue 107-182 °C).

Geotermistä energiaa hyödynnetään pääosin vulkaanisesti aktiivisilla alueilla. Näiden lisäksi geotermistä energiaa on pyritty hyödyntämään Euroopassa ns. keinotekoisten kuumien lähteiden avulla (ks. luku 3.2.2). Tämän tekniikan peruseriaate on se, että maankuoresta otetaan lämmintä vettä syvän pystyreian avulla ja toisesta pystyreistä syötetään tilalle jäähtynyttä vettä. Yhteys porattujen reikien välille luodaan keinotekoisesti säröyttämällä, räjäyttämällä tai kemikaalien avulla. Etelä- ja Keski-Euroopassa tämän kaltaiset esiinty-

mät sijaitsevat noin 2-5 kilometrin syvyydellä. Suomessa vastaavat esiintymät ovat noin 7-8 kilometrin syvyydellä. Näin syvien reikien poraaminen on haasteellista vielä nykytekniikalla. Kuvassa 5 on havainnollistettu sekä geoenergiaa että geotermistä energiaa hyödyntävien menetelmien toimintaperiaatteita ja niiden tuottama teho.

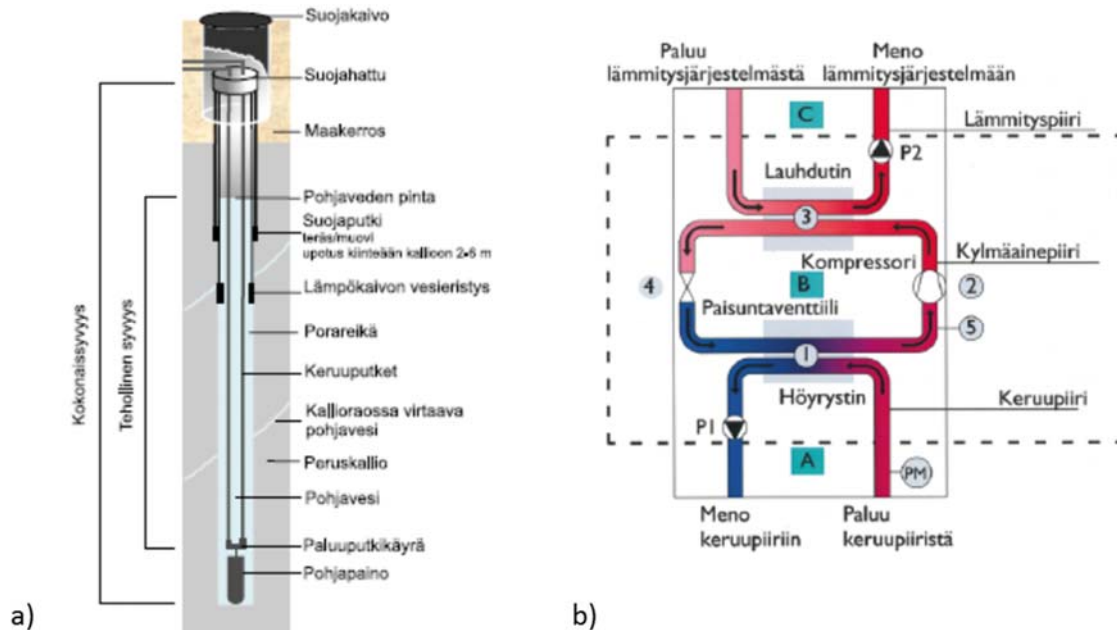


Kuva 5. Kaksi ensimmäistä järjestelmää vasemmalta luettuina hyödyntävät geoenergiaa ja kaksi jälkimmäistä geotermistä energiaa. Huomattava on, että vain pieni osa maalämpökaivojen tuottamasta energiasta on peräisin Maan uumenista. Geotermisten tuotantolaitosten teho on moninkertainen verrattuna geoenergiajärjestelmiin. (Bächler, 2003).

2. ENERGIKAIVOT SUOMESSA

2.1 Energiakaivon toimintaperiaate

Energiakaivoissa hyödynnetään kalliioon varastoitunutta lämpöenergiaa. Energiakaivo on pystysuuntainen porausreikä, joka ulottuu maanpinnalta riittävän syvälle kallioperään halutun lämpöenergian saavuttamiseksi. Porausreikään asennettava lämmönkeruuputkisto ja putkistossa virtaava lämmönsiirtoliuos kuljettaa lämpöenergiaa maanpinnalla olevalla lämpöpumpulle, joka siirtää lämpöenergiaa haluttuihin kohteisiin. Energiakaivon tyyppirakenne on esitetty kuvassa 6a ja lämpöpumpun toiminta kuvassa 6b.



Kuva 6. a) Energiakaivon tyyppillinen rakenne Suomessa (Juvonen & Lapinlampi, 2013). b) Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate (Juvonen & Lapinlampi, 2013).

Energiakaivon pystyreian halkaisija on tyyppillisesti 115 mm ja syvyys vaihtelee 150-300 metrin välillä (Kempainen, 2012). Porareian sisällä on kaksi putkea, jotka on yhdistetty toisiinsa U-liitoksella reiän alapäässä. Lämpökaivon ja U-putken välinen alue täytetään Suomessa vedellä, mutta esimerkiksi Ruotsissa täyteaineena käytetään myös betonilaastia. Tällä tavoin pyritään ennaltaehkäisemään pohjaveden mahdollista saastumista (Kempainen, 2012).

Maalämpöpumpun avulla maa- tai kallioperästä taikka vesistöstä kerätty energia siirretään rakennuksen/rakennusten käyttöön sähkön avulla. Lämmönsiirtoliuokseen sitoutunut energia siirretään lämpöpumpun höyrystimessä lämpöpumpun kylmäainepiiriin, jolloin kylmäaine muuttuu nesteestä kaasuksi. Kompressorissa höyrystynyt kylmäaine puristetaan korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin sen lämpötila kohoaa. Puristamiseen käytetty sähköenergia muuttuu lämmöksi. Lauhduttimessa lämpöenergia kylmäaineesta rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja samalla kylmä aine muuttuu jälleen nesteeksi. Tämän jälkeen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiiliin, jossa sen painetta alennetaan ja samalla kylmäaineen lämpötila laskee. (Juvonen & Lapinlampi, 2013). Maalämpöpumppu muuttaa lämmönkeruunesteellä saatavan 1-4 asteisen lämmön 30-65 -asteiseksi lämmöksi (Maalämpöpumppuinfo, 2016).

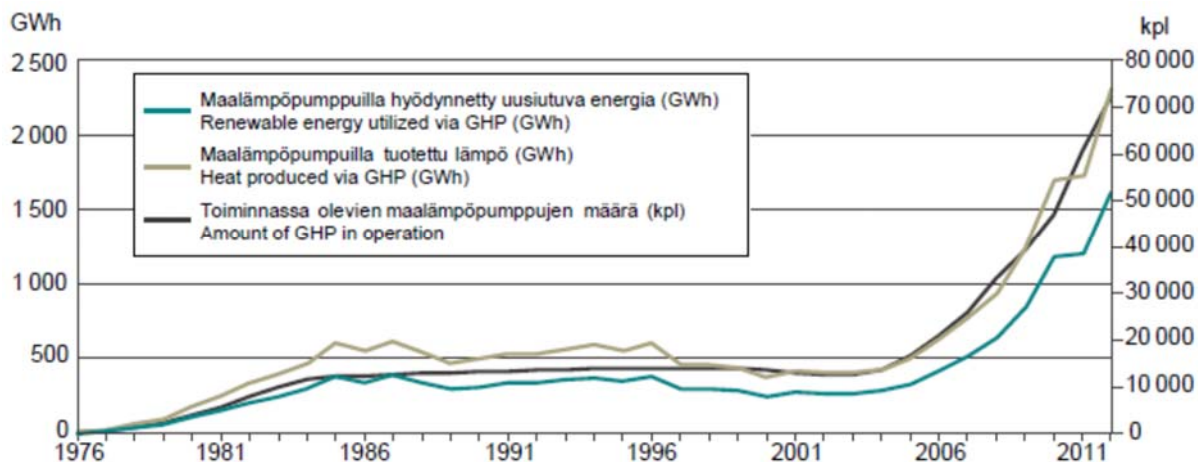
Maalämpöpumppu soveltuu hyvin matalan lämpötilan lämmönjakojärjestelmien lämmönlähteeksi, kuten vesikiertoiseen lattialämmitykseen ja ilmalämmitykseen. Se soveltuu myös patterilämmitykseen. Lämmitysmuotoa vaihdettaessa patterien lämpötehon riittävyys tulee aina tarkistaa. Patterien kokoa voi joutua suurentamaan tai lukumäärää lisäämään matalan lämpötilan tarvitseman suuremman patteripinta-alan vuoksi. Lämpöpumppua voidaan hyödyntää myös käyttöveden lämmittämässä ja kesällä rakennuksen jäähdyttämässä. Olosuhteista riippuen jäähdyttämällä voidaan myös parantaa energiakaivon antoisuutta talvella, kun huoneilman lämpöä siirretään kesällä kallioperään. (Juvonen & Lapinlampi, 2013).

