



Uudenmaan liitto
Nylands förbund



UUDENMAAN GEOENERGIASELVITYS

Uudenmaan liiton julkaisu E 233 - 2020
ISBN 978-952-448-547-0 | ISSN 2341-8885 (pdf)

Ulkoasu: Anni Levonen
Valokuvat: Mostphotos ja Tuula Palaste

Helsinki 2020

Uudenmaan liitto // Nylands förbund
Helsinki-Uusimaa Regional Council

Esterinportti 2 B • 00240 Helsinki
+358 9 4767 411 • toimisto@uudenmaanliitto.fi • uudenmaanliitto.fi

SISÄLLYS

KUVAILULEHTI	4
PRESENTATIONSBLAD	5
1. JOHDANTO	6
2. GEOENERGIA JA GEOTERMINEN ENERGIA.....	8
2.1. Geoenergian ja geotermisen energian hyödyntämisen mahdollisuudet Suomessa	8
2.2. Geoenergian merkitys osana hiilineutraalia yhteiskuntaa.....	10
2.3. Geoenergian ja geotermisen energian kehitys Suomessa	11
2.4. Geoenergia ja geoterminen energia maailmalla ja Euroopassa.....	12
3. GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....	13
3.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)	13
3.2 Vesilaki (587/2011)	13
3.3 Ympäristönsuojelulaki (527/2014).....	14
3.4 Keskisyvän ja syvän geotermisen energian kaivoihin liittyvä lupamenettely	14
4. GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEN REUNA-EHTOJA JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA.....	15
4.1. Geologiset tekijät.....	15
4.2. Maankäytölliset kysymykset.....	17
4.2.1 Tonttirajat ja energiakaivon vaikutussäde.....	17
4.2.2 Virkistys- ja viheralueet sekä väylät.....	18
4.2.3 Maanalainen rakentaminen.....	18
4.3. Geoenergian ympäristövaikutuksia	19
4.3.1. Vaikutus pohjaveteen	19
4.3.2. Muita ympäristövaikutuksia	21
4.3.3. Seisminen riski	21
5. UUDENMAAN MAAKUNNAN GEOLOGISET PIIRTEET.....	22
5.1. Maaperägeologiset piirteet.....	22
5.1.1. Maapeitepaksuus	23
5.2. Kallioperägeologiset piirteet	26
5.2.1. Syväkivet.....	27
5.2.2. Pintakivet.....	28
5.2.3. Kallioperän siirrokset ja heikkousvyöhykkeet.....	28
6. GEOENERGIAN JA GEOTERMISEN ENERGIAN POTENTIAALI.....	30
6.1. Geoenergiapotentiaali	30
6.2. Keskisyvän geotermisen energian potentiaali	31
6.3. Syvän geotermisen energian potentiaali.....	32
6.4 Uudenmaan alueen soveltuvuus geoenergian ja geotermisen energian tuotantoalueeksi	34
7. ESIMERKKEJÄ GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ UDELLAMAALLA	36
7.1. Meilahden Tornisairaala	36
7.2. Otaniemen uusi kampuskortteli.....	37
7.3. SOK:n logistiikkakeskus Sipoossa.....	38
8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSELVITYSTARPEET	40
KÄYTETYT TERMIT	42
LÄHTEET	44

KUVAILULEHTI

Julkaisun nimi

Uudenmaan geoenergiaselvitys

Julkaisija

Uudenmaan liitto

Tekijä

Geologian tutkimuskeskus, Uudenmaan liitto, Uudenmaan ELY-keskus

Julkaisusarjan nimi ja sarjanumero

Uudenmaan liiton julkaisuja E 233

Julkaisuaika

11/2020

ISBN

978-952-448-547-0

ISSN

2341-8885

Kieli

suomi

Sivuja

45

Tiivistelmä

Geoenergia on maankamaraan varastoitunutta ja siinä syntyvää lämpöenergiaa. Tästä energiasta osa on peräisin jo maapallon syntyajoilta ja osa syntyy, kun maapallon kuorikerroksessa olevat luonnolliset radioaktiiviset alkuaineet hajotessaan vapauttavat lämpöä. Myös auringosta tuleva lämpö varastoituu maankamaraan lämpöenergiana. Geoenergiaa voidaan hyödyntää lämmitykseen ja viilennykseen.

Geoenergiaa ja geotermistä energiaa on saatavilla kaikkialla Suomessa, mutta energiaresurssien suuruus riippuu maantieteellisestä sijainnista ja maankamaraan fysikaalisista ominaisuuksista. Uudenmaan geoenergiaselvityksen tavoitteena on antaa yleiskuva sekä geoenergian että keskisyvän ja syvän geotermisen energian potentiaalista Uudellamaalla sekä kuvata näiden hyödyntämismahdollisuuksia reunaehtoineen.

Uudenmaan maakunnan alueen geoenergian ja geotermisen energian potentiaali vaihtelee hyvän ja erinomaisen välillä. Uudenmaan varsin hyvään potentiaaliin vaikuttavat paitsi geologiset piirteet, myös ilmastolliset olosuhteet ja muuta maata korkeammat vuosittaiset ilman keskilämpötilat. Geoenergian ja geotermisen energian potentiaali Uudellamaalla onkin korkea myös koko Suomeen verrattuna ja maakunnan alueella on erityisen hyvät mahdollisuudet siirtyä merkittävästi kattavampaan geoenergian ja geotermisen energian tuottamiseen ja hyödyntämiseen.

Geoenergiapotentiaalia koskevat laskelmat on tuotettu ensisijaisesti maakuntatasolle. Uudenmaan geoenergiaselvitys soveltuu kuitenkin hyvin ensitiedoksi ja kannustaa selvittämään tarkemmin geoenergian ja geotermisen energian potentiaalia kunta- ja paikallistasolla.

Huomautuksia

Julkaisun pdf-versio löytyy verkkosivuiltamme www.uudenmaanliitto.fi/julkaisut.

PRESENTATIONSBLAD

Publikation

Uudenmaan geoenegiaselvitys (Nylands geoenegiotredning)

Utgivare

Nylands förbund

Författare

Geologiska forskningscentralen, Nylands förbund, NTM-centralen i Nyland

Seriens namn och nummer

Nylands förbunds publikationer E 233

Utgivningsdatum

11/2020

ISBN

978-952-448-547-0

ISSN

2341-8885

Språk

finska

Sidor

45

Sammanfattning

Geoenergi är värmeenergi som finns lagrad och som uppstår i marken. Energin härstammar till en del ända från den tid då planeten jorden bildades, medan en del uppstår då naturliga, radioaktiva grundämnen i jordskorpan sönderfaller och värme sålunda frigörs. Också energi från solen lagras i marken i form av värmeenergi. Geoenergi kan utnyttjas för uppvärmning och för nedkylning.

Geoenergi och geotermisk energi finns att tillgå överallt i Finland, men energiresursernas storlek beror på det geografiska läget och på jordskorpan fysikaliska beskaftenhet. Nylands geoenegiotredning har som mål att teckna en generell bild av den potential som Nyland har både beträffande geoenergi och beträffande geotermisk energi på medelstort och stort djup samt att beskriva möjligheterna att exploatera dessa och i så fall efter vilka premisser.

I landskapet varierar potentialen för geoenergi och geotermisk energi mellan bra och utmärkt. Den tämligen goda potentialen i Nyland bottnar i de geologiska förhållandena, men också i klimatet och luftens medeltemperatur, som är högre än i andra delar av landet. Jämfört också med hela Finland har Nyland en god potential för geoenergi och geotermisk energi, och landskapet har särskilt goda möjligheter att övergå till att i avsevärt större utsträckning börja producera och exploatera geoenergi och geotermisk energi.

De kalkyler som gäller geoenegipotentialen beskriver i första hand situationen på landskapsnivå. Nylands geoenegiotredning lämpar sig emellertid väl för användning som primärdata och sporrar till mera detaljerade utredningar av potentialen för geoenergi och geotermisk energi på kommun- och lokalnivå.

Övriga uppgifter

Publikationen finns i pdf-version på vår webbplats www.uudenmaanliitto.fi/julkaisut.



1. JOHDANTO

Uudenmaan maakuntavaltuusto päätti joulukuussa 2017 tiukentaa maakunnan ilmastotavoitetta ja asetti uudeksi tavoitteeksi maakunnan hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä. Haastava tavoite vaatii toimia erityisesti energiasektorin päästöjen osalta. Yhteensä tämän sektorin päästöt kattoivat vuonna 2018 selvästi yli puolet Uudenmaan vuotuisista 8,1 Mt:n CO₂-päästöistä.

Vuonna 2018 noin 40 % Uudenmaan energiankulutuksen päästöistä aiheutui lämmityksestä. Kaukolämmön tuotannon osuus näistä päästöistä oli reilut 70 prosenttia, johtuen suurelta osin fossiilisten polttoaineiden suuresta osuudesta pääkaupunkiseudun lämmitysenergian tuotannossa. Kehyskunnissa kaukolämpöä tuotetaan jo pitkälti biopolttoaineilla. Loput talouksista lämpiävät muulla keinoin: suoralla

sähkölämmityksellä, öljyllä, uusiutuvasti puulla tai lämpöpumpuilla (ilma- ja maalämpöpumput). Keinoja lämmityksen päästöjen voimakkaaseen pienentämiseen haetaan muun muassa keskitetyn lämmöntuotannon ja suurten kiinteistöjen tarpeisiin. Pitkällä aikavälillä tavoite on kohti poltosta luopumista energian tuotannossa.

Geoenergian hyödyntäminen rakennusten lämmitysenergian tuotannossa lisääntyy nopeasti, samalla kun tuotantomuodot ja teknologiat kehittyvät. Geoenergian etuja on, että se on polttamattomiin teknologioihin kuuluva lämmitysmuoto, joka on skaalattavissa eri kokoluokkiin; omakotitalojen maalämpöratkaisuista suurten toimistorakennusten ja teollisuuskäyttöisten geoenergiajärjestelmiin sekä alueelliseksi ratkaisuksi.

Uudenmaan geoenergiaselvityksen tavoitteena on antaa yleiskuva sekä geoenergian että keskisyvän ja syvän geotermisen energian potentiaalista Uudellamaalla sekä kuvata näiden hyödyntämismahdollisuuksia reunaehtoineen. Selvitys tuo esille muun muassa geologisista tekijöistä aiheutuvat erot maakunnan sisällä ja hyödynnettävyyden tason verrattuna muuhun maahan matalan, keskisyvän ja syvän geotermisen energian osalta. Tavoitteena on, että selvityksen pohjalta kunnat ja energiatoimijat voivat arvioida ja suunnitella geoenergian ja geotermisen energian hyödyntämismahdollisuuksiaan alueellaan. Uudenmaan geoenergiaselvitys palvelee osaltaan maakunnan alueella tehtävää ilmastotyötä.

Selvityksen työryhmä:

- Uudenmaan liitto: Simo Haanpää, Tanja Lamminmäki, Kaarina Rautio
- Uudenmaan ELY-keskus Ympäristövaikutukset ja alueidenkäyttö -yksikkö: Timo Kinnunen, Annukka Vähä-Vahe
- Geologian tutkimuskeskus Energia ja rakentamisen ratkaisut -yksikkö: Tuija Elminen, Noora Hornborg, Jarmo Kallio, Kimmo Korhonen, Emilia Kosonen, Nina Leppäharju, Annu Martinkauppi, Kaiu Piipponen

Uudenmaan liitto, Uudenmaan ELY-keskus ja Geologian tutkimuskeskus järjestivät 10.9.2020 Uudenmaan geoenergiawebinaarin selvitystyön tulosten pohjalta. Webinaarissa oli kuulolla noin 50 henkilöä, mm. kuntien ja paikallisten energiayhtiöiden edustajia sekä geoenergi alan toimijoita. Webinaarissa esiteltiin selvityksen tuloksia sekä uudet Uudenmaan alueen geoenergian ja geotermisen energian potentiaalikartat. Geoenergian hyödyntämisen mahdollisuuksia maakunnan alueella konkretisoitiin kolmen toteutetun rakennuskohteen kautta (Raportin luku 6: Esimerkkejä geoenergian hyödyntämisestä Uudellamaalla). Keskustelua syntyi mm. geoenergian hyödyntämisen reunaehdoista sekä energiakaivojen lataamisesta ja varastointikäytöstä.

Uudenmaan geoenergiaselvityksen kaikki potentiaalikartat sekä selvityksen tausta-aineistot, kuten maaperä- ja kallioperägeologisia piirteitä, siirros- ja heikkousvyöhykkeitä ja pohjavesialueita koskevat tiedot, ovat nähtävillä Uudenmaan liiton [karttapalvelussa](#). Selvityksen keskeisimpiin tuloksiin on mahdollista tutustua myös [tarinakartan](#) avulla.

2. GEOENERGIA JA GEOTERMINEN ENERGIA

Geoenergiaa käytetään tässä selvityksessä yleisnimityksenä sekä varsinaiselle geoenergialle että geotermiselle energialle. Täsmällisemmin geoenergia on matalan lämpötilan geotermistä lämmitys- ja viilennysenergiaa, jota on saatavilla läheltä maanpintaa. Kansantajuisemmin geoenergiasta on käytetty termiä maalämpö, mutta koska Suomen kallioperä on suhteellisen viileää, se tarjoaa hyvät edellytykset myös viilennysenergian käytölle, ts. tilojen jäähdyttämiseen.

Yleisesti ottaen geoterminen energia on maankamaraan varastoitunutta ja siinä syntyvää lämpöenergiaa. Osa geotermisestä energiasta on peräisin maapallon syntyajoilta ja osa on maapallon kuorikerroksessa radioaktiivisten alkuaineiden hajotessa syntyvää lämpöenergiaa. Maankamara myös varastoi auringosta tulevaa lämpöenergiaa. Maanpinnan lämpötila määryytyy ilmakehän pitkäaikaisen keskilämpötilan perusteella ja on huomattavasti maapallon ytimen tuhansien celsiusasteiden lämpötilaa pienempi. Tämä planetaarinen lämpötilaero saa aikaan geotermisen lämpövuon, joka tuo jatkuvasti lämpöenergiaa syvyyksistä kohti maanpintaa. Geotermisen lämpövuon on Suomessa keskimäärin 42 mW/m² (Veikkolainen & Kukkonen, 2019), joten geoterminen energia lämmittää Suomen maanpintaa noin 14 GW:n teholla eli tuo noin 125 TWh lämpöenergiaa maanpinnalle vuodessa.

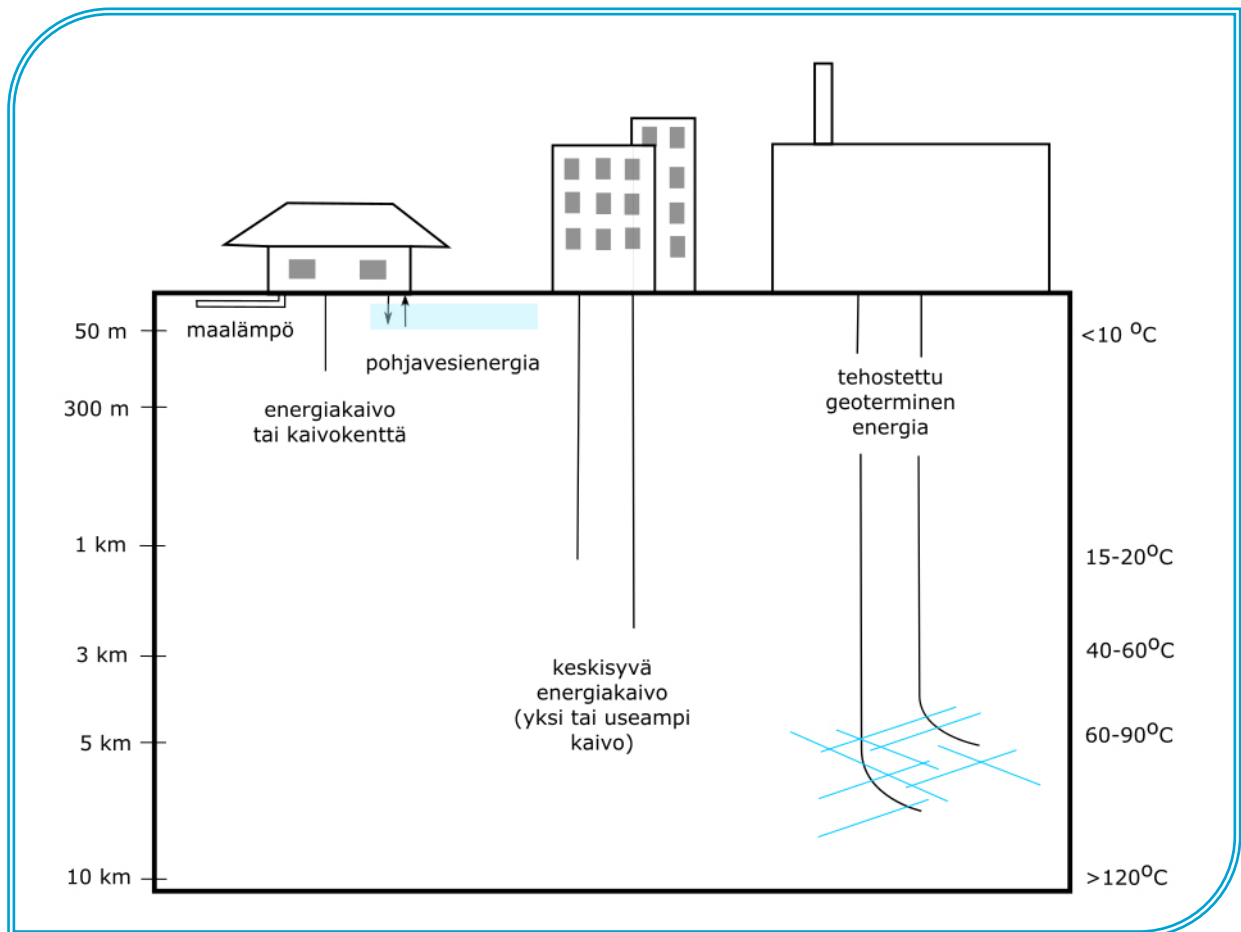
2.1. Geoenergian ja geotermisen energian hyödyntämisen mahdollisuudet Suomessa

Geotermistä energiaa ja sen hyödynnettävissä olevia muotoja on saatavilla kaikkialla Suomessa, mutta geotermisten energioresurssien suuruus riippuu maantieteellisestä sijainnista

ja maankamaraan fysikaalisista ominaisuuksista. Näin ollen, hyödynnettävissä olevien energioresurssien määrät vaihtelevat merkittävästi eri puolilla Suomea, myös kuntien ja kaupunkien eri alueilla, mikä luo tarpeen niiden kartoittamiselle.

Geoenergiaa ja geotermistä energiaa kerätään Suomessa maankamaraan eri osista toisistaan poikkeavilla tekniikoilla (Kuva 1): Maan pintaosiin asennettuja vaakasuuntaisia lämmönkeruuputkia käytetään lähinnä haja-asutusalueilla mm. maataloissa ja vapaa-ajanasuntojen lämmityksessä. Syvemmälle kallioperään porattuja lämpökaivoja eli energiakaivoja käytetään pientaloissa, suuremmissa kiinteistöissä, alueellisissa ratkaisuisissa sekä taajamissa, missä tonttien koot ovat pienempiä. Teollisen mittakaavan geoenergian ja geotermisen energian tuotanto on Suomessa voimakkaan kehityksen kohteena yhteiskunnan hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi. Tässä selvityksessä on keskitytty eri syvyyksiltä kerättävään kallioperän lämpöenergiaan.

Suomessa maankamaraan lämpötilat ovat matalia verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan. Geoenergiasovelluksissa tarvitaankin lämpöpumppu nostamaan maankamarasta saatava lämpötila rakennuksen lämmitysjärjestelmän vaatimalle tasolle. Suomessa geoenergiaa hyödynnetään ylivoimaisesti eniten kallioon poratun energiakaivon (lämpökaivo) ja siihen asennetun lämmönkeruuputkiston avulla. Energiakaivot soveltuvat sekä lämmitys- että viilennysenergian tuottamiseen rakennusten tarpeisiin. Tavanomaiset maalämpökaivot ulottuvat maan pintaosista yleensä noin 200–300 metrin syvyyteen, mutta yksittäisissä kohteissa on porattu jopa noin 600 metrin syvyydelle asti. Kaivon porauksen jälkeen kaivo täyttyy normaalisti itsestään pohjavedellä, johon



Kuva 1. Geotermisen energian hyödynnettävissä olevat muodot Suomessa (muokattu: Uski & Piipponen, 2019).

lämmönkeruuputkisto lasketaan. Lämmönkeruuputkisto on tavallisesti U-muotoinen keruuputki, jonka sisällä virtaa lämmönkeruuneste (suljettu kierto). Lämmönkeruunesteenä käytetään Suomessa lähes poikkeuksetta vesi-etanoliseosta, jolla on alhainen jäätymispiste. Maalämpökaivon rakentamisessa suositellaan noudatettavan Suomen kaivonporausurakoitsijat ry:n eli Poratekin ohjeistusta. Maalämpökaivon rakentamista ja yleensäkin maalämpöjärjestelmiin liittyvää suunnittelua, käyttöä, huoltoa ja lainsäädäntöä käsitellään laajasti Ympäristöministeriön julkaisemassa ympäristöoppaassa Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa (Juvonen & Lapinlampi, 2013).

