



Keski-Suomen geoenergiapotentiaali

**Huusko Asmo, Lahtinen Hannu, Martinkauppi Annu, Putkinen Niko,
Putkinen Satu, Wik Henrik**



17.6.2015



Työn toteuttaja:

Geologian tutkimuskeskus
Länsi-Suomen yksikkö
PL 97 (Vaasantie 6)
67101 Kokkola

Työn tilaaja:

Keski-Suomen liitto
Sepänkatu 4
40100 Jyväskylä

Tekijöiden yhteystiedot

Huusko Asmo, Lahtinen Hannu,
Martinkauppi Annu, Putkinen Niko,
Putkinen Satu, Wik Henrik
Geologian tutkimuskeskus
PL 97
67101 Kokkola

Puh. 029 503 0000

Fax 029 503 5209

Sähköposti: etunimi.sukunimi@gtk.fi



GTK

17.6.2015



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

Päivämäärä / Dnro

17.6.2015 / L/137/42/2014

Tekijät Huusko Asmo, Lahtinen Hannu, Martinkauppi Annu, Putkinen Niko, Putkinen Satu, Wik Henrik		Raportin laji Tutkimusraportti	
		Toimeksiantaja Keski-Suomen liitto	
Raportin nimi Keski-Suomen geoenergiapotentiaali			
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki Keski-Suomen liiton toimeksiannosta selvityksen maakunnan geoenergiapotentiaalista. Työn tuloksena tuotettiin yleismittakaavainen 1:250 000 geoenergiapotentiaalikartta, joka kuvaa kvalitatiivisesti geoenergian hyödynnettävyyttä. Esimerkilaskelmin tutkittiin geoenergiapotentiaalin merkitystä käytännössä. Selvitys pyrkii antamaan tietoa maakuntakaavan suunnittelun tueksi alueen kivilajien lämmönjohtavuudesta sekä maapeitteen paksuuden vaihtelusta, sekä palvelemaan uusiutuvan geoenergian hyödyntämismahdollisuuksien arviointia. Keski-Suomen geoenergiapotentiaali on pääosin kiitettävä. Maakunnan pinta-alasta n. 80 % kuuluu geoenergiapotentiaaliltaan luokkaan kiitettävä. Tämä johtuu ohuista maapeitteistä ja granitoidien laajasta levinneisyydestä alueella. Jopa 81 % maakunnan pinta-alasta on granitoideja, joiden lämmönjohtavuuden kivilajikohtaiset keskiarvot ovat keskimäärin muita kivilajeja paremmat. Samoin 98,6 % pinta-alasta kuuluu irtomaapeitteen paksuuden osalta luokkaan hyvä (0 - 20 m). Näin ollen geoenergian hyödyntämistä voidaan suositella Keski-Suomen maakunnan alueella hyvin. Tämä uusiutuvan energian muoto hyödynnettäessä kallioon porattavia vertikaalikaivoja on mahdollista ottaa käyttöön kustannustehokkaasti niin yksittäisiä energiakaivoja kuin laajempia kaivokenttiäkin ajateltaessa.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Geoenergia, kalliolämpö, kallioperä, maalämpö, maapeitepaksuus, kaavoitus			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Keski-Suomi			
Karttalehdet -			
Muut tiedot -			
Arkistosarjan nimi -		Arkistotunnus -	
Kokonaissivumäärä 18 s. + 6 liitettä	Kieli suomi	Hinta -	Julkisuus -
Yksikkö ja vastuualue Länsi-Suomen yksikkö		Hanketunnus 4162018	
Allekirjoitus/nimen selvennys Hannu Lahtinen, toimialapäällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys Asmo Huusko, hankepäällikkö	



Sisällysluettelo

Kuvailulehti

1	JOHDANTO	1
2	GEOENERGIA	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Geoenergian hyödyntäminen	4
2.2.1	Pohjavesi	5
3	KESKI-SUOMEN MAAKUNNAN GEOLOGIA	6
3.1	Maaperä, maapeitteen paksuus ja sen luokittelu	6
3.2	Kallioperä	7
3.2.1	Siirros- ja ruhjevyöhykkeet	8
3.2.2	Kallioperän lämmönjohtavuus ja kivilajien luokittelu	9
4	GEOENERGIAPOTENTIAALI	10
4.1	Geoenergiapotentiaalikartan toteutus	10
4.2	Geoenergiapotentiaalin merkitys käytännössä – esimerkkilaskelmat	12
5	YHTEENVETO	16

KIRJALLISUUSLUETTELO

LIITTEET:

- Liite 1. Maapeitteen paksuustulkinta Keski-Suomen maakunnan alueelta
- Liite 2. Keski-Suomen maakunnan kallioperäkarta ja aluetta halkovat merkittävimmät ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet
- Liite 3. Kallioperäkartan sekä ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeiden selite
- Liite 4. Kartta Keski-Suomen maakunnan kivilajien luokittelusta lämmönjohtavuudeltaan viiteen (5) luokkaan
- Liite 5. Taulukko Keski-Suomen maakunnan kivilajien luokittelusta lämmönjohtavuuden perusteella viiteen (5) luokkaan
- Liite 6. Geoenergiapotentiaali Keski-Suomen maakunnan alueella

17.6.2015

1 JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Länsi-Suomen yksikkö laati yhteistyössä Keski-Suomen liiton kanssa maakunnan kattavan geoenergiapotentiaalikartoituksen. Kartoitus laadittiin palvelemaan uusiutuvan geoenergian hyödyntämismahdollisuuksien arviointia osana maakuntakaavoitustyötä. Kartta tullaan liittämään liiton karttapalveluun ja sitä jaetaan kunnille.

Työssä hyödynnettiin GTK:n olemassa olevaa monipuolista paikkatietoaineistoa kallioperä-, maaperä- ja pohjavesitietokannoista sekä muuta tutkimusaineistoa, jota oli alueelta saatavilla. Työhön ei sisältynyt maastotutkimuksia.

Hankkeen toteutuksesta vastanneen työryhmän GTK:ssa muodostivat:

- Aluejohtaja Olli Breilin
- Toimialapäällikkö Hannu Lahtinen (kallioperä)
- Erikoisasiantuntija Asmo Huusko (geoenergia)
- Geofyysikko Annu Martinkauppi (geoenergia, geofysiikka)
- Geologi Niko Putkinen (maaperä)
- Geologi Satu Putkinen (maaperä)
- Geologi Henrik Wik (kallioperä)

Maakunnan kallioperätietojen kokoamisesta ja luokittelusta vastasivat geofyysikko Annu Martinkauppi ja geologit Hannu Lahtinen sekä Henrik Wik. Kallioperän eri kivilajien lämmönjohtavuuden luokittelussa konsultoitiin kallioperägeologi Marit Wennerströmiä GTK:n Espoon yksiköstä. Maapeitteen paksuustietojen kokoamisen ja luokittelun tekivät geologit Satu Putkinen ja Niko Putkinen.

Em. lähtötietojen yhdistämisen ja lopullisen geoenergiapotentiaalikartan laati geofyysikko Annu Martinkauppi. Käyttötapausten ja esimerkinomaisten laskelmien avulla tarkasteltiin geoenergiapotentiaalin vaikutusta käytännössä yksittäisen energiakaivon ja -kaivokentän syvyyteen ja tätä kautta geoenergian tuotantoon.

Geoenergiapotentiaalikarttaa ja esimerkkilaskelmia ei voida sellaisenaan käyttää alueen kiinteistöjen energiakaivojen tai -kaivokenttien mitoittamisessa, vaan laskelmat tulee tehdä aina tapauskohtaisesti. Useammasta kaivosta koostuvien energiakaivokenttien mitoittamista varten GTK suosittelee aina tehtävän kohteelliset geologiset tutkimukset ja geofysikaaliset mittaukset kallioperän paikallisten ominaisuuksien (ml. lämmönjohtavuus, lämpötila) selvittämiseksi.



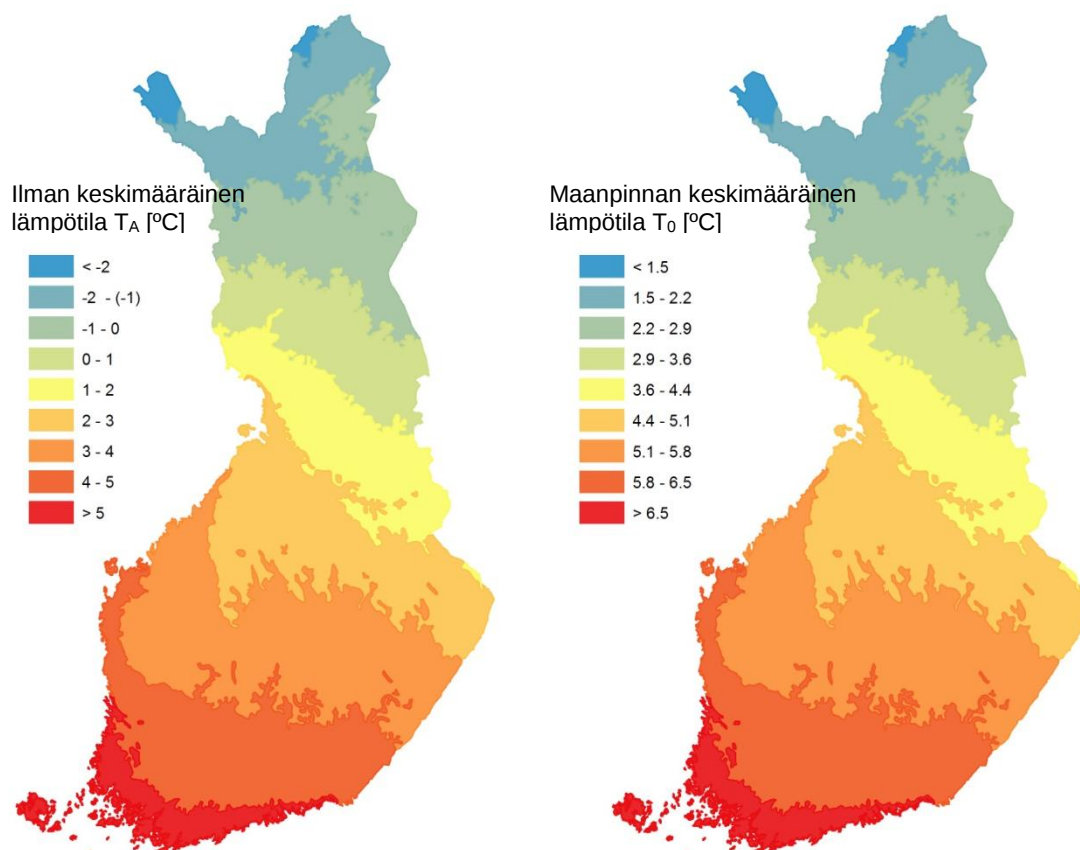
17.6.2015

2 GEOENERGIA

2.1 Yleistä

Geoenergia käsittää yleisellä tasolla kaiken maa- ja kallioperästä sekä vesistöistä saatavan lämmitys- ja viilennysenergian, jonka lämpöarvo on matala. Maankamaran pintaosassa lämpöenergia on pääosin peräisin auringon säteilystä ja loppuosa on ns. geotermisen gradientin (lämpötilan nousunopeus syvyyden kasvaessa) vaikutusta. Geolämmöllä tai geotermisellä lämmöllä tarkoitetaan syvältä maan sisäosista saatavaa lämpöenergiaa, jonka lämpöarvo on korkea ja joka syntyy sulan ytimen reaktioissa. Suomessa ei toistaiseksi hyödynnetä geotermistä lämpöä toisin kuin esim. Islannissa ja Japanissa, jossa se on hyödynnettävissä lähellä maanpintaa, kuten kuumissa lähteissä.