Lämpöpumppuja hyödynnettäessä lämmitystarkoitukseen ei jouduta tuottamaan ”uutta” lämpöenergiaa. Keskimäärin 2/3 maalämpöpumpun tuottamasta energiasta on ilmaisenergiaa. (Pokki ja muut, 2014)

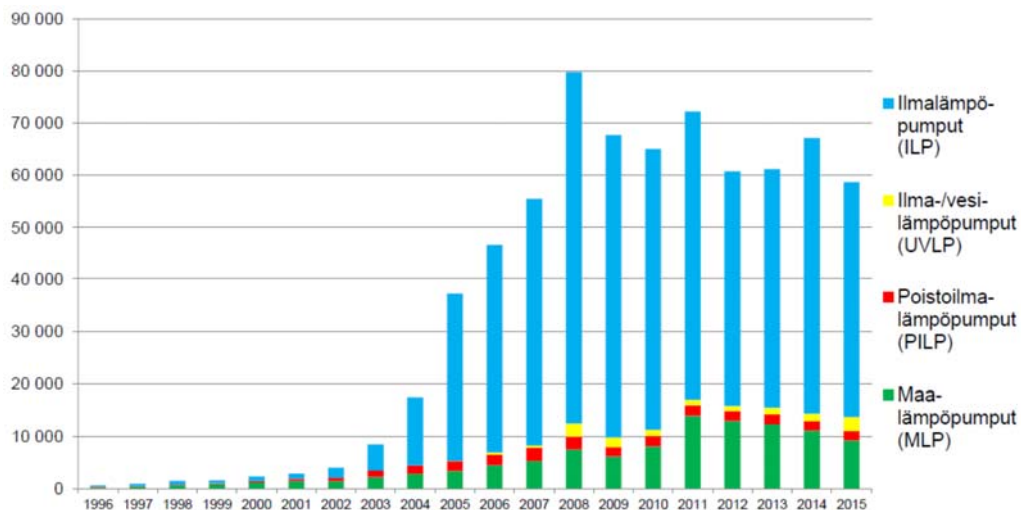
2.2 Hyödyntäminen Suomessa

Suomessa on käytetty maalämpöpumppuja 1970-luvun puolivälistä lähtien. Niiden suosio kasvoi nopeasti 1970-luvun energiakriisin seurauksena, mutta ala ajautui kriisiin 1980-luvun puolivälissä ja jäi hyvin marginaaliseksi vaihtoehdoksi aina 2000-luvulle saakka. Teknologian kehityksen ansiosta energiakaivojen rakennuskustannukset ovat laskeneet ja hyötysuhteet parantuneet, ja näiden lisäksi lämpöpumpuista on tullut entistä tehokkaampia. Myös tietoisuus ilmastomuutoksesta sekä perinteisten energiamuotojen kustannusepävarmuus pitkällä aikavälillä ovat osaltaan lisänneet geoenergian uutta suosiota. (Juvonen & Lapinlampi, 2013; Koskinen, 2014)

Geoenergiaa hyödynnetään Suomessa varsin laajasti pientaloissa; uusista omakotitaloista jo yli puolet valitsee geoenergian (Lauttamäki & Kallio, 2013; Länsiväylä, 2012). Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry:n tilastojen mukaan lämpöpumppujen vuosittainen myyntimäärä on kymmenkertaistunut vuodesta 2000, ja samalla hyödynnettävän uusiutuvan energian määrä on kuusinkertaistunut (ks. Kuva 7). Maalämpöpumppujen myynti oli huipussaan vuonna 2011, jolloin maalämpöpumppuja myytiin noin 14 000 kappaletta (ks. Kuva 8). Vuoden 2016 alussa Suomessa maalämpöpumppuja oli asennettu yli 100 000 kappaletta. Arviolta 80-90 % näistä pumpuista on asennettu energiakaivoihin. Maalämpöpumppujärjestelmän keskimääräinen investointi kuluttajahinnoin on 20 000 euroa. (SULPU 2015; Juvonen & Lapinlampi, 2013; Lauttamäki & Kallio, 2013; Pokki ja muut, 2014)



Kuva 7. Maalämpöpumppuilla vuosittain tuotettavan uusiutuvan energian määrä. (Pokki ja muut, 2014).



Kuva 8. Käyttöön otettujen lämpöpumppujen määrät vuosittain. Maalämpöpumput on merkitty vihreällä värillä. (SULPUn tilastot, 2016)

2.3 Geoenergian mahdollisuudet

Kuten aiemmin todettiin, pientalorakentajista yli puolet päätyy maalämpöpumppuratkaisuun, mutta maalämmön (geoenergian) hyödyntäminen laajemmin on vielä varsin vähäistä sen potentiaaliin nähden. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian taustaraportin aineistossa esitetään, että vuonna 2020 lämpöpumpuilla tuotettaisiin uusiutuvaa energiaa 6 TWh ja vuonna 2030 vastaava luku olisi 7 TWh (TEM 2016). Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen toiminnanjohtaja Jussi Hirvosen mukaan Suomessa on vuonna 2020 miljoona lämpöpumppua, jotka tuottavat uusiutuvaa energiaa noin 8 TWh/a, mikä tulee vastaamaan 15 % Suomen uusiutuvan energian velvoitteista EU-tasolla. (SULPUn lehdistötiedote, 2015)

Suurkohteissa, kuten liikerakennuksissa, ostoskeskuksissa ja asuintaloalueilla, geoenergian hyödyntäminen on toistaiseksi ollut varsin vähäistä. Viime vuosina kiinnostus on herännyt myös näiden kohteiden osalta, mikä osaltaan johtuu suurkenttien laskennan, mallinnuksen ja kotimaisen suunnitteluosaamisen lisääntymisestä. Suurkohteissa geoenergiakentän tuotantokapasiteetin selvittäminen mittauksen, mitoituksen ja mallinnuksen avulla on ensiarvoisen tärkeää, jotta suunniteltu energiakenttä vastaa haluttua lämmitys- ja viilennystarvetta. Geopotentiaalitutkimuksilla varmistetaan, että energian saanti on riittävällä ja kestäväällä pohjalla.

Kallioperän ominaisuudet ovat riippuvaisia mineraalipitoisuudesta, huokoisuudesta, tiheydestä sekä vesipitoisuudesta. Termisistä ominaisuuksista tärkein on lambda-arvonakin tunnettu lämmönjohtavuus (yksikkö W/mK). Parhaita geoenergian lähteitä ovat kvartsipitoiset kivilajit, kuten graniitit ja kvartsiitit. Niiden lämmönjohtavuusarvo voi olla 7, kun heikosti johtavilla, kuivilla maalajeille lämmönjohtavuusarvo voi olla alle 1. Pohjavesiolosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi koostumukseltaan samanlaisten kivilajien kykyyn toimia lämmönlähteenä. (Poratek Uutiset, 12/2016; Pokki ja muut, 2014)

Vuoden 2016 alussa Geologian tutkimuskeskus (GTK) julkaisi valtakunnallisen geoenergiapotentiaalikartan mittakaavassa 1:1 000 000 (ks. Kuva 9). Karttaa ei voi käyttää kohdekohtaiseen suunnitteluun vaan se auttaa kohdistamaan alueellisia tutkimuksia. Kartan laadinnassa on huomioitu energiakaivojen syvyysvaihtelu eri puolilla Suomea. Tuotettu kartta osoittaa, että toimiva geoenergiajärjestelmä voidaan toteuttaa missä päin Suomea tahansa joskin hyödyntäminen on sitä edullisempaa mitä eteläisemmässä Suomessa porauspaikka sijaitsee, mitä ohuempi maapeitekerros on ja mitä johtavampaa kiviainekerros on. (Poratek Uutiset, 12/2012)

Suomen geoenergia- potentiaali 1:1 000 000

<http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

- Luokka
- Erinomainen
 - Kiitettävä
 - Erittäin hyvä
 - Hyvä
 - Keskinkertainen
 - Tyydyttävä
 - Kohtalainen
 - Välttävä
 - Heikko
 - Vesistö
 - Rapakallioalue

Geologian tutkimuskeskus

Espoo • Kokkola • Kuopio • Loppi • Outokumpu • Rovaniemi
gtk.fi • Puh. 029 503 0000 • Y-tunnus: 0244680-7



Kuva 9. GTK:n tuottama Suomen geoenergiapotentiaalikartta mittakaavassa 1:1 000 000. Vaikka karttaa ei voida käyttää kohdekohtaisessa suunnittelussa, nähdään siitä selvästi, että koko eteläisen Suomen geoenergiapotentiaali vaihtelee hyvän ja erinomaisen välillä. Helsingin seudulla geoenergiapotentiaalin voidaan tulkita olevan pääosin erinomaista. (<http://gtkdata.gtk.fi/maankamara>)

Ensimmäisen maakuntamittakaavan geoenergiapotentiaaliarvion GTK teki vuonna 2015 Keski-Suomen liitolle. GTK on toteuttanut myös alueellisen selvityksen Etelä-Kymenlaaksossa, jossa geopotentiaalikartta palvelee Kotkan, Haminan, Vironlahden ja Miehikkälän asukkaita, aluesuunnittelijoita ja yrityksiä. Kaupunkitason pilottikohteena on ollut Oulu, jolle geoenergiaselvitys laadittiin vuonna 2013. Ensimmäinen korttelitason

geoenergia-arvion GTK teki puolestaan Espoon Otaniemeen Aalto-yliopistokiinteistölle. (Geofoorumi, 1/2016)

GTK:n Otaniemen 1:10 000 mittakaavan selvitys osoitti geoenergian potentiaalin olevan välillä erinomainen-hyvä koko Otaniemen alueella. Selvitys perusteella Otaniemen uudessa kampusrakennuksessa (Väre) päätettiin hyödyntää olemassa olevaa geoenergiapotentiaalia (Geofoorumi, 1/2016). 33 000 brm² kattavan uudisrakennuksen lämmöntarpeesta 90 prosenttia ja jäähdytyksestä 95 prosenttia tuotetaan uusiutuvalla geoenergialla. Uusi kampusrakennus on yksi Suomen suurimmista geoenergiakohteista. Sen energiakentän muodostavat rakennuksen alle sijoitetut 67 lämpökaivoa. Lämpökaivot ulottuvat 322 metrin syvyyteen. Lisäksi kampusrakennuksessa on aurinkoenergiaa tuottavaa 1 400 aurinkopaneelia. Kaukolämpö toimii rakennuksen sisä- ja varaenergian lähteenä (Projekti Uutiset, 2016). GTK on mitoittanut Väreeseen energiakaivokentän ja sille valokuitukaapelointiin perustuvan monitorointijärjestelmän. Energialämpökaivojen poraukset on aloitettu talvella 2016 ja niiden on määrä olla tuotannossa vuonna 2018 (Geofoorumi, 1/2016).