Kallion päällä oleva maaperä, eli erilaisista maalajeista koostuva irtomaa, ja siihen vaakasuuntaan asennettava maakeruupiiri, tarjoaa

myös mahdollisuuden geoenergian valjastamiseksi käyttöön. Maakeruupiirit soveltuvat parhaiten taajamien ulkopuolella oleville, maaseutumaisille, suurille tonteille. Myös vesistöistä ja vesistöjen pohjasedimentistä voidaan kerätä lämpöä vaakaputkistolla. Pehmeikköalueille rakennettaessa voidaan perustuspaaluihin asentaa lämmönkeräimet, jolloin geoenergiaa voidaan hyödyntää energiapaalujen avulla myös tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla. Pohjavesimuodostumasta lämpöä voidaan puolestaan hyödyntää kahden kaivon avulla; toisella kaivolla muodostumassa oleva pohjavesi pumpataan lämmönsiirtolaitteistoon kiertoon ja toisen kaivon avulla se palautetaan takaisin maaperään. Pohjavesienergian hyödyntämisen mahdollisuudet on tunnistettu myös Suomessa, mutta menetelmä on täällä vielä harvinainen.

Siirryttäessä perinteisistä maalämpökaivoista syvemmälle, noin 1–2 kilometriin, puhutaan keskisyvästä geotermisestä energiasta. Tiiviisti kaavoitetuilla ja rakennetuilla alueilla, kuten esimerkiksi kaupunkien keskustoissa, useiden maalämpökaivojen muodostaman kaivokentän mahtuminen tontille voi olla haasteellista tai jopa mahdotonta. Tästä syystä Suomessa ollaan yhä kiinnostuneempia keskisyvän geotermisen energian hyödyntämisestä. Yhdellä tai useammalla keskisyvällä kaivolla voidaan korvata lukuisia perinteisiä maalämpökaivoja. Syvemmällä kallioperässä päästään myös korkeampiin lämpötiloihin, mikä mahdollistaa paremman energiantuoton. Keskisyvät kaivot soveltuvatkin erityisen hyvin kohteisiin, joissa on korkea lämmitystarve. Kallioperäsamme esimerkiksi neljäkymmenen celsiusasteen lämpötiloja löytyy vasta noin 2–3 kilometrin syvyydeltä ja 100 celsiusasteen lämpötiloja 6–8 kilometrin syvyydeltä, joten keskisyvissäkin ratkaisuissa tarvitaan kuitenkin lämpöpumppu. Kustannustehokkuuden lisäämiseksi niihin voidaan lisätä myös kaivojen lataaminen esimerkiksi aurinko- tai hukkalämmöllä. Korkeammasta lämpötilatasosta ja kaivojen syvyydestä johtuen keskisyvissä kaivoissa lämmönkeräämiseksi joudutaan käyttämään toisenlaista tekniikkaa kuin perinteisissä lämpökaivoissa. Keskisyvien geotermisten kaivojen toteutuksessa ei ole olemassa vielä vakiintunutta tekniikkaa, vaan alalla tapahtuu tutkimusta ja kehitystä.

Tehostettu geotermien systeemi (engl. Enhanced Geothermal System, EGS) on vielä yksi geotermisen energian sovellus, jota voidaan hyödyntää Suomessakin. Tehostettu geotermien systeemi perustuu kylmän veden lämmittämiseen syvällä (n. 6–10 km syvyydellä) kallioperän rakoverkostossa syöttökaivon ja tuotantokaivon avulla. Kylmä vesi syötetään ensin syöttökaivolla rakoverkostoon, jossa vesi lämpenee, keräten lämpöä syvältä kallioperästä. Lämmenneen veden lämpöenergia voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa. Tehostetun eli stimuloidun, menetelmästä tekee se, että kalliossa olevia luonnollisia rakoja täytyy avartaa ja niiden lukumäärää lisätä keinotekoisesti vesipainehalkaisulla, syöttämällä kallion rakoihin vettä erittäin korkealla paineella. Tämä

parantaa veden kiertoa ja hydraulista johtavuutta rakoverkostossa, jolloin lämmönsiirtyminen tehostuu.

2.2. Geoenergian merkitys osana hiilineutraalia yhteiskuntaa

Uusiutuvista energiamuodoista lämmitykseen sopivat biopolttoaineet, aurinkolämpö ja erilaiset ympäristölämmön lähteet kuten maankamarasta saatava lämpö. Mikään uusiutuva energiamuoto ei yksinään riitä korvaamaan fossiilisia polttoaineita, mutta hyödyntämällä tehokkaasti useita uusiutuvia energiamuotoja voidaan niiden osuutta lisätä merkittävästi. Hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi lämpöenergian tuotannon lisäksi huomiota tulee kiinnittää mm. rakennusten energiatehokkuuteen ja hukkalämmön tehokkaaseen hyödyntämiseen.

Biopolttoaineet ovat rajallisesti uusiutuva luonnonvara, ja pidemmällä aikavälillä onkin pyrittävä polttovapaisiin energiamuotoihin. Geoenergian etuna aurinkolämpöön nähden on tasainen hyödynnettävyys ympäri vuoden, ja oikein mitoitettu lämpökaivo palvelee pitkään. Geoenergian ja geotermisen energian etu on myös skaalautuvuus: erilaisia ratkaisuja löytyy pientaloista suuriin rakennuskohteisiin ja alueelliseen lämmöntuotantoon.

Uusissa pientaloissa geoenergia eli maalämpö on suosittu vaihtoehto. Ilmastotavoitteiden kannalta olisi tärkeää saada olemassa olevat rakennukset uudistamaan lämmitysjärjestelmänsä pois fossiilisiin polttoaineisiin nojaavista lämmitysmuodoista. Erityisesti öljylämmitteisten kohteiden lämmityksessä olisi potentiaalia siirtyä hyödyntämään geoenergiaa, sillä rakennuksessa on valmiina vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Geoenergialla tai geotermisellä energialla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita myös kaukolämmön tuotannossa.

Geoenergia soveltuu käyttötarpeesta ja kohteesta riippuen yleensä erityisen hyvin energiantarpeen perustason tuottamiseen. Järjestelmää voidaan tarvittaessa täydentää toisella



energiälähteellä, esimerkiksi kattamaan kylmimpien pakkaspäivien huipputehotarpeet. Geoenergiaa voidaan sellaisenaan käyttää myös tilojen viilentämiseen, koska Suomen maankamara on niin viileä. Järjestelmän kannattavuus kasvaa merkittävästi, mikäli kaivoihin voidaan ladata rakennuksen kesäajan viilennyksestä saatavaa lämpöä tai aurinko- tai hukkalämpöä.

Hiilineutraalissa yhteiskunnassa geoenergian hyödyntämiseen käytettävillä energiakaivoilla voi olla tärkeä rooli myös muiden, kausittain saatavissa olevien lämpöenergiamuotojen varastoinnissa. Suomessa lämpöenergian kausivarastointia energiakaivoihin on toteutettu jo mm. raportin luvun 6 mukaisissa suurissa geoenergian rakennuskohteissa rakennusten viilennyksestä peräisin olevan lämpöenergian kautta. Aurinkolämmön ja erilaisten hukkalämpöjen

varastoinnista maankamaran energiakaivoihin on myös tehty, mutta tulevaisuuden yhteiskunnassa lämpöenergian varastoinnin täytyy olla kustannustehokasta ja kattavaa, jotta hiilineutraaliustavoitteisiin päästään.

2.3. Geoenergian ja geotermisen energian kehitys Suomessa

Suomessa maalämpöpumput ovat yleistyneet 2010-luvun aikana pientaloissa öljylämmityksen korvaajina ja ne ovat suosituin lämmitysmuoto uusissa pientaloissa (Sulpu, 2019). Kapalemäärältään maalämpöpumppujen myynti kasvoi voimakkaimmin ennen vuotta 2011. 2010-luvulla myytyjen maalämpöpumppujen määrä on pysynyt tasaisena (Sulpu, 2019). Vuonna 2019 maalämmöllä katettiin 4,4 % rakennusten lämmityksestä (SVT, 2019).

Poraustekniikoiden ja -kalustojen kehittyessä viime vuosina, energiakaivojen syvyydet ovat kasvaneet. Jopa 400 – 600 metriä syviä ns. perinteisiä maalämpökaivoja voidaan porata. Edelleen mentäessä syvemmälle, alkuvuodesta 2020 Suomen ensimmäinen keskisyvä (noin 1,3 km syvä) lämpökaivo otettiin käyttöön Espoossa. Tämän lisäksi ympäri maata on tehty yksittäisiä keskisyvien lämpökaivojen porauspilotointeja.

Espoon Otaniemeen on rakenteilla Suomen ensimmäinen geoterminen tuotantolaitos, jonka on tarkoitus toimia ilman lämpöpumppua, kiertovesipumpulla. Kyseessä on tehostettu geoterminen systeemi, jossa kahden, reilun 6 km syvän syöttö- ja tuotantokaivon avulla kallioperästä otetaan lämmitysenergiaa kaukolämpöverkkoon. Tuotantolaitos on tarkoitus ottaa käyttöön loppuvuonna 2020, ja sen tarkoituksena on korvata maakaasun ja kivihiilen käyttöä. Vastaavia laitoksia on suunnitteilla myös muualle Suomeen.

2.4. Geoenergia ja geoterminen energia maailmalla ja Euroopassa

Maailmanlaajuisesti geotermistä energiaa käytetään sekä lämmitykseen että sähköntuotantoon. Sähköntuotanto geotermisellä energialla vaatii korkeampia lämpötiloja kuin lämmitys, joten sähköntuotantoon soveltuvat korkean lämpövuon alueet, kuten litosfäärilaattojen reuna-alueet, hautavajoamat ja hot spotit. Geotermistä sähköä tuotetaan maailmalla 15 GW, suurimpina sähköntuottajainakin ollen Yhdysvallat, Indonesia ja Filippiinit (EGEC, 2019). Vuonna 2017 geotermisen sähkön tuotanto vastasi 0,3 % maailman sähköntuotannosta (IEA, 2019).

Lämmitykseen kului vuonna 2018 50 % maailman energiantuotannosta, mistä kaikkien uusiutuvien energiamuotojen osuus oli 10 % ja geotermisen energian 0,3 % (IEA, 2019). Myös Euroopassa lämmitykseen kuluu 50 % tuotetusta energiasta (Eurostat, 2019). Uusiutuvien ja geotermisen energian osuudet ovat 19,5 % ja 0,8 % (IEA, 2019).

Maailmalla eniten geotermistä energiaa lämmitykseen hyödyntävät Kiina, Yhdysvallat ja Turkki (IEA, 2019), Euroopassa Turkin lisäksi Islanti ja Italia (EurObserv'ER, 2019). Kaikilla edellä mainituilla mailla on korkean lämpövuon alueita, joilla tuotetaan myös sähköä. Maiden mahdollisuudet ovat siis varsin erilaiset Suomeen verrattuna. Geotermistä energiaa käytetään Euroopassa kaukolämpöjärjestelmiin lähes 100 kaupungissa. Kapasiteetiltaan laitokset vaihtelevat 0,3–40 MW:n välillä ja niiden kontributio kaukolämpöverkkoon on korkeimmillaan 90 % energiasta (GeoDH, 2014).

Lämpöpumpputeknologia, eli erilaiset ilma- ja maalämpöpumput, kattaa 5 % maailman asuinrakennusten lämmöntarpeesta. Lukuun sisältyy käyttöveden lämmitys. IEA:n vuoden 2019 uusiutuvien energiamuotojen katsauksen mukaan lämpöpumpputeknologialla on valtava potentiaali: peräti 90 % asuinrakennusten lämmön- ja jäähdytystarpeesta voitaisiin kattaa lämpöpumpuilla (IEA, 2019). Asennuskustannuksiltaan halvemmat ilmalämpöpumput ovat yli 10 kertaa maalämpöpumppuja suosittumia, mutta jälkimmäisten elinkaarikustannus ja energiankulutus jäävät pienemmiksi, sillä niiden hyötysuhde on huomattavasti parempi. Maalämpöpumppujen käytössä kärkisijaa pitää Ruotsi, missä lämmitysmuoto kattaa peräti 40 % asuinrakennusten lämmitystarpeesta (Sitara, 2017). Ala on kasvussa kaikkialla, eritoten Kiinassa. Euroopassa Suomi on toisella sijalla maalämpöpumppujen käyttäjämääränsä.

3. GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

3.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)

Yksittäisen energiakaivon maankäytölliset kysymykset ratkaistaan rakennuslupa- tai toimenpidelupakäsittelyn yhteydessä. Sen sijaan geolämpölaitos voi edellyttää oikeusvaikutteisen yleiskaavan tai asemakaavan laatimista alueelle. Kaavaprosessissa tutkitaan suunnitellun laitoksen vaikutukset ympäristöön, luonnonolosuhteisiin ja muuhun maankäyttöön ja sovitaan yhteen mahdolliset ristiriidat.

Uuden rakennuksen energiakaivoihin perustuvan lämmitysjärjestelmän rakentaminen käsitellään osana rakennuslupaa. Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen korjaus- ja muutostyöhön, joka on verrattavissa rakennuksen rakentamiseen (MRL 125 §). Olemassa olevan rakennuksen lämmitysjärjestelmän vaihtaminen energiakaivoiksi vaatii puolestaan toimenpideluvan. Toimenpideluvanvaraisia toimenpiteitä on muun muassa maalämmön hyödyntämiseen tarkoitetun lämpökaivon poraaminen tai lämmönkeruuputkiston asentaminen rakennuksen lämmitysjärjestelmää vaihdettaessa tai uusittaessa taikka käytettävissä lisälämmönlähteenä (MRL 126a,1,2). Sekä rakennus- että toimenpideluvan käsittelee kunnan rakennusvalvontaviranomainen. Kunta voi halutessaan vapauttaa energiakaivojen poraamisen osittain tai kokonaan toimenpideluvanvaraisuudesta rakennusjärjestykseen tehtävällä määräyksellä.

Kunnan rakennusjärjestyksessä sekä asema- ja yleiskaavoissa voi olla määräyksiä energiakaivojen rakentamisesta. Kaavoissa voi myös olla määräyksiä, jotka käytännössä estävät geonergian hyödyntämisen, esimerkiksi velvoite liittyä kaava-alueella sijaitsevaan kaukolämpöverkkoon. Kunta voi hakemuksesta myöntää

MRL:n mukaisen luvan poiketa kyseisestä kaavamääräyksestä, mikäli poikkeaminen ei aiheuta haittaa kaavoitukselle, kaavan toteuttamiselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle, vaikeuta luonnonsuojelun tai rakennetun ympäristön suojelemista koskevien tavoitteiden saavuttamista, johda vaikutuksiltaan merkittävään rakentamiseen tai aiheuta merkittäviä haitallisia ympäristö- tai muita vaikutuksia. Ajantasaiset kaavamääräykset voi tarkistaa kunnasta.

3.2 Vesilaki (587/2011)

Vesitaloushankkeella on oltava lupaviranomaisen lupa, jos se voi muuttaa pohjaveden laatua tai määrää ja tämä muutos aiheuttaa pohjavesiesiintymän tilan huononemista tai olennaisesti vähentää tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesiesiintymän antoisuutta tai muutoin huonontaa sen käytökelpoisuutta taikka muulla tavalla aiheuttaa vahinkoa tai haittaa vedenotolle tai veden käytölle talousvetenä (VL 3:2). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pohjavesialueelle rakennettava energiakaivo tarvitsee vesilain mukaisen luvan, jonka käsittelee Uudellamaalla Etelä-Suomen aluehallintovirasto.

Aluehallintovirastojen linja on muuttunut tiukemmaksi viimeisten vuosien aikana ja lupia matalien energiakaivojen rakentamiseen pohjavesialueelle ei ole enää myönnetty. Vaasan hallinto-oikeus sekä korkein hallinto-oikeus eivät ole muuttaneet aluehallintovirastojen päätöksiä. Korkeimman hallinto-oikeuden vuosikirjapäätös vuodelta 2019 (KHO:2019:37) linjaa, että energiakaivohankkeiden yleiselle tai yksityiselle edulle saatava hyöty ei ole huomattavaa verrattuna yleiselle tai yksityiselle edulle koi-tuviin menetyksiin. Toisin sanoen yksityiselle

koituvaa hyötyä hankkeesta on taloudellinen, kun lämmityskustannukset laskevat. Yksityiselle tai yleiselle edulle koituvana haittana voidaan pitää pohjaveden pilaantumisen riskiä pohjavesialueella. Pohjavesialueen luokalla (1 tai 2) ei ole merkitystä pohjaveden pilaamiskiellon kannalta (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 17 §).

Lisäksi kiinteistönmuodostuslaissa (554/1995), kemikaalilaissa (744/1989) ja terveydensuojelulaissa (763/1994) on säädöksiä maalämpökaivoihin liittyen.

3.3 Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

Ympäristönsuojelulain 202§:n nojalla kunta voi antaa ympäristönsuojelulain täytäntöön panemiseksi tarpeellisia paikallisista olosuhteista johtuvia, kuntaa tai sen osaa koskevia yleisiä määräyksiä (kunnan ympäristönsuojelumääräykset). Uudellamaalla varsin monen kunnan ympäristönsuojelumääräyksissä on asetettu määräyksiä, rajoituksia ja kieltoja lämpökaivojen rakentamiselle. Määräykset käsittelevät mm. porausvesiä, porausjätteen käsittelyä sekä suojaetäisyyksiä. Ympäristönsuojelumääräyksissä on myös voitu kieltää esimerkiksi lämpökaivojen rakentaminen pohjavesialueille tai vedenottamoiden lähialueille.

3.4 Keskisyvän ja syvän geotermisen energian kaivoihin liittyvä lupamenettely

Suomessa on porattu vasta muutamia keskisyviä tai syviä energiakaivoja. Ne ovat tarvinneet maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen toimenpide- tai rakennuslupan. Pohjavesialueelle ei ole haettu yhtään keskisyvän tai geotermisen energiakaivon toimenpidelupaa, joten tässä vaiheessa on vaikea arvioida, millaiseksi niiden lupakäytäntö muotoutuu.

Ympäristöministeriö on julkaissut syvän geotermisen energian tuotantoa varten porattavien kaivojen seismisen riskin ja ympäristövaikutusten selvityksen, jossa annetaan suosituksia tuotantolaitosten seismiseen monitorointiin ja siihen liittyvään päätöksentekoon. Energiakaivoilla on seisminen riski, joka kasvaa syvyyden myötä ja jos lämmönkeruuvesi on kontaktissa kallioperään. Riski on sitä suurempi, mitä syvempi kaivo on. Muita riskiin vaikuttavia parametreja käsitellään kappaleessa 3.4.3.

Seismiseen valvontaan liittyvät viranomaistehävät Suomessa kuuluvat Helsingin yliopiston Seismologian instituutille. Instituutti suosittelee seismisen monitoroinnin tarpeen arviointia keskisyville ja syville energiakaivoille. Instituutin suositus lupahakemuksen laatimiseen koostuu kuudesta osa-alueesta: taustaselvityksestä, indusoituun seismisyyteen liittyvistä selvityksistä, muiden ympäristövaikutusten arvioinnista, valvonta- ja varautumissuunnitelmasta koko laitoksen elinkaaren ajaksi, työmaasuunnitelmasta sekä viestintäsuunnitelmasta. Taustaselvitykseen kuuluvat erilaiset geologiset tekijät sekä voimalan toimintaparametrit. Indusoidun seismisyyden hasardi- ja riskianalyysit tehdään taustaselvityksen pohjalta. Muita listattuja ympäristövaikutuksia ovat maankäyttö, vaikutus pohjaveteen, porausjätteen ja kemikaalien käsittely, meluhaitat, liikennejärjestelyt sekä energiatehokkuuden selvitys. Suositus korostaa laitoksen koko elinkaaren tarkkaa suunnittelua etukäteen, sisällyttäen suunnitelmat porauksesta, valvonnasta ja laitoksen alasajon velvoitteista. Suosituksen viestintäsuunnitelmasuositus listaa tahot, joihin suositellaan ol-tavan yhteydessä eri vaiheissa laitoksen toimintaa. (Uski & Piipponen, 2018.)

4. GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEN REUNA-EHTOJA JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA

Geoenergian hyödyntämiseen liittyy reunaehdot, kuten geologisia tekijöitä, lainsäädännöllisiä ja maankäytöllisiä kysymyksiä sekä ympäristövaikutuksia. Reunaehdot voivat esimerkiksi rajoittaa energiakaivojen rakentamista tietyillä alueilla, tuoda rakentamiseen liittyviä ehtoja tai vaikuttaa saatavissa olevan geoenergian määrään tai energiakaivon rakentamisen kustannuksiin. Toisaalta erityisesti maankäytöllisiin kysymyksiin (esim. maanalaistiloihin) liittyy myös hyödyntämätöntä geoenergiapotentiaalia, jota voitaisiin tarkastella ja ottaa käyttöön nykyistä kattavammin ja monipuolisemmin haastavien hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi.

4.1. Geologiset tekijät

Geoenergian ja geotermisen energian hyödyntäminen on mahdollista joka puolella Suomea. Oleellista on, että järjestelmien mitoitus on aina tapauskohtaista ja tehtävä oikein. Saatavuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat monet geologiset tekijät, joiden fyysiset ominaisuudet vaihtelevat eri puolilla Suomea ja lähemmin tarkasteltuna jopa yksittäisen tontin eri osissa. Siksi esimerkiksi Etelä-Suomeen tehtyä mitoitusta ei voida kopioida Lappiin, vaikka kyseessä olisi energiankulutukseltaan täsmälleen identtinen kohde. Geologisten tekijöiden tunnistaminen ja huomioiminen on tärkeää, jotta ikäviltä yllätyksiltä kaivon porausvaiheessa ja erityisesti kaivon mitoituksessa voitaisiin välttyä.