Suomessa maankamaran keskilämpötila on suhteellisen alhainen maamme pohjoisen sijainnin johdosta. Maanpinnan vuotuinen keskilämpötila vaihtelee Suomessa alueen maantieteellisen sijainnin mukaan keskimäärin välillä 2 - 7 °C kuvan 1 (oikealla) mukaisesti. Vuodenaikaisvaihtelut aiheuttavat maankamaran pintakerroksessa suuria lämpötilavaihteluita, mutta jo noin 15 - 20 metrin syvyydessä lämpötila on vakio ja alueen sijainnin mukainen.

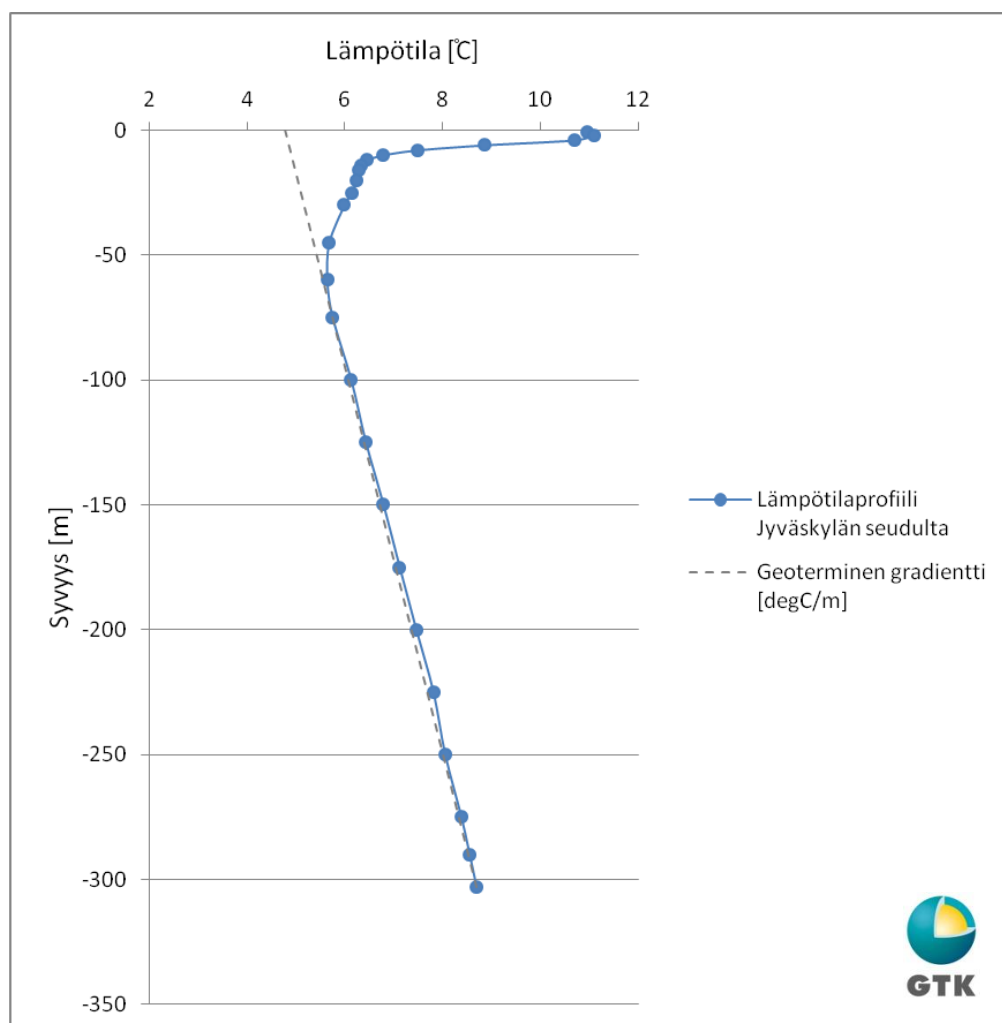


Kuva 1. Vasemmalla ilman vuosittainen keskilämpötila ilmastollisella vertailukaudella 1981 - 2010 (lähde: Ilmatieteen laitos). Oikealla maanpinnan vuosittainen keskilämpötila, joka on laskettu ilman keskilämpötilasta.

17.6.2015

Kallioperän lämpötilan kasvua syvemmälle mentäessä kuvaa geoterminen gradientti, joka Suomessa on noin 0,8 - 1,5 °C / 100 m. Lämpötila nousee keskimäärin siis noin asteen verran sataa syvyysmetriä kohden. Suomen kallioperä on iältään vanhaa ja vakaata, minkä takia gradientti jää alhaiseksi. Kuvassa 2 on esitetty Jyväskylän seudulta mitattu lämpötilaprofiili syvyyden funktiona.

Geoterminen gradientti vaihtelee Suomessa kallioperän ominaisuuksien mukaan. Sitä aiheuttaa mm. kallioperän radiogeeninen lämmöntuotto, eli uraanin, toriumin ja kaliumin radioaktiivisessa hajoamisessa syntyvä lämmön geologinen vaihtelu eri osissa maata. Esim. Etelä- ja Länsi-Suomen kallioperä sisältää enemmän radioaktiivisia alkuaineita kuin vaikkapa Itä-Suomen kallioperä. Tästä luonnollisesta radioaktiivisuudesta, taustasäteilystä, ei ole haittaa energiakaivon käyttäjälle tai muutenkaan.



Kuva 2. GTK:n mitaama lämpötilaprofiili Jyväskylän seudulta. Siniset pallot ovat mittauspisteitä. Kuvaajaan on piirretty myös geoterminen gradientti eli lämpötilan nousunopeus, joka on 1.3 °C/100 m laskettuna syvyysväliltä 75 m - pohja.

17.6.2015

Kun geoenergiaa käytetään rakennusten lämmitykseen, alkaa energiakaivoa ympäröivän kallion lämpötila laskea käyttöönnoton jälkeen nopeastikin. Korvaavaa lämpöä johtuu muualta kallioperästä energiakaivon läheisyyteen sekä myöhemmin myös maanpinnalta. Mikäli maa- ja kallioperää kuormitetaan pitkäaikaisesti liian suurella energianotolla, on riskinä kaivon täyteaineena olevan pohjaveden jäätyminen. Pohjois-Suomessa riskit ovat suuremmat, koska lämpötilat ovat matalampia. Ikiroutaa ei Suomessa tavata, ainoan poikkeuksen muodostavat yksittäiset alueet (mm. palsasuot) Lapissa. Käytännössä vähäisenkin lämpötilatason hyödyntäminen on kuitenkin mahdollista koko Suomessa, mikäli lämpötilataso huomioidaan geoenergiajärjestelmän suunnittelussa. Maanpinnan keskilämpötila toimii yhtenä tärkeänä mitoittavana tekijänä geoenergian hyödyntämisessä.

Keski-Suomen maakunnan alueella maanpinnan keskimääräinen lämpötila on noin 4 - 6 °C kuvan 1 mukaisesti. Alueellista vaihtelua esiintyy maaston peitteisyyden, kasvillisuuden, rakennetun infrastruktuurin, ilmansuunnan sekä maa- ja kallioperän petrofysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Suomessa pinnan korkeuden vaihtelut eivät vaikuta lämpötilaan juurikaan. Pohjoisella rinteellä, jossa tiheä puusto rajoittaa maan pinnalle pääsevän auringon säteilyn määrää, lämpötilataso on matalampi. Rakennetuilla alueilla kuten taajamissa ja kaupunkien keskustoissa auringon valo ja rakennusten lämpövuoto lämmittävät maankamaraa tehokkaasti. Samoin tummat pinnat, kuten asfaltti keräävät lämpöä tehokkaasti. Näin ollen asutetuilla ja aukeilla alueilla lämpötilataso on yleensä korkeampi.

2.2 Geoenergian hyödyntäminen

Suomessa ja valtaosassa Eurooppaa geoenergialla on suuri, vielä paljolti hyödyntämätön, potentiaali. Sama koskee myös muita uusiutuvia energialähteitä. Geoenergia eroaa kuitenkin siinä, että teknologian kehittymättömyys tai kalleus ei ole merkittävä yleistymistä viivästyttävä tai investoinnin taloudellista järkevyyttä heikentävä tekijä. Tarvittava teknologia on käytössä koeteltua, luotettavaa sekä investointina ajatellen järkevä ratkaisu.

Maan- ja kallion pintalämpötilat Suomessa ovat suhteellisen matalia suoraan lämmityksessä hyödynnettäviksi, minkä johdosta geoenergian hyödyntämiseen tarvitaan lämpöpumppu, joka nostaa lämpötilatason kiinteistön lämmitystarpeen tasolle. Lämpöpumppu tarvitsee sähköenergiaa työn suorittamiseen, mutta sähköenergian osuus on vähimmillään jopa vain neljäsosa kokonaisenergiamäärästä. Toisaalta matalan lämpötilatason ansiosta kiinteistöjen viilennys voi tapahtua ilman lämpöpumppuja.

Lämpöpumppujärjestelmät kytketään maan pintakerrokseen asennettaviin keruupiireihin tai kallioon porattuihin energiakaivoihin. Keruupiiri voidaan upottaa myös vesistön pohjaan painoilla tai asettaa vaakaporauksena syvemmälle pohjasedimenttiin. Vakiintuneita termejä edellisille asennustavoille ovat maalämpö, kalliolämpö ja vesistölämpö. Kansanomaisesti maalämmöllä usein tarkoitetaan yhteismitallisesti kaikkia edellisiä.