Oulun kaupungin teettämän geopotentialiselvityksen perusteella voitiin todeta, että pääosan Oulun alueesta soveltuvan hyvin geoenergian hyödyntämiseen. Jatkossa GTK:n tekemän tutkimuksen tuloksia voidaan myös hyödyntää kaupungin kaavoituksessa, rakennusvalvonnassa ja ympäristövalvonnassa. Esimerkiksi kaavoituksessa laadittua geopotentialikarttaa voidaan käyttää apuna suunniteltaessa asuntoalueiden tai teollisuusalueiden suositeltavia lämmitys/viilennysratkaisuja (Breilin ja muut, 2013). Sittenkin myös Helsingin kaupunki on kiinnostunut geoenergiapotentiaalin selvittämisestä alueellaan – GTK on laatimassa esiselvitystä Pohjois-Pasilan Postipuiston alueen geoenergian hyödyntämismahdollisuuksista korttelitasolla. Esiselvitys valmistunee alkuvuodesta 2017.

GTK:n mukaan pienemmissä kohteissa, kuten omakoti- ja rivitalot, on mahdollista käyttää kalliolämpökaivon mitoittamisessa lämpökaivourakoitsijoiden ja laitemyyjien mitoitus- ja laitemyymälöitä, jos mitoitusolosuhteet ja parametrit tunnetaan riittävän tarkasti. Suuremmissa kohteissa, lämpöteholtaan yli 100 kW:n kohteissa, paikkakohtaiset tutkimukset ja kaivokenttien mitoituslaskelmat ja -mallinnukset kestävän lämpökaivokentän takaamiseksi ovat välttämättömiä. (Breilin ja muut, 2013)

2.4 Geoenergian tulevaisuuden näkymiä

Geoenergian hyödyntäminen Suomessa on kasvussa niin pientalojen kuin suurempien kiinteistöjen osalta energian markkinahintojen nousun ja ympäristövaatimusten myötä. Osaltaan geoenergian suosion kasvuun on vaikuttanut myös positiiviset käyttökokemukset jo asennetuista järjestelmistä. Suomen geoenergiamarkkina on kuitenkin vielä lapsenkengissä verrattuna naapurimaa Ruotsiin, jossa on moninkertainen määrä maalämpökaivoja- ja järjestelmiä. (HS 29.8.2016)

Suomen geoenergia-alan takamatka Ruotsiin verrattuna johtuu ainakin osittain siitä, että maalämmön mitoitus- ja mallinnusmenetelmät kaipaavat kehitystyötä ja yhtenäistämistä. Nykyiset mitoitusmenetelmät sisältävät vielä paljon oletuksia, jotka perustuvat nyrkkisääntöihin ja kokemuseräisiin arvioihin. Alalle ei ole myöskään saatavissa yleistä koulutusta, mikä tarkoittaa sitä, etteivät mitoitusmenetelmät ole vakiintuneet koko alan käyttöön (Kemppainen, 2012). Edellä mainituista syistä suurkohteille palveluja tarjoavien ja osaa-vien konsulttitoimistojen määrä Suomessa on vielä varsin vähäinen. Toisaalta viime vuosien aikana Geologian tutkimuskeskus (GTK) on kehittänyt energiakaivojen mitoitusmenetelmiä aktiivisesti eteenpäin mm. kehittämällä maapohjan kenttämittaustulosten (mm. TRT-mittaus) analysointia sekä analyttisellä että numeerisella puolella.

Suomessa geoenergiaan liittyvät lupakäytännöt ovat vielä hieman jäljessä kehittyvää teknologiaa. Nykyisessä mallissa kunnilla on oma päätösvaltansa energiakaivojen rakentamisen suhteen, mikä tarkoittaa sitä, että toisessa kunnassa samoissa olosuhteissa energiakaivon rakentaminen on sallittua ja toisessa ei. Määräykset

ovat myös painottuneet erityisesti rakentamiseen, mutta eivät säädä konkreettisesti järjestelmien huoltamisesta, tarkistuksista tai käytöstä poistamisesta. (Koskinen, 2014)

Maailman metropoleissa on opittu, että rakentaminen ulottuu sekä kohti taivasta että maan alle. Suomessa, erityisesti Helsingin keskusta-alueella, maanalaisen rakentamisen määrä lisääntyy jatkuvasti maanpäällisen tilanpuutteen takia. Geoenergian kannalta tämä tarkoittaa sitä, että suurien rakennushankkeiden yhteydessä suunniteltavien, energiakaivoratkaisuiden käsittelyssä on huomioitava muut mahdolliset tulevat maanalaiset rakennustarpeet. (Koskinen, 2014) Toisaalta jo olemassa olevan rakennuskannan käyttäjilläkin tulisi olla mahdollisuus käyttää geoenergiapotentiaalia. Tukholmassa kaupunki tukee maalämmön yleistymistä vuokraamalla katualueita maalämpökaivojen käyttöön. (HS 29.8.2016) Tämä voisi olla Helsingissäkin yksi vaihtoehto siinä tapauksessa, jos kiinteistön alla sijaitsee maanalainen tila tai jos kyseisen kiinteistön tontti on liian pieni energijärjestelmän toteuttamiseksi. Joka tapauksessa Helsingissä, kuten muuallakin Suomessa, geoenergian alan tulevaisuuden näkymät ovat erittäin positiiviset.

2.5 Geoenergian mahdollisuudet Helsingin energiatuotannossa

Maalämpöjärjestelmän rakentamiseen tarvitaan pääsääntöisesti maankäyttö- ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa ja vesilain mukainen lupa. Lainsäädännöstä eniten rakenteellisia tai alueellisia määräviä tekijöitä liittyy maankäyttö- ja rakennuslakiin, jota täsmennetään energiakaivojen tapauksessa vesilain ja pohjaveden pilaamiskielloin ja ympäristölain avulla (Koskinen, 2014). Energiakaivojen ympäristöoppaassa (Juvonen & Lapinlampi, 2013) esitetään energiakaivon ja eri kohteiden väliset minimietäisyyssuosituksen (ks. Taulukko 1):

Taulukko 1. Energiakaivon ja eri kohteiden suositeltavat minimietäisyydet. Sopivat etäisyydet voivat vaihdella porareian kaltevuus- kulmasta, pohjaveden virtausolosuhteista ja maaperästä riippuen. (Juvonen & Lapinlampi, 2013).

Kohde	Suosittu 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, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Helsingin kaupungin Maa- ja vesilämpötyöryhmän raportin mukaan kiinteistön ”omistajilla on oikeus hyödyntää maa- ja/tai kallioperään varastoitunutta aurinkoenergiaa” ... ”joko omalla kiinteistöllään tai sen ulkopuolella, mikäli luvan ja/tai kaupungin asiaa koskevaa ohjeistusta noudatetaan”. Ohjeistuksella tarkoitetaan tässä tapauksessa nimenomaan maankäyttö- ja rakennuslain sekä maankäyttö- ja rakennusasetusten määrittämiä suoja- ja minimietäisysehtoja (Koskinen, 2014).

Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston lämpökaivojen toimenpidelupaohjeen mukaan maalämpökaivojen toimenpideluvalla varmistetaan tehdyn työn laatu, riskien ja haittojen kartoittaminen ja minimointi rakennustyön yhteydessä sekä poratun reiän sijaintitietojen päivittyminen kaupungin ylläpitämiin karttatietoihin. Toimenpidelupaa tarvitaan myös, jotta voidaan varmistaa, ettei reikää porattaessa vahingoiteta

maalalaisia kaukolämpö-, vesi-, viemäri- ym. johtoja tai kaapeleita. Maalämpökaivoja suunniteltaessa on huomioitava edellisten lisäksi myös muut maanalaiset tilat, kuten johtotunnelit, väestönsuojat ja pysäköintilaitokset. (Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto, 2014)

Maalämpökaivoa tai maalämpökaivojärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon, että maalämpökäivöt eivät välttämättä ole pystysuoria vaan ne saattavat taipua tai kaartua ennalta määrittelemättömään suuntaan johtuen sekä kallion geologisista tekijöistä, porauskalustosta että poraajan ammattitaidosta. Helsingin kaupungin kiinteistöviraston teettämien maalämpökaivojen taipumamittausten perusteella voidaan todeta, että taipuman vaikutus kertaantuu sitä mukaan mitä syvemmälle porataan. Noin sadan metrin syvyydellä poratun reiän taipuma on vielä varsin vähäinen, mutta syvemmällä taipuma voi vaihdella muutamista kymmenistä sentteistä aina kymmeneen metriin. Toisinaan porareikä saattaa taipua jopa kokonaan eri suuntaan kuin alun perin on ajateltu. Maalämpökaivon taipumaa ei ainakaan toistaiseksi pystytä ennustamaan etukäteen. Maalämpökaivojen todelliset sijaintitiedot tulisi varmistaa mittaamalla porareiän sijainti koko reiän pituudelta.