Geoenergian ja geotermisen energian hyödyntämistä ja käyttöä suunniteltaessa on syytä perehtyä alueen geologiseen tietoon kuten

esimerkiksi, minkälainen kallioperä ja maapeite kohteessa on, onko kallio rikkonaista tai rapautunutta, sijaitseeko kohde topografisesti laaksoalueella vai harjun päällä, kuinka syvällä pohjaveden pinta sijaitsee, onko maankamarasta saatavaa energiaa tarkoitus käyttää vain rakennuksen lämmittämiseen, viilentämiseen vai onko kyseessä lämmön (kausi)varastointi. Jo yksittäisen maalämpökaivon rakentamista ajatellen nämä ovat asioita, jotka kannattaa selvittää ennen kuin projektiin ryhdytään. Hyvän paikallistuntemuksen omaava, ammattitaitoinen porausurakoitsija osaa neuvoa ja huomioida geologiset tekijät usein jo ennen porauksen aloittamista, mutta viimeistään porausvaiheessa, jolloin tapauskohtaisesti oikea, riittävä mitoitus varmistetaan ja huomioidaan myös urakkalaskelmassa. Useista maalämpökaivoista koostuvien energiakaivokenttien suunnittelussa em. asioiden vaikutus korostuu entisestään. Geologisiin tietoihin perehtyminen edellyttää kuitenkin, että sitä on saatavilla.

Tiedonjakamiseen on pyritty mm. alueellisilla geoenergian potentiaalikartoituksilla, joita on tehty kunnille ja maakunnille. GTK on myös kartoittanut koko Suomen geoenergiapotentiaalin, samoin kuin valtakunnallisen syvän geotermisen energian potentiaalin. Valtakunnallisiin potentiaalikarttoihin ja oman alueen muuhun geologiaan voi perehtyä maksutta GTK:n Hakku-palvelussa, osoitteessa <https://hakku.gtk.fi/fi/locations/search>.

Kivi- ja maalajit johtavat eri tavoin lämpöä. Suomen kiteinen kallioperä johtaa yleisesti ottaen paremmin lämpöä kuin esimerkiksi Keski-Euroopan sedimenttikivimuodostumat.

Toisaalta kivilajiemme huokoisuus ja vedenjohtavuus ovat pientä. Maankamaran lämmönjohtavuus muodostuu yhdeksi merkittävistä tekijöistä mitoitettaessa maalämpökaivon tarvittavaa syvyyttä. Kivilajien lämmönjohtavuuteen vaikuttavat monet tekijät, erityisesti mineraalikoostumus. Kvartsipitoisuus on yleensä merkittävin kivilajin lämmönjohtavuutta nostava tekijä. Oleellista on myös tiedostaa, että lämmönjohtavuus voi vaihdella samannimisilläkin kivilajeilla mineraalien jakautumisen mukaan (heterogeenisuus). Kun tähän lisätään vielä tieto, että maalajeilla on, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta, heikompi lämmönjohtavuus kuin kivilajeilla, tieto paksusta maapeitteestä auttaa tarkentamaan porausurakkaa ja ennen kaikkea maalämpökaivon riittävää mitoitusta. Maapeitteen heikompi lämmönjohtavuus on kompensoitava aina syvemmällä kaivolla. Paksu maapeite on porausta hankaloittava tekijä ja lisää porauskustannuksia. Maaosuus putkitetaan aina reiän sortumisen, pintavesien sekoittumisen kalliopohjaveteen ja mahdollisten putkivuotojen estämiseksi. Toisaalta maalajista riippuen paksu maapeite voi toimia eristeenä kallion päällä, mikä nostaa irtomaan ja kallion rajapinnan välistä lämpötilaa. Tällainen lämpötilan lisäys on suoraan hyödynnettävissä geoenergiajärjestelmissä. Onpa kyseessä paksu maapeite tai heikomman lämmönjohtavuuden omaava kivilaji, heikko lämmönjohtavuus ei sinänsä poissulje geoenergian hyödyntämistä. Kyse on vain oikeanlaisesta suunnittelusta ja mitoituksista.

Topografia, maapeitteen paksuus ja laatu ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat pohjaveden liikkeisiin ja pohjaveden pinnan syvyyteen. Hiekkavaltaisilla harjuilla ja toisaalta peitteettömillä kallioalueilla pohjaveden pinta voi sijaita hyvinkin syvässä maanpinnasta. Lämmönsiirto nesteeseen ja kalliota välillä tapahtuu tehokkaimmin siinä osassa energiakaivoa, joka sijaitsee pohjavedenpinnan alapuolella, koska kallion ja putken haarojen välinen ilma toimii eristeenä. Kaivon pohjavedenpinnanalaista syvyyttä kutsutaan aktiivisyvydeksi. Mikäli pohjaveden pinta sijaitsee syväällä, energiakaivon syvyyttä on kompensoitava porattavilla lisämetreillä. Jos pohjavedenpinta on korkealla, se nostaa lämmönjohtavuutta

maapeitteessä. Pohjaveden kyllästämissä hieka- ja sorakerrostumissa pohjavesi voi myös liikkua hyvin, mikä edesauttaa energian siirtymistä. Lämmönnotossa pohjavesi pääsee kuljettamaan uusiutuvaa energiaa energiakaivon lähelle ja lämmönsyötössä taas päinvastoin, pois päin energiakaivosta. Näin ollen hyvän vedenjohtavuuden omaavat maalajit eivät sovellu lämmön varastointiin, niiden hyvän energian siirron takia. Sen sijaan savikot soveltuvat hyvin lämpövarastoiksi, sillä syötettävä lämpö saadaan pysymään muodostumassa pidempään.

Merkittävimmät alueelliset siirrokset, ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet on merkitty kallioperäkartoille. Yleensä mitä pidempi vyöhyke on, sitä syvemmälle sen aiheuttaja ulottuu maanpinnasta. Vyöhykkeen pituus voi vaihdella muutamasta sadasta metristä useisiin kymmeniin kilometreihin. Heikkousvyöhykkeiksi kutsutut alueet voivat aiheuttaa rajoitteita energiakaivon poraukselle vaikeuttamalla porausta ja lisätä reiän lujituksen tarvetta kivilajista riippuen. Graniiteilla ja myös gneisseillä porattavuus on yleensä hyvin ennustettavissa, kun taas liuskekivet voivat kääntää porausta voimakkaastikin. Vettä hyvin johtavat rako- ja ruhjevyyhykkeet tulisi voida tunnistaa ja tarvittaessa tiivistää. Toisaalta taas joidenkin kivilajien ns. terve rakoilu mahdollistaa kalliopohjaveden liikkeet ja tehostuneen lämmönsiirron. Tällaisia kivilajeja ovat esimerkiksi graniitit, joiden kuutiollinen rakoilu mahdollistaa veden liikkeet kallion avoimissa raoissa. Mikäli rikkonainen kallio on täytetty rapautumistuotteilla ja/tai hienoainessedimenteillä, rakojen hydrauliset yhteydet katkeavat ja veden liikkeet estyvät.

4.2. Maankäytölliset kysymykset

Yksittäisen energiakaivon maankäytölliset kysymykset ratkaistaan rakennuslupa- tai toimenpidelupakäsittelyn yhteydessä. Sen sijaan geolämpölaitos voi edellyttää oikeusvaikutteisen yleiskaavan tai asemakaavan laatimista alueelle. Kaavaprosessissa tutkitaan suunnitellun laitoksen vaikutukset ympäristöön, luonnonolosuhteisiin ja muuhun maankäyttöön ja sovitaan yhteen mahdolliset ristiriidat.

4.2.1 Tonttirajat ja energiakaivon vaikutussäde

Lämmönoton seurauksena maankamaran lämpötila energiakaivon lähiympäristössä laskee. Siihen, kuinka etäälle energiakaivon vaikutus ulottuu, vaikuttaa moni tekijä, mm. kaivon syvyys, maankamaran fysikaaliset ominaisuudet, mahdolliset veden liikkeet ja lämmönoton luonne ja kesto. Energianoton vaikutus on voimakkainta aivan energiakaivon lähellä, ja lämpötilamuutos pienenee kun etäisyys kaivosta kasvaa. Lämmönoton aiheuttamaa lämpötilalaskua voidaan vähentää lataamalla kaivoon takaisin lämpöä esim. kesäaikaan. Jos energiakaivon aiheuttama lämpötilan lasku tietyllä etäisyydellä kaivosta on alle 0,1 °C, häiriö on käytännössä olematon. Tyypillisesti energiakaivon lämpötilavaikutus ympäröivään kiveen eli ns. vaikutussäde on muutamasta kymmenestä metristä sataan metriin, kun lämmönotto on kestänyt vuosikymmeniä. Näin ollen vierekkäisillä tonteilla olevat energiakaivot voivat käyttövuosien myötä vaikuttaa toistensa lämpötilaan ja sitä kautta energiantuottoon.

Geotermisen energian käytön yhteydessä voi tulla jossain vaiheessa eteen kysymys siitä kuka omistaa tuon lämpöenergian. Tähän asti maalien maalämpökaivojen kohdalla kysymys ei ole noussut juurikaan esiin, sillä lämpökaivojen tuotto on yleensä riittänyt kiinteistöjen lämmittämiseen, vaikka vierekkäisten tonttien kaivojen välimatkaa ei olisi kuin muutama kymmenen metriä. Energiakaivo-oppaassa (Juvonen & Lapinlampi, 2013) esitetyt suojaetäisyydet riittävät tavallisesti turvaamaan naapurusten lämmöntuotannon. Maalämpökaivot tarvitsevat MRL:n mukaisen toimenpideluvan, jossa lupaviranomainen tavallisesti määrää, että lämpökaivo ei saa ilman naapurin lupaa ulottua syvällä kallioperäsäkään naapuritontin puolelle. Mikäli lämpökaivo sovitusti ulottuu naapurin puolelle, on suositeltavaa muodostaa siitä rasite naapuritilalle, jolloin sopimus tulee virallistetuksi ja kirjatuksi rasitteena kiinteistörekisteriin ja on näin uuden omistajan tiedossa kaupanteon yhteydessä.

Teollisessa mittakaavassa, erityisesti lämpökaivokentällä tuotetun geoenergian osalta,

tilanne voi olla toinen. Pitkään jatkuva tehokas geoenergian hyödyntäminen kerää lämpöenergiaa energiakaivon tai kaivokentän ympäriltä fyysisen lakeja noudattaen, mutta maanomistusrajoja noudattamatta. Tämänhetkisen lainsäädännön perusteella lämpöenergian omistusoikeus on epäselvä. Geoenergian omistusoikeus on jossain määrin analoginen pohjaveden omistusoikeuden kanssa. Kaivon ja lähteen pohjaveden omistaa maanomistaja, mutta laajemmin esimerkiksi pohjavesialueen pohjavettä ei omistata kukaan, vaan pohjaveden käyttöä hallinnoidaan vesilain mukaisen lupamenettelyn avulla, jossa myönnetään oikeuksia pohjaveden käyttöön. Lupaharkinnassa tutkitaan muiden toimijoiden pohjaveden käyttöä ja haettua lupaa verrataan pohjavesialueen antoisuuteen. Lupa myönnetään siten, ettei häiritä aiemmin myönnettyjen lupien mahdollistamaa vedenottoa eikä ylitetä pohjavesialueen kokonaisantoisuutta.

Geoenergian määrällistä hyväksikäyttöä voitaisiin säädellä samalla periaatteella: lupia myönnettäisiin jonkun rajatun energiamäärän ottamiseen, joka suhteutettaisiin alueella jo toimivaan geoenergian käyttöön, siihen, kuinka kauaksi tuotantokaivosta toiminnan lämpötilaa alentava vaikutus ulottuu sekä siihen, kuinka paljon kallioperästä lämpöenergiaa voidaan maksimissaan johtaa ottaen huomioon lämpötilan alenemista ehkäisevien toimien vaikutus (esim. lämpöenergian lataaminen kaivoon kesäaikana).

Tiheästi rakennetuilla alueilla ja pienillä tonteilla geoenergian hyödyntäminen voitaisiin toteuttaa erillisten, toisiinsa vaikuttavien järjestelmien sijaan alueellisena ratkaisuna. Tällä tavalla kaivojen vaikutus toisiinsa voitaisiin huomioida jo mitoitusvaiheessa. Samalla varmistettaisiin energian tasapuolinen riittäminen kaikille.

4.2.2 Virkistys- ja viheralueet sekä väylät

Virkistys- ja viheralueet voivat olla geoenergian hyödyntämistä rajoittavia reunaehtoja, sillä niihin voi liittyä esimerkiksi luonnonsuojelulain, metsälain tai vesilain nojalla rauhoitettuja kasveja, eläimiä, vesistöjä tai muita

luonnonesiintymiä. Virkistysalueilla on myös vaatimuksia melutason suhteen. Energiakaivoja ei lähtökohtaisesti voi rakentaa väylille tai niiden ulkopuolella oleville suoja-alueille, kuten tiealueelle ja radan suoja-alueelle. Rakennusjärjestykseen on tyypillisesti kirjattu vaatimuksia vähimmäisetäisyyksistä katualueisiin ja muihin yleisiin alueisiin. Kuitenkin esimerkiksi puisto-alueet, urheilukentät sekä katualueet voisivat soveltua geoenergian tuottamiseen, mikäli kaava mahdollistaisi tämän ja lämpöenergiaa tarvitseva kohde sijaitisi lähellä. Näissä tapauksissa asia olisi ratkaistava yhdenvertaisuusperiaatteita noudattaen esimerkiksi siten, että geoenergiaa voisi hyödyntää kuntien julkisten rakennusten kuten päiväkotien, koulujen, kirjastojen ja urheiluhallien lämmityksessä ja viilennyksissä.

4.2.3 Maanalainen rakentaminen

Olemassa olevat ja suunnitellut maanalaiset rakenteet, kuten tunnelit, väestönsuojat ja pysäköintihallit, voivat rajoittaa geoenergian hyödyntämistä. Yleis- ja asemakaavoissa voi olla maanalaisiin tiloihin liittyen rajoituksia tai kieltoja geoenergian käytölle. Maankäyttö- ja rakennuslaki antaa kunnalle myös mahdollisuuden laatia maanalaista rakentamista sääteleviä kaavoja, joissa voidaan määrätä myös geoenergian käytöstä. Esimerkiksi Helsingissä on voimassa Maanalainen yleiskaava 2011, johon ollaan laatimassa muutosta, jossa otetaan kantaa energiakaivojen toteuttamiseen ja tästä aiheutuviin vaikutuksiin sekä linjataan periaatteita, joiden mukaan maalämpökaivoja voidaan jatkossa suunnitella Helsingin alueelle. Kaupunkien ja kuntien rakennusjärjestyksessä voidaan määritellä maanalaisiin tiloihin suojaetäisyyksiä, joita lähemmäksi energiakaivoja ei saa porata. Esimerkiksi Päijänne-tunnelin sijaintikunnissa on rakennusjärjestyksissä kielletty porakaivojen poraus tunnelille määritetyn suoja-alueen sisällä.

Valmiiksi poratut energiakaivot voivat estää alueilla myöhempää maanalaista rakentamista, joten ennakointi ja varausten huolellinen tarkastus geoenergian suunnittelu- ja

lupaprosessin yhteydessä on tärkeää. Voimassa olevat ja vireillä olevat kaavat määräyksineen ovat Uudellamaalla pääsääntöisesti tarkasteltavissa kuntien internetsivuilla ja lisätietoa kaavoista ja niiden tulkinnasta voi kysyä kunnan kaavoitus- ja rakennusvalvontaviranomaisilta. Yleensä kunta tarkastaa rakennus- tai toimenpidelupahakemuksen yhteydessä kohteen kaavatilanteen ja kaavanmukaisuuden ennen luvan myöntämistä.

Toisaalta maanalaisen rakentamisen ja geoenergian hyödyntämisen yhteissuunnittelu ja -toteutus olisi erittäin hyödyllistä, koska maanalaiset tilat voivat mahdollistaa paremman geoenergiapotentiaalin. Jos energiakaivo porataan maanalaisen tilan pohjalta alaspäin, syvemmällä maankamarassa lämpötila on valmiiksi korkeampi ja energiaa on saatavilla enemmän. Suomessa on toteutettu yksittäisiä kohteita, joissa energiakaivot on porattu esim. maanalaisen pysäköintitilan pohjalle (kts. kapale 6.3 HUS Meilahden geoenergia). Lisäksi on toteutettu useampia kohteita, joissa energiakaivot on sijoitettu rakennuksen alimman kerroksen alle ennen rakentamista. Hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi ja geoenergian nykyistä huomattavasti laajamittaisemman hyödyntämisen toteuttamiseksi erityisesti tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla tulisi tarkastella maanalaisten tilojen geoenergiapotentiaalia. Teknisiä toteutustapoja voisi olla energiakaivojen lisäksi esim. tilojen betonirakenteisiin asennetut lämmönkeruuputkistot. Tiheästi rakennetuilla alueilla maanalaiset tilat ovat tyypillisesti lähellä lämmitysenergiaa tarvitsevia tiloja ja rakennuksia.

4.3. Geoenergian ympäristövaikutuksia

Energiakaivojen poraaminen ja lämmönotto energiakaivoista ei normaalioloissa ja oikein toteutettuna aiheuta merkittäviä ympäristövaikutuksia. Energiakaivojen poraaminen ja lämmönkeruuputkiston asentaminen on lähtökohtaisesti ympäristövaikutuksiltaan kuormittavampaa ja riskialttiimpaa kuin varsinainen tuotantovaihe. Porausvaihe voidaan rinnastaa

maa- ja kallioperään muutoksia aiheuttavaan rakennustoimintaan ja tuotantovaihe uusiutuvan energian tuotantolaitostoimintaan. Ympäristöriskit liittyvät lähinnä pohjaveteen, minkä takia energiakaivojen poraamista pohjavesialueille on viime vuosina rajoitettu. Porausvaiheen ympäristöriskit liittyvät porausjätteen, porauksessa käytettyjen kemikaalien ja vesien käsittelyyn, radonpitoisuuksiin graniittipitoisilla alueilla sekä meluun ja tärinään. Energiakaivojen poraamiseen ja käyttöön liittyviä ympäristöriskkejä sekä porauskaluston ja -menetelmän vaatimuksia on käsitelty laajemmin Energiakaivooppaassa (Juvonen & Lapinlampi, 2013). Opas ei kuitenkaan käsittele geotermisen energian syväreikäporaamista.

Kaivojen rakentaminen on luvanvaraista, ja luvan myöntämisen yhteydessä tarkastetaan ympäristöriskien mahdollisuus. Luvan yhteydessä voidaan myös asettaa vaatimuksia esim. porauspölyn ja porausvesien käsittelylle, porareian suunnalle ja ulottuvuudelle sekä porausajankohdille. On kuitenkin huomattava, että MRL:n mukainen toimenpidelupa poikkeaa monista muista viranomaisluvista siinä, että kaikki poraamisesta aiheutuvat vaikutukset ja mahdolliset vahingot jäävät luvan haltijan vastuulle huolimatta siitä, että viranomainen on luvan myöntänyt ja mahdollisesti asettanut toiminnalle lupaehtoja. Poraus- sekä lämmönkeruutekniikka on kehitetty ympäristöriskejä minimoivaksi. Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry eli Poratek on julkistanut normienergiakaivon kriteerit ja suosittelee porareiden ammattitutkinnon suorittaneita toimijoita laadun varmistamiseksi (Poratek, 2004).

4.3.1. Vaikutus pohjaveteen

Energiakaivon putkiston sisällä käytetään lämmönsiirtoaineena nykyisin lähes poikkeuksetta veden ja etanolin sekoitusta 28 % vahvuudessa. Suomessa yleisimmin käytetty tuote on Altian Naturet-maalämpöneste, jonka GeoSafe-versio on yleistynyt viime vuosina merkittävästi. Neste on myrkytöntä ja biohajoavaa, eikä se sisällä korroosioinhibiittia. Etanolin vuotaminen maaperään tai pohjaveteen esimerkiksi

energiakaivon putkiston rikkoutumisen seurauksena aiheuttaisi kuitenkin happipitoisuuden väliaikaisen alenemisen sekä makuhaittoja läheisissä vesikaivoissa. Asennuksen yhteydessä on varmistettava putkiston tiiviys koeponnistuksella, ja lämpöpumppu on varustettava vuodonilmaisimella. Vuodosta on tulee aina ilmoittaa kunnan ympäristönsuojeluviranomaisille. (Juvonen & Lapinlampi, 2013.)