Suomessa maalämpöpumppuja on käytetty 1970-luvun puolivälistä lähtien silloisen energiakriisin seurauksena. Lämpöpumpputeollisuus ajautui kriisiin 1980-luvun puolivälissä ja myynti käytännössä lakkasi 10 vuodeksi. Vasta 1990-luvun lopulla maalämpöpumppujen suosio Suomessa alkoi lisääntyä jälleen merkittävästi. Vuosittainen myyntimäärä on pysytellyt viime vuodet tasaisesti reilussa 10 000 kappaleessa.

17.6.2015

Vuoden 2014 lopussa maalämpöpumppuja oli Suomeen asennettu yli 100 000 kappaletta. Arviolta 80 - 90 % näistä pumpuista on asennettu energiakaivoihin.

Suomessa nykyään asennettavista maalämpöpumpuista yli 90 % kytketään energiakaivoon, jonka syvyys on välillä 100 - 300 metriä. Siksi Keski-Suomen geoenergiapotentiaalin selvityksessä on keskitytty kallioperään porattavien energiakaivojen tuottaman kalliolämmön hyödyntämiseen. Tiiviimmin rakennetuilla taajama-alueilla ja erityisesti isommissa kohteissa energiakaivot ovat käytännössä ainoa vaihtoehto hyödyntää geoenergiaa.

Maaperään ja vesistöihin varastoitunutta lämmitysenergiaa kannattaa hyödyntää siellä missä siihen on mahdollisuus. Maakunnan vesistörikkaimmissa kunnissa vesistöasennusmahdollisuudet ovat haja- ja loma-asutuksen kannalta muuta Suomea merkittävämmät. Irtomaahan horisontaalitasoon asennettava maalämpöputkisto vaatii paljon pinta-alaa ja on siksi soveltuvin vaihtoehto haja-asutusalueen suuremmille tonteille. Vesistöasennus vaatii läheisen vesistön, jonka syvyys on sopiva. Liian syvä vesi heikentää auringon valon lataavaa vaikutusta, kuten myös veden virtaus. Optimaalisin asennuspaikka vesistöön tulevalle keruupiirille on matala järvenranta.

Kustannusten kannalta maapiirien rakentaminen on edullisin tapa hyödyntää geoenergiaa. Energiakaivoja poraavien yritysten lukumäärä on kasvanut voimakkaasti, mikä on vaikuttanut väistämättä alentavasti myös hintatasoon. Nykyaikaisella kalustolla pientalon energiakaivo valmistuu kytkentävalmiiksi vuorokaudessa jo rakennetullekin tontille.

Maakerroksen läpi porattaessa kaivo on sortumisen estämiseksi tuettava teräsputkella. Teräsputkiporaus maksaa noin tuplasti kallioporaukseen verrattuna. Maapeitepaksuudella on vaikutusta energiakaivon porauksen hintaan ja samalla koko järjestelmän investoinnin takaisinmaksuaikaan. Keski-Suomen alueella tavataan harvemmin yli 40 metriä paksuja maapeitteitä.

2.2.1 Pohjavesi

Energiakaivo voi kerätä energiaa talteen vain siltä osaltaan, jossa keruuputkisto on pohjaveden (tai kaivon muun täyteaineen, kuten bentoniitin) ympäröimä. Pohjaveden löytyminen läheltä maanpintaa on siis toivottavaa. Porauksen jälkeen pinta palautuu luonnolliseen tasoonsa. Mikäli kaivo ei täyty tai täyttyy vedellä hitaasti, se voidaan täyttää. Talousvesikaivoille tarvittaessa tehtävää paineaukaisua ei suositella, koska kaivon sortumisriski on aina olemassa ja toisaalta tiivis kallioperä ei päästä vettä kaivosta poiskaan. Puututuva pohjavesi voidaan myös korvata täyteaineella (bentoniittisavi) joko kokonaan tai osittain. Tämä tekniikka on vasta tulossa Suomeen.

Pohjaveden liike maa- ja kallioperässä tehostaa lämmön siirtymistä. Konvektion vaikutusta on havaittavissa huokoisissa kivilajeissa, mutta pääasiassa lämpö liikkuu veden mukana ainoastaan raoissa. Keski-Suomen geoenergiapotentiaalikartassa ei ole huomioitu/rajattu pohjavesialueita, vaikka pohjavesivirtaus voisi em. syistä parantaa geoenergiapotentiaalia maankamarassa. Maalämpöjärjestelmän rakentamiseen liittyy pohjaveden suojelun kannalta riskejä, kuten hyvä- ja huonolaatuisten pohjavesien sekoittuminen porareikien kautta. Huolellisesti suunniteltuna, toteutettuna ja käytettynä yksittäisen kaivon aiheuttama riski pohjaveden pilaantumiselle on kuitenkin häviävän pieni. Maalämpöjärjestelmän toteuttamiseksi tar-

17.6.2015

vittavia lupia ja ympäristön sekä erityisesti pohjaveden suojelun kannalta huomioitavia asioita on käsitelty tarkemmin Ympäristöministeriön ”Energiakaivo- Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa”-oppaassa (2013). Oppaan erityisenä tavoitteena on ollut yhtenäistää lupakäytäntöjä kuntien välillä. Opas on saatavana internetistä www.ym.fi/julkaisut.

3 KESKI-SUOMEN MAAKUNNAN GEOLOGIA

3.1 Maaperä, maapeitteen paksuus ja sen luokittelu

Maapeitteen paksuus on Keski-Suomen maakunnan alueella hyvin ohutta, pääosin alle 20 metriä ja vain harvoin yli 20 metriä. Joitakin alueita, joissa maapeitteen paksuus on yli 40 m voi paikoin esiintyä. Maapeitteen paksuudella on vaikutusta geoenergiapotentiaaliin, sillä maalajien lämmönjohtavuus on heikompimpi kuin kiteisen kallion. Irtomaan heikompimpi lämmönjohtavuus on kompensoitava energiakaivon lisäsyvyydellä, mikä vaikuttaa geoenergian hyödynnettävyyteen myös porauskustannustekijänä. Maaporaus on kalliimpaa kuin kallioporaus.

Yleispiirteinen (1:250 000) maapeitteen paksuuskartta on integroitu käyttäen seuraavia Taulukon 1 mukaisia aineistoja:

Taulukko 1. Maapeitteen paksuuden määrittämisessä käytetyt aineistot.

GTK:n aineistot	Loppi-kannan kairaustiedot Maaperäkartat 1:20 000 ja 1:200 000 Maaperäkairaustiedot (Maapeli) DigiKP kallioperäkartta-aineisto v. 2.0 Valtakunnallinen pohjatutkimusrekisteri Numeerinen pohjakartta-aineisto (avokalliotiedot) Maa- ja kallioperäkarttojen paljastumatiedot Geofysikaaliset aineistot, aerosähkömagneettinen aineisto ja seismiset luotaustiedot
Maanmittauslaitos	Korkeusmallit (Laser ja 25/10 m korkeusmallit) Pohjakartat
Porausurakoitsijat	Maapeitteen paksuustiedot (Rototec Oy)

Maapeitteen paksuus jaoteltiin kahteen luokkaan: *hyvä* (0 - 20 m) ja *keskinkertainen* (20 - 40 m). Maakunnan pinta-alasta suurin osa, jopa 98,7 % kuuluu luokkaan *hyvä*, kun vesistöjä ei ole vähennetty. Vastaavasti 98,6 % kuuluu luokkaan *hyvä* ja 1,4 % luokkaan *keskinkertainen*, kun vesistöt on vähennetty.

17.6.2015

Liitteessä 1 on esitetty violetilla paksumman maapeitteen alueet (20 - 40 m), jotka näkyvät saarina viher-tävän matalan maapeitteen (0 - 20 m) alueella. Laajimmat paksun maapeitteen alueet kuuluvat Sisä-Suomen reunamuodostuman kumpumoreeneihin tai deltoihin, sekä muodostumaan liittyviin syöttöharjuihin. Laajin yhtenäinen paksun maapeitteen alue sattuu Jyväskylän ja Laukaan välille. Laajimmat kallioruhjeessa esiintyvät paksut maapeitteet ovat Hirvaskankaan huoltoasemakeskittymästä etelään suuntautu-vassa kallioperän ruhjevöhykkeessä. Muutoin paksun maapeitteen alueet ovat pienialaisia kallioiden suojasivun puolella sijaitsevia drumliineja ja megaflutingeja. Nämä piirteet kuvastavat erittäin selkeästi koko Keski-Suomen maakunnan sijoittumista viimeisen jäätiköitymisen loppuvaiheessa toimineiden kie-lekevirtojen alueisiin (esim. Salonen et al., 2002). Näillä alueilla voimakkaasta mannerjäätikön liikkeestä aiheutunut jäätikköeroosio on kuljettanut suuria määriä maa-aineksia allaan kohti jään reunavyöhykettä jättäen jälkeensä verrattain ohuen kallion pintaa verhoavan maapeitteen.

3.2 Kallioperä

Suomen kallioperä on pääosin hyvin vanhaa. Se on muodostunut nykyiseen muotoonsa arviolta 3000 - 1400 miljoonaa vuotta (Ma) sitten. Joitakin geologisia prosesseja on tapahtunut myöhemminkin, mutta niiden vaikutus Suomen kallioperään ei ole ollut kovinkaan laaja-alaisia. Noin kaksi kolmasosaa Suomen kallioperästä koostuu syväkivistä, jotka ovat kiteytyneet magmasta maankuoren keski- ja ylä-osassa, noin 25 - 2 kilometrin syvyydessä. Maamme varhaisproterotsooiset syväkivet ovat valtaosin graniitteja, granodioriitteja ja tonaliitteja. Näistä ns. happamista, pääasiassa maasälvistä ja kvartsista koostu-vista kivilajeista käytetään yhteisnimitystä granitoidi. Graniiteissa kalimaasälpää on yhtä paljon tai enemmän kuin plagioklaasia ja biotiitti on yleisin tumma mineraali. Granodioriiteissa ja tonaliiteissa maa-sälpä on pääasiassa plagioklaasia ja tummana mineraalina on biotiitin ohella usein sarvivälkettä. Grani-toidit ovat merkittäviä rakennusteollisuuden raaka-aineena, tasalaatuiset tyypit rakennuskivinä ja muut murskeraaka-aineena. Intermediääriset kvartsidioriitit ja dioriitit koostuvat etenkin plagioklaasista ja tummista mineraaleista (amfioleista ja pyrokseeneista). Niiden kalimaasälpäpitoiset vastineet ovat kvart-simonzodioriitti ja monzodioriitti. Gabrot ovat emäksisiä kivilajeja, jotka koostuvat plagioklaasista ja py-rokseeneista. Ultraemäksisten kivilajien (peridotiittien ja pyrokseeniittien) päämineraaleina ovat oliviini ja pyrokseenit sekä tietyissä tyypeissä sarvivälke. Gabrot ja ultraemäksiset kivilajit ovatkin taloudellisesti erittäin tärkeitä, sillä niitä käytetään rakennusteollisuuden raaka-aineina ja suuret nikkeli-kuparimalmit sekä kromimalmit sijaitsevat mahdollisesti näissä kivilajeissa. Varhaisproterotsooisia, iältään noin 1890 - 1860 Ma vuotta sitten syntyneitä syväkiviä tavataan eniten Keski-Suomessa. (mm. Nironen 1998, Vaas-joki et al. 2005, Turunen 2015).