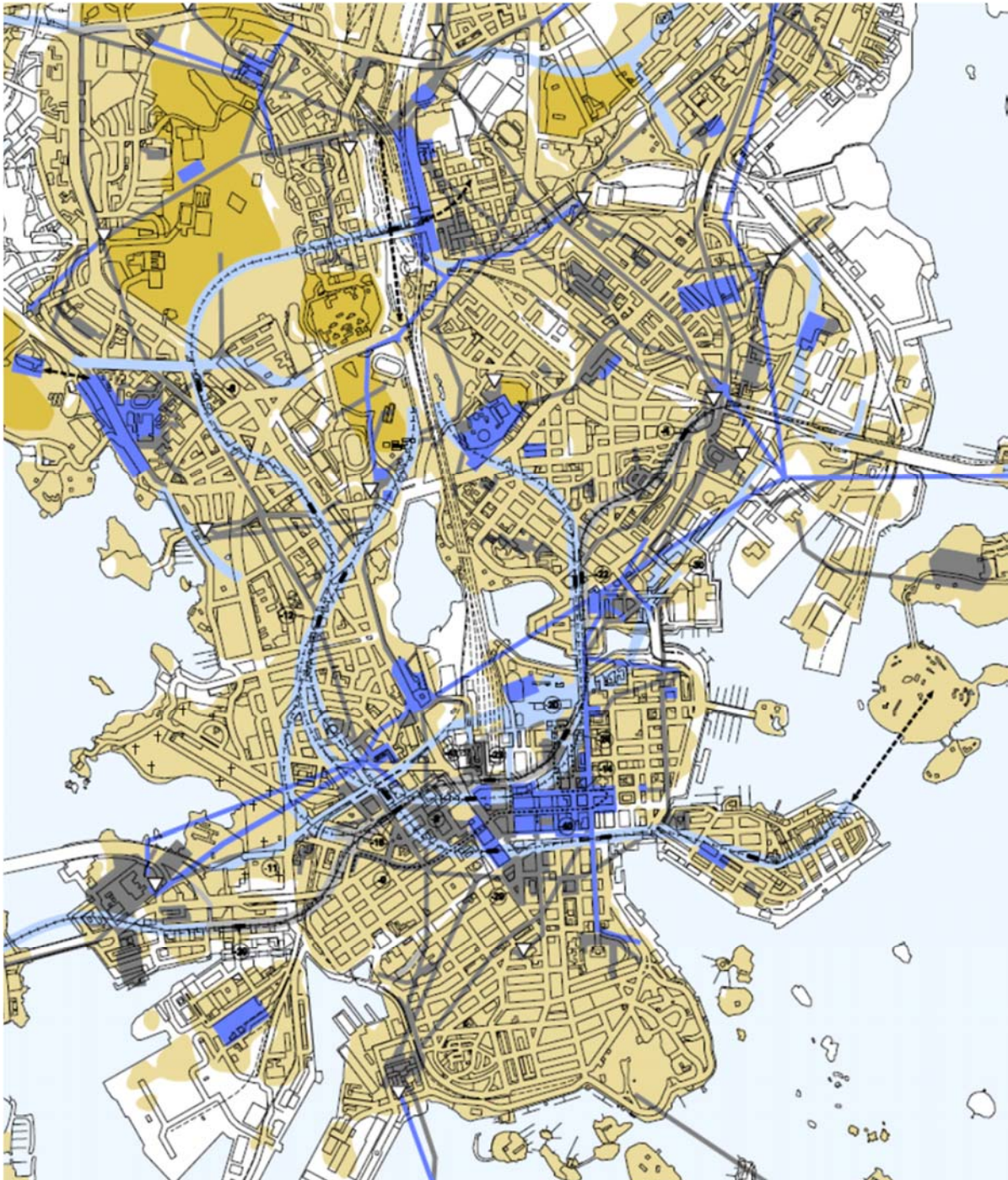
Maalämpökaivojen poraaminen saattaa myös heikentää maaperässä olevan pohjaveden laatua. Tästä syystä maalämpöreikien poraaminen ei ole lainkaan mahdollista niin sanotuilla tärkeillä pohjavesialueilla. Niiden täsmällisen sijainnin voi selvittää rakennusvalvonnan kotisivuilla (www.rakvv.hel.fi > Määräykset ja ohjeet) olevasta ohjeesta ”Pohjavesialue - rakentamistapaohje tärkeälle pohjavesialueelle rakentamisesta”. (Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto, 2014)

Päijännetunneli on Päijänteestä Helsingin seudulle johtava raakavesitunneli, joka johtaa vettä teollisuuden ja yhteensä noin miljoonan asukkaan käyttöön. Tunneli on noin 120 kilometriä pitkä, ja sen vettä hyödyntävät kunnat ovat Helsinki, Vantaa, Espoo, Kauniainen, Hyvinkää, Järvenpää, Kerava, Kirkkonummi, Sipoo, Tuusula ja ajoittain myös Porvoo. Päijännetunneli kulkee noin 30-100 metrin syvyydellä maanpinnasta ja se kulkee useiden asutusalueiden alitse. Koska Päijännetunneli ja sen suoja-alue rinnastetaan pohjavesialueeksi, poisulkee se maanalaisen rakentamisen, energiakaivot mukaan luettuina, noin 400 metrin kaistaleelta koko matkaltaan. (HSY, 2016)

Pääkaupunkiseudulla, erityisesti Helsingin keskustassa, maanalainen rakentaminen ja aiemmin esitetyt suojaetäisyydet rajoittavat merkittävästi energiakaivojen poraamista. Helsingissä maanalaisia tiloja on yli 400 kappaletta, teknisiä tunneleita noin 200 kilometriä sekä suuri määrä yhteiskuntatekniseen huoltoon liittyviä rakenteita. Kaiken kaikkiaan maanalaisia tiloja on Helsingissä lähes 10 000 000 m³ edestä. Tästä syystä Helsingissä on käyttöönotettu maanalainen yleiskaava. Maanalainen yleiskaava on Suomessa ensimmäinen laatuaan, ja sen tarkoitus on linjata maanalaisen rakentamisen tulevaisuuden tarpeita ja samalla turvata niiden vaatimat tilatarpeet. Kuvassa 10 on esitetty ote maanalaisesta yleiskaavasta Helsingin keskustan osalta. Yleiskaava on astunut voimaan vuonna 2011. Kaava kokonaisuudessaan sekä siihen liittyvät selostukset ovat laadittavissa osoitteessa: <http://www.hel.fi/www/Helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/ajankohtaiset-suunnitelmat/maanalainen-yleiskaava> (Helsingin kaupunki, Kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016)

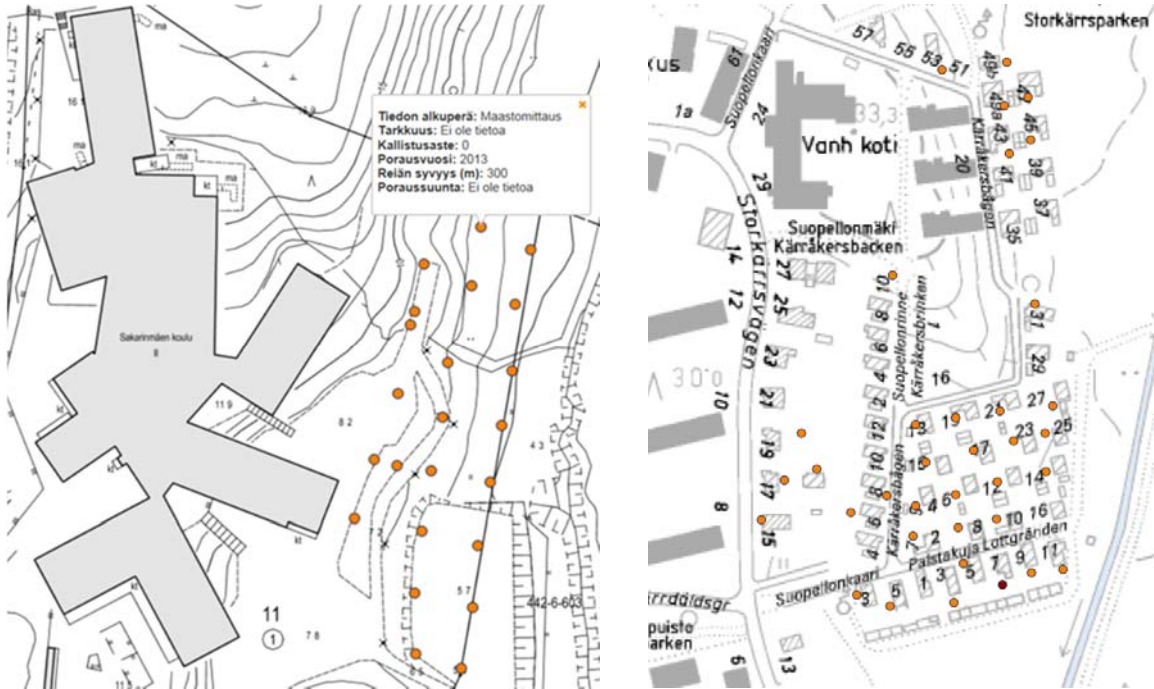
Vuoden 2017 alussa (10.1.2017) maalämpökaivoja oli porattu Helsingin alueella 3 310 kappaletta. Näistä valtaosa, yli 95 %, on pientalojen maalämpökaivoja. Vuonna 2015 maalämpökaivoja porattiin yhteensä 260 kappaletta. Vuonna 2016 hieman vähemmän, arviolta 179 kappaletta. Suurimmat maalämpökohteet Helsingin alueella ovat Meilahden sairaala (49 energiakaivoa), Malmin sairaala (30 energiakaivoa), Viikin ympäristötalo (25 energiakaivoa) ja Sakarimäen koulu (21 energiakaivoa). Maalämmöllä tuotettavan energian kiinnostavuus on selvästi lisääntynyt myös asuinkerrostalojen ja liikekiinteistöiden osalta (HS 29.8.2016), ja maalämpö kilpailee paikoitellen jopa edulliseksi mielletyn kaukolämmön kanssa (Tekniikka & Talous, 4.1.2017). Helsingin kaupungin Rakennusvalvontavirasto vastaanottaa keskimäärin noin 3 toimenpidelupahakemusta liittyen maalämpöön päivittäin. Kaikkien tiedossa olevien Helsingin maalämpökaivojen sijainnit (ks. Kuva 11) ovat

saatavissa osoitteesta: http://kartta.hel.fi/?setlanguage=fi&e=25496708.06&n=6679978.88&r=0.13&w=*&l=Karttasarja%2Cmaalampokaivot_julkinen&o=100%2C100&swtab=kaikki



Kuva 10. Helsingin maanalainen yleiskaava. Harmaalla värillä on merkitty olemassa olevia kalliotiloja, vaaleansinisellä on merkitty suunnitellut tunnelit ja niihin liittyvät tilat, sinisellä suunnitellut maanalaiset tilat ja tummanruskeat kallioresurssit, jotka soveltuvat erittäin hyvin maanalaiseen rakentamiseen eikä näille alueille pääsääntöisesti myönnetä maalämpökaivojen porauslupia. (http://www.hel.fi/hel2/ksv/Aineistot/maalalainen/hqin_maalalainen_yleiskaava_kartta2.pdf)

Tulevaisuudessa maalämmön suosio todennäköisesti kasvaa sekä pienten että suurten kiinteistöjen energiaratkaisuna, ja kenties tulevaisuudessa rakentamista voidaan ohjata energiaystävällisempään suuntaan esimerkiksi kaavoituksen avulla. Toisaalta, kuten jo edellisessä kappaleessa todettiin, tulisi Helsingin keskustan alueilla jo olemassa olevan rakennuskannan käyttäjilläkin olla mahdollisuus maalämpöpotentialin käyttöön niiltä osin kuin se on mahdollista. Tämä saattaa tarkoittaa sitä, että olemassa olevia rajoituksia tai määräyksiä voidaan joutua tarkastelemaan uudelleen jollakin aikavälillä.