Energiakaivojen poraamisen muodostamat riskit pohjavedelle riippuvat pohjavesimuodostuman piirteistä, ja tilanne tulisi arvioida tapauskohtaisesti. Poraaminen pohjavesialueilla voi aiheuttaa ongelmia, koska poraamisessa voidaan tapauskohtaisesti lävistää maankamaran eri kerroksia. Pohjavesiesiintymän maakerrosten puhkaisu saattaa mahdollistaa pinnalta valuvien vesien tai esiintymän pintakerroksissa sijaitsevien likaantuneiden pohjavesien (orsivesien) valumisen puhtaaseen pohjaveteen. Kerrosten puhkaiseminen voi aiheuttaa pohjavesiesiintymän hyvälaatuisen pohjaveden ja laadultaan huonomman kalliopohjaveden tai suolaisen kalliopohjaveden sekoittumisen. Orsivesikerroksen puhkaisemisesta voi aiheutua myös lähialueen maakerrokseen rakennettujen kaivojen kuivumista, kun pohjaveden pinta laskee orsivesikerroksen tyhjentyessä alapuolisiin maakerrokseen. Porareillä voi olla vaikutusta pohjaveden virtaussuuntaan eri kerroksissa olevien pohjavesien sekoittuessa, mistä voi seurata puhtaan pohjaveden laadun heikkenemistä.

Porattaessa saatetaan myös puhkaista paineellista pohjavettä salpaavat kerrokset. Tästä saattaa aiheutua pohjaveden pinnan haitallista nousua ja esimerkiksi lähialueen rakennusten kellarikerrosten kastuminen ja edelleen tarpeen rakentaa kuivatusjärjestelmä niille. Poraus voi myös muuttaa pohjaveden virtausolosuhteita ja täten vaikuttaa pohjaveden määrään. Kallioperän raoissa olevalle pohjavedelle voi avautua uusia kulkureittejä, mikä voi johtaa veden antoisuuden muutoksiin ja pahimmillaan lähistön kaivojen veden pinta alenee niin, että kaivoa ei voi enää käyttää talousvesikaivona. Kaivon antoisuus voi myös parantua energiakaivon avattua uusia reittejä vedelle. (Juvonen & Lapinlampi, 2013.)

4.3.2. Muita ympäristövaikutuksia

Jos porausvesiä halutaan johtaa viemäriin tai sadevesiviemäriin, siihen tarvitaan usein vesi- ja viemäri laitoksen lupa. Porausvesien laskeutuksessa käytetään erillisiä laskeutusaltaita, joiden avulla kiintoaine voidaan erotella ja johtaa puhdistettu vesi hulevesiviemäriin. Energia-kaivojen porauksella voi olla vaikutuksia pohjaveden pinnan korkeuteen, koska poraus voi avata vedelle uusia kulkureittejä kallioperässä. Poraus ja porareian huuhtelu saattavat aiheuttaa myös väliaikaisia laatumuutoksia läheisissä vesikaivoissa, kun kallioperästä irronnut hieno kiviaines kulkeutuu pohjaveden mukana toisiin kaivoihin. (Juvonen & Lapinlampi, 2013.) Tarpeen mukaan läheisten vesikaivojen veden laatua voidaan tarkkailla porauksen yhteydessä ja sen jälkeen. Geoenergian hyödyntämisellä ja energiakaivojen toiminnalla ei ole vaikutuksia kasvillisuuteen, joten geoenergian kerääminen on mahdollista myös esimerkiksi peltojen, puistojen ja istutusten alta.

Energiakaivolta rakennuksen sisälle johdetaan siirtoputkisto, jonka läpivienti rakennuksen seinän läpi tiivistetään huolellisesti. Erityisesti graniittisilla alueilla läpiviennin tärkeänä tehtävänä on estää radonin pääsy asuinrakennuksen sisälle. Asiaa on käsitelty Energiakaivo-oppaassa (Juvonen & Lapinlampi, 2013) ja radoniin liittyen lisätietoja saa Säteilyturvakeskuksen kautta.

Syviä geotermisiä kaivoja tai lämpökenttiä saatetaan porata kahdessa tai jopa kolmessa vuorossa. Kolmessa vuorossa poraaminen ei taajama-alueilla useinkaan ole sallittua, koska porauslaitteiston melu voidaan kokea häiritseväksi. Tämän vuoksi taajama-alueilla energiakaivon porauksesta on poraajan ympäristönsuojelulain 527/104 118 §:n mukaisesti tehtävä kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle sähköisesti ilmoitus tilapäistä melua ja ääntä aiheuttavasta toiminnasta (ns. meluilmoitus). Ilmoitus on tehtävä hyvissä ajoin ennen toimenpiteeseen ryhtymistä tai toiminnan aloittamista, kuitenkin viimeistään 30 vuorokautta ennen tätä ajankohtaa, jollei kunnan ympäristönsuojelumääräyksissä määrätä tätä lyhyemmästä

ajasta. Toimenpiteeseen ei saa ryhtyä tai toimintaa aloittaa, ennen kuin ilmoituksen tekemisestä on kulunut 30 vuorokautta tai kunnan ympäristönsuojelumääräyksissä määrätty tätä lyhyempi aika. Ilmoituksen käsittelevä viranomainen voi kuitenkin ilmoituksen johdosta tehtävässä päätöksessä sallia toimenpiteeseen ryhtymisen tai toiminnan aloittamisen edellä mainittua ajankohtaa aikaisemmin.

4.3.3. Seisminen riski

Keskisyvien ja syvien kaivojen tapauksessa tulee kiinnittää huomiota alueen seismiseen riskiin, jos kaivo on tarkoitus jättää seinämältään eristämättömäksi, eli siinä kiertävä lämmönkeruuvesi on kontaktissa kallioperän kanssa. Pääsiallisesti seisminen riski on pieni, sillä yksittäisen kaivon tapauksessa maankamaran vesi virtaa kohti kaivoa eikä siitä pois päin. Rakolliessa kalliiossa on kuitenkin riski, että vesi pääsee liikkumaan kaivosta ympäröivän kallion rakoihin, jolloin se muuttaa kiven jännitystilaa ja voi siten altistaa pienille, nk. indusoiduille, maanjäristyksille. Maanjäristyksen voimakkuus riippuu mm. siitä, kuinka laaja siirrosalue aktivoituu kerralla ja mikä on siirroksen suuntautuminen vallitsevaan jännityssuuntaan nähden. Syvemmillä kallioperässä siirrokseen tarvitaan suurempi jännitystilan muutos, eli syvemmillä kallioperässä indusoituu suurempia maanjäristyksiä. (Uski & Piipponen, 2019.)

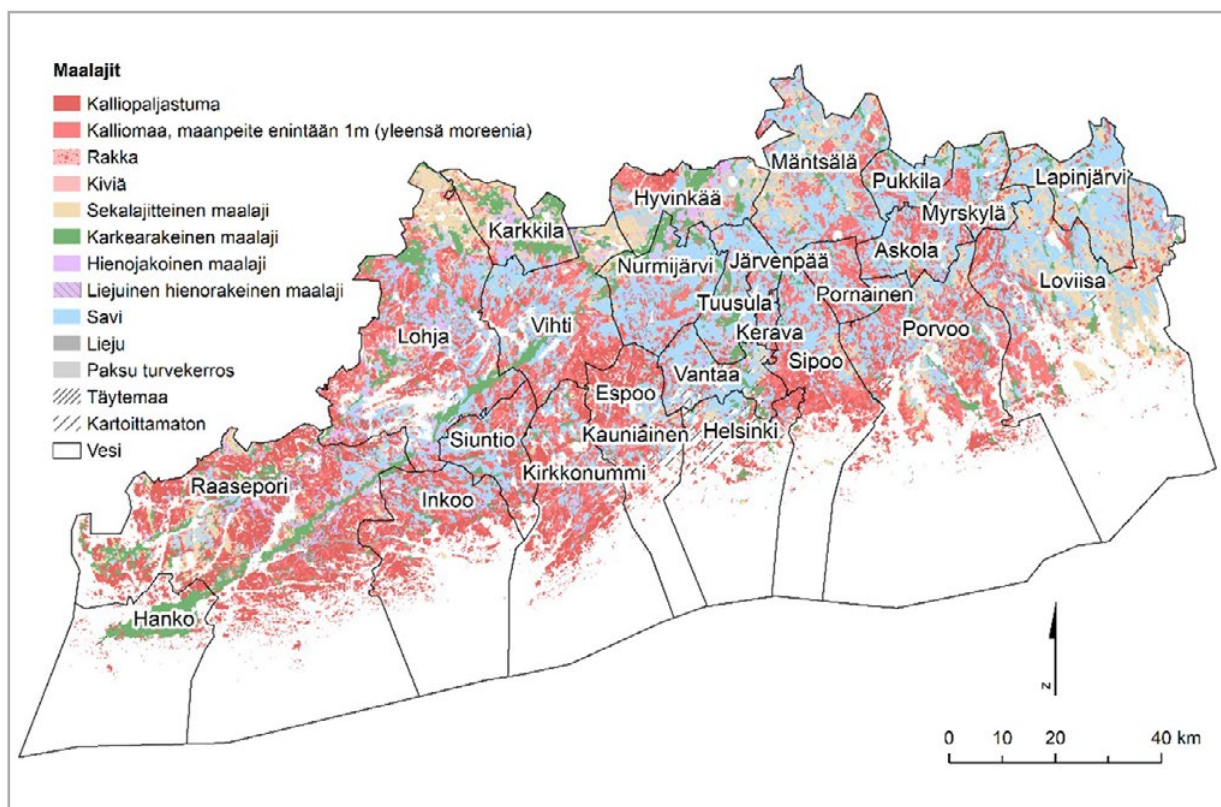
Suurimmillaan seisminen riski on tehostetuissa geotermisissä voimalaitoshankkeissa, eli EGS-hankkeissa, joissa veden on tarkoitus kiertää syöttökaivolta tuotantokaivolle. Tällaisten voimalaitosten rakennusvaiheessa kallioperää särötetään tarkoituksella kovalla vesipaineella. Hankkeita, joihin on kohonnut seisminen riski, suositellaan monitoroitavan riittävällä valvontaverkolla. Vaikka Suomessa tapahtuvat maanjäristykset ovat pääasiassa pieniä, ne saattavat aiheuttaa häiriötä voimakkaalla ja yllättävällä äänellä ja jossain tapauksessa rakennevaurioita rakennuksiin. Indusoiduilla maanjäristyksillä on myös vaikutus ihmisten mielikuvaan geotermisestä energiasta ja asenteisiin tulevia hankkeita kohtaan.

5. UUDENMAAN MAAKUNNAN GEOLOGISET PIIRTEET

5.1. Maaperägeologiset piirteet

Uudenmaan maakuntaa dominoivat laajat kalliialueet ja hienorakeiset maalajit (savi, siltti), joista ensin mainittuja on n. 34 % ja jälkimmäisiä n. 38 % koko maakunnan maa-alasta. Kallioalueilla voi esiintyä maapeitteitä vain 0-1 metrin paksuudelta. Rannikko ja pääkaupunkiseudulla savien ja eloperäisten (n. 5 % maa-alasta) maalajien yhteispaksuudet voivat olla jopa yli 25 metriä. Paksut hiekka- ja soraumuodostumat, kuten ensimmäinen ja toinen Salpausselkä sekä harjut sijaitsevat pääosin Uudenmaan länsi- ja

keskiosissa. Nämä alueet ovat myös tärkeitä pohjavesialueita. Laajoja moreenialueita (kumpu-/reunamoreeni) löytyy Uudenmaan itä- ja luoteisosista. Moreenipeitteet ovat keskimäärin 1-10 metriä paksuisia (Mäkinen et al., 2007), ja niitä esiintyy n. 11 % Uudenmaan maa-alasta. Lisäksi 1 % Uudenmaan maa-alasta on kartoittamattomia alueita, joita löytyy etenkin pääkaupunkiseudun alueelta. Uudenmaan maakunnan maaperägeologiset piirteet kuvassa 2 on yhdistetty Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoista 1:200 000 ja 1:100 000.



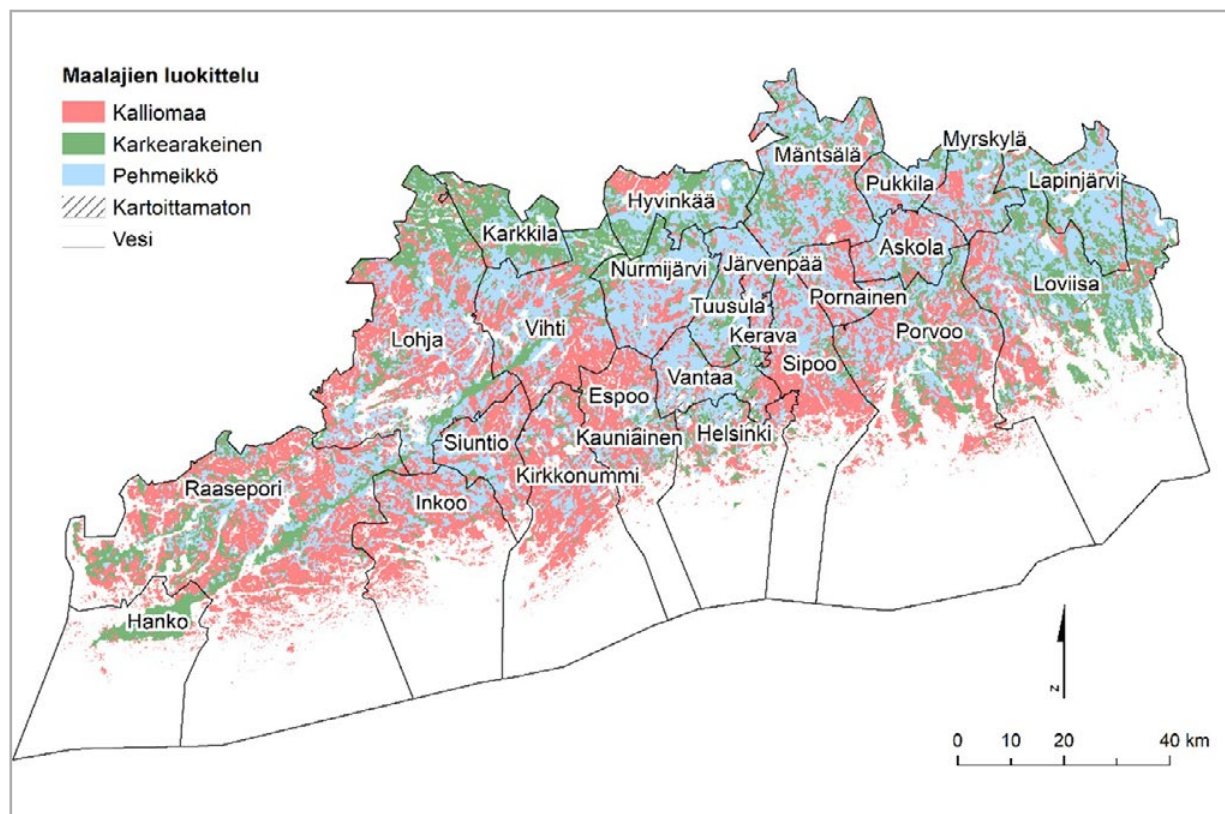
Kuva 2. Uudenmaan maakunnan maaperäkarta. Maaperägeologiset tiedot © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

Geoenergiapotentiaalilaskentaa varten maala-
jit jaoteltiin 4 luokkaan: kallio, karkearakeinen,
pehmeikkö ja kartoittamaton kuvan 3 mukai-
sesti. Karkea -luokkaan yhdistettiin moreeni
(=sekalajitteinen maalaji) sekä hiekka ja sora
(karkearakeinen maalaji). Pehmeikkö -luokkaan
yhdistettiin hienorakeiset (savi ja siltti) ja elo-
peräiset maalajit (lieju ja turve).

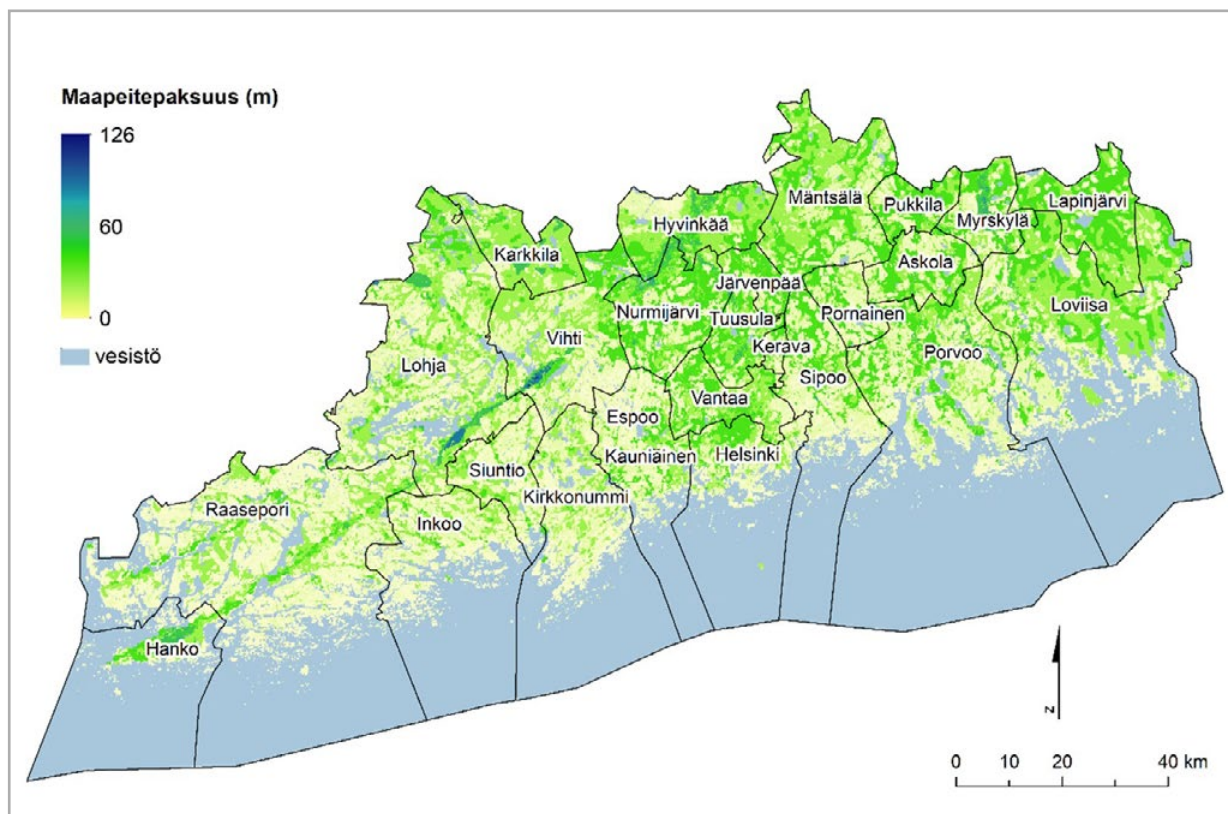
Uudenmaan maakunnan alueella esiintyy val-
takunnallisesti arvokkaita kallioalueita, harju-
alueita, moreenimuodostumia, tuuli- ja ranta-
kerrostumia sekä kivikko- ja maisema-alueita,
jotka voivat vaikuttaa geoenergian ja geoter-
misen energian hyödyntämisen mahdollisuuk-
siin. Tarkempia tietoja valtakunnallisesti arvok-
kaista geologisista muodostumista löytyy mm.
selvityksistä Husa ja Teeriaho (2004a; 2004b),
Mäkinen et al. (2007), Mäkinen et al. (2011) ja
Räisänen et al. (2018).

5.1.1. Maapeitepaksuus

Uudenmaan alueelle lasketut maapeitepaksuu-
det (Kuva 4.) myötäilevät maaperän piirteitä, ja
paksuimmat maapeitteet löytyvät Salpausselki-
en ja harjujaksojen alueilta hiekka- ja sora-
muodostumista, joissa maapeitepaksuudet voivat
olla paikoin jopa 80–120 metriä. Uudenmaan
maa-alasta yli 50 metriä paksumpia muodos-
tumia on vain alle 1 %. Alle 20 metrin maapei-
tepaksuuksia on Uudenmaan maa-alasta 78 %, ja
näitä alueita ovat kalliomaata, moreeni ja osa
matalista savikoista. 20–50 metriä paksuja
maapeitteitä Uudenmaan alueella on 20 %, joita
ovat matalammat hiekka- ja sora-
muodostumat sekä paksut savikot. Maapeitepaksuus
on laskettu ruutukoolle 100 m x 100 m. Maa-
peitepaksuuden lähtöaineistona on käytetty
GTK:n ja Maanmittauslaitoksen aineistoja (Tau-
lukko 1).



Kuva 3. Uudenmaan maakunnan maaperän maalajien luokittelu geoenergiapotentiaalia varten. Maaperägeologiset tiedot © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.



Kuva 4. Maapeitepaksuus Uudenmaan alueella (100 m ruutukoko).