Keski-Suomen maakunnan alueen kivilajit kuuluvat suurelta osin svekofenniseen Keski-Suomen grani-toidikompleksiin (Central Finland granitoid complex). Alueen aivan eteläisimmät osat sijoittuvat Pirkan-maan vyöhykkeeseen (Pirkanmaa belt) sekä pohjoisessa pieneltä osin Savon liuskejaksoon (Savo belt).

Keski-Suomen granitoidikompleksi koostuu pääosin happamista ja intermediäärisistä syväkivilajeista, jotka voidaan jaotella synkinemaattisiin 1890 - 1880 Ma ikäisiin tonaliitteihin, granodioriitteihin ja graniitteihin sekä 1880 - 1860 Ma ikäisiin postkinemaattisiin kvartsimontsoniitteihin ja graniitteihin. Kom-pleksin kivet ovat pääasiassa karkearakeisia graniitteja ja granodioriitteja. Etenkin Jyväskylän, Äänekosken ja Saarijärven alueilla kivet ovat karkeaporfyyrisiä graniitteja, joissa on runsaasti 1 - 3 cm kokoisia maa-

17.6.2015

sälpähajarakeita. Hieman tummempia ulkoasultaan olevia granodioriitteja ja tonaliitteja tavataan enemmän etenkin maakunnan länsiosassa. Tummat sulkeumat ovat näissä kivilajeissa yleisiä. Pyrokseenipitoisia graniitteja ja kvartsimonzoniitteja on muutamissa paikoin keski- ja itäosassa. Keski-Suomen granitoidikompleksin alueella emäksisiä syväkiviä on harvassa, kuten dioriitteja, gabroja tai peridotiitteja. Tämän lisäksi granitoidikompleksissa tavataan vähäisessä määrin subvulkaanisia intermediäärisiä kiviä, mafisia vulkaanisia kiviä sekä jäänteitä liuskejaksoista (Korsman et al. 1997, Nironen 1998, Nironen 2005). Kivien suuntautuneisuus vaihtelee selvästi gneissimäisistä täysin suuntautumattomaan. Niroson ja Frontin (1992) mukaan esimerkiksi Viitasaaren alueen syväkivet asettuivat paikoilleen lyhyessä ajassa ja myöhemmät magmapulssit aiheuttivat kiviin suuntautuneisuuden kehittymisen.

Pieniä rakennuskivilouhoksia on eri puolilla Keski-Suomen granitoidikompleksia, esimerkiksi Viitasaaren punertavaa, porfyyristä granodioriittia on käytetty mm. Helsingin Mäntyniemessä Tasavallan Presidentin virka-asunnon lattiaan ja ulkoseiniin. Gabroa on louhittu rakennuskiveksi Korpilahdella, Kivijärvellä ja Viitasaarella (Nironen 1998).

Keski-Suomen maakunnan eteläosassa vallitsevat kivilajit kuuluvat Pirkanmaan vyöhykkeeseen. Kivet koostuvat pääasiassa migmaattisista kiillegneisseistä, joissa välikerroksina tavataan mustaliuskeita ja grafiittipitoisia liuskeita. Mafiset ja ultramafiset syväkivet sekä 1880 Ma ikäiset granitoidit leikkaavat jakson gneissejä ja grauvalkoita (Kähkönen 2005). Kvartsi-maasälpäliuskeita tavataan muutamien paikoin kuin myös Päijänteen länsipuolelta pienalaisia kvartsiittialueita.

3.2.1 Siirros- ja ruhjevyöhykkeet

Maakunnan halki kulkee siirros- ruhjevyöhykkeitä, joissa on kolme myöhäistä ruhjesuuntaa, kaakko-luode, lounas-koillinen ja etelä-pohjoinen (ks. Liite 2). Keski-Suomen alueen ruhjeille on tyypillistä, että ne ovat olleet aktiivisia useassa eri vaiheessa ja niissä on havaittavissa vanhempi plastisen hierron vaihe ennen myöhempiä hauraita vaiheita. Vanhemmissa ruhjeisiin liittyvissä raoissa esiintyy raontäytteenä mm. kvartsia, epidootia ja karbonaattia. Kairasydämistä havainnoituna hauraat, nuorimmat ruhjeet ovat avoimia ja niille on tyypillistä voimakas rikkonaisuus sekä voimakkaan punainen hematiittipigmentistä aiheutuva värisävy.

Keski-Suomen ruhjeet ovat vaihtelevasti paikannettavissa. Osa suuremmista ruhjeista näkyy aeromagneettisessa aineistossa negatiivisina viivamaisina ja varsin pitkänomaisina anomalioina, kuten myös ne, jotka leikkaavat sopivia magneettisia kivilajityksiköitä. Avoimet, vesipitoiset ruhjeet paikantuvat aerosähkömagneettisessa aineistossa pitkänomaisina johteina. Vastaavasti myös hienoainessedimenteillä, kuten savella täyttyneet ruhjeet erottuvat aerosähkömagneettisella kartalla muuta ympäristöään paremmin sähköä johtavina. Ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet voidaan paikantaa vielä tarkemmin sähköisillä ja seismisillä maastomittauksilla sekä alhaisemman tiheydensä vuoksi gravimetrisillä profiili- eli painovoimamittauksilla. Ruhjeiden ensi vaiheen paikannukseen tehokkain aineisto on kuitenkin mahdollisimman tarkka korkeusmalli (laserkeilaus), josta ruhjeet erottuvat pitkänomaisina painanteina. Olemassa oleville kallioperäkartoille ruhjeista on merkitty vain suurimmat, kuten myös Liitteessä 2 on esitetty. Maastossa ruhjesuunnat ovat havaittavissa pitkinä kapeina maastonmuotoina. Esimerkiksi kaikki Päijänteen lounas-koilliset lahdet ovat syntyneet kyseisen suuntaisiin ruhjeisiin. Pihtiputaan ja Rauhanperän siirrokset hal-

17.6.2015

kovat alueen pohjoisosan. Nämä murroslaaksot ovat paikoin satojen metrien, jopa kilometrien levyisiä murrosvyöhykkeitä (Salli 1971).

Geoenergiapotentiaalin kannalta pohjaveden liikkeet kallioperän avoimissa raoissa mahdollistavat lämmön paremman siirtymisen energiakaivon läheisyyteen edellyttäen rikkonaisuuden olevan tervettä. Mikäli ruhjeet ovat hienoaainessedimenteillä voimakkaasti rapautuneita, ne voivat tukkivat kallion raot ja hydrauliset yhteydet, jolloin veden liikkeet estyvät. Tällöin ne eivät paranna lämmön siirtymistä. Yleisesti ottaen nuorempia ruhjeita voidaan pitää rikkonaisuudeltaan avoimempina verrattuna vanhempiin, mahdollisesti jo täyttyneisiin ruhjeisiin, jolloin niiden rakoilua voidaan pitää edullisena geoenergiapotentiaalin kannalta.

3.2.2 Kallioperän lämmönjohtavuus ja kivilajien luokittelu

Keski-Suomen maakunnan alueen kivilajikarttaa muodostettaessa hyödynnettiin GTK:n DigiKP kivilajikuvioita v. 2.0 mittakaavassa 1:200 000 (1:500 000 - 1:50 000). Kallioperäkartta on esitetty Liitteessä 2 ja kartan selite Liitteessä 3. Kivilajien lämmönjohtavuuden luokittelussa hyödynnettiin Susanna Peltoniemen ja Ilmo Kukkosen (1995) raportoimaa laajaa aineistoa kivilajien lämmönjohtavuuksista Suomessa vuosina 1964 - 1994 sekä Susanna Peltoniemen diplomityötä (1996). Luokittelussa on siis pääosin turvauduttu porarei'istä mitattuihin lämmönjohtavuuden kirja-arvoihin (keskiarvo) eri puolilta Suomea eivätkä ne perustu vain ja ainoastaan paikkakohtaisiin mittauksiin Keski-Suomen maakunnan alueella. On myös huomioitava, että saman kivilajin sisälläkin voi esiintyä lämmönjohtavuuden vaihtelua aiheutuen kivilajien heterogeenisuudesta eli mineraalikoostumuksen paikallisista vaihteluista ja anisotropiasta.

Keski-Suomen osalta kivilajien lämmönjohtavuus luokiteltiin viiteen (5) luokkaan pääosin keskiarvon perusteella, mutta tarkastelussa huomioitiin myös moodi. Joitakin laajempia kivilajialueita, joiden lämmönjohtavuus vaihtelee mineraalikoostumuksen ja -jakauman mukaan, tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin 1:100 000 kallioperäkartoista ja niiden selosteista. Luokittelussa on kolme pääluokkaa: *erittäin hyvä/hyvä* (alias *kiitettävä*) (11), *keskinkertainen* (22) ja *heikko* (33). Pääluokkien lisäksi on huomioitu kaksi väli-luokkaa: *hyvä* (12), jossa lämmönjohtavuus voi vaihdella hyvästä keskinkertaiseen eli luokkien 11 - 22 välillä ja *kohtalainen* (23), jossa lämmönjohtavuus voi vaihdella keskinkertaisesta heikkoon eli luokkien 22 - 33 välillä. Taulukossa 2 on esitetty lämmönjohtavuuden luokittelu ja kuhunkin luokkaan kuuluvien kivilajipolygonien lukumäärät, pinta-alat ja % -osuudet maakunnan kokonaispinta-alasta vähennettynä vesistöt. Kivilajiyksiköiden lämmönjohtavuuden spatiaalinen luokittelu on esitetty Liitteessä 4 ja vastavasti taulukkomuodossa Liitteessä 5.

17.6.2015

Taulukko 2. Keski-Suomen kivilajipolygonien lämmönjohtavuuden luokittelu. Pääluokkien osalta on esitetty lämmönjohtavuuden, λ , kynnyksarvot.