Kuva 11. Otteita Helsingin kaupungin karttapalvelusta. Palvelusta on saatavissa kaikkien tiedossa olevien maalämpökaivojen alkupisteiden sijaintitiedot Helsingin alueella.

3. GEOTERMISET VOIMALAT

3.1 Geoterminen energia maailmalla

Geotermistä energiaa on hyödynnetty jo 10 000 vuotta sitten, kun ihmiset asuttivat kuumien lähteiden ympäristön. Teollisen geotermisen voiman tarina alkoi 1800-luvun alkupuolella Larderellon kaupungissa Keski-Italiassa, jossa teollisuuspatruuna François de Larderel erotti vulkaanisesta mudasta boorihappoa höyryn avulla. Vuonna 1904 italialainen prinssi rakensi koemielessä ensimmäisen geotermisen sähkön tuotantolaitoksen, ja kertaa ja vuonna 1913 rakennettiin 250 kW voimalaitos. Myöhemmin 70-luvun öljykriisi ja 90-luvulla huomioitu ilmastonmuutos ovat edistäneet geotermisen energian käyttöä. Teknologian kehittyessä geotermistä energiaa on opittu hyödyntämään enemmän, mutta silti sen kapasiteetista käytetään vain murto-osa. Tulevaisuuden potentiaaliin vaikuttavat mm. teknologian kehitys, energian hinta ja valtion tuki. (Tiede-lehti 9/2008; The History of Geothermal Energy, 2016)

Nykyään geotermistä energiaa tuotetaan 24 maassa ja geotermisiä lämpövoimaloita löytyy 70 eri maasta. Suurimmat tuottajamaat Geothermal Energy Association (GEA) mukaan ovat Yhdysvallat (3 086 MW), Filippiinit (1 904 MW), Indonesia (1 197 MW), Meksiko (958 MW) ja Italia (843 MW). Nämä kaikki maat sijaitsevat vulkaanisesti aktiivisilla alueilla, joilla maan maankuori on ohuempaa ja geotermisen energian valjastaminen näin kannattavaa. (GEA, 2010)

Geotermisen energian odotetaan tulevaisuudessa kattavan 10–20 % maailman energiatarpeesta. Sen hyödyntäminen on maailmalla kasvava trendi, mitattiin kasvua sitten teknologian käyttöönottoineina maina tai tuotettuna energiamääränä. Maailmanlaajuisesti sähköntuotantokapasiteettiä oli 2010 lopulla 10,7 GW ja lämmitystuotantoa 28 GW. Geotermisen energian hyödyntämisprosentti on kuitenkin hyvin alhainen verrattuna geotermisen kokonaispotentiaaliin, jonka on arvioitu olevan noin 47 terawattia. (GEA, 2010)

3.2 Onko geotermisen energian hyödyntäminen mahdollista Suomessa?

3.2.1 Suomen kallioperä

Suomen kallioperä kuuluu prekambriksen Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen, ns. Fennosarmatian peruskalliokratooniin. Suomen kallioperä on hyvin vanhaa ja se on syntynyt noin 3 000-1 400 miljoonaa vuotta sitten. Nykyisellään Suomen kallioperä on vakainta ja vanhinta Euroopan alueella – lähimmät vulkaanisesti aktiiviset alueet sijaitsevat noin 1 000-1 500 kilometrin päässä. Suomen kallioperän paksuus vaihtelee 40-65 kilometrin välillä, mutta paikoin se voi olla jopa 230 kilometriä paksu. Suomalaisen kallioperän onkin todettu olevan paksuinta koko Euroopan Unionin alueella. (Lehtinen ja muut, 1998)

Suomen kiteinen kallioperä koostuu pääosin graniiteista, gneisseistä, liuskeista ja muista syväkivilajeista. Kivilajien tyyppillinen tiheys vaihtelee 2 600- 2 800 kg/m³ välillä. Kiteisen kallioperän huokoisuus on hyvin pieni (alle 0.5 %). Kiteisen kallioperän vedenjohtavuus on tiiviiden johtuen myös erittäin alhainen, luokkaa 1x10⁻⁰⁶-1x10⁻⁰⁸ m/s. Ydinjätteenloppusijoitustutkimusten yhteydessä kallion vedenjohtavuudeksi on mitattu noin viiden kilometrin syvyydellä 1x10⁻¹¹-1x10⁻¹² m/s (SKB, 1998). Hyvin syvällä olevat kalliopohjavedet ovat erittäin suolapitoisia – esimerkiksi Outokummussa 2,5 kilometrin syvyydellä olevan pohjaveden suolapitoisuus oli jopa 70-100 g/l. (Kukkonen, 2015; Geosto, 2016)

Kuten kappaleessa 1.1 todettiin Suomessa maankuoren lämpötila nousee keskimääräistä vähemmän, eli noin 0,5-1 °C/100 m. Kallioperän mineraalikoostumus vaikuttaa kiven lämpöteknisiin ominaisuuksiin, mutta tyyppillisesti lämmönjohtavuusarvot ovat luokkaa 2,5-4 W/m*K. Kallioperässä vallitsee jännitystila, joka kasvaa

syvemmälle mentäessä. Kallion mekaaniset, lämpötekniset ja hydrologiset ominaisuudet ovat keskeisiä suuria geotermisen voiman sijoittelulle ja sen paikkakohtaisen soveltuvuuden sekä ympäristöturvallisuuden arvioinnille. (Geosto, 2016)

3.2.2 Helsingin seudun geologiset ominaispiirteet

Helsingin alueen kallioperä kuuluu Uudenmaan liuskealueeseen, joka koostuu gneisseistä, graniittisista kivistä ja metavulkaniiteista. Ne muodostavat Helsingin seudulle, kuten myös koko Etelä-Suomelle, tyypillisiä graniittisia seoskiviä eli migmatiitteja. Usein kivilajialueiden kontaktit ovat vyöhykkeitä, jossa kivilajien suhteelliset osuudet vaihtelevat vähitellen. Paikoitellen tavataan myös nuorempia juonikivilajeja. Helsingin liuskeet ja gneissit ovat noin 1,9 miljardia vuotta vanhoja. Helsingin alueen graniitit ovat iältään vähän yli 1,8 miljardia vuotta. Tummia syväkiviä, kuten dioritteja tai gabroja, alueella on vähän. (Niinimäki & Raudasmaa, 1992)

Helsingin kallioperää halkovat useat ruhje- eli murrosvyöhykkeet. Helsingin keskustassa on havaittavissa kolme ruhjevyyöhykkeiden pääsuuntaa: luoteis-kaakkoinen, itä-läntinen ja koillis-lounainen. Tunnetuin Helsingin ruhje on nimeltään Kluuvin ruhje, jonka lävistäminen metrotunnelin rakentamisen yhteydessä osoittautui erittäin hankalaksi. Ruhjevyyöhykkeet jatkuvat myös naapurikuntien puolelle (Vänskä & Raudasmaa, 2005; Laiti & Saraste, 1960)

Helsingin seudun maaperä on muodostunut pääosin viimeisimmän jäätiköitymisen aikana ja sen jälkeen kun sulavan jäätikön reuna vetäytyi alueen yli noin 13 000 vuotta sitten. Maakerroksen paksuus ylittää Helsingissä harvoin muutamaa metriä, mutta varsinkin savikerrokset voivat joskus yltää jopa 40 metrin syvyyteen, kuten esimerkiksi Vanhankaupunginlahdella. Helsingin alueesta on noin 35 % kallioalueita, 20 % moreenia, 15 % hiekka-sora-alueita ja noin 30 % on savien peitossa. (Helsingin kaupunki, asuminen ja ympäristö, 2017)

Helsingin luokitellut pohjavesialueet ovat Itä-Helsingin hiekka- ja soramuodostumissa sekä kallioruhjeissa. I-luokan eli veden hankinnan kannalta tärkeitä pohjavesialueita ovat Vuosaaren, Vartiokylänlahden ja Tattariharjun pohjavesialueet, joita pidetään poikkeusolojen talousvesivarastoina ja joiden veden laatua seurataan. (Helsingin kaupunki, asuminen ja ympäristö, 2017)

Helsingin alueen maaperä on varsin monimuotoista. Kallionpinnan korkeussuhteet vaihtelevat lisäksi paljon, jolloin maaperä voi vaihdella paksusta savikosta kalliopaljastumiin lyhyelläkin matkalla. Kuntalaiset voivat tutustua Helsingin maaperään maksuttoman paikkatietopalvelun kautta. (Helsingin kaupunki, asuminen ja ympäristö, 2017)

3.2.3 Voimalaitostekniikka

Geotermisessä voimalaitoksessa maanlämpö saadaan valjastettua hyötykäyttöön kierrättämällä vettä kallio-perässä. Voimala koostuu normaalista tuotantolaitoksesta, tuotannon porareitistä ja monitorointijärjestel-mästä. Geotermiäinen voimalaitos tuottaa sähköä, lämpöä tai molempia riippuen kierrätettävän veden läm-pötilasta. Jotta geotermisessä voimalaitoksessa voidaan tuottaa sähköä, tulee kierrätettävän veden lämpötila olla vähintään 130 °C, lämmön tuottamiseen riittää noin 100 °C lämpöinen vesi.