Lähtöaineistot © Geologian tutkimuskeskus ja © Maanmittauslaitos. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

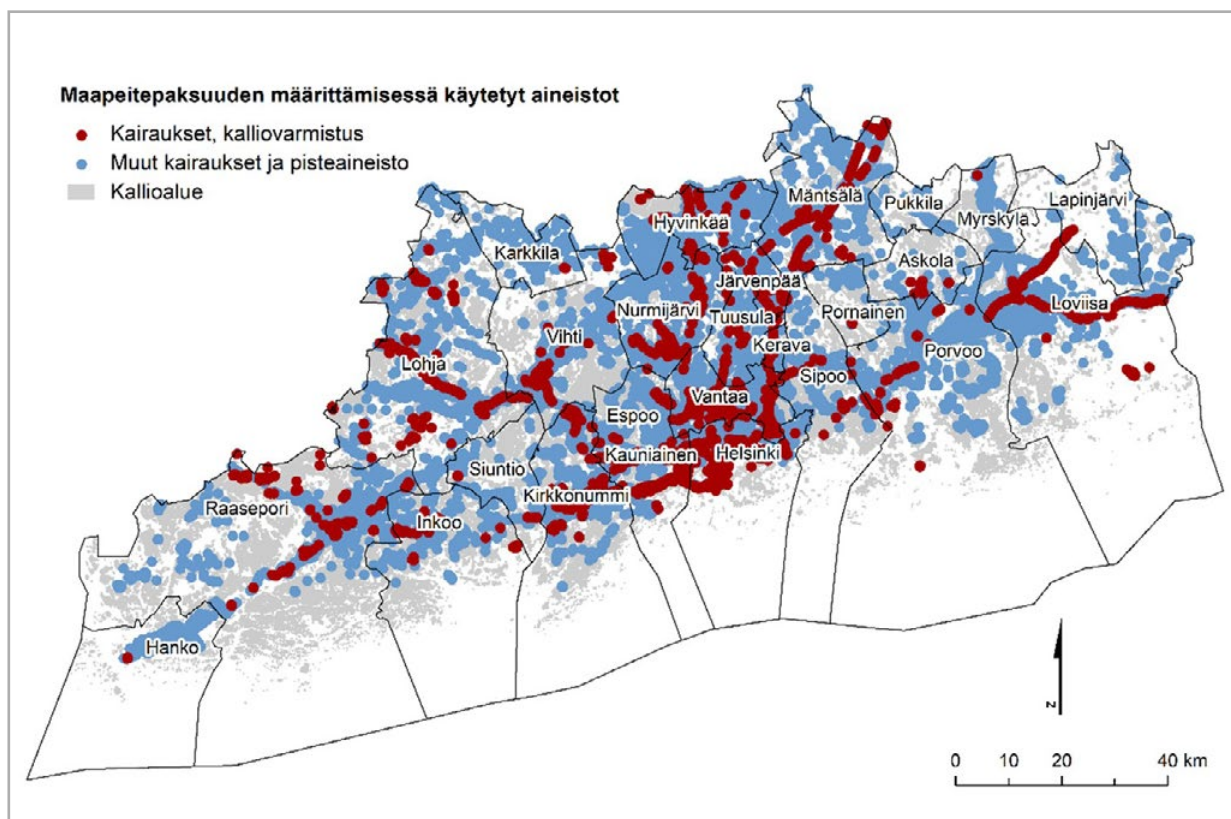
Taulukko 1. Maapeitepaksuuden arvioinnissa käytetyt aineistot.

Organisaatio	Lähtöaineisto	Havaintojen lukumäärä
GTK	Valtakunnallinen Pohjatutkimukset-palvelu (PTR):	
	- porakonekairaus (kalliovarmistettu)	18 766
	- porakonekairaus (varmistamaton)	5 793
	- painokairaus	94 865
	- heijarikairaus	6 005
	- puristin-heijarikairaus	5 132
	- muut kairaukset	624
	Loppi-kannan kairaustiedot	1186
	Kallioperäkairaukset, OKU	41
	Kallioperäkairaukset, GTK	290
	Kallionpinnan pistetietoja	2 438
	Kairauspisteet, GTK	5 706
	Maaperähavainnot	59
	Turvetutkimusten syvyystietoja	8 899
Maanmittauslaitos	Geofysikaaliset aineistot:	
	- painovoimatutkimuspisteet	34 523
	- seismiset luotaukset (alku- ja loppupiste)	252
	Yhteensä	184 579
	Maaperäkartat 1:200 000 ja 1:100 000	
	- kallio ja kallioma-alueet pisteinä	365 985
	Maapeitepaksuus 1:1 000 000	
	Korkeusmalli (Laserkeilaus 2m)	
	Haltik -pohjakartat (Maakuntarajat, vesistöt)	

Yhteensä havaintopisteitä on yli 184 000. Pisteistä 138 408 on erilaisia kairauksia, 2 497 on kallio- ja maaperän pistetietoja, 8 899 on turvetutkimusten syvyystietoja ja 34 775 geofysiikan mittauksista tulkittuja kallionpintapisteitä. Varma maapeitepaksuustieto saadaan kalliovarmistetuilla kairauksilla. Näitä aineistossa on yhteensä 20 283. GTK, ELY-keskus, alueen kunnat ja vesilaitokset ovat tehneet 1990-luvun puolestavälistä lähtien Uudellamaalla yhteistyössä pohjavesialueiden rakenneselvityksiä eli harjurakenneselvityksiä. Rakenneselvityksiä ja niiden jatkotutkimuksia on tehty Uudenmaan alueelta noin 50 kappaletta. Lisäksi kaksi selvitystä on (30.09.2020) tekeillä. Harjurakenneselvitysten paikkatietoaineistot ja raportit löytyvät GTK:n palveluista HAKKU (<https://hakku.gtk.fi>) ja Lähde (<https://lahde.gtk.fi>). Näiden rakenneselvitysten kairausaineistoja on hyödynnetty maapeitepaksuuden määrittämisessä. Lisäksi

maaperäkartojen kallioalueiden kuviorajauksista muodostettiin tasainen pisteverkko, joka kattaa lähes 366 000 pistettä. Nämä lisäävät maapeitepaksuuden arvioinnissa käytettyjen pisteiden määrän yli 550 000:een.

Pisteaineistosta muodostettiin rasterimuotoinen kartta, jossa solukoko on 100 metriä. Kartta muodostettiin siten, että jokainen solu saa sen sisältämien pisteiden syvimmän arvon. Uudellamaalla sijaitsee kuitenkin alueita, joista ei ollut saatavissa tutkimusaineistoa. Näillä alueilla maapeitepaksuuden arvioinnissa käytettiin GTK:n 1:1 000 000 Maapeitepaksuuskarttaa, jonka solukoko on 250 metriä. Viimeisenä aineistona lisättiin kalliovarmistettu pisteaineisto, jotta varmistettu maapeitepaksuustieto tulee huomioiduksi. Kaikki maapeitepaksuuden määrittämiseen käytetty pisteaineisto on esitetty kuvassa 5.

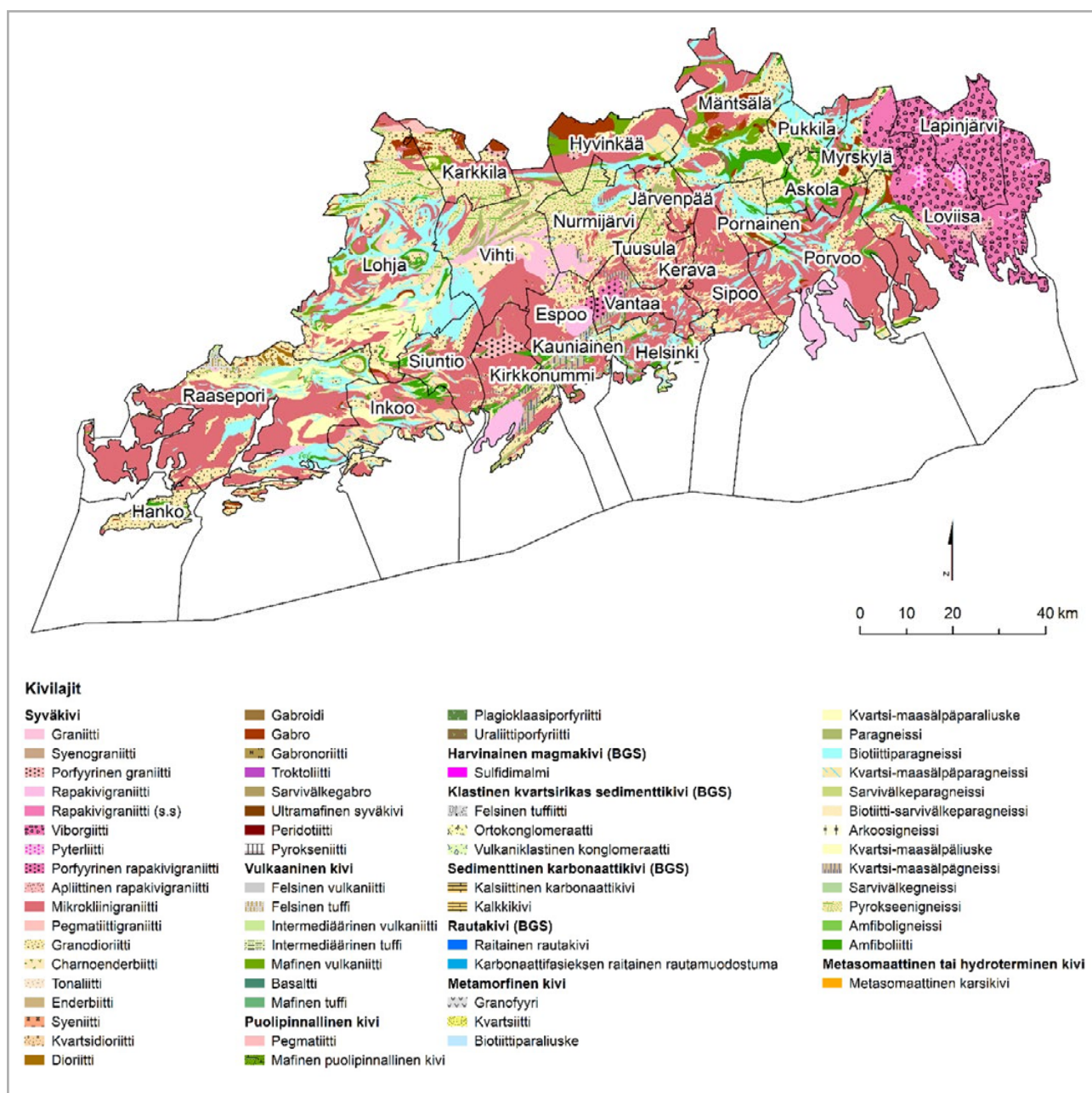


Kuva 5. Maapeitepaksuuden määrittämisessä käytetyt aineistot. Kalliovarmistetuilla kairauksilla (punaiset pisteet) saadaan lähes varma kallionpintatieto eli maapeitepaksuus. Muilla aineistoilla saadaan arvio maapeitteen paksuudesta. Harmaat alueet kuvaavat Uudenmaan kallioalueita. Valkoiset alueet kuvaavat vesistöjä ja kartoittamattomia alueita. Lähtöaineistot © Geologian tutkimuskeskus ja © Maanmittauslaitos. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

5.2. Kallioperägeologiset piirteet

Suomen kallioperä on osa Fennoskandian kilpeä ja Uudenmaan alue kuuluu Etelä-Suomen migmatiittivyöhykkeeseen. Kivilajit ovat syntyneet monivaiheisten geologisten prosessien tuloksena. Ne ovat kiteytyneet ja saaneet nykyisen asunsa syvällä maan kuoressa ja kohonneet pintaan muinaisten vuoristojen rapaututtua pois. Uudenmaan kivilajit voidaan jakaa karkeasti syväkiviin ja pintakiviin. Syväkiviä on alueella suunnilleen 70 % ja pintakiviä 30 %.

Syväkivet ovat syvällä magmasta kiteytyneitä ja siten melko tasalaatuisia. Pintakivet ovat muodostuneet maan pinnalle kerrostuneista sedimenttiaineksista ja vulkaanisista kivistä ja ovat usein kerroksellisia ja koostumus niissä vaihtelee paljon. Pintakivetkin ovat käyneet kerrostumisensa jälkeen syvällä maan uumenissa, missä ne ovat korkeassa paineessa ja kuumuudessa metamorfoituneet ja deformatuneet. Koko kallioperä on siten kiteistä ja tiivistä eikä huokoisia kivilajeja esiinny lainkaan. Kuva 6 esittää Uudenmaan kallioperää.



Kuva 6. Kivilajikartta Uudenmaan maakunnan alueelta. Kallioperägeologiset tiedot © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

Kallioperäkarttaa tarkasteltaessa on huomiotava, että se on yleistys, joka on suurelta osin tehty mittakaavassa 1:100 000. Kartalla on esitetty kartoitettujen kalliopaljastumien valitseva pääkivilaji. Alueilla voi kuitenkin esiintyä muitakin kivilajeja. Yhtenäiseltä näyttävän alueen sisällä voi olla paljonkin vaihtelua lähemmin tarkasteltuna, jolloin mahdollinen kivilajivaihtelu implikoi myös mahdollista lämmönjohtavuuden vaihtelua. Monin paikoin kallioperän rakenteet ovat pystyjä tai jyrkkiä, jolloin kivilajien jatkuvuutta voidaan jossain määrin ennustaa alaspäin. Laajojen syväkiviesiintymien voidaan olettaa jatkuvan syvemmälle. Loivempikaateisilla alueilla, joilla esiintyy vaihtelevia pintakivilajeja, kivilajivaihtelu alaspäin mentäessä voi olla merkittäväkin. Laaja-alaisessa geoenergian hyödyntämisen paikkakohtaisessa arvioinnissa suositellaankin paikan päällä tehtävää geologista kartoitusta ja termistä vastestettä (TRT-mittaus) tehollisen lämmönjohtavuuden lateraalisen vaihtelun selvittämiseksi energiakaivokentäksi suunnitellulla alueella.

5.2.1. Syväkivet

Uudellamaalla syväkivilajeissa graniittiset kivet ovat vallitsevia; niiden osuus on n. 70 %. Koko pinta-alasta on graniitteja n. 47 %. Graniitit ovat enimmäkseen ns. mikrokliinigraniitteja, jotka ovat sangen heterogeenisiä sisältäen jäännöksiä vanhemmista kivilajeista enemmän tai vähemmän sulautuneina. Karkearakeinen pegmatiittigraniitti on myös yleistä. Graniittialueita kulkee lännestä itään päin Uudenmaan eteläosassa Raaseporista Kirkkonummelle ja kapeampana vyöhykkeenä pohjoisreunalla Hyvinkäälle ja Mäntsälään. Nk. Veikkolan graniitti, joka sijaitsee Kirkkonummi–Vihti–Espoo-alueen keskiössä, on tasalaatuisempaa ja sisältää vähemmän jäänteitä. Sen sijaan esim. ”kolmiossa” Helsinki–Vantaa–Tuusula–Kerava–Järvenpää–Sipoo kivilajit ovat varsin seoksisia. Graniittialueilla saattaa olla suuri osuus muitakin kivilajeja. Toisaalta myös graniittista ainesta on paljon pintakivien seassa.

Homogeenisimpia graniitteja edustavat rapakivigraniitit, joita Uudellamaalla on neljä erillistä

esiintymää: Obbnäs Kirkkonummella, Bodom Espossa ja Vantaalla, Onas Porvoossa ja osa suurta Viipurin batoliittia Loviisan, Myrskylän ja Lapinjärven alueella. Ne ovat nuorempia eikä niissä ole seassa muita kivilajeja niin kuin muilla graniittialueilla saattaa olla. Rapakivistä on mitattu syväkivien korkeimmat lämmönjohtavuudet.

Granodioriitti on toiseksi yleisintä alueen syväkivistä ja lämmönjohtavuudeltaan jonkin verran heikompaa kuin graniitti. Kivissä tosin esiintyy myös paljon graniittituumista, jolloin samallakin kalliopaljastumalla saattaa osassa koostumus olla alkuperäinen granodioriitti ja osassa se on muuttunut graniitiksi. Hangossa, Pornaisissa, Askolassa ja Mäntsälässä on granodioriittia suurilla alueilla ja graniitti on vähäisempää.

Gabroja esiintyy lähinnä Uudenmaan pohjoisosissa ja pyrokseenitonaliitteja (charno-enderbiittejä) Lohjan, Vihdin ja Karkkilan alueella. Nämä ovat edellisiä huomattavasti lämpöä johtavia kiviä samoin kuin kvartsidioriitit ja dioriitit, joita alueella ei paljoa olekaan.

Syväkivien koostumuksissa toisessa päässä, missä kvartsia ei ole lainkaan, ovat ultramafiset syväkivet, jotka myös ovat hyvin lämpöä johtavia. Niiden korkean lämmönjohtavuuden voidaan tulkita johtuvan alhaisesta maasälpäpitoisuudesta, mutta korkeasta pyrokseeni- ja oliviinipitoisuudesta (Peltoniemi & Kukkonen, 1995). Esiintymät Uudellamaalla ovat pieniä, alle neliökilometrin kokoisia paitsi Mäntsälässä yksi n. 1.7 km² laajuinen alue. Enimmät alueet sijaitsevat Lohjalla, Karkkilassa, Mäntsälässä ja Pukkilassa.

Koko Etelä-Suomessa graniittialueilla on kallioperässä keskimääräistä korkeampi uraanipitoisuus. Uudellamaalla tunnettuja uraniesiintymiä ovat Palmottu ja Hyrkkölä Vihdissä ja Kovelä Lohjalla, Lakeakallio, Luhti ja Särkijärvi Askolassa sekä Käldö Loviisassa. Nämä ovat kuitenkin pieniä ja taloudellisesti kannattamattomia esiintymiä. Paikoin porakaivojen vesissä on tavattu korkeita uraani- ja radonpitoisuuksia.

5.2.2. Pintakivet

Pintakivet ovat gneissiytyneitä ja yleensä kivilajit muodostavat kapeita liuskeisuuden kulun suuntaisia vyöhykkeitä jotka vaihtuvat toisikseen ilman selviä rajoja. Seassa on usein myös vanhimpia gneissiytyneitä syväkiviä. Joukkoon on vielä myöhemmin tunkeutunut juonina ja suonina mikrokliinigraniittia. Kartalla on gneissialueilla esitetty kivilaji, jota alueella esiintyy eniten mutta muita kiviä voi seassa olla runsaastikin.

Pintakivistä paras lämmönjohtavuus on kvartsiitilla, jota on vain pieni Katilansuon kvartsiitti Hyvinkäällä. Se on kvartsi-maasälpägneississä kerrospatjana, joka on pituudeltaan n. 2 km ja leveydeltään sadan metrin molemmin puolin.

Kvartsi-maasälpägneisseillä ja -liuskeilla on mitattu hyviä lämmönjohtavuuksia. Tämä kivilajiryhmä on myös hyvin heterogeeninen koostuen pääasiassa kerrostuneista hiekoista ja happamasta vulkaanisesta aineksesta mutta lisäksi seassa on ollut hyvin usein enemmän tai vähemmän myös savia ja emäksisempiä vulkaanisia kiviä. Päämineraaleina on kuitenkin kvartsi ja maasälvät. Niiden prosenttiosuudet vaihtelevat paljon joten myös kivien lämmönjohtavuusarvot saattavat vaihdella paljonkin. Kvartsi-maasälpägneissien ja -liuskeiden osuus pintakivistä on n. 29 %.

Laajimmat yhtenäiset kvartsi-maasälpägneissialueet sijaitsevat Lohjan alueen eteläkolmanneksella ja itä-länsisuuntaisia vyöhykkeitä on Raaseporin, Inkoon ja Siuntion alueella. Samaisia kiviä jatkuu Kirkkonummelta Espoon kautta Vantaalle ja Helsinkiin koillis-lounassuunnasta. Sipoon eteläosassa on jälleen kvartsi-maasälpägneissisiä itä-länsisuuntaisina alueina. Pohjoisessa Hyvinkään kvartsiitin ympärillä on myös yhtenäinen alue. Lisäksi on pieniä hajanaisempia alueita pohjoisessa ja idässä.

Kvartsi-maasälpägneissit vaihtuvat yleisesti kiillegneissiksi. Kiillegneisseillä lämmönjohtavuudet ovat heikkomat kuin kvartsi-maasälpägneisseillä. Myös emäksiset vulkaniitit ja amfiboliitit (joiden alkuperä on myös usein

emäksinen vulkaniitti) ovat heikompia lämmönjohtavuudeltaan. Näitä kivilajeja esiintyy runsaasti, paikoin suurinakin alueina.

Pyrokseenigneissien alkuperä on useimmiten sedimenttinen ja/tai vulkaaninen mutta niiden metamorfoosiaste on korkeampi kuin edellä mainituilla. Vaihtelevasta lähtömateriaalista johtuen niiden lämmönjohtavuusarvot voivat olla hyvin erilaisia eri alueilla. Melko laajalla alueella Lohjalla, Karkkilassa, Vihdissä ja etenkin Nurmijärvellä esiintyy pyrokseenigneissejä, joissa siis saattaa olla lämmönjohtavuudeltaan hyviäkin kiviä vaikka kivilajin keskiarvolämmönjohtavuus ei ole erityisen hyvä.

Kalkkikiviä ja karsia on paikoin kvartsi-maasälpägneissien ja pyrokseenigneissien yhteydessä. Ne esiintyvät välikerroksina ja ovat vähäisiä, leveydeltään senttimetrejä tai metrejä.

Kallioperäkartalla näkyvät mustaliuskeet ovat aerosähkömagneettisen aineiston perusteella tehtyjä tulkintoja. Maastohavaintoja tai kairauksia ei ole, mutta on kuitenkin todennäköistä, että mustaliuskeita esiintyy Lohjan ja Raaseporin alueilla.

Uudenmaan maakunnan alueella esiintyvät tunnetut malmiesiintymät ovat pieniä, ja niiden mittaluokka on muutamia metrejä. Aktiivisia kaivoksia ei ole, mutta historiallisia louhoksia on useita. Niistä on louhittu lähinnä rautaa, kuparia ja sinkkiä. Suurin osa esiintymistä sijoittuu Lohjan eteläosiin ja Raaseporin pohjoisosiin. Helsingin ja Espoon vanhoista malmiaiheista ja kaivoksista on kirjoitettu julkaisussa Helsingin seudun vanhat kaivokset ja louhokset (Saltikoff et al., 1994).