Kivilajin lämmönjohtavuus väliluokittain					
Luokittelu	Alias	λ kynnyksarvo [W/(m·K)]	Polygonien lkm	Pinta-ala* [km ²]	[%]
11 = Erittäin hyvä / hyvä	Kiitettävä	> 3.0	586	13653	81.4
12 = Hyvä - keskinkertainen	Hyvä		251	1291	7.7
22 = Keskinkertainen	Keskinkertainen	≥ 2.5 ja ≤ 3.0	353	1671	10.0
23 = Keskinkertainen - heikko	Kohtalainen		84	84	0.5
33 = Heikko	Heikko	< 2.5	78	67	0.4
			1352	16766	100

* vähennettynä vesistöt

Suurin osa, jopa 81 % Keski-Suomen maakunnan pinta-alasta on granitoideja (586 polygonia), joiden lämmönjohtavuuden kivilajikohtaiset keskiarvot ovat keskimäärin muita kivilajeja paremmat. Ne ovat myös rakoilultaan edullisia pohjaveden liikkeille, mikä parantaa lämmönjohtumista, ja niiden porattavuus on myös hyvä. Graniiteissa on kuitenkin vaihtelua lämmönjohtavuuksissa ja esim. apliittigraniitilla se on selkeästi heikompi, mikä otettiin huomioon. Suurin osa maakunnan pinta-alasta kuuluu siis lämmönjohtavuusominaisuuksiltaan luokkaan *kiitettävä*. Toiseksi eniten kivilajipolygoneja (353 kpl) kuuluu luokkaan *keskinkertainen*, jonka osuus maakunnan pinta-alasta on 10 %. Tällaisia kivilajeja ovat mm. kiilleliuske, gablo, apliittigraniitti sekä koostumuksen mukaan eräät gneissit ja vulkaniitit. Kolmanneksi eniten kivilajipolygoneja (251 kpl) kuuluu luokkaan *hyvä*, jonka osuus maakunnan kokonaispinta-alasta on 7.7 %. Tällaisia kivilajeja ovat mm. kiillegneissi ja eräät muut gneissit, vulkaniitit koostumuksen mukaan, kvartsimontsoniitti, grauvalkaliuske ja peridotiitti. Vain noin 1 % maakunnan kokonaispinta-alasta kuuluu luokkiin *kohtalainen* ja *heikko*. Näihin luokkiin kuuluvia kivilajeja ovat esim. amfiboliitti, dioriitti sekä eräät intermediääriset ja emäksiset vulkaniitit riippuen mineraalikoostumuksesta.

4 GEOENERGIAPOTENTIAALI

4.1 Geoenergiapotentiaalikartan toteutus

Kappaleessa 3 kuvatut aineistot vaikuttavat osaltaan geoenergiapotentiaaliin. Eniten geoenergian saatavuuteen vaikuttavat maa- ja kallioperän lämmönjohtavuus ja lämpötila, mutta myös pohjaveden liikkeillä kallion raoissa sekä kaivon ominaisuuksilla on omat vaikutuksensa. Alueellinen geoenergiapotentiaali kuvaa kvalitatiivisesti geoenergian hyödynnettävyyttä. Sen sijaan geofysikaalisena paikkatutkimuksena tehtävät terminen vastetesti (TRT-mittaus) ja erillinen lämpötilan luotaus anturilla ilmaisevat kvantitatiivisesti yksittäisen energiakaivon geoenergiapotentiaalin; tehollisen lämmönjohtavuuden kaivon välittömässä läheisyydessä, kaivon keskimääräisen lämpövastuksen ja kaivon lämpötilan syvyyden funktiona.

17.6.2015

Yhdistämällä kivilajien lämmönjohtavuus maapeitteen paksuuteen kappaleessa 3 esitetyn luokittelun mukaisesti, saadaan Keski-Suomen maakunnan geoenergiapotentiaalille yhteensä kymmenen (10) erilaista kombinaatiota, kuten Taulukko 3 osoittaa. Taulukossa 3 on esitetty kunkin kombinaation pinta-ala ja % -osuudet maakunnan alueella. Viimeisintä kombinaatiota 6 eli *erittäin huonoa potentiaalia* ei esiinny lainkaan. Toisaalta myös kombinaatioita 3a, 4a, 5a ja 5b esiintyy vain nimellisesti.

Taulukko 3. Geoenergiapotentiaaliluokat, jotka on saatu integroimalla maapeitteen paksuus ja kivilajin lämmönjohtavuus.

Geoenergiapotentiaali	Lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus	Komb.	Pinta-ala [km ²]*	[%]
Kiitettävä	Kiitettävä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	1	15950	80.034
Hyvä	Kiitettävä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	2a	231	1.158
	Hyvä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	2b	1589	7.975
Keskinkertainen	Hyvä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	3a	8	0.038
	Keskinkertainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	3b	1862	9.345
Kohtalainen	Keskinkertainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	4a	16	0.078
	Kohtalainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	4b	200	1.005
Heikko	Kohtalainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	5a	2	0.008
	Heikko lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	5b	72	0.359
Erittäin huono	Heikko lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	6	0	0.000

* vesistöjä ei vähennetty

Keski-Suomen geoenergiapotentiaalikartta laadittiin käyttäen ESRI:n ArcGis 10.1 -ohjelmistoa. Lähtöaineistot yhdistettiin hyödyntäen spatiaalista data-analyysiä. Kymmenestä eri potentiaalikombinaatiosta yhden (*erittäin huono* potentiaali) pudotessa pois, jäljelle jäi yhdeksän (9) luokkaa. Lukuun ottamatta potentiaaliluokkaa *kiitettävä*, aina kaksi rinnakkaista kombinaatiota niputettiin yhteen (esim. 2a ja 2b, 3a ja 3b jne.). Tällä tavalla lopullisia geoenergiapotentiaaliluokkia saatiin viisi (5): *kiitettävä*, *hyvä*, *keskinkertainen*, *kohtalainen* ja *heikko* Taulukon 4 mukaisesti. Taulukkoon 4 on laskettu kunkin luokan pinta-ala ja %-osuus maakunnan alueella, kun vesistöt on vähennetty pois ja kartalle on tehty yleistys (mm. 30 ha pienemmät alueet on pudotettu pois ja täytetty) sekä topologiakorjaus.

17.6.2015

Taulukko 4. Lopulliset geoenergiapotentiaaliluokat, joiden tunnusväreinä on käytetty samoja värejä kuin Keski-Suomen maakunnan geoenergiapotentiaalikartassa.

Geoenergiapotentiaali	Lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus	Pinta-ala [km ²]*	[%]
Kiitettävä	Kiitettävä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m	13458	80.2
Hyvä	Kiitettävä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	1497	8.9
	Hyvä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m		
Keskinkertainen	Hyvä lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	1570	9.4
	Keskinkertainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m		
Kohtalainen	Keskinkertainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	179	1.1
	Kohtalainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m		
Heikko	Kohtalainen lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 20 - 40 m	62	0.4
	Heikko lämmönjohtavuus ja maapeitteen paksuus 0 - 20 m		
		16767	100

* vesistöt vähennetty

Keski-Suomen geoenergiapotentiaali on pääosin kiitettävä. Maakunnan pinta-alasta 80 % kuuluu geoenergiapotentiaaliltaan luokkaan kiitettävä. Tämä johtuu, kuten aiemmin jo todettiin, ohuista maapeitteistä ja granitoidien laajasta levinneisyydestä alueella. Jopa 81 % maakunnan pinta-alasta on granitoideja, ja samoin 98,6 % pinta-alasta kuuluu irtomaapeitteen paksuuden osalta luokkaan hyvä (0 - 20 m). Myös kahta seuraavaa geoenergiapotentiaaliluokkaa *hyvä* ja *keskinkertainen* esiintyy keskenään lähes samassa suhteessa, n. 9 % maakunnan pinta-alasta. Sen sijaan potentiaaliltaan kehnompiin luokkiin *kohtalainen* ja *heikko* kuuluu yhteensä vain 1,5 % maakunnan pinta-alasta, ja lisäksi nämä alueet ovat pääosin hyvin yksittäisiä. Kaiken kaikkiaan geonergian hyödyntämistä voidaan suositella Keski-Suomen maakunnan alueella hyvin. Tämä uusiutuvan energian muoto hyödynnettäessä kallioon porattavia vertikaalikaivoja on mahdollista ottaa käyttöön kustannustehokkaasti niin yksittäisiä energiakaivoja kuin laajempia kaivokenttiäkin ajateltaessa.

Keski-Suomen geoenergiapotentiaalikartta on esitetty Liitteessä 6. Kartasta toimitetaan tilaajalle sähköinen versio mittakaavassa 1:250 000, jonka voi tulostaa kokoon A0. Topologisesti eheä aineisto toimitetaan numeerisena koskien niin Keski-Suomen geoenergiapotentiaalia kuin maapeitteen paksuuttakin. Lisäksi toimitetaan numeerisena kivilajipolygonit sekä ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet maakunnan alueelta.

4.2 Geoenergiapotentiaalín merkitys käytännössä – esimerkkilaskelmat

Lopullisessa geoenergiapotentiaalikartassa esitettyjen viiden eri luokan vaikutusta yksittäisen energiakaivon ja -kaivokentän syvyyteen ja tätä kautta geonergian tuotantoon tutkittiin. Jokaisesta luokasta valittiin mielivaltaisesti yksi kivilaji edustamaan kyseistä luokkaa. Kivilajien lämmönjohtavuudet ovat keskiarvoja, jotka on poimittu Peltoniemi ja Kukkonen (1995) raportista:

17.6.2015

- kiitettävä graniitti 3.35 W/(m·K)
- hyvä grauvakkaliuske 2.9 W/(m·K)
- keskinkertainen kvartsidioriitti 2.7 W/(m·K)
- kohtalainen amfiboliitti 2.5 W/(m·K)
- heikko dioriitti 2.3 W/(m·K)

Taulukossa 5 on esitetty luokkaan *kiitettävä* kuuluvan graniitin parametrit, joita käytettiin laskennassa kyseisen kivilajin osalta. Kallion tehollisen lämmönjohtavuuden ollessa vakio, kaivon syvyys riippuu lämpötilasta. Myös lämpövuolla ja geotermisellä gradientilla eli lämpötilan nousunopeudella on vaikutusta, kuten taulukosta nähdään. Laskuissa, joissa huomioitiin lämpövuoto, käytettiin maanpinnan teoreettista lämpötilaa Keski-Suomen alueella (vaihteluväli 4.4 - 5.7 astetta, keskiarvo n. 5.0 astetta) ja geotermistä gradienttia 0.8 °C/100 m. Kun lämpövuoto jätettiin huomioimatta, käytettiin kuvitteellisen 200 m syvän kaivon lämpötilan painotettua keskiarvoa vuodenaikaisvaihtelun alapuolelta (vaihteluväli 5.7 - 6.4 astetta). Taulukon 5 vahvennettuja ^{A,B} sarakkeita vertailemalla voidaan osoittaa, minkälainen vaikutus lämpötilalla on kaivon syvyyteen tarkasteltaessa täysin luonnontilaista vs. rakennettua ympäristöä. Luonnontilainen ympäristö ^A vastaa tässä täysin teoreettista, kirja-arvoilla toteutettua laskelmaa. Sen sijaan rakennettu ympäristö ^B vastaa todellista, GTK:n tekemää mittausta Jyväskylän seudulla.