Perusideaan geoterminen voimalaitos on varsin yksinkertainen: kallioperään porataan vähintään kaksi reikää – toisesta reiästä kuuma vesi tai vesihöyry nousee ylös voimalaitokseen energian talteenottoa varten ja toisesta jäähtynyt vesi syötetään takaisin kallioperään uudelleen kiertoon. Geotermisiä voimalaitoksia on kolmea tyyppiä: dry steam, flash steam ja binäärikierto. Käytettävä voimalaitostyyppi riippuu saatavissa olevasta fluidista ja sen lämpötilasta. (Wikipedia, 2016)

Geotermisen energian hyödyntämisen kannalta otollisimmat olosuhteet vallitsevat useimmiten vulkaanisesti aktiivisilla alueilla, joilla maankuori ohuempaa ja näin ollen lämmönlähde on helpommin saatavilla. Sedi-
menttikivissä kiven huokoisuus on puolestaan suurta, jopa kymmeniä prosentteja, mikä mahdollistaa veden,

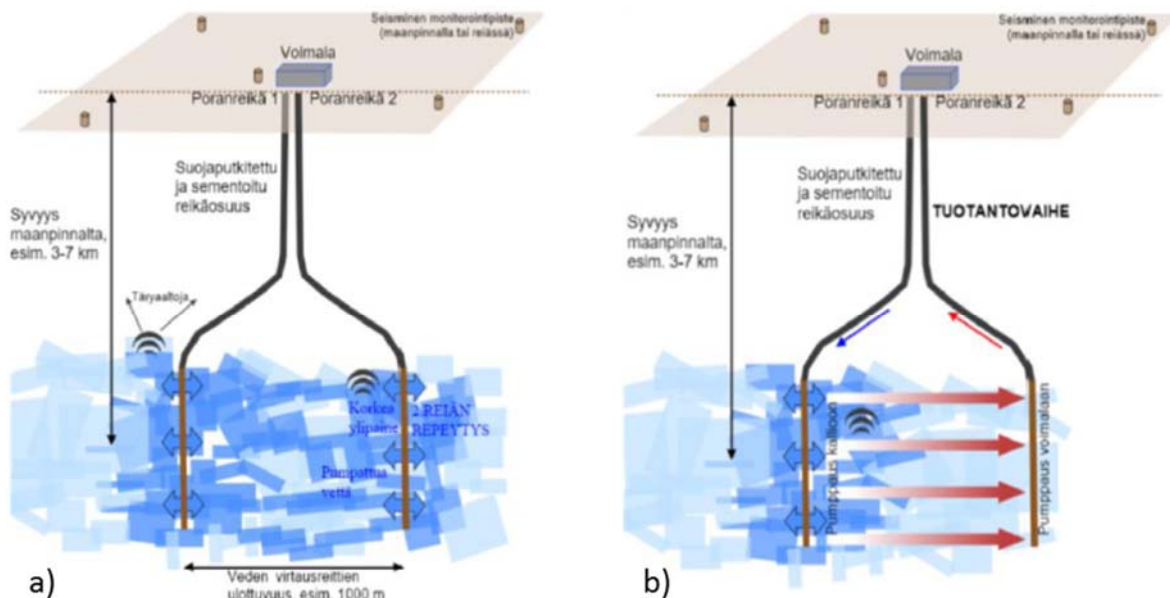
öljyn tai kaasun virtauksen luonnontilassa. Näissä olosuhteissa tuotantoreikien syvyys on muutamien kilometrien luokkaa. (Tiede-lehti, 2008; Geosto, 2016; Niemi, 2016)

Kiteisen kallioperän voimalatyyppejä kutsutaan lyhenteellä EGS (Enhanced Geothermal System), joka vapaasti suomennettuna voisi tarkoittaa keinotekoisia kuumaa lähdettä. Toisinaan samasta tekniikasta käytetään myös hieman vanhahtavaa termiä Hot Dry Rock (HDR). Tekniikka on kehitetty 70-luvun lopulta saakka, jolloin yhdysvaltalaiset tutkivat rakensivat ensimmäisen koelaitoksensa New Mexicon osavaltioon. Sitten lukuisia pienimuotoisia koevoimaloita on rakennettu mm. Eurooppaan, Japaniin, Yhdysvaltoihin ja Australiaan. (Tiede-Lehti, 2008)

EGS-tuotantotekniikassa tuotantoreiät ovat tyypillisesti 3-7 kilometrin syvyisiä ja niiden välinen etäisyys on noin kilometrin luokkaa. Tuotantoreiät joko putkitetaan tai sementoidaan haluttuun syvyyteen, jotta vesi saadaan ohjattua reiän pohjalle, kallioon ja kallioista takaisin reikään. (Geosto, 2016; Niemi, 2016; Tiede-Lehti, 2008)

EGS-menetelmässä porataan ensimmäinen reikä halutulle syvyydelle. Sen jälkeen kallioperässä olevia rukoja ja rakoja pyritään avaamaan voimakkaalla ylipaineistuksella, ja samalla synnyttämään kallioperään uusia rakoverkostoja. Ylipaineistuksessa vettä pumpataan kallioon tuhansia tai jopa kymmeniä tuhansia kuutioita. Paineistusta ja kallion säröyttämistä jatketaan, kunnes riittävän suuri vedenvirtausreitistö on saatu luotua toiselle porareikälle. (Geosto, 2016; Niemi, 2016; Tiede-Lehti, 2008)

Rakojen avautumista seurataan seismisen monitorointiverkoston avulla. Sen avulla voidaan päätellä, mihin suuntaan vettä johtava rakoverkosto on syntynyt. Toinen tuotantoreikä porataan ja ohjataan siihen kohtaan, missä se tavoittaa ylipaineistuksella syntyneet avoimet raot. Veden virtausreittiä pidetään yllä ylipaineistuksen avulla koko voimalan käyttöajan. Veden viipymä rakoverkostossa on useita vuorokausia tuotantovaiheessa. Kuvassa 12a on esitetty kallion ylipaineistus ennen tuotantoa ja kuvassa 12b on esitetty EGS-tuotantolaitos toiminnassa. (Geosto, 2016)

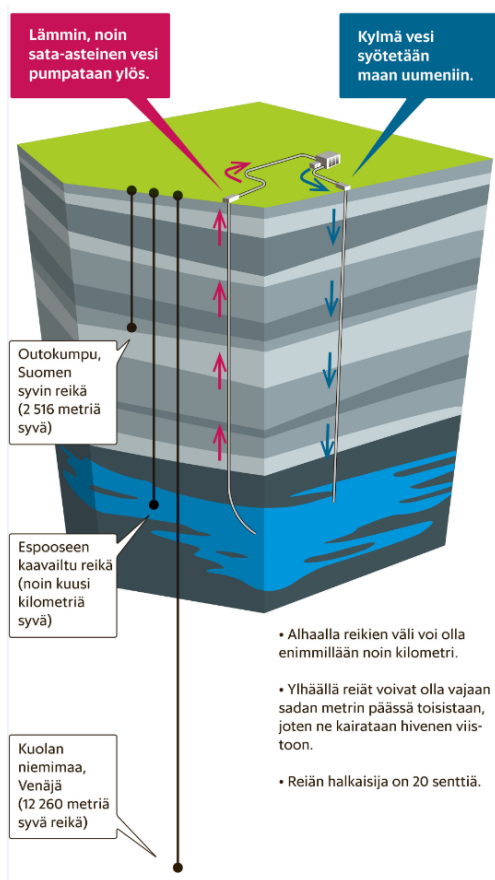


Kuva 12. a) Toisen syvän reiän ylipaineistus ja kytkeytyminen aiempaan rakoverkostoon. Tuotantoreikien alapääit ovat olla kilometrin päässä toisistaan vaikka reikien lähdöt sijaitsevatkin samalla tontilla. b) Toiminnanaikaisen EGS-tuotantolaitoksen paineistus ja veden kierto. (Geosto, 2016)

3.2.4 Case St1 – Suomen ensimmäinen geoterminen lämpövoimalaitos

Energiayhtiö St1 rakennuttaa Suomen ensimmäisen geotermisen lämpölaitoksen. Se valmistunee vuonna 2017 Espoon Otaniemeen. Hankkeen tavoitteena on luoda geotermisen energiatuotannon osaamista Suomeen sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla ja samalla todentaa uuden teknologian kaupalliset mahdollisuudet sekä myötävaikuttaa geotermisen energiantuotantoon liittyvään lainsäädäntöön. Onnistuessaan hanke kasvattaa kotimaisen uusiutuvan energian tuotantoa ja vähentää Suomen riippuvuutta tuontienergiasta. (Niemi, 2016)

Geoterminen lämpö tuotetaan poraamalla peruskallioon kaksi lämpökaivoa – toiseen reikään syötetään jäähtynyttä vettä ja toisesta reiästä vesi nousee ylös kuumennuttuaan ensin maaperässä (ks. Kuva 13). Kuuma vesi ohjataan lämpölaitoksen lämmönvaihtimien kautta kaukolämpöverkkoon ilman erillisiä lämpöpumppeja. Valmistua laitos ei tuota ilmakehään päästöjä, koska lämmöntuotannossa ei käytetä lainkaan polttoaineita (Niemi, 2016).



Kuva 13. Havainnepiirros geotermisen lämmön hyödyntämisperiaatteesta (HS 10.3.2015).

Syvälämpökaivojen poraukset aloitettiin halkaisijaltaan 7 senttimetrinen luotausreiän porauksella kesällä 2015. Kahden kilometrin syvyyteen asti ulottuvan luotausreiän kairasydännäytteiden ja muiden tutkimusten perusteella varmistettiin paikan soveltuvuus varsinaisille tuotantorei'ille. Luotausreikien poraamisesta vastasi malminetsintäkairauksiin erikoistunut Oy Kati Ab. (St1 kotisivut; Ilmastokumppanit)

Seitsenkilometrisen syvälämpökaivon poraus käynnistyi keväällä 2016 ja samanaikaisesti käynnistyi myös laitoksen maanpäällisten osien rakentaminen. Syväreikien porauksesta vastaa englantilainen Strada Energy ja

poraus toteutetaan uppoporaus -tekniikalla. Ensimmäisen tuotantokaivon porauksen jälkeen kallio paineistetaan pumppaamalla vettä porattuun reikään ja samalla kuunnellaan geofonien avulla mihin suuntaan vesi virtaa. Tämän jälkeen porataan toinen tuotantokaivo paineistamalla luotuun vesiesiintymään. Tuotantoreikien välinen etäisyys on noin 1-2 kilometrin luokkaa. (Niemi, 2016)

3.2.5 Kokemuksia EGS-tuotantolaitoksista

Taloudellisesti kannattavia geotermisiä sähkön ja lämmön tuotantolaitoksia on rakennettu lähes maailmanlaajuisesti, mutta ne sijaitsevat pääosin vulkaanisesti aktiivisilla alueilla. Esimerkiksi Yhdysvalloissa geotermiset laitokset tuottavat yli 3 000 MW:n edestä sähköä, mutta yli 80 % geotermisistä laitoksista sijaitsee tektonisesti aktiivisella Kalifornian alueella. Samoin Pariisissa on ollut geoterminen kaukolämpö käytössä aina 1970-luvulta lähtien, mutta lämmönlähteenä toimii huokoisessa maaperässä oleva kuuma vesiesiintymä. Tämän takia geotermisestä lämmön- ja sähköntuotannosta puhuttaessa on tärkeää tuoda esille ne merkittävät olosuhteet, jotka vaikuttavat menetelmien tai lähtökohtien vertailukelpoisuuteen. (GEA, 2010; Gai, 2016)

Kuten sanottu geotermisiä voimalaitoksia on maailmalla useita, mutta Suomen kallioperän olosuhteita tai EGS-tuotantotekniikkaa vastaavia laitoksia on vain muutamia (Geosto, 2016):

- Ranskan Soultz-sous-Forêts voimala toimii sedimenttien alla kiteisessä graniitissa Reinin-hautavajoaman alueella kalliolla, jossa lämpötila on korkea.
- Saksan Landaun ja Insheimin voimalat sijaitsevat lähekkäin toisiaan sedimenttien alla kiteisessä graniitissa Reinin-hautavajoaman alueella kalliolla, jossa lämpötila on korkea.
- Sveitsin Baselin hanke sijaitsi myös sedimenttien alla kiteisessä graniitissa Reinin-hautavajoaman reunalla kalliolla, jossa lämpötila on korkea.
- Muita lähinnä tutkimusprojekteja ja koelaitoksia on ollut monissa maissa kuten mm. Bad Urach (Saksa), Cooper Basin (Australia), Fenton Hill (USA) ja Rosemanowes (Iso-Britannia).