5.2.3. Kallioperän siirrokset ja heikkousvyöhykkeet

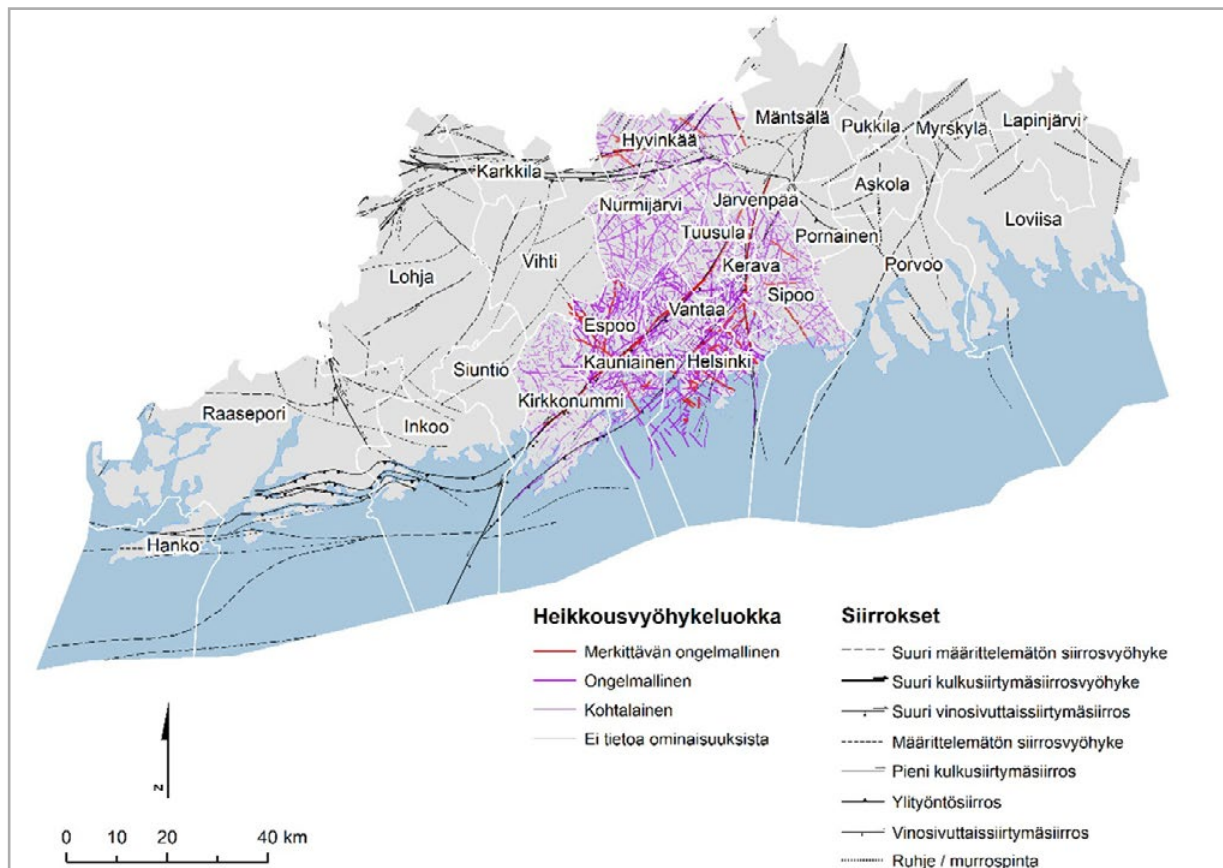
Kallioperän siirrokset koko Suomesta on tuotettu mittakaavaan 1:100 000. Kuvassa 7 on esitetty mustilla viivoilla GTK:n tietokannasta poimitut, havaitut ja tutkitut kallioperän siirrosvyöhykkeet ja ruhjeet Uudenmaan maakunnan alueelta. Merkittävin Uudellamaalla sijaitseva

siirrosvyöhyke on koillis-lounaissuuntainen nk. Porkkala-Mäntsälä-vyöhyke, joka kulkee Kirkkonummelta Tuusulaan. Paikoin rakenteita on tutkittu tarkemmassa mittakaavassa enemmänkin, jolloin havaintoja on enemmän, ja alue näyttää kartalla ympäristöään rikkonaisemmalta. Rakoi- lu ja rikkoutuminen ovat yleensä voimakkaam- paa siirrosten yhteydessä. Siirroksia, joissa kal- lioperä on rikkonaista, kutsutaan heikkous- tai rikkonaisuusvyöhykkeiksi ja ne ovat hyvin eri laajuisia. Suurimmat erottuvat topografiassa laaksoina. Kuitenkin esimerkiksi tunnelirakenta- misessa on tullut vastaan metrejä leveitä rikko- naisuusvyöhykkeitä, joista ei ole mitään viitet- tä maan pinnalla. Näin on usein etenkin loiva- asentoisten rakenteiden kohdalla.

Kallioperän rakennettavuuteen kantaa ottava heikkousvyöhykekartta on toistaiseksi tehtynä Pääkaupunkiseudulta (Heikkousvyöhyketuote) ja sen ympäryskunnista (ei tuotteena, mutta saatavilla) (Kuvassa 8 värilliset viivat). Koko Uudenmaan alueella on pitkiäkin topografisia

painanteita, joissa voi olla rikkonaisuutta ym- päriällä ja syvällä, mutta niitä ei toistaiseksi ole tutkittu.

Siirrosvyöhykkeiden läheisyydessä poraamiseen ja veden kierrättämiseen kallioperässä liittyy seisminen riski. Riski liittyy pääasiassa keskisy- viin ja syviin kaivoihin, joita ei ole putkitettu, eli kaivossa kiertävä vesi on suoraan kontaktissa kallioperään. Riski on suurimmillaan laajoissa siirroksissa. Syväporauksessa tulee ottaa huo- mioon siirroksen kaade, eli suunta, johon siirros jatkuu maan alla, ja että useimmat rikkonai- suusvyöhykkeet eivät näy maan pinnalle. Kuvan 8 kartassa esitetyt heikkousvyöhykeluokat kos- kevat alueen rakennettavuutta, joten ne eivät suoraan indikoi seismistä riskiä, mutta jos alue on ongelmallinen rakennettavuuden kannalta, alueen rakennukset voivat olla myös alttiita vaurioille maanjäristyksen sattuessa. Seismistä riskiä pystyy minimoimaan hyvällä taustatutki- muksella alueen geologiasta sekä porauksen ja käytön aikaisella seismisellä monitoroinnilla.



Kuva 7. Uudenmaan maakunnan alueen merkittävimmät siirrokset ja pääkaupunkiseudun heikkousvyöhykekartta. Mustat viivat kuvaavat kallioperän siirroksia. Ne on luokiteltu koon ja liikesuunnan mukaan. Värilliset viivat Espoo-Helsinki-Vantaa-alueelta kuvaavat heikkousvyöhykkeitä, joissa luokittelu on tehty rakennettavuuden mukaan. Kallioperägeologinen aineisto ja Geomallit -tuote © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

6. GEOENERGIAN JA GEOTERMISEN ENERGIAN POTENTIAALI

Geoenergian ja geotermisen energian potentiaalilla kuvataan joko maankamaraan sitoutuneen lämpöenergian määrää (esim. MWh) tai sitä, kuinka paljon tästä energiasta saadaan vuosittain otettua lämmityskäyttöön yhdellä lämpökaivolla (esim. MWh/v). Potentiaalin suuruuteen vaikuttavat oleellisesti seuraavat tekijät:

- maanpinnan vuotuinen keskilämpötila,
- maan sisuksista kohti maan pintaa virtaavan lämmön määrä (geotermisen lämpövuon tiheys),
- kalliota peittävän maakerroksen paksuus, lämmönjohtokyky ja lämmönvarastointikyky sekä
- kallion lämmönjohtokyky ja lämmönvarastointikyky.

Kaikkien em. tekijöiden suuruudet selvitettiin Uudenmaan alueella potentiaalien arviointia varten. Lämpökaivosta saatavan potentiaalın suuruuteen vaikuttavat lisäksi myös lämpökaivon ominaisuudet ja sillä tehtävän lämmönoton luonne:

- lämpökaivon pituus ja halkaisija,
- lämmönkeruuputkiston materiaali ja mitat (sisä- ja ulkohalkaisija),
- lämmönkeruunesteen fysikaaliset ominaisuudet ja kiertonopeus sekä
- lämmönoton kesto, vuotuinen suuruus ja ajallinen vaihtelu.

Geoenergiapotentiaali ja keskisyvän geoenergian potentiaalit laskettiin yhdestä lämpökaivosta vuosittain saatavan geotermisen energian määrinä (MWh/v). Sen sijaan syvä geotermisen potentiaali laskettiin maankamaraan sitoutuneen lämpöenergian määränä (TWh).

Potentiaalikarttojen tarkoituksena on tuoda esille alueellisia eroja geoenergian ja geotermisen energian määrissä. Tästä syystä potentiaalın suuruus on kuvattu kartoissa laadullisesti. Karttojen numeroarvot kuvaavat geoenergian ja geotermisen energian teoreettisia potentiaaleja eivätkä ne sovellu energiakaivojen, kaivokenttien tai geotermisen energian tuotantokaivojen mitoittamiseen.

6.1. Geoenergiapotentiaali

Geoenergian eli maalämmön potentiaalın laskennassa lämpökaivon ja lämmönoton teknisen toteutuksen vaikutukset tulokseen minimoitiin, koska potentiaalın haluttiin kuvaavan ensisijaisesti geologisten tekijöiden vaikutusta ja alueellista vaihtelua. Tämä toteutettiin siten, että lämmönkeruuputkistoa ei huomioitu laskennassa lainkaan ja lämpöenergian kulutusprofiili pidettiin laskennassa tasaisena. Lämpökaivon halkaisijaksi oletettiin 140 mm ja syvyydeksi 300 metriä. Kaivolla oletettiin otettavan lämpöä maankamarasta 50 vuotta ennen kuin sen seinämän lämpötila laskee nolnaan celsiusasteeseen. Nollaa celsiusastetta pidettiin kaivon seinämän minimilämpötilana, koska sen alle mentäessä lämpökaivoa täyttävä pohjavesi alkaa jäätyä vaarantaen kaivon toiminnan. Jäätyvä vesi voi rusentaa lämmönkeruuputkistoa laajetessaan, jolloin lämpökaivon toiminta heikkenee oleellisesti ja pahimmassa tapauksessa lakkaa kokonaan putkiston rikkoutuessa.

Geoenergiapotentiaali on esitetty kuvan 8 kartassa, joka kuvaa siis sitä, kuinka monta megawattituntia energiaa yhdestä 300 metriä syvästä kaivosta voitaisiin ottaa joka vuosi 50 vuoden ajan, ennen kuin kaivo alkaisi jäätymään ja sen toiminta vaarantuisi. Karttaa

6.2. Keskisyvän geotermisen energian potentiaali

Geoenergiapotentiaali (MWh/a)

- Erinomainen (80)
- Kiitettävä (65)
- Hyvä (50)

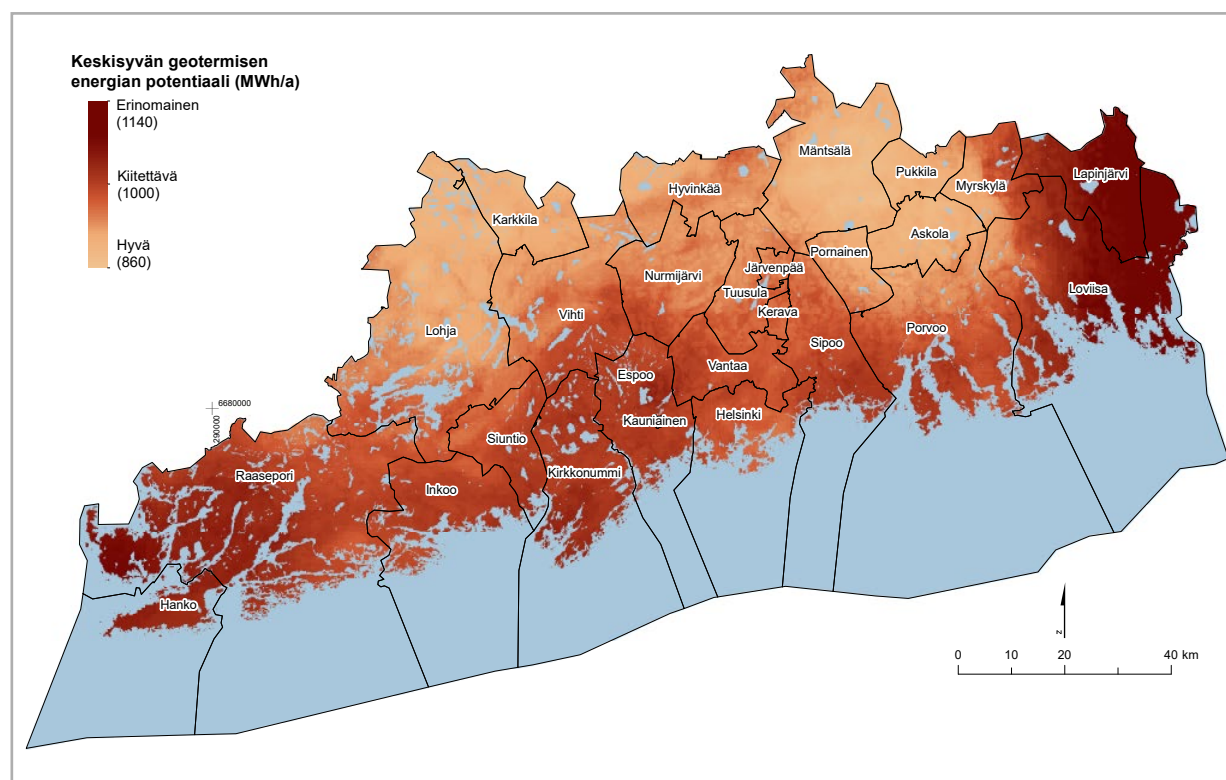
30

tapauksessa minimilämpötilana, koska lämmönkeruunesteeksi oletettiin vesi, jonka jäätyminen saattaisi vaarantaa järjestelmän toiminnan vesikierron estyessä ja/tai koaksiaaliputken puristuksessa kokoon.

Keskisyvän geotermisen energian potentiaali on esitetty kuvan 9 kartassa, joka kuvaa siis sitä, kuinka monta megawattituntia energiaa yhdestä 2 kilometriä syvästä kaivosta voitaisiin ottaa joka vuosi 50 vuoden ajan, ennen kuin kaivo alkaisi jäätymään ja sen toiminta vaarantuisi. Tässäkin tapauksessa karttaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon se, että laskennassa käytetty kulutusprofiili oli tasainen, minkä johdosta keskisyvän geotermisen energian potentiaalinv arvot ovat suurempia kuin mitä ne realistisilla kulutusprofiileilla olisivat. Numeroarvot on tässäkin kartassa muunneltu laadullisiksi välille hyvä – erinomainen. Kuvan 9 kartassa korostuu itäisen ja toisaalta myös läntisen Uudenmaan erinomainen keskisyvän geotermisen energian potentiaali sekä yleispiirteenä pohjoisen ja eteläisen Uudenmaan potentiaalinv tasoero.

6.3. Syvän geotermisen energian potentiaali

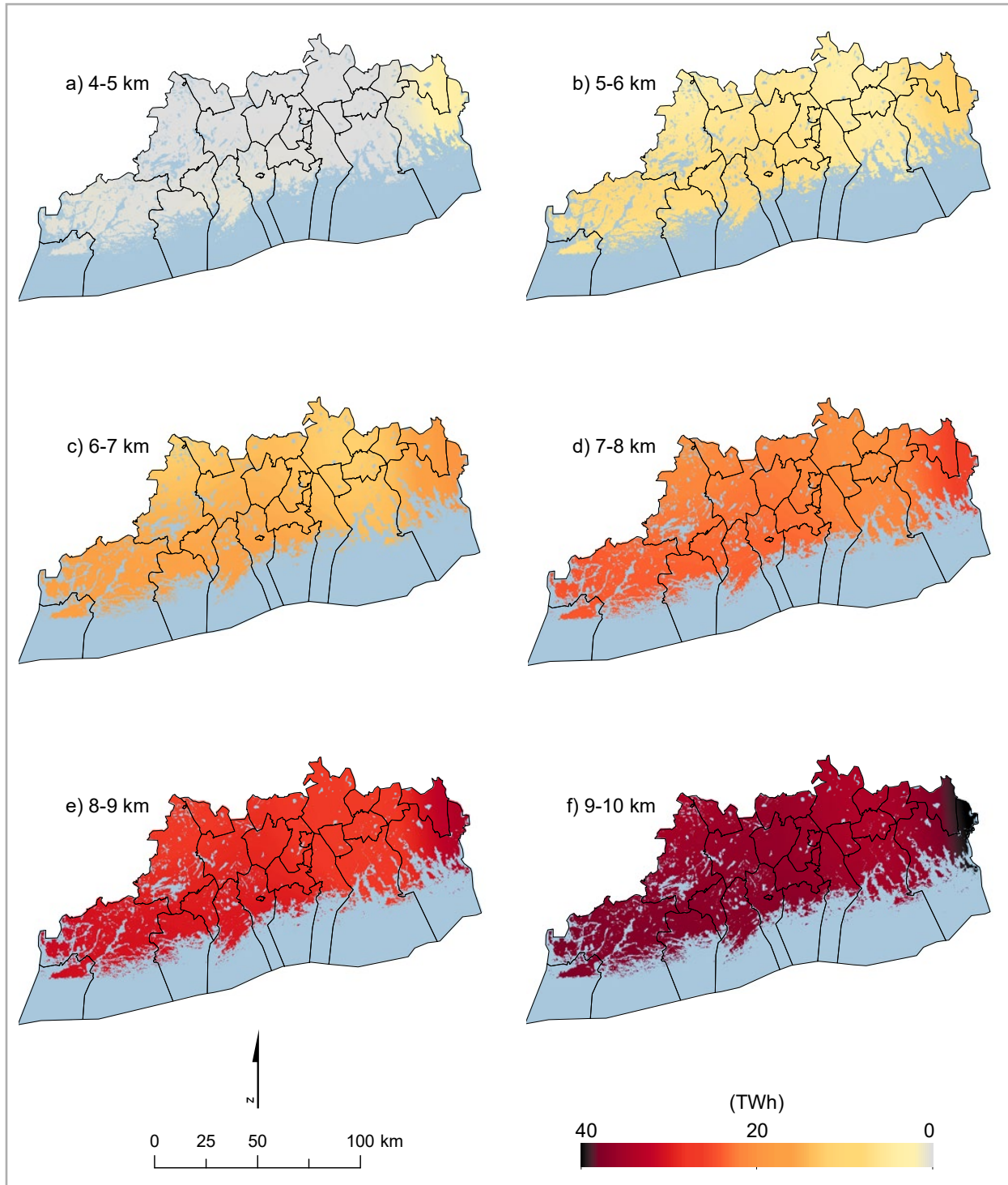
Syvän geotermisen energian hyödyntäminen eroaa oleellisesti toteutukseltaan lämpökaivoilla tehtävästä geoenergian ja keskisyvän geotermisen energian hyödyntämisestä. Siksi syvän geotermisen energian potentiaali laskettiin eritavalla. Uudenmaan kallioperä jaettiin kilometrin paksuisiin kerroksiin aina 10 kilometrin syvyyteen saakka. Kukin kerros jaettiin edelleen kuutionkilometrin kokoiisiin kivilohkoihin, joille laskettiin kuinka paljon lohkon keskilämpötilan laskeminen 70 celsiusasteeseen vapauttaisi lämpöenergiaa. Loppulämpötilaksi valittiin 70 astetta, koska se on lämpötila, jota voidaan pitää riittävänä matalan lämpötilan kaukolämpöverkkoihin (esim. Castro Flores et al., 2017). Koska 70 celsiusasteen lämpötiloja löytyi vasta 4 kilometrin alapuolelta, tulokseksi saatiin 6 karttaa syvyyksille 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9 ja 9–10 km (kuva 10).



Kuva 9. Uudenmaan keskisyvän geotermisen energian potentiaali, joka vaihtelee välillä hyvä – erinomainen (860–1140 MWh/a). Keskisyvä geotermisen potentiaali © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

Kuvassa 10 esitetyt kartat kuvaavat siis sitä, kuinka paljon kultakin syvyysväliltä yhdestä kuutiokilometrin kokoisesta kivilohkosta saataisiin lämpöenergiaa, jos sen keskilämpötila laskettaisiin 70 celsiusasteeseen. Kartoissa ei oteta lainkaan kantaa siihen, millä teknologialla toteutuksella lämpöenergiaa otettaisiin

kallioperästä. Ainoaksi vaihtoehdoksi kerätä lämpöenergiaa näin syvältä jää kuitenkin vain tehostettu geoterminen systeemi (EGS), jolloin kartta-arvoista saataisiin lämmityskäyttöön todennäköisesti vain murto-osa (esim. Grant & Garg, 2012).



Kuva 10. Syvä geoterminen potentiaali Uudellamaalla. Kartat esittävät geotermisen lämpöenergian määrää terawattitunteina kuutiokilometrin kokoiselle kalliolohkolle ilmoitetulla syvyysvälillä. Syvän geotermisen energian potentiaali © Geologian tutkimuskeskus. Kuntarajat © Maanmittauslaitos.