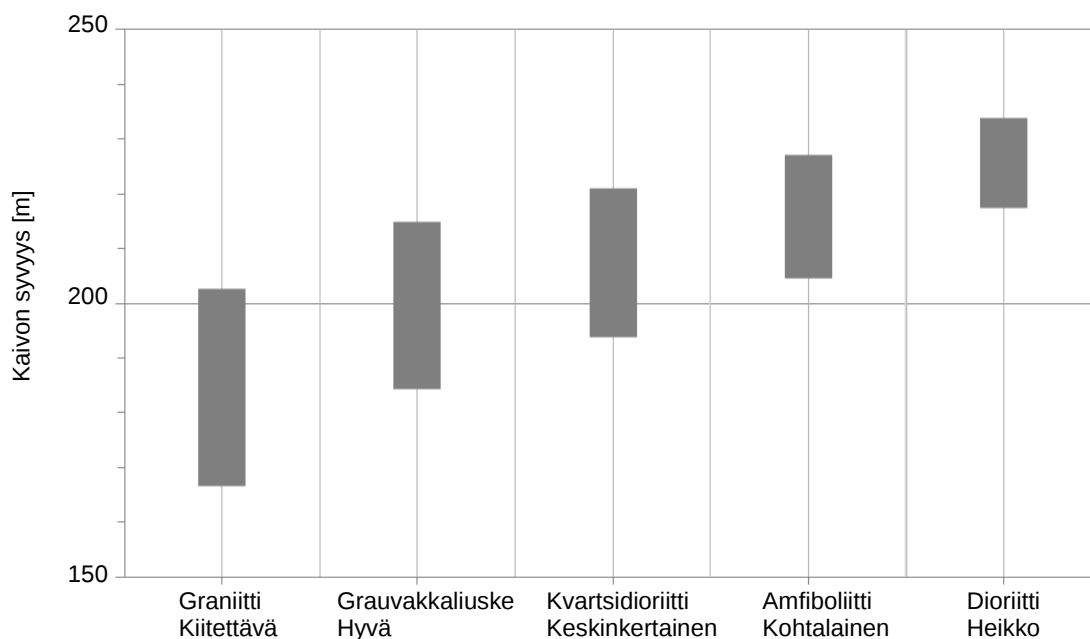
Taulukko 5. Parametrit, joita käytettiin laskettaessa energiakaivon syvyyttä kivilajin ollessa graniittia. Graniitti kuuluu geoenergiapotentiaaliltaan luokkaan kiitettävä.

Lämmönjohtavuus [W/(mK)]	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
Lämpökapasiteetti [MJ/(m ³ ·K)]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Maanpinnan lämpötila [°C]	4	4.5	4.9	5.7 ^A	5	6	6.4 ^B
Lämpövuoto [W/m ²]	0.037	0.037	0.027	0	0.037	0	0
Lämpötila syvyydellä 200 m	6.2	6.7	6.5	5.7	7.2	6.0	6.4
Lämpötilagradientti [°C/100 m]	1.1	1.1	0.81	0	1.1	0.0	0.0
Kaivon lämpövastus [K/(W/m)]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Kaivon syvyys [m]	201.5	188	185	183.4	176.1	175.5	165.7
Kallioenergia* [MWh]	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67

* Rakennuksen vuosittainen energiantarve 25 MWh, josta suoraan kalliosta otettava energiamäärä on 16.67 MWh (COP = 3). ^A Kaivo luonnontilaisessa ympäristössä, ^B kaivo rakennetulla alueella.

Taulukon 5 tavoin tarkasteltiin myös neljän muun esimerkkikivilajin vaikutusta kaivon syvyyteen. Tällä tavalla saatiin koostettua kuvaaja yksittäisen kaivon syvyydestä eri kivilajiluokissa lämmönjohtavuuden ja lämpötilan funktiona (Kuva 3.) Kuvaajasta nähdään, miten suuri merkitys kivilajilla on yksittäisen kaivon syvyyteen. Lämmönjohtavuudeltaan eroavien graniitin ja dioriitin välillä kaivon syvyydessä voi olla eroa jopa 30 - 50 metriä riippuen käytetyistä parametreista.

17.6.2015



Kuva 3. Yksittäisen energiakaivon syvyys eri geoenergiapotentiaali- ja kivilajiluokissa lämmönjohtavuuden ja lämpötilan funktiona.

Esimerkkilaskelmat tehtiin myös useampia energiakaivoja edellyttäviin kiinteistöihin kuten rivitaloon ja teollisuuskiinteistöön, joiden energiantarve oletettiin seuraavasti:

- rivitalon vuosittainen energiantarve 250 MWh ja
- teollisuuskiinteistön vuosittainen energiantarve 800 MWh

Näissä laskelmissa kallioperän lämpötila asetettiin vastaamaan Keski-Suomen leveysastetta siten, että maanpinnan lämpötila on 4.9 astetta ja lämpövuoto huomioitiin. Geoterminen gradientti asetettiin kaikissa kivilajiluokissa arvoon 0.8 °C/100 m. Normaalisti geoterminen gradientti vaihtelee Suomessa välillä 0.8 - 1.5 °C/100 m riippuen kivilajista, joten tässä tapauksessa gradientista käytettiin minimiarviota. Tällöin kaivojen aktiivisyvyys ovat hieman suurempia kuin käytettäessä korkeampaa gradienttia. Lisäksi lämpökapasiteetti vakioitiin kaikissa kivilajiluokissa arvoon 2.1 MJ/(m³K), vaikka todellisuudessa se vaihtelee kivilajeittain. Näin siksi, että lämmönjohtavuuden vaikutus kaivon syvyyteen olisi havaittavissa selkeämmin.

Taulukkoon 6 on koottu yhteen lämmönjohtavuuden vaikutus kaivon syvyyteen eri geoenergiapotentiaali- ja kivilajiluokissa tarkasteltaessa erikokoisia kiinteistöjä. Jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään, käytettiin kaikissa viidessä geoenergiapotentiaali- ja kivilajiluokassa samaa kaivokenttäkonfiguraatiota eli kaivojen etäisyydet toisiinsa nähden vakioitiin ja ainoastaan kaivon tarvittava syvyys laskettiin, kun tarkasteltiin useammasta energiakaivosta koostuvia tuotantokenttiä. Rivitalon osalta käytettiin L-mallista konfiguraatiota, jossa on kymmenen (10) kaivoa ja kaivojen välinen etäisyys toisistaan 15 m. Teollisuuskiinteistön tapauksessa käytettiin avoimen suorakaiteen muotoista konfiguraatiota, jossa 32 kaivoa kiertää rakennusta 19 m etäisyydellä toisistaan.

17.6.2015

Taulukko 6. Eri geoenergiapotentiaaliluokkiin kuuluvien kivilajien lämmönjohtavuuden vaikutus kaivon syvyyteen ja porauskustannuksiin¹ erikokoisissa kiinteistöissä. Tarkastelu on tehty Keski-Suomen alueelle täysin luonnontilaiseksi oletetussa miljöössä, mikä vaikuttaa kaivojen aktiivisyvyyteen kasvattavasti. Laskelmia ei voida suoraan hyödyntää alueen kiinteistöjen energiakaivojen ja -kenttien mitoituksessa.

Geoenergiapotentiaali	Kivilaji	Lämmönjohtavuus [W/(m·K)]	Kaivon aktiivisyvyys [m]	Kaivojen aktiivinen yhteissyvyys [m]	Kustannusvaikutus
”Omakotitalo”, 25 MWh/a					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	185	185	45 m * 30 €/m = 1350 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	203	203	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	208	208	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	220	220	
Heikko	Dioriitti	2.3	230	230	
			erotus = 45 m		
”Rivitalo”, 250 MWh/a: 10 kaivoa, kaivojen välinen etäisyys 15 m					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	234	2340	540 m * 30 €/m = 16 200 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	254	2540	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	263	2630	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	274	2740	
Heikko	Dioriitti	2.3	288	2880	
			erotus = 54m	erotus = 540m	
”Teollisuuskiinteistö”, 800 MWh/a: 32 kaivoa, kaivojen välinen etäisyys 19 m					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	233	7456	1696 m * 30 €/m = 50 880 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	252	8064	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	262	8384	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	273	8736	
Heikko	Dioriitti	2.3	286	9152	
			erotus = 53m	erotus = 1696 m	

¹ Energiakaivon porauskustannukset on arvioitu vuoden 2014 yleisen hintatason mukaan.

17.6.2015

Taulukosta 6 nähdään, että kaivojen aktiivisyvyydet, ja ylipäätään kentän koko, eivät kasva lineaarisesti energiantarpeen kasvaessa. Vaikka 25 MWh/a kuluttavalle rakennukselle riittää aktiivisyvyydeltään 185 m kaivo kivilajin ollessa graniittia, niin 250 MWh/a kuluttavalle rivitalokiinteistölle ei riitä kymmenen (10) aktiivisyvyydeltään 185 m kaivoa, vaan kaivojen tulee olla syvempiä. Useammasta kaivosta koostuvan energiakaivokentän kaivot siis vuorovaikuttavat keskenään, mikä tulee huomioida mitoituksia tehtäessä. Luonnollisesti mitoitukseen vaikuttaa kaivojen aktiivisyvyyden lisäksi myös kaivojen välimatkat toisistaan ja kaivojen sijoittelu tontilla (konfiguraatio) sekä energiantarpeen jakautuminen eri kuukausille.

Taulukon 6 laskelmia ei voida suoraan hyödyntää maakunnan alueen energiakaivojen tai -kaivokenttien mitoittamisessa, vaan laskelmat tulee tehdä aina tapauskohtaisesti. Useammasta kaivosta koostuvien energiakaivokenttien mitoittamista varten GTK suosittelee aina tehtävän kohteelliset tutkimukset ja mitaukset kallioperän paikallisten ominaisuuksien selvittämiseksi, ja kentän koko tulee myös optimoida vastaamaan energiantarvetta.

5 YHTEENVETO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki Keski-Suomen liiton toimeksiannosta selvityksen maakunnan geoenergiapotentiaalista. Selvitys koskee kallioperään porattavia energiakaivoja, joista saatavaa lämmitys- ja/tai viilennysenergiaa voidaan hyödyntää lämpöpumpun avulla. Selvityksessä huomioitiin geoenergian hyödyntämisen kannalta olennaiset geologiset tekijät eli kivilajit ja niiden lämmönjohtavuus sekä maapeitteen paksuus. Työn tuloksena tuotettiin yleismittakaavainen 1:250 000 geoenergiapotentiaalikartta, joka kuvaa kvalitatiivisesti geoenergian hyödynnettävyyttä. Esimerkkilaskelmin tutkittiin geoenergiapotentiaalin merkitystä käytännössä yksittäisen energiakaivon ja -kaivokentän syvyyteen ja tätä kautta geoenergian tuotantoon. Selvitys pyrkii antamaan tietoa maakuntakaavan suunnittelun tueksi ja palvelemaan uusiutuvan geoenergian hyödyntämismahdollisuuksien arviointia.