Geotermisen voimalan ympäristövaikutukset kohdentuvat pääosin maanalaiseen toimintaan, koska energian lähde on syvällä maan uumenissa. Vuonna 2007 geotermisen voimalaitosalan maine sai kovimman kolauksensa, kun Sveitsin Baselin EGS-tuotantolaitoksen särötysvaihe laukaisi maanjäristyssarjan. Vaikka ylipaineistus purettiin heti maanjäristyksille asetetun varorajan ylittyessä, niin uusi, edellistä voimakkaampi (ML=3.4) järistys tapahtui vain muutamia tunteja edellisen jälkeen. Tätä seurasivat lukuiset jälkijäristykset lähes vuoden ajan. Kaiken kaikkiaan seismisiä tapahtumia rekisteröitiin noin 3 500 kappaletta, joista 200 suurinta olivat suuruudeltaan välillä ML=0,7-3,4. Maanjäristys itsessään aiheutuu kallioon avautuvasta raosta ja avautumisen yhteydessä vapautuvasta paineesta. (Geosto, 2016)

Baselin tapauksessa voimayhtiön vakuutusyhtiö korvasi suurimmista järistyksistä aiheutuneita aineellisia vahinkoja noin 8 miljoonalla eurolla. Tapahtuman jälkeen Baselin voimalaprojekti on toistaiseksi lopetettu. Baselin tapausta on tutkittu kansainvälisen SERIANEX-tutkimusryhmän toimesta. Heidän selvitys tapahtumista julkaistiin vuonna 2009. Raportissa analysoitiin taloudellisten vahinkojen todennäköisyyttä, esiintymisaluetta ja suuruutta voimalan kehitys- ja käyttövaiheissa geologisten mallien pohjalta. Erityisesti tutkijoita kiinnosti se, että olisiko tuotantoreiän poraus osunut aktiiviseen siirroslinjaan ja sitä kautta laukaista maanjäristyksen. Raportin mukaan näin ei ole todennäköisesti kuitenkaan tapahtunut. (Baisch ja muut, 2009; Geosto, 2016; Tekniikka & Talous, 2007; Tekniikka & Talous, 2010)

Geotermisiin EGS-voimalaitoksiin liittyy siis aina mikroseismisten maanjäristysten mahdollisuus, koska uusia rakoja ja railoja avataan huomattavilla paineilla. Mikäli rakojen avaus kytkeytyy olemassa oleviin kallion ruhjevyöhykkeisiin, kasvattaa se järistysten voimakkuutta. EU:n rahoittama monikansallinen Geiser-projektissa, jossa selvitettiin vaikuttavia tekijöitä ylipaineistuksessa tapahtuviin järistyksiin, ehdotettiin varotoimiksi mik-

roseismisen monitoroinnin tehostamista paineistuksen seurannassa, riittävän alhaisia varorajoja, syklistä paineistusta tai tarkempaa geologista mallia. Taulukossa 2 on esitetty neljän eurooppalaisen EGS-voimalan toimintaparametreja sekä suurimmat mitatut järistysten suuruudet. (Geosto, 2016)

Taulukko 2. Neljän Euroopassa rakennetun EGS-voimalaitoksen toimintaparametreja. Virtausmäärä tarkoitetaan virtausta tuotannon aikana (paits Baselin tapauksessa). Landaussa veden lisäksi kalliioon injektioitiin 95 m³ suolahappoa (33 %). (Geosto, 2016)

Voimala (status)	Reikäsyvyys (m)	Reikäväli (m)	Vedenpumppausmäärä (m ³)	Virtausmäärä (kg/s)	Kallion lämpötila (°C)	Laitosteho, sähkö (GW)	Laitosteho, lämmitys (GW)	Suurin mitattu maanjäristys, ML	Vaihe, jossa suurin maanjäristys
Soultz (toimii)	4,5-5,0	600-650	20-37 000	38-90	200	0,0015	0,006-0,01	2,9 (2003)	paineistuksen jälkeen
Landau (sulj.)	3,3	1300	11 200 + HCl	40-70	160	0,003	0,005	2,7 (2009)	tuotantovaihe
Insheim (toimii)	3,8	1000	ei tiedossa	50-85	165	0,0043	-	2-4 (2010)	kehitysvaiheessa
Basel (kesk.)	4,5	vain 1 reikä	11 500	1-55	200	-	-	3,4 (2006)	kehitysvaiheessa

Baselin tapauksen jälkeen Saksassa Landaun ja Insheimin voimalat ovat aloittaneet toimintansa, vaikka yleisesti ottaen kiteiseen kallioperään suunnitellut voimalahankkeet ovat olleet pysähdyksissä. Landaun voimalan alueella on toteutunut EGS-voimaloihin liittyvä toinen riski: maannousu. Vuonna 2013 satelliittikuvista todettiin maannousu, joka keskittyy Landaun kaupunkiin ja voimalan ympärille. Parin vuoden aikana maan nousi suurimmillaan 13 cm ja maanpinnalle ilmestyi useita senttimetriä leveitä railoja. Maanpinnannousu johtui todennäköisesti tuotantoreiän suojaputkiston vesivuodosta kallioperään. Laitos on ollut korjauksessa vuodesta 2014 lähtien. (Geosto 2016; Ganz ja muut, 2013; Weber ja muut, 2015)

Geoterminen energia on lähes rajaton energianlähde. Sen merkittävimpiä etuja ovat uusiutuvuus, energian edullisuus sekä riippumattomuus sääolosuhteista. Geoterminen energia on myös lähes päästötöntä. Maan uumenista veteen voi sekoittua kuitenkin muita yhdisteitä, kuten rikki- ja typpioksidia tai metaania. Itse maaperän lämpöenergian voidaan katsoa olevan ilmaista, ja kustannuksia aiheuttaa vain energian valjastamiseen vaadittava tekniikka. Tämän ansiosta tuotetun sähköenergian hinta on stabiili. Toisaalta geotermistä energiaa hyödyntäminen on ainakin toistaiseksi varsin rajoittunutta maantieteellisesti. (Sparrow, 2016)

Ei-vulkaanisesti aktiivisilla alueilla lupaavin geotermisen energian hyödyntämismenetelmä on EGS-tekniikalla toteutettavat voimalat. Porausmenetelmien kehittyminen on mahdollistanut sen, että erittäin syvien tuotantoreikien poraaminen saattaa olla tänä päivänä jo kannattavaa liiketoimintaa. EGS-voimaloiden suunnittelu- vaiheessa on keskeisintä arvioida taloudellisen kannattavuuden lisäksi myös ympäristöön aiheutuvien riskitekijöiden merkitystä, laajuutta ja todennäköisyyttä mahdollisimman monipuolisesti ja läpinäkyvästi. EGS-laitosten käyttöikä on vaikea määritellä etukäteen, mutta ajan kuluessa kallio jäähtyy hitaasti ja tuotannon kannattavuus heikkenee.

LÄHDEVIITTEET

Baisch, S., Carbon, D., Dannwolf, U., Delacou, B., Devaux, M., Dunand, F., Jung, R., Koller, M., Martin, C., Sartori, M., Secanell, R. & Vörös, R. 2009. Deep Heat Mining Basel – Seismic Risk Analysis. Serianex. Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt. Amt für Umwelt und Energie. Saatavilla: <http://www.wsu.bs.ch/dossiers/abgeschlossene-dossiers/geothermie.html>

Best Practise Case Study: “Geothermal pilot at Soultz-sous-forêt” Alcase, France. 2012. European union. RETS – Renewable Energies Transfer System. January 2010- December 2012. www.rets-projects.eu, www.rets-community.eu

Bjelm, L. & Lindeberg, L. 1994. Long-term experience from a heatpump plant in Lund, Sweden, using a low-temperature geothermal aquifer. Saatavilla: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/1995/3-bjelm.pdf>

Breilin, O., Huusko, A., Martinkauppi, A., Putkinen, N. & Wik, H. 2013. Oulun geoenergiapotentiaalin kartointus. Geologian tutkimuskeskus, Länsi-Suomen yksikkö, Kokkola. 26.4.2013. Saatavilla: http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=1f321dbe-e25d-4ee2-bdcd-c87c31a66450&groupId=64220

Bächler, D. 2003. Coupled Thermal-Hydraulic-Chemical Modelling at the Soultz-sous-Forêts HDR Reservoir (France), Doctoral thesis. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2013. Saatavilla: http://www.gtr.ethz.ch/baechler/thesis_db.pdf

EREC. 2012. European Renewable Energy Council. Saatavilla: <http://www.erec.org/renewable-energy/geothermal-energy.html>

Ganz, B., Schellschmidt, R., Schultz, R. & Sanner, B. 2013. Geothermal Energy Use in Germany. European Geothermal Congress 2013. Pisa, Italy, 3-7 June 2013. Saatavilla: https://www.geotis.de/homepage/Ergebnisse/2013_EGC_Ganz.pdf

Genter, A., Goerke, X., Graff, J., Cuenot, N., Krall, G., Schindler, M. & Ravier, G. 2010. Current Status of the EGS Soultz Geothermal Project (France). Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. Saatavilla: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/3124.pdf>

Geofoorumi. 2016. Jalovaara, V-M. Geoenergiapotentiaalin arvioinnit ohjaavat energiavalintoja. Geologian tutkimuskeskuksen sidosryhmälehti. Saatavilla: <http://verkkolehti.geofoorumi.fi/fi/2016/04/05/suomen-geoenergiapotentiaali-11-000-000/>

Geofoorumi. 1/2014. Suomen geoenergiapotentiaali on merkittävästi arvioitua suurempi. Saatavilla: http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/painotuotteet/geofoorumi/arkisto/Geofoorumi_1_2014.pdf (viitattu 27.12.2016)

Helsingin Sanomat, 10.3.2015 (kuukausiliite). Mainio, T., Kerkelä, L. & Nieminen, L. 2015. Maansisäistä lämpöä espoolaisille.