6.4 Uudenmaan alueen soveltuvuus geoenergian ja geotermisen energian tuotantoalueeksi

Uusimaa sijaitsee Etelä-Suomessa, jossa geologiset ja ilmastolliset olosuhteet ovat otolliset geoenergian ja geotermisen energian hyödyntämiselle. Uudellamaalla esiintyvien kivilajien lämmönjohtokyky on pääosin korkea (3,0 W/m·K tai yli) ja kalliota verhoaa suhteellisen ohut maapeite. Lisäksi korkeammat ilman vuosittaiset keskilämpötilat muuhun maahan verrattuna implikoivat korkeampia lämpötiloja myös maankamarassa. Maakunnan alueen maankamarassa on valtava määrä lämpöenergiaa, josta hyödynnetään nykyisellään vain murto-osa. Uudenmaan alue onkin yksi parhaimmin soveltuvista alueista Suomessa hyödyntää geoenergiaa ja geotermistä energiaa niiden eri muodoissa.

Kallioperägeologisesti Uudenmaan maakunnan alue koostuu pääosin erilaisista graniiteista, joilla on hyvän lämmönjohtavuuden lisäksi suotuisat rakoiluominaisuudet ja porattavuuden ennustettavuus. Niin perinteisen maalämmön kuin keskisyvän ja syvän geotermisen energian hyödyntämisen näkökulmasta Uudenmaan potentiaalia nostavat erityisesti tasalaatuiset rapakivialueet, joita esiintyy Kirkkonummella, Espoossa, Vantaalla ja Porvoossa. Merkittävin rapakivialue sijaitsee itäisellä Uudellamaalla Loviisassa ja Lapinjärvellä, missä esiintyy Viipurin batoliitiksi kutsuttu wiborgiitti-alue. Graniiteista wiborgiitilla on mitattu korkeimpia lämmönjohtavuuksia. Myös pääkaupunkiseudulla on graniittisia kivilajeja, mutta niihin liittyy enemmän epävarmuutta kivilajin lämmönjohtavuuden suhteen. ”Kolmiossa” Helsinki-Vantaa-Tuusula-Kerava-Järvenpää-Sipoo kallioperä on migmatitiittutunut eli kivilajit ovat varsin seoksia ja ne voivat sisältää jäänteitä myös muista kivilajeista. Tällöin lämmönjohtavuus voi vaihdella laajastikin, mikä on syytä huomioida suunniteltaessa geoenergian ja geotermisen energian ratkaisuja. Graniittisen vyöhykkeen pohjoispuolella, Uudenmaan maakunnan alueella esiintyy pintakiviä, mm. erilaisia gneissejä, liuskeita ja vulkaanisia kiviä. Näillä kivilajeilla lämmönjohtavuus on pääosin alhaisempi kuin eteläisen

Uudenmaan graniittisella syväkivivyöhykkeellä ja lisäksi runsaammasta kivilajivaihtelusta johtuen myös heterogeenisempi.

Geoenergian eli maalämmön potentiaali Uudellamaalla vaihtelee geologisten tekijöiden vaikutuksesta välillä hyvä – erinomainen, ja yhden 300 m syvän energiakaivon teoreettinen vuosituotto on välillä 50–80 MWh. Laskennallisista yksinkertaistuksista johtuen lukuarvot ovat suuremmat kuin mitä todellisen energiakaivon tuotto olisi. Uudenmaan geoenergiapotentiaalin kannalta yksittäinen merkittävin alueellisia eroja luova tekijä on kallioperän lämmönjohtavuus, kuitenkin niin, että myös heikoimman lämmönjohtavuuden alueella voidaan hyödyntää geoenergiaa. Heikomman potentiaalin alueella asiaa voidaan kompensoida energiakaivojen mitoituksen kautta joko poraamalla syvempiä kaivoja tai useampia kaivoja, tai hybridiratkaisun kautta yhdistämällä kokonaisjärjestelmään geoenergian lisäksi toinen, tukeva lämmitysmuoto.

Potentiaalisimmat keskisyvän geotermisen energian alueet Uudenmaan maakunnan mitakaavassa ovat geologisista tekijöistä johtuen Hanko, Raaseporin länsiosa, Loviisa ja Lapinjärvi. Myös Kirkkonummi, Espoo, Kauniainen, Sipoo ja Porvoo erottuvat kartalta muuta ympäristöään potentiaalisempina. Keskisyvän geotermisen energian potentiaali näyttää Uudellamaalla riippuvan erityisesti kallioperän geotermisestä lämpövuosta. Myös keskisyvän geotermisen energian potentiaali vaihtelee Uudellamaalla hyvän ja erinomaisen välillä. Yhden 2 km syvän energiakaivon teoreettinen eli laskennallinen lämpöenergian tuotto on Uudellamaalla välillä 800–1000 MWh vuodessa. Käytännössä tuotto jää kuitenkin teoreettisia lukemia pienemmäksi. Kaivon tuottoa voidaan parantaa lataamalla kaivoon esim. hukkalämpöä tai aurinkolämpöä kesäaikaan.

Uudenmaan maakunnan alue soveltuu kautta linjan myös syvän geotermisen energian hyödyntämiseen. Uudellamaalla 100 celsiusasteen lämpötila saavutetaan kallioperässä noin 6–7 kilometrin syvyydessä. Huomioimalla teoreettisissa laskelmissa käytetty reunaehto

eli kallioperän lämpötilan laskeminen 70 celsiusasteeseen, kallioperään sitoutuneen lämpöenergian määrän vaihteluksi Uudellamaalla, kullakin syvyysvälillä 4–5 km, 5–6 km, 6–7 km, 7–8 km, 8–9 km ja 9–10 km, saadaan 0–36 TWh. Tällä reunaehdolla geotermistä energiaa on saatavilla syvyysväliltä 4–5 km ainoastaan Loviisan ja Lapinjärven kuntien alueilta, missä esiintyy Viipurin rapakivibatoiliitti. Tällä alueella on muuta ympäristöä korkeampi lämmönjohdavuus ja lämpövuon tiheys. Syvän geotermisen energian osalta on kuitenkin huomioitava, että näiltä syvyyksiltä on käytettävissä erittäin vähän mitattua tietoa, joten Uudenmaan syvän geotermisen energian potentiaalikaartaan liittyy geoenergian ja keskisyvän geotermisen energian potentiaalikaarttoja enemmän epävarmuutta.

Uudenmaan maakunnan pinta-alasta noin 8 % on pohjavesialueita. Pääkaupunkiseudun ulkopuolisista taajamista mm. Hanko, Raaseporin Tammisaari ja Karjaa, Lohja, Vihdin Nummela ja Ojakkala, Nurmijärven Kirkonkylä, Röykkä ja Rajamäki, Hyvinkää, Järvenpää, Karkkila, Mäntsälä, Myrskylä, Pukkila, Pornainen, Porvoo, Tuusulan Hyrylä sekä Loviisa sijoittuvat suurelta osin pohjavesialueille, jolloin geoenergiaa ja geotermistä energiaa näissä taajamissa voidaan hyödyntää rajatusti. Uudenmaan kunnista Espoo, Helsinki, Järvenpää, Karkkila, Kirkkonummi, Lapinjärvi, Loviisa, Mäntsälä, Porvoo ja Vihti ovat kieltäneet energiakaivojen poraamisen pohjavesialueille ilman vesilain mukaista lupaa rakennusjärjestyksissään tai ympäristönsuojelumääräyksissään. Hangossa, Lohjalla, Nurmijärvellä ja Sipoossa niissä on kielletty maa- lämpökaivojen poraus alle 500 metrin etäisyydellä vedenottamosta. Keravalla, Loviisassa ja Lapinjärvellä lämpökaivot on täysin kielletty vedenottamon suoja-alueilla. Lämpökaivojen rakentamista on useassa kunnassa rajoitettu myös kaavoissa.

Pohjavesialueillekin kaivataan kuitenkin polttamattomiin teknologioihin perustuvia, uusiutuvan energian lämmitysratkaisuja eri mittakaavoilla pientaloista julkisiin rakennuksiin ja suuriin kiinteistöihin sekä lämpöverkkojen energiantuotantoon. Ratkaisuja ovat mm. muut lämpöpumppuratkaisut ja tulevaisuudessa toivottavasti myös energiakaivojen toteutukseen liittyvien ympäristöriskien entistä parempi hallinta. Ratkaisun voisi tarjota myös alueelliset geoenergiaan ja geotermiseen energiaan pohjautuvat lämpöverkot sekä esimerkiksi vedenottamoiden yhteyteen toteutetut pohjavesienergian tuotantolaitokset. Pohjavesienergian tuotannossa ei käytetä erillisiä lämmönsiirtoaineita, vaan lämpöenergia otetaan suoraan vedestä. Pohjavesialueet löytyvät osoitteesta www.ymparisto.fi>Vesi>Vesiensuojelu>Pohjaveden suojelu>Pohjavesialueet

Uudenmaan alueen kokonaisuudessaan kiitetävän tason geoenergia- ja geotermisen energian potentiaali tarkoittaa käytännössä sitä, että geoenergiaratkaisujen kustannustehokkuudessa voidaan päästä pääosin muuta maata paremmalle tasolle. Uudenmaan maakunnan alueella olisi koko Suomen mittakaavassa erityisen hyvät mahdollisuudet siirtyä merkittävästi kattavampaan geoenergian ja geotermisen energian tuottamiseen ja hyödyntämiseen hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi.

Maakuntatason selvitys soveltuu tarkempien, kuntatasoisten selvitysten kohdentamisen arviointiin. Selvityksessä esitettyjä geoenergian ja geotermisen energian potentiaalinen teoreettisia lukuarvoja ei tule käyttää energiakaivojen mitoittamiseen todellisissa geoenergiakohteissa.

7. ESIMERKKEJÄ GEOENERGIAN HYÖDYNTÄMISESTÄ UUDELLAMAALLA

7.1. Meilahden Tornisairaala

HUSin Meilahden tornisairaalan (35 620 brm²) energiaratkaisussa päätettiin siirtyä osin hii-lineutraalin energian käyttöön vuonna 2012. Tuolloin GTK suunnitteli kohteeseen 49 kaivos-ta (á 250 m) koostuvan energiakaivokentän, joka sijoitettiin maanalaisiin tiloihin parkkihal-liin. Ennen varsinaista suunnittelutyötä GTK kartoitti maanalaisten tilojen kallioperän, joka koostui kahdesta kivilajista: kiillegneissistä ja amfiboliitista. Vaihtelevien lämmönjohtavuus-ominaisuuksien takia kohteessa tehtiin kolme termistä vastetestiä (TRT-mittausta) kolmesta eri tutkimuskaivosta, jotka porattiin siten, että

ne saatiin osaksi lopullista energiakaivokenttää. Samalla luodattiin tutkimuskaivojen lämpöti-lat, ja tuloksista havaittiin merkittävä urbaanin rakentamisen aiheuttama lämpövuoto maa-han. Ylijäämälämmön havaittiin tunkeutuneen jopa sadan metrin syvyyteen saakka maan-alaisista tiloista, mikä on hyödynnettävissä maalämpöjärjestelmästä.

HUSin Meilahden Tornisairaalan (Kuva 12) maa-lämpöjärjestelmä suunniteltiin siten, että se tuottaisi osan sairaalan tarvitsemasta läm-mitysenergiasta ja hoitaisi vapaajähdytyksenä tilojen viilennyksen. Osa tilojen lämmitykses-tä jyvitettiin kaukolämmölle ja hyvin pieni osa



Kuva 11. Meilahden Tornisairaala (kuvassa keskellä) rakenteilla olevan Siltasairaalan takana.
Kuva © HUS / Lentokuva Vallas Oy.

aurinkolämmölle. Kohteen lämpöpumppukapasiteetti on kaksi 692 kW lämpöpumppua ja suunnittelutieto maalämmölle: lämmitys 1700 MWh/a ja viilennys 730 MWh/a. Maalämpöjärjestelmä otettiin käyttöön peruskorjauksen yhteydessä vuonna 2014. Järjestelmä ei ole toiminut täysin moitteettomasti kaikissa kuormitustilanteissa. Maakeruupiirin liuoslämpötilojen mitoitus on vaatinut paljon säätöä eikä teknisiltä ongelmiltaan ole välttytty. Järjestelmän toiminta keskeytyi useiksi kuukausiksi liuosvuodon takia vuonna 2016, ja tuolloin käytännössä kaikki rakennuksen tarvitsema lämmitysenergia hankittiin kaukolämpöverkosta. HUSin energiatyötä koordinoivan erikoissuunnittelijan mukaan vasta vuonna 2018 saavutettiin ensimmäinen kokonainen normaali toimintavuosi. Katselmuksessa arvioitiin lämpöenergiesäästökseksi 3000 MWh/a, mutta lämpöpumppujen käyttö lisäsi sähkön kulutusta 1000 MWh/a. Maalämpöjärjestelmän tuottamaksi rahalliseksi säästökseksi on arvioitu vuoden 2018 perusteella n. 50 000 euroa vuodessa. Järjestelmä vähentää vuodessa n. 320 000 kg CO₂-ekvivalenttia,

joka on noin 1,6 % HUSin lämpöenergiankulutuksen ja -energiantuotannon kokonaishiilijalanjäljestä, koska uusiutuva sähkö (bioenergia) muuttaa tilannetta. HUSin kuluttama sähkö tuotetaan bioenergialla vuonna 2020, mutta tämä voi vaihdella vuosittain. (Valkama, J., sähköpostit, 26.8.2020 ja 28.10.2020)

7.2. Otaniemen uusi kampuskortteli

Aalto-yliopistokiinteistöt Oy toteutti Otaniemen uuteen kampuskorttelin geoenergia-kaukolämpöhybridijärjestelmän. Uusi rakennuskokonaisuus (Kuva 13) toimii Aalto-yliopiston taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun sekä kauppakorkeakoulun käytössä sekä kauppakeskuksena. Se otettiin käyttöön syksyllä 2018. Geoenergiajärjestelmä koostuu 74 energia-kaivosta, jotka ovat 320 metriä syviä. Lämpöpumpputeho on 9 x 88 kW. Suurin osa energiakaivoista sijaitsee kampusrakennuksen alla, jotta kaivokenttä saatiin mahtumaan tontille. Rakennuksen yhteydessä sijaitsee myös



Kuva 12. Aalto-yliopiston uusi kampuskortteli Otaniemessä lämpiää ja viilenee geoenergialla. Rakennuksessa sijaitsee myös ostoskeskus ja metroasema. Energiakaivokenttä toteutettiin pääosin rakennuksen alle metrotunnelin viereen. Kuva © Aalto-yliopisto / Mikko Raskinen.

Otaniemen metroasema, ja metrotunnelin sijainti huomioitiin energiakaivokentän sijoituksessa. Energiakaivojen syvyysulottuvuuteen verrattuna metrotunneli sijaitsee kuitenkin maankamاران pintaosissa.

Ennen energiakaivokentän toteutusta GTK teki alueella kattavan Otaniemen geoenergiapotentiaalin selvityksen sekä uuden kampusrakennuksen tonttikohtaiset geoenergiatutkimukset. Otaniemi sijaitsee graniittisen kallioperän alueella ja soveltuu erittäin hyvin geoenergian tuottamiseen. Paikkakohtaisten mittausten avulla saatiin tietoa energiakaivokentän mitoitus varten. Kampuskorttelin järjestelmä suunniteltiin tuottamaan 80 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta ja 95 % viilennysenergian tarpeesta. Geoenergiaa hyödynnetään kohteessa myös piha-alueiden lumensulatuksessa kivetyksen alle sijoitetun vaakaputkiston avulla.

Käytännössä rakennusten energiantarve vaihtelee vuosittain mm. sääolosuhteiden ja rakennuksen käytön mukaan. Lämpöenergian tarve voi olla ensimmäisenä käyttövuonna normaalia suurempi, kun rakennuksen ilmanvaihto on normaalia voimakkaampaa. Näistä syistä myös geoenergiajärjestelmän käyttö voi poiketa suunnitellusta. Uuden kampuskorttelin energiakaivokentän toimintaa monitoroidaan modernilla DTS (Distributed Temperature System) -menetelmällä, jonka avulla varmistetaan kaivokentän kestävä käyttö energian tuotannossa vuosikymmenien ajan. DTS- ja rakennusautomaatiojärjestelmän dataan yhdistämällä koko lämmitysjärjestelmän toimintaa on tarkoitus ohjata ja tehostaa optimaaliseksi.

7.3.SOK:n logistiikkakeskus Sipoossa

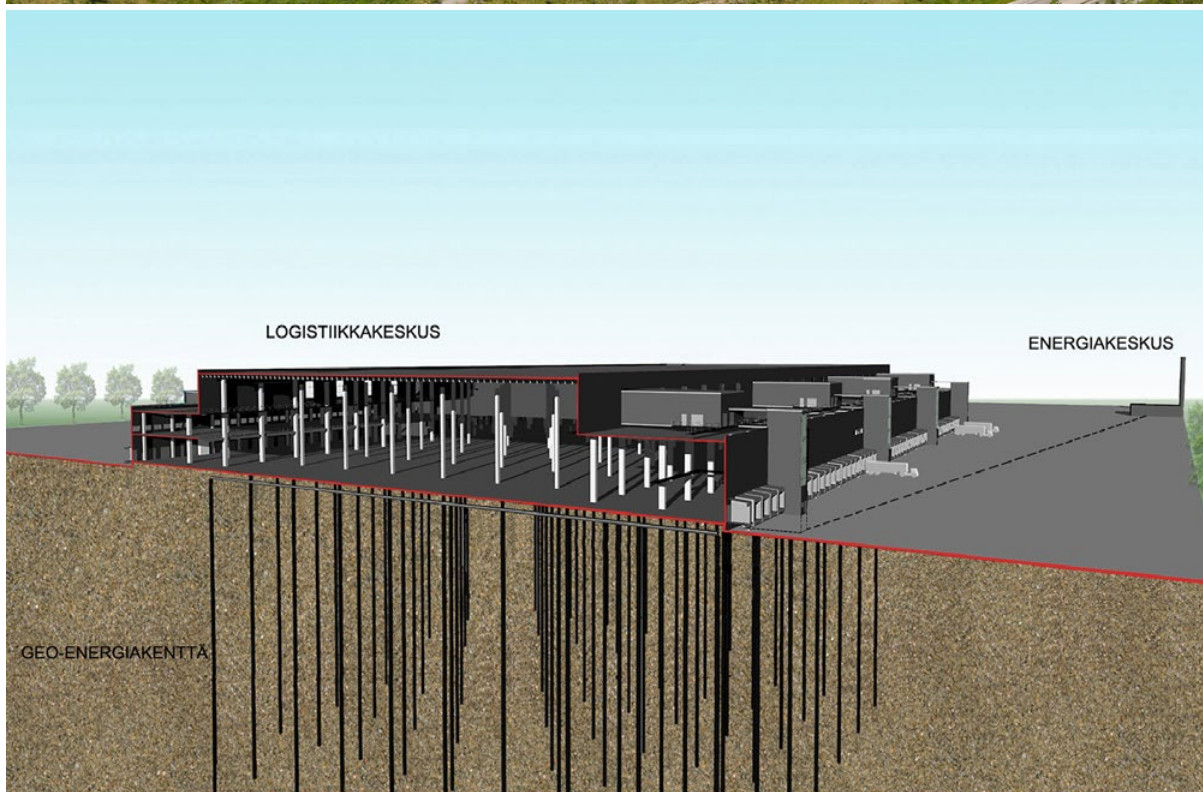
Sipoon Bastukärrissä otettiin vuonna 2012 käyttöön Suomen ja Euroopan mittakaavassa suuri geoenergiajärjestelmä, joka koostuu 150 energiakaivosta. Kaivot ovat 300 m syviä, ja ne on porattu osittain rakennuksen alle.

Lämpöpumput toimittavat lämmitysenergiaa Inex Partnersin operoimalle SOK:n käyttötavar logistiikkakeskukselle (Kuva 13) yhteensä yli 2 MW:n teholla. Keskuksen geoenergiajärjestelmä on ensimmäisiä tämän kokoluokan järjestelmiä Suomessa, ja sen kaivokentän toiminnasta on olemassa ainutlaatuista mittaus-tietoa käyttöönotosta lähtien. Geoenergiajärjestelmän suunnittelu aloitettiin vuonna 2008 GTK:n tonttikohtaisilla tutkimuksilla, jonka jälkeen kaivokenttä mitoitettiin energiatarpeeseen sopivaksi. Järjestelmä on geo-biohybridi, jossa puupelleteillä tuotetaan energiaa korkealämpöverkkoon ja geoenergialla matalalämpöverkkoon. Geoenergiaa käytetään myös rakennuksen jäähdyttämiseen. Energiakaivokenttää ladataan kesällä piha-alueen asfaltin alta kerätyllä aurinkoenergialla.

Logistiikkakeskuksen geoenergiajärjestelmä tuottaa vuosittain noin 4000–5000 MWh lämmitysenergiaa, mikä kattaa noin 55 % rakennuksen lämmönkulutuksesta. Puhtaan geoenergian osuus tästä on noin 3000–3600 MWh, kun otetaan huomioon lämpöpumppujen käyttämän sähkön osuus. Motivan ilmoittamilla päästökertoimilla laskettu vuotuisen hiilidioksidipäästöjen vähenemä on noin 470 000–550 000 kg. (Kakko, M., Uudenmaan geoenergiawebinaari, 10.9.2020.)