Keski-Suomen geoenergiapotentiaali on pääosin kiitettävä. Maakunnan pinta-alasta n. 80 % kuuluu geoenergiapotentiaaliltaan luokkaan kiitettävä. Tämä johtuu ohuista maapeitteistä ja granitoidien laajasta levinneisyydestä alueella. Jopa 81 % maakunnan pinta-alasta on granitoideja, joiden lämmönjohtavuuden kivilajikohtaiset keskiarvot ovat keskimäärin muita kivilajeja paremmat. Samoin 98,6 % pinta-alasta kuuluu maapeitteen paksuuden osalta luokkaan hyvä (0 - 20 m). Myös kahta seuraavaa geoenergiapotentiaali-luokkaa *hyvä* ja *keskinkertainen* esiintyy keskenään lähes samassa suhteessa, n. 9 % maakunnan pinta-alasta. Sen sijaan potentiaaliltaan kehnompisiin luokkiin *kohtalainen* ja *heikko* kuuluu yhteensä vain 1,5 % maakunnan pinta-alasta, ja lisäksi nämä alueet ovat pääosin hyvin yksittäisiä.

Geoenergian hyödyntämistä voidaan suositella Keski-Suomen maakunnan alueella hyvin. Tämä uusiutuvan energian muoto hyödynnettäessä kallioon porattavia vertikaalikaivoja on mahdollista ottaa käyttöön kustannustehokkaasti niin yksittäisiä energiakaivoja kuin laajempia kaivokenttiäkin ajateltaessa.

Keski-Suomen geoenergiapotentiaalikartta 1:250 000 toimitetaan tilaajalle sähköisessä muodossa. Topologisesti eheät aineistot koskien geoenergiapotentiaalia ja maapeitteen paksuutta toimitetaan tilaajalle

17.6.2015

numeerisena. Lisäksi toimitetaan numeerisena kivilajipolygonit sekä ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet maakunnan alueelta.

KIRJALLISUUSVIITTEET

Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H., & Pekkala, Y. (Editors) 1997. Bedrock map of Finland 1: 1 000 000. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.

Kähkönen, Y. 2005. Svecofennian supracrustal rocks. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V., pp.343-406.

Nironen, M. & Front, K. 1992. The 1.88 Ga old Mäntylä complex, central Finland: emplacement and deformation of mafic to felsic plutonic rocks and associated Mo mineralization. Bulletin of the Geological Society of Finland, 64 (1), s. 75-90.

Nironen, M. 1998. Proterotsooiset orogeeniset syväkivet, teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.) Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., s. 229-255.

Nironen, M. 2005. Proterozoic orogenic granitoid rocks. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V., pp.443-480.

Peltoniemi, S. & Kukkonen, I. 1995. Kivilajien lämmönjohtavuus Suomessa: Yhteenveto mittauksista 1964 - 1994. Raportti Q18/95/1. Geologian tutkimuskeskus, Geofysiikan osasto, Geoterminen laboratorio. 14 s. + liitt.

Peltoniemi, S. 1996. Relationships between thermal and other petrophysical properties of rocks in Finland. Master thesis. Helsinki University of Technology, Espoo. 100 p.

Salli, I. 1971. Kallioperäkartan selitys. Karttalehti 3312. Geologinen tutkimuslaitos. 44s.

Salonen, V-P., Eronen, M., Saarnisto, M.. 2002. Käytännön maaperägeologia. Otavan kirjapaino. Oulun yliopisto.

Turunen, M. verkkosivu: www.geologia.fi. Viitattu 29.4.2015.

17.6.2015

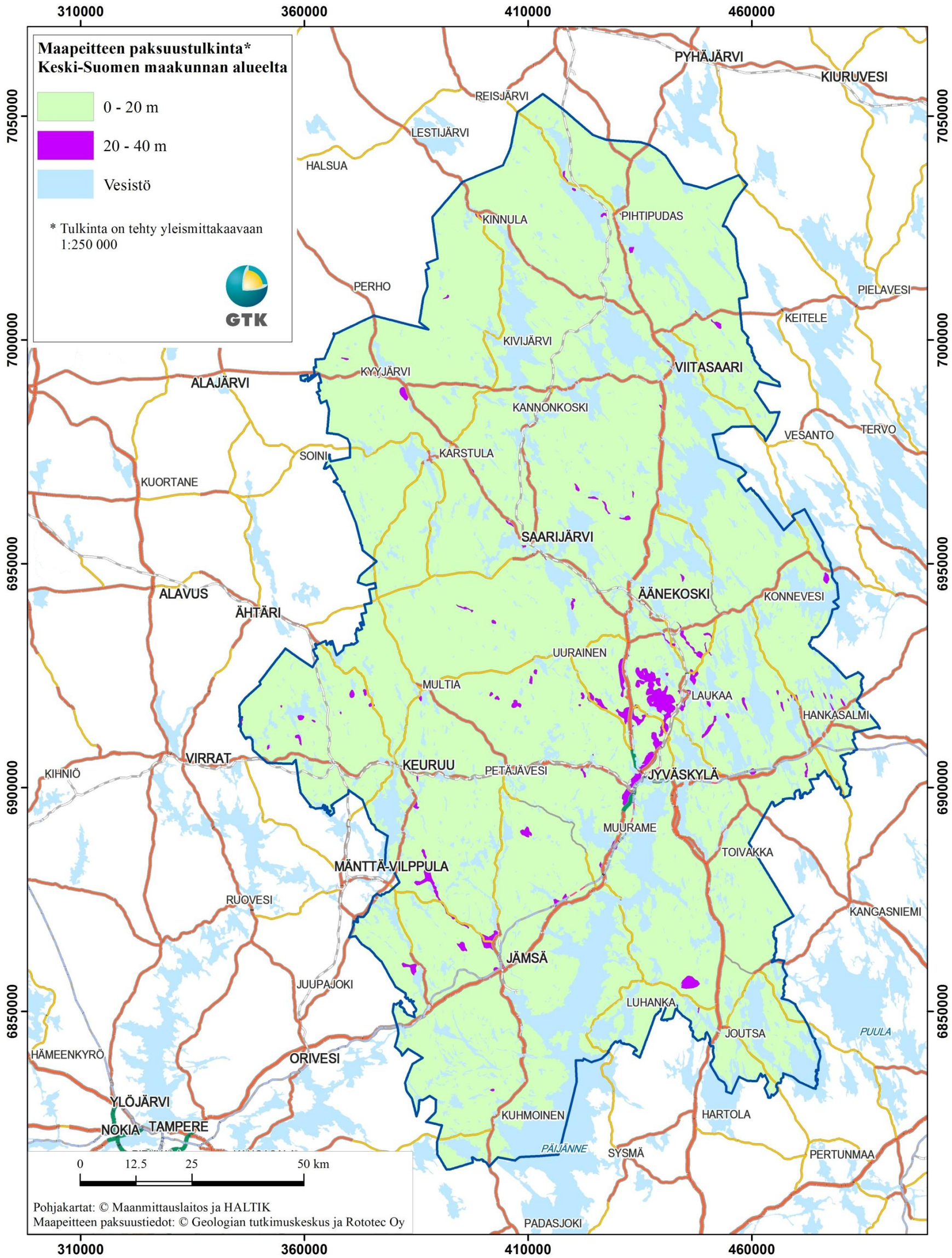
Vaasjoki, M., Korsman, K., Koistinen, T. 2005. Overview. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (Eds.), *The Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 1-18.

Vuositilastot – Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981 - 2010. [WWW-dokumentti]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 16.6.2015] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>

17.6.2015

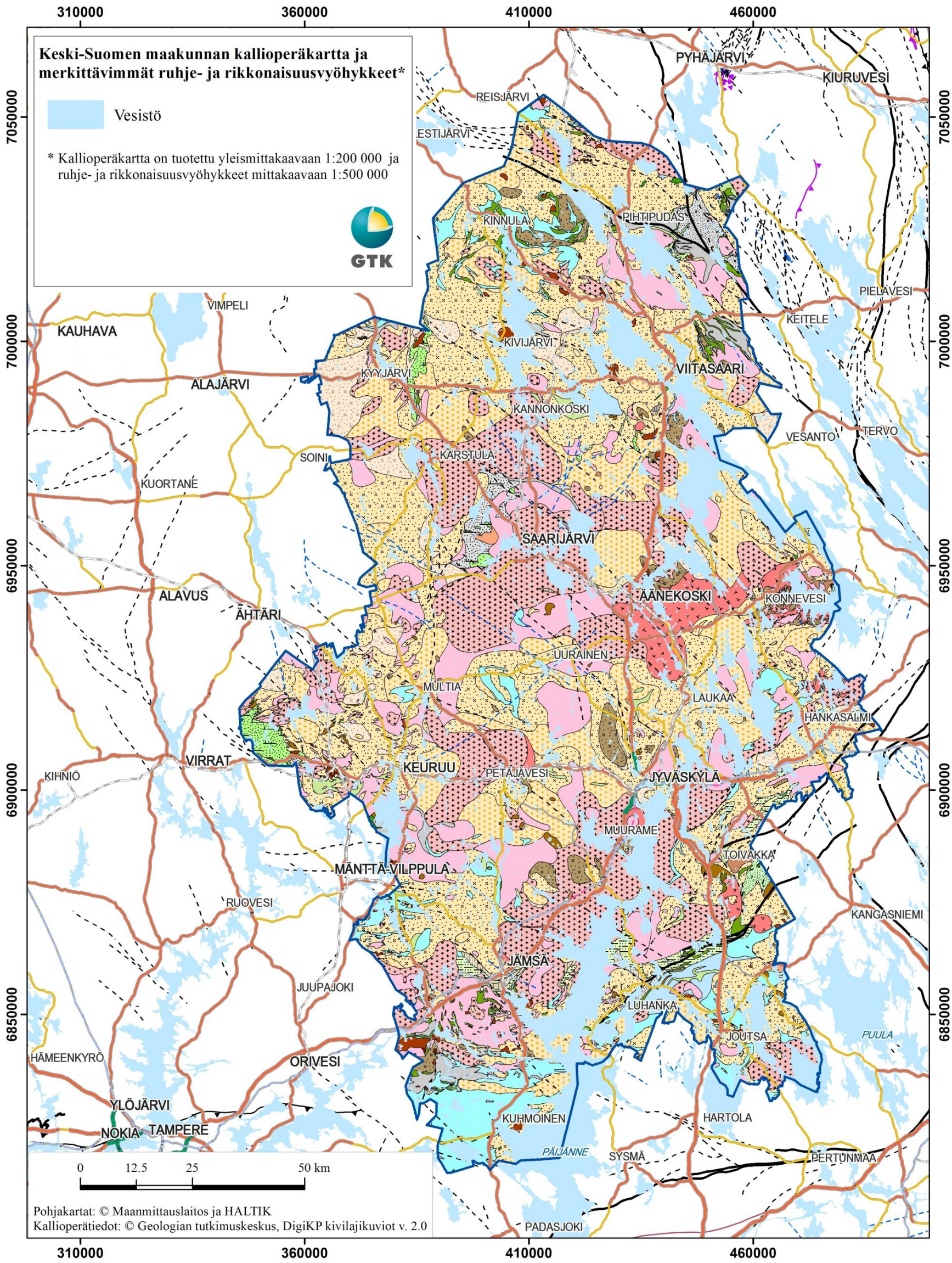
Maapeitteen paksuustulkinta* Keski-Suomen maakunnan alueelta

*Tulkinta on tehty yleismittakaavaan 1:250 000.