Helsingin Sanomat, 29.8.2016. Torvinen, P. Maalämpö voi tuottaa merkittävät säästöt kerrostalossa asujille – helsinkiläinen taloyhtiö säästi yli 10 000 euroa vuodessa. Saatavilla: <http://www.hs.fi/kaupunki/art-2000002918250.html>

- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas. Ympäristöministeriö. Saatavilla: [http://www.ym.fi/fi-FI/ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo\(24946\)](http://www.ym.fi/fi-FI/ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo(24946))
- Kempainen, J. 2012. Lämpökaivojen käyttö rakennuksen lämmityksessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööri 2012. Saatavilla: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51580/Kemppainen_Joni.pdf?sequence=1
- Koskinen, O. 2014. Geotermisen energian hyödyntämisen lupakäytännöt Suomessa. Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma.
- Kukkonen, I. 2000. Geothermal Energy in Finland. Proceedings World Geothermal Congress. Japan. May 28-June 10, 2000. Saatavilla: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2000/R0778.PDF>
- Laiti, I. & Saraste, A. 1960. Selostus Helsingin keskusta-alueen geologisesta rakenteesta. Ylipainos Helsingin kaupungin metrotoimikunnan mietinnön I osasta.
- Lauttamäki, V. & Kallio, J. 2013. Geoenergiasta liiketoimintaa: perusteluja geoenergian hyödyntämiselle erilaisissa rakennuskohteissa. Tutkimusraportti 206. Geologian tutkimuskeskus. Saatavilla: <https://www.gtk-kauppa.fi/en-gb/products/view/14360>
- Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosisiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry.
- Leppäharju, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Pro gradu –tutkielma. Oulun yliopisto.
- Niemi, R. 2016. Geotermisen kaukolämmön mahdollisuudet. St1Deep Heat Oy. 2016. Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistyksen (MTR ry) päivä, Säätytalo, Helsinki, 28.4.2016. Saatavilla: <http://www.getunder-ground.fi/web/page.aspx?refid=160>
- Niinimäki, R. & Raudasmaa, P. 1992. Viikniemen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliotutkimukset. Helsingin kaupunki. Kiinteistövirasto. Geotekninen osasto. Tiedote 56/1992.
- Pokki, J., Aumo, R., Kananoja, T., Ahtola, T., Hyvärinen, J., Kallio, J., Kinnunen, K., Luodes, H., Sarapää, O., Selonen, O., Tuusjärvi, M., Törmänen, T. & Virtanen, K. 2014. Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2012. Tutkimusraportti 210. Geologian tutkimuskeskus. Saatavilla: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_210.pdf
- Poratek Uutiset. 2016. Huusko, A. Geoenergian potentiaali Suomessa. Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry:n tiedotuslehti. ISSN 1799-8255. Saatavilla: <http://poratek.fi/wp-content/uploads/2016/12/Poratek-uutiset-2016.pdf>
- Positio-lehti. 1/2016. Huusko, A. Geologian tutkimuskeskus kartoittaa Suomen geoenergiapotentiaalia. Saatavilla: http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio_1_2016_geologiantutkimuskeskus_kartoittaa
- Ritola, J. 1988. Lämmön varastointi kallioon porareikäputkistolla. Tiedotteita 844. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Espoo, 1988.
- SKB. 1998. Technical Report 98-05. The Very Deep Hole Concept - Geoscientific appraisal of conditions at great depth. Saatavilla: <http://www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-98-05.pdf>
- Tekniikka ja talous, 4.1.2017. Laatikainen, T. Maalämpö napsii asiakkaita kaukolämmitykseltä – kerrostalotkin kiinnostuivat. Saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/maalampo-napsii-asiakkaita-kaukolammitykselta-kerrostalotkin-kiinnostuivat-6612331>

Tekniikka ja talous, 24.2.2010. Repo, K. Maanjäristysvaara ei huoleta - geoterminen energia nappasi jättituet USA:ssa. Saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2010-02-24/Maanj%C3%A4ristys-vaara-ei-huoleta---geoterminen-energia-nappasi-j%C3%A4ttituet-USAssa-3285919.html>

Tekniikka ja talous, 10.8.2007. Piironen, M. Porausten tuottamat järistykset viivästyttävät HDR-projektia. Saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2007-08-10/Porausten-tuottamat-j%C3%A4ristykset-viiv%C3%A4stytt%C3%A4v%C3%A4t-hdr-projektia-3287624.html>

Tiede –lehti, 3.9.2008. Geolämpö ei lopu, Tiede artikkeli 937. Saatavilla: http://www.tiede.fi/artikkeli/937/geolampo_ei_lopu

Weber, J., Ganz, B., Schellschmidt, R., Burkhard, S. & Schulz, R. 2015. Geothermal Energy Use in Germany. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. Saatavilla: <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/01045.pdf>

Vänskä, P. ja Raudasmaa, P. 2005. Helsingin keskustan kallioruhjeet. Geotekninen osasto, julkaisu 89. Saatavilla: <http://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu89.pdf>

Verkkolähteet:

Bener Hirsitalot: http://benerhirsitalot.fi/501_fi_Ground_source_heating_pump.aspx (viitattu 27.12.2016)

Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt: <http://www.wsu.bs.ch/dossiers/abgeschlossene-dossiers/geothermie.html> (viitattu 27.12.2016)

Gaia: <https://planeetta.wordpress.com/2016/02/22/geoterminen-lampo-pintaa-syvemmalta/> (viitattu 27.12.2016)

Geosto: <http://www.geosto.fi/> (viitattu 27.12.2016)

Geothermal Energy: International Market Update, Geothermal Energy Association (GEA). http://www.geo-energy.org/pdf/reports/GEA_International_Market_Report_Final_May_2010.pdf (viitattu 27.12.2016)

Geothermal Energy: Advantages and disadvantages (Penna Sparrow): <http://www.ianswer4u.com/2012/02/geothermal-energy-advantages-and.html#axzz4UjiEsAID> (viitattu 29.12.2016)

Helsingin kaupunki, kaupunkimittausosasto: http://kartta.hel.fi/?setlanguage=fi&e=25496708.06&n=6679978.88&r=0.13&w=*&l=Karttasarja%2Cmaalampokaivot_julkisen&o=100%2C100&swtab=kaikki (viitattu 17.1.2017)

Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto. Helsingin maanalainen yleiskaava. http://www.hel.fi/hel2/ksv/Aineistot/maanalainen/Maanalaisen_yleiskaavan_selostus.pdf (viitattu 3.1.2017)

Helsingin kaupunki, asuminen ja ympäristö, Salla, A.: <http://www.hel.fi/www/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/tontit/maa-ja-kalliopera/maapera> (viitattu 17.1.2017)

Helsingin kaupunki, rakennussuunnitteluvirasto: Lämpökaivo, toimenpideluvan hakeminen. http://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Lampokaivo_toimenpidelupa_2014.pdf (viitattu 4.1.2017)

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Vesi tulee Päijänteestä. <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesi-huolto/vedenpuhdistuslaitokset/Sivut/vesitulee-paijanteesta.aspx> (viitattu 3.1.2017)

Ilmastokumppanit: <http://www.ilmastokumppanit.fi/2016/02/23/st1-rakentaa-suomen-ensimmainen-geoterminen-energian-lampolaitoksen-espooseen/> (viitattu 23–24.5.2016)

Ilmo Kukkosen esitelmä, 3.12.2015: http://kyt2018.vtt.fi/seminaari_03122015/Kukkonen.pdf (viitattu 27.12.2016)

Islannin suurlähetystö: <http://www.iceland.is/iceland-abroad/fi/tietoa-islannista> (viitattu 23-24.5.2016)

Maalämpöpumppuinfo: <http://www.maalampopumppu.info/maalampopumpun-toimintaperiaate/> (viitattu 23-24.5.2016)

Motiva: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp (viitattu 25.1.2017)

S-ryhmä: http://www.motiva.fi/files/5124/Case_S_GeoBio_SU.pdf (viitattu 23-24.5.2016)

St1:n kotisivut: <http://www.st1.fi/uutiset/tiedotteet/st1-n-geolammon-pilottihankkeen-luotausporaus-alkanut-espoossa> (viitattu 23–24.5.2016)

STT: <http://www.ts.fi/uutiset/turun+seutu/2674267/Turkuun+tulossa+Suomen+toinen+geoterminen+lampolaitos> (viitattu 31.5.2016)

Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry (SULPU), Tilastot. <http://www.sulpu.fi/tilastot> (viitattu 27.12.2016)

TEM: Energia- ja ilmastostrategian taustaskenaariot, energiataseet. <http://tem.fi/perusskenaario> (viitattu 27.12.2016)

The History Of Geothermal Energy, Top-Alternative-Energy-Sources: <http://www.topalternative-energy-sources.com/history-of-geothermal-energy.html> (viitattu 27.12.2016)



Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto

Geotekninen osasto / Geoteknista avdelningen
PL 2202
00099 HELSINGIN KAUPUNKI
PB 2202
00099 HELSINGFORS STAD
Puh. / Tfn (09) 310 1671