Logistiikkakeskuksen kaivokentän monitorointijärjestelmästä saatujen tietojen ja kaivokentän toiminnan mallinnusten perusteella näinkin suuren energiakaivokentän lämpötilavaikutus ympäristöönsä on melko pieni ja paikallinen, silloin kun energianotto kentästä on oikein mitoitettu ja sopivalla tasolla (Korhonen et al., 2018). Kokemukset ovat tärkeää tietoa suurten geoenergiajärjestelmien ympäristövaikutusten arviointien pohjaksi.

Ensimmäisestä logistiikkakeskuksesta saatujen kokemusten perusteella toinen vastaavanlainen järjestelmä toteutettiin vierekkäiselle tontille SOK:n päivittäistavaran logistiikkakeskuksen käyttöön muutamaa vuotta myöhemmin.



KT-LOGISTIIKKAKESKUS / GEO-ENERGIAKENTTÄ 05.08.2009

PARVIAINEN ARKKITEHDIT 

Kuva 13. SOK:n jättämäinen KTDC logistiikkakeskus Sipoossa. Geoenergiajärjestelmän 150 energiakaivosta suurin osa on sijoitettu rakennuksen alle. Kuvat © Parviainen Arkkitehdit Oy.



8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSELVITYSTARPEET

Geoenergian ja geotermisen energian potentiaalilla tarkoitetaan maankamaran eri syvyyksille sitoutuneen lämpöenergian määrää. Uudenmaan geoenergiaselvityksen tavoitteena oli selvittää niin geoenergian kuin keskisyvän ja syvän geotermisen energian potentiaali ja alueellinen vaihtelu Uudellamaalla. Potentiaalín suuruuteen vaikuttavat maakunnan alueen maa- ja kallioperägeologiset piirteet, kuten maapeitteen ja kallion lämmönjohto- ja lämmönvarastointikyky

sekä syvältä maan sisältä kohti maan pintaa virtaavan lämmön määrä. Geoenergian ja keskisyvän geotermisen energian potentiaalikartoissa potentiaalia kuvataan yhdestä lämpökai-
vosta saatavana vuotuisena lämmitysenergian määränä (MWh/v). Syvän geotermisen energian potentiaalikartoissa potentiaalia kuvataan maankamaraan sitoutuneen lämpöenergian määränä (TWh). Arviot potentiaalín suuruudesta ovat teoreettisia.

Selvityksen tulosten mukaan Uudenmaan maakunnan alueen geoenergian ja geotermisen energian potentiaali vaihtelee hyvän ja erinomaisen välillä. Uudenmaan hyvään potentiaaliin vaikuttavat paitsi geologiset piirteet, myös ilmastolliset olosuhteet ja muuta maata korkeammat vuosittaiset keskilämpötilat. Geoenergian ja geotermisen energian potentiaali onkin korkea myös koko Suomeen verrattuna ja Uudellamaalla on erityisen hyvät mahdollisuudet siirtyä merkittävästi kattavampaan geoenergian ja geotermisen energian tuottamiseen ja hyödyntämiseen. Uudellamaalla erityisen hyvinä alueina näyttäytyvät Loviisan, Lapinjärven, Hangon ja Raaseporin alueet, mutta myös Helsingin seudulta on löydettävissä potentiaalistaan myönteisesti erottuvia alueita.

Tuloksia voidaan pitää hyvin rohkaisevina geoenergian hyödyntämisen kannalta. On kuitenkin huomattava, että laskelmat on tuotettu ensisijaisesti maakuntatasolle eikä tuloksissa ole otettu huomioon geoenergian hyödyntämistä koskevia reunaehtoja, kuten pohjavesialueita sekä siirros- ja heikkousvyöhykkeitä, jotka on otettava huomioon tarkemmissa selvityksissä. Potentiaalikartat soveltuvat kuitenkin hyvin ensitiedoksi ja kannustavat selvittämään tarkemmin geoenergian potentiaalia kunta- ja paikallistasolla.

Geoenergian hyvänä puolena on sen perustuminen päästövapaisiin teknologioihin, tasainen hyödynnettävyys ympäri vuoden sekä sen skaalautuvuus pientaloista suuriin rakennuskohteisiin ja alueelliseen lämmöntuotantoon. Geoenergiaa on mahdollista käyttää sekä lämmitykseen että viilennykseen. Maalämpöpumpujen määrä on Suomessa kasvanut jatkuvasti ja myös syvän geotermisen energian hyödyntämisestä on saatu Suomessa ensimmäisiä kokemuksia.

Geoenergian hyödyntämisen kasvun myötä on havahduttu myös mahdollisiin rakentamisen ja käytön aikaisiin haitallisiin vaikutuksiin (mm. vaikutukset pohjavesiin, seismiset riskit

ja naapurustovaikutukset). Esimerkiksi pohjavesialueille suunnitelluille lämpökaivoille ei ole pääosin myönnetty rakennus- ja toimenpidelupia enää viime aikoina. Mahdollisiin kielteisiin vaikutuksiin voidaan kuitenkin vaikuttaa mm. keskitettyjen geoenergian ja geotermisen energian ratkaisujen kautta, kuten kaukolämmön tuotannossa. Teollisuusmittakaavaiseen geoenergian ja geotermisen energian tuotantoon siirtyminen vaatii vielä kehitystyötä, mutta teknologian kehittyessä keskitetyt ratkaisut tulevat entistä paremmin mahdollisiksi toteuttaa ja ottaa käyttöön.

Yksi varteenotettava jatkoselvityksen kohde voisi olla pohjavesialueiden geoenergian hyödyntämisen mahdollisuuksien tarkempi tarkastelu. Geotermisen energian hyödyntämiseen pohjavesialueilla liittyy riskejä, mutta oikein hyödynnettynä vähäpäästöistä geoenergiaa voisi olisi mahdollista tuottaa myös pohjavesialueilla sijaitsevilla taajamissa, joita on Uudellamaalla useita. Taajama-alueilla voisi selvittää tarkemmin geoenergiaan, geotermiseen energiaan ja pohjavesienergiaan pohjautuvien kaukolämpö- ja kaukoviilennyslaitosten ja verkostojen rakentamista. Geoenergian tuotanto olisi mahdollista keskittää pohjavesialueilla esimerkiksi muutamiin tehokkaisiin ammattimaisesti hoidettuihin tuotantolaitoksiin, jolloin riski pohjavedelle saataisiin hyväksyttävälle tasolle.

Uudenmaan geoenergiaselvitys antaa hyvän kokonaiskuvan maakunnan geoenergian ja geotermisen energian potentiaalista. Jatkossa selvityksiä voisi kohdistaa erityisesti seuraaviin aiheisiin joko koko maakunnan alueelta tai paikallisella tasolla:

- Geoenergia ja geotermisen energia lämpöverkostojen energialähteenä
- Geoenergian ja pohjavesienergian turvallinen tuotanto pohjavesialueilla
- Lämpöenergian laajamittainen varastointi energiakaivoilla ja -paaluilla

KÄYTETYT TERMIT

Batoliitti = laaja, yhdestä tai useammasta kivilajista koostuva, syväkivialue, jonka pinta-ala on yli 100 km².

Deformaatio = kiven alkuperäisen rakenteen muuttuminen syntyolosuhteisiin nähden poikkeavassa paineessa ja lämpötilassa, jolloin syntyy uusia geologisia rakenteita, kuten rakoilua, siirroksia, poimuja, lineaatioita (yhdensuuntaisia viivamaisia rakenteita) ja liuskeisuutta. Kts. myös metamorfoosi.

Energiakaivo, (maa)lämpökaivo = maa- ja kallioperästä saatavan lämmön ja/tai kylmän hyödyntämiseen käytettävä kallioon porattu energia- eli lämpökaivo. Termi energiakaivo korostaa sitä, että lämmön siirto kaivon avulla voi olla (esim. vuodenajasta riippuen) joko lämmönottoa maankamarasta tai lämmön luovutusta viileään maankamaraan (maaviilennys).

Geoenergia = matalan lämpötilan geotermistä lämmitys- ja viilennysenergiaa. Kansantajuisemmin geoenergiasta on käytetty termiä maalämpö, mutta koska Suomen kallioperä on suhteellisen viileää, se tarjoaa hyvät edellytykset myös viilennysenergian käytölle, ts. tilojen jäädyttämiseen. Lisäksi käytössä on termi kalliolämpö, mikä korostaa kallioon poratun kaivon hyödyntämistä energiansiirrossa. Termillä maalämpö voidaan ymmärtää sen tarkoittavan joko kallioon porattua kaivoa tai maakeruupiiriä, joka asennetaan löyhään irtomaahan eli maapeitteeseen vaakasuuntaisesti. Geoenergia edellyttää lämpöpumppua.

Geoterminen energia = yleisnimitys maansäiselle energialle (lämmölle). Suomessa sillä tarkoitetaan yleisellä tasolla kaikkea maa- ja kallioperässä, vesistöissä ja vesistöjen pohjasedimenteissä olevaa energiaa, jota voidaan kerätä erilaisin tekniikoin eri syvyyksiltä (matala-, keskisyvä- ja syvä geoterminen energia). Maailmanlaajuisesti geotermistä energiaa hyödynnetään sähkön ja lämmön tuotantoon

vulkaanisesti aktiivisilla alueilla ja litosfäärilaitojen rajojen lähellä, joissa kuumaa vettä ja höyryä saadaan hyvin lähellä maanpintaa.

Geoterminen gradientti = lämpötilan kasvu syvyyden myötä. Kts. geoterminen lämpövuo.

Geoterminen lämpövuo = Maan syvyyksistä tuleva lämpövuo koostuu pääosin kahdesta tekijästä: maapallon kuumasta ytimestä on jatkuva lämpövuo kohti maanpintaa ja maankuoren pintaosissa olevat radioaktiiviset alkuaineet hajotessaan luonnollisesti vapauttavat lämpöä. Geoterminen lämpövuo vaihtelee maankuoren paksuuden ja alueellisesti maankuoren kivilajien lämmöntuoton mukaan.

Hautavajoama = kahden erkanevan litosfääri- eli mannerlaatan saumakohta, joiden väliin syntyy pitkä laakso. Valtamerten keskiselänteet, joissa syntyy uutta merenpohjaa, ovat tästä yksi esimerkki. Hautavajoamien aktiivisissa osissa esiintyy usein tulivuoritoimintaa ja niistä pystytään usein hyödyntämään geotermistä energiaa.

Heikkousvyöhyke = kallioperän lineaarinen, rikkonainen rakenne, kuten siirros-, ruhjevyyhyke, rakotihentymä, rapautuneita mineraaleja sisältävä kivilajikerros, -juoni tai kivilajien rajapinta, jossa kiviaines on selvästi rikkonaista ja/tai rapautunutta. Heikkousvyöhykkeet sijaitsevat usein maanpinnan painanteissa ja laaksoissa, joita voi verhota paksukin maapeite. Heikkousvyöhykkeet voidaan luokitella rakennettavuuden mukaan ja tietoa niiden olemassaolosta voidaan hyödyntää yhdyskuntarakentamisen suunnittelussa.

Hot Spot = paikallaan pysyvä kuuma piste, jossa astenosfääriin kuuma ja sula kiviaines nousee litosfääriin läpi pintaan saakka ja synnyttää aina uudelleen tulivuoren. Litosfäärilaitojen liikkeessä pois kuumen pisteen päältä, tulivuori sammuu aikojen kuluessa.

Indusoitu seismisyys, indusoitunut maanjäritys = ihmisen toiminnasta aiheutuva maanjäritys. Indusoidun maanjärityksen aiheuttaa joko kallioperän jännitystilaa muuttava neste tai jännitystilan muutokset, kun suuria majoja siirretään kallioperän päälle tai pois siitä. Indusoitua seismisyyttä voi tapahtua esimerkiksi kaivostoiminnassa, suurien patojen läheisyydessä, öljyn- ja kaasunporauksessa ja geotermisen voimalan rakennus- ja käyttövaiheessa. Kun kallioperää särötetään eli sinne syötetään vettä kovalla paineella, jännitystila muuttuu ja kallioperässä olevat luonnolliset raot avartuvat. Kts. tehostettu geoterminen systeemi tai voimala.

Keskisyvä geoterminen energia = geotermistä energiaa, jota voidaan hyödyntää kallioperästä energiakaivon avulla syvyydeltä 500 – 3000 m. Lämmöntalteenotto edellyttää lämpöpumpun käyttämistä.

Litosfäärilaatta = maapallon kiinteä kuorikerros on jakaantunut jätkeihin laattoihin, jotka liikkuvat toistensa suhteen astenosfäärissä eli ylävaipassa olevan sulan kiviaineksen päällä. Litosfäärilaatat liikkuvat toisiinsa nähden joko törmäten, erkaantuen tai toisiaan sivuten. Laattojen reuna-alueilla maanjäritykset ja tulivuoritoiminta on yleistä. Litosfäärilaatasta käytetään myös nimitystä tektoninen laatta tai mannerlaatta.

Lämmönjohtavuus = suure, joka kuvaa väliaineen tai materiaalin kykyä johtaa lämpöä. Mitä suurempi lämmönjohtavuus on, sitä paremmin lämpö johtuu ja uusiutuu energiakaivon läheisyydessä.

Lämmönkeruuputkisto = kollektori, joka asennetaan energia-/lämpökaivoon (tai maakeruupiiriin) ja joka siirtää energiaa kaivosta lämpöpumpulle. Matalissa energiakaivoissa lämmönsiirtoaineena käytetään vesi-etanoliseosta, joka kiertää suljetussa U-putkessa.

Lämpöpumppu = laite, joka siirtää alhaisen lämpötilatason energiaa korkeammalle, hyödyntämiskelpoiselle tasolle ulkoisen energian, yleensä sähköä avulla. Muita lämpöpumpun

sovelluksia ovat kylmäkoneet, joilla lämpöä poistetaan tilasta, joka halutaan pitää kylmänä.

Maankamara = yhteisnimitys kiteiselle kalliolle ja sitä verhoavalle maapeitteelle. Maankamara voi koostua kalliosta, jonka päällä on irtaimia maalajeja (maapeite) tai pelkästään kiteisestä kalliosta, jonka päällä ei ole verhoavaa maapeitettä (=avokallio).

Maalämpö = kts. geoenergia.

Metamorfoosi = geologiassa tapahtuma, jossa kiven rakenne ja/tai mineraalikoostumus muuttuu kiinteässä tilassa deformaation eli muuttuneiden lämpötila- ja paineolosuhteiden myötä vastaamaan uusia fysikaalisia ja kemiallisia olosuhteita. Metamorfoosi voi olla paikallista tai se voi tapahtua hyvin laajalla alueella.

Migmatiitti = seoskivi, metamorfinen kivilaji, joka koostuu vähintään kahdesta, eri-ikäisestä kivilajista. Migmatiittien keskinäiset suhteet ja rakenteet vaihtelevat suuresti.

Pehmeikkö = hienorakeisten ja/tai orgaanisten maalajien peittämä, rakentamiseen huonosti soveltuva alue. Pehmeikön paksuusluokittelu on rakennettavuuskartan yksi elementti.

Radiogeeninen lämmöntuotto = merkittävimmät radiogeenistä lämpöä tuottavat isotoopit (uraani torium ja kalium) ovat rikastuneet maapallon kuorikerrokseen. Niiden luonnollisessa hajoamisessa vapautuu lämpöä. Radiogeeninen lämmöntuotto voidaan selvittää laboratoriomittauksin.

Seismisyys = maan läpi kulkevaa aaltoliikettä, joka havaitaan maanjärityksinä. Suomi on seismisesti rauhallista aluetta, mutta suhteellisen heikkoja, magnitudiltaan alle 4, maanjärityksiä havaitaan vuosittain useita kymmeniä. Seismisyyttä mittavan asemaverkon tiheydessä Suomessa, yhä pienemmät maanjäritykset saadaan rekisteröityä.

Syvä geoterminen energia = geotermistä energiaa, jota voidaan hyödyntää kallioperästä suoraan kaukolämpöverkkoon ilman

lämpöpumppua joko syvän (paikkakohtaisesti alkaen noin 4 km:n syvyydeltä) tai tehostetun geotermisen voimalan avulla. Muualla maailmassa geotermistä lämpöä on saatavilla rajoituilta alueilta huomattavasti lähempää maanpintaa kuin Suomessa.

Tehostettu geotermisen systeemi tai voimala (Enhanced Geothermal System, EGS)

= lämmön talteenottoa varten syvälle (6 – 10 km) kallioperään porataan kaksi reikää; syöttö- ja tuotantoreikä, jotka putkitetaan haluttuun syvyyteen saakka ja alimmat osat jätetään avoimeksi eli putkittamattomaksi. Syvällä

kallioperässä vesi ei pääse virtaamaan helposti, joten kalliossa olevia luonnollisia rakoja ja niiden lukumäärää on lisättävä vesipainehalteisella syöttämällä kallioon vettä erittäin korkealla paineella (säröttäminen, stimulointi, tehostus). Tämä parantaa veden kiertoa ja hydraulista johtavuutta kallioperän rakoverkostossa, ja näin ollen lämmön siirtyminen reikien välillä tehostuu. Tämän jälkeen syöttöreiästä kierrätetään kylmää vettä alas kallioperään, joka pumpataan lämmenneenä ylös tuotantokaivosta. Hydraulinen stimulointi aiheuttaa ns. indusoituja eli ihmistoiminnasta aiheutuvia maanjäristyksiä.



LÄHTEET

Castro Flores, J.F., Lacarrière, B., Chiu, J.N.W., and Martin, V., 2017. Assessing the techno-economic impact of low-temperature subnets in conventional district heating networks. *Energy Procedia*, 116, pp. 260-272.

EGEC Geothermal Market Report 2019, European Geothermal Energy Council, <https://www.egec.org/media-publications/egec-geothermal-market-report-2019/>

EurObserv'ER 2019: The State of Renewable Energies in Europe 2019, ISSN 2555-0195 <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2020/The-state-of-renewable-energies-in-Europe-2019.pdf>

Eurostat [viitattu: 5.8.2020], <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190304-1>

GeoDH, Geothermal District Heating Europe [viitattu: 5.8.2020], <http://geodh.eu/geodh-map/>

Grant, M.A., and Garg, S.K., 2012. Recovery Factor for EGS. In: *Proceedings of the 37th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University, Stanford, California, January 30, 2012 SGP-TR-194.

Hiilineutraali Suomi-hanke [viitattu: 5.8.2020], <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>

Husa, J. ja Teeriaho, J. 2004a. Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet Uudellamaalla. Suomen ympäristökeskus, Alueelliset ympäristöjulkaisut 350. s. 4-19.

Husa, J., Teeriaho, J. 2004b. Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet

Itä-Uudellamaalla. Suomen ympäristökeskus, luonto- ja maankäyttöyksikkö. Raporttiluonnos (julkaisematon moniste). 164 s.

IEA (2019), Renewables 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

Korhonen, K.; Leppäharju, N.; Hakala, P.; Arola, T., 2018. Simulated temperature evolution of large BTES—Case study from Finland. In Proceedings of the IGSHPA Research Conference 2018, Stockholm, Sweden, 18–20 September 2018; pp. 482–490.

Mäkinen, K., Palmu, J.-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. & Jarva, J. 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat. Suomen ympäristö 14/2007, s. 88.

Mäkinen, K., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. ja Sahala, L. 2011. Valtakunnallisesti arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat. Suomen Ympäristö 32/2011. s. 160.

Poratek, Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry [viitattu 6.10.2020], <http://poratek.fi/normi-kaivot-ja-poraukset/normienergiakaivo-17/normienergiakaivo-17n-kriteerit/>

Räsänen, J., Teeriaho, J., Kananoja, T. ja Rönty, H. 2018. Valtakunnallisesti arvokkaat kivikot – Osa 1. Suomen ympäristö 2/2018, s. 172.

Saltikoff, B.; Laitakari, I.; Kinnunen, K. A.; Oivanen, P. 1994. Helsingin seudun vanhat kaivokset ja louhokset. Opas. Vol. 35. 64 p., 1 app. Map

Sitra [viitattu: 19.8.2020], <https://www.sitra.fi/en/cases/residential-heat-pumps/>

Sulpu, Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry., <https://www.sulpu.fi/tilastot>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit [verkkajulkaisu].

ISSN=1798-677X. 2019, Liitetaulukko 3. Rakennukset lämmitysaineen mukaan 1970-2019 . Helsinki: Tilastokeskus http://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke_2019_2020-05-27_tau_003.fi.html

SYKE 2020, Avoin tieto [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.09.2020]. Saatavissa: syke.fi/avointieto

Uski, M., & Piipponen, K. (Toimittajat) (2019). Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta. (Report; Nro S-68). Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos. <https://doi.org/10.31885/9789521095962>

Veikkolainen, T. & Kukkonen, I., 2019. Highly varying radiogenic heat production in Finland, Fennoscandian Shield. Tectonophysics, vol. 750, pp.93-116.

Juvonen, J. ja Lapinlampi, T., 2013. Energiakaivo – maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas, Ympäristöministeriö 2013, 64 s.

Uudenmaan liitto // Nylands förbund
Helsinki-Uusimaa Regional Council

Esterinportti 2 B • 00240 Helsinki • Finland
+358 9 4767 411 • toimisto@uudenmaanliitto.fi • uudenmaanliitto.fi