17.6.2015

Keski-Suomen maakunnan kallioperäkartta (1:200 000) ja aluetta halkovat merkittävimmät ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeet (1:500 000)



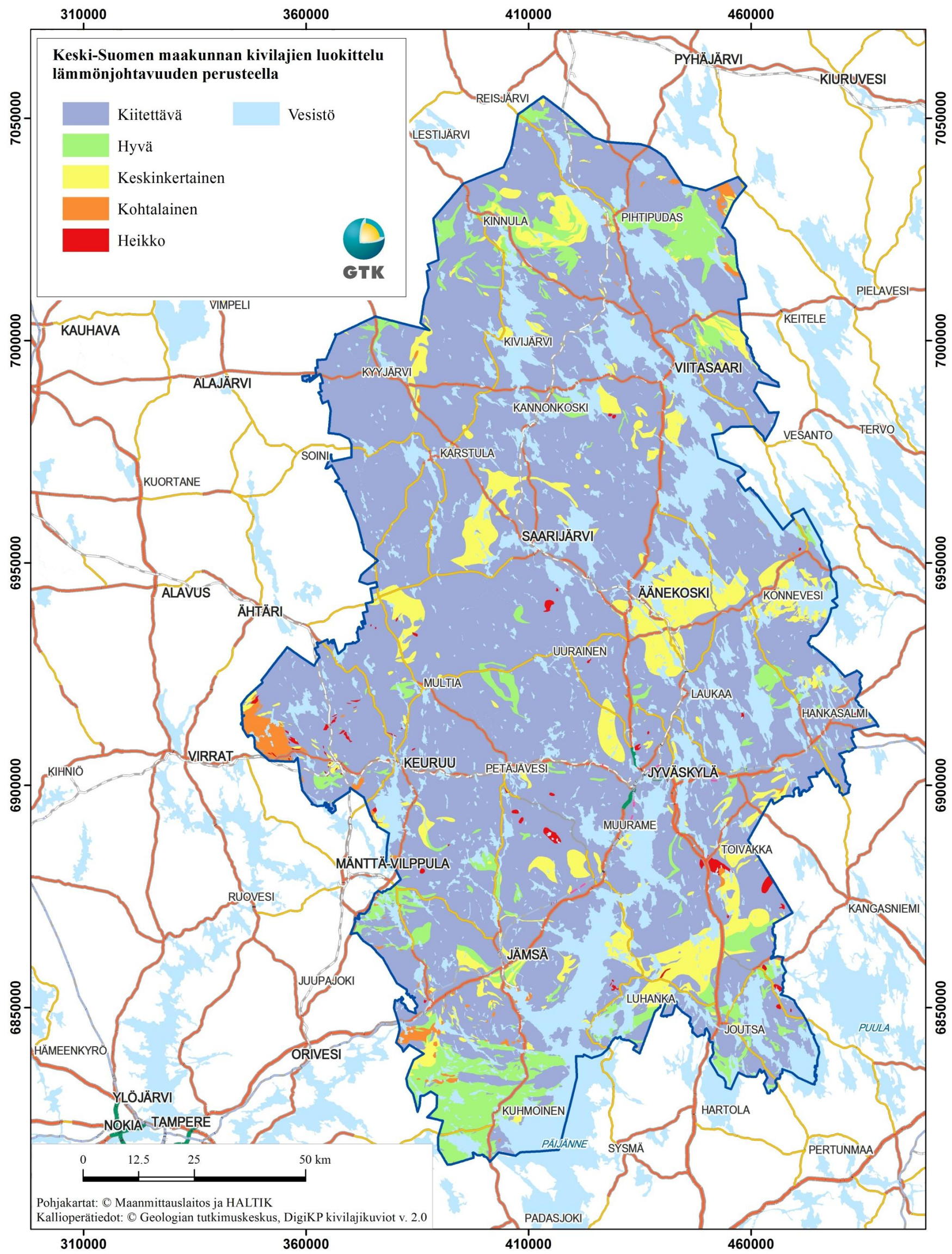
17.6.2015

Kallioperäkartan (1:200 000) sekä ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeiden (1:500 000) selite

Kallioperäkartan 1:200 000 selite									
Kivilajit					Structural lines (1: 500 000 -)				
Granitoidi 211111					Line type				
	2111112 Alkalimaasälpägraniitti		2111144 Troktoliitti		211242 Pikriittinen vulkaniitti		212132 Breksiakonglomeraatti		213484 Kvartsi - maasälpäparaliuske
	2111113 Leukogranitoidi		2111145 Sarvivälkegabro		2112422 Komatiitti		212134 Vulkaniklastinen konglomeraatti		213485 Amfiboliparaliuske
	2111133 Montsograniitti		Anortosiitti 211115		21124221 Basalttinen komatiitti		2121341 Felsinen vulkaniklastinen konglomeraatti		213486 Grafiittiparaliuske
	2111134 Porfyryinen graniitti			2111152 Anortosiitti			2121342 Intermediäärinen vulkaniklastinen konglomeraatti		213487 Grafiitti- ja sulfidipitoinen paraliuske
	2111135 Rapakivigraniitti		Foidoliitti 211119		2112431 Boniniitti		2121343 Mafinen vulkaniklastinen konglomeraatti		213488 Kloriittiliuske
	21111351 Rapakivigraniitti			211119 Foidoliitti			Karbonaattikivi 2122		213489 Mustaliuske
	21111352 Viborgiitti		21112 Ultramafinen syväkivi		211245 Ultramafinen tuffi		2122 Karbonaattikivi		213491 Biotiittiparagneissi
	21111353 Pyteriitti		211121 Peridotiitti				21221 Kalsiittinen karbonaattikivi		213492 Kvartsi - maasälpägneissi
	21111354 Porfyryinen rapakivigraniitti		2111211 Duniitti				212211 Kalkkikivi		213493 Sarvivälke - biotiittigneissi
	21111355 Kvartsiporfyryinen rapakivi		2111212 Pyrokseeniperidotiitti				212212 Dolomiittinen kalkkikivi		213494 Biotiitti - sarvivälkegneissi
	21111356 Apliittinen rapakivigraniitti		21112123 Wehrlitti				21222 Dolomiittinen karbonaattikivi		213495 Arkoosigneissi
	2111136 Mikrokliinigraniitti			211122 Pyroksemiitti			Rautakivi 2123		213496 Granaatti - kordieriittigneissi (sedim.)
	2111137 Pyrokseenigraniitti		2111222 Pyroksemiitti				21231 Raitainen rautakivi		Metamorfinen kivi (tuntematon protoliitti) 2135
	2111138 Pegmatiittigraniitti		2111221 Pyroksemiitti				Ei klastinen kvartsikivi 2124		2135112 Amfiboliliuske
	2111114 Granodioriitti		211123 Hornblendiitti				21241 Serti		2135113 Kvartsi - maasälpäliuske
	21111141 Charnoenderbiitti		2111232 Oliviiini-pyrokseenihornblendiitti				Metamorfinen kivi (magma protoliitti) 2133		2135121 Kiiillegneissi, muskoviittigneissi
	21111142 Porfyryinen granodioriitti		2111233 Oliviiinihornblendiitti				213311 Granofyyri		2135122 Kvartsi - maasälpägneissi
	2111115 Tonalitti		Felsinen vulkaniitti 21121				213322 Granaatti - kordieriitti - antofylliitti - kivi		2135123 Sarvivälkegneissi
	2111151 Enderbiitti			21121 Felsinen vulkaniitti			21333 Meta - ultramafinen kivi		2135124 Pyrokseenigneissi
	2111152 Trondhjemiiitti		211212 Dasiitti				213331 Serpentiiniitti		2135125 Amfiboligneissi
Syenitoidi 211112							213332 Vuolukivi		2135127 Granaatti - sarvivälkegneissi (Granuliitti)
	2111123 Kvartsisyeniitti		211214 Felsinen tuffi				213343 Talkkiliuske		213521 Amfiboliitti
	2111124 Syeniitti		Intermediäärinen vulkaniitti 21122				213351 Serisiitti - kordieriittigneissi		21352321 Granaatti - kordieriittigneissi (Intermediäärinen granuliitti)
	2111125 Kvartsimontsoniitti		211221 Andesiitti				213352 Granaatti - kordieriitti - antofylliittigneissi		2135241 Tonalittinen migmatiitti
	21111251 Porfyryinen kvartsimontsoniitti		2112213 Basalttinen andesiitti				213353 Granaatti - kordieriittigneissi (Muutt. Hvulk)		2135242 Graniittinen gneissi
	2111126 Montsoniitti		211223 Intermediäärinen tuffi				213354 Kordieriitti - sillimaniittigneissi		2135243 Migmatoitunut paragneissi
Dioritoidi 211113							Metamorfinen kivi (sedimentti protoliitti) 2134		2135244 Migmatoitunut tonaliitti
	2111131 Kvartsimontsodioriitti		2112231 Intermediäärinen grafiittituffi				21341 Psammiitti		Mekaanisesti särkynyt kivi 2136
	2111132 Montsodioriitti		Mafinen vulkaniitti 21123				21342 Kvartsiitti		21361 Kataklastinen kivi
	2111133 Kvartsidioriitti		211231 Basalti				213421 Ortokvartsiitti		21362 Myloniitti
	2111134 Dioriitti		21123113 Fe - tholeiitti				213422 Arkoosikvartsiitti		213632 Impaktisulakivi (kärnäiitti)
Gabroidi 211114							213423 Serisiittikvartsiitti		2136332 Liittinen breksia
	211114 Gabroidi		211231132 Mg - tholeiitti				21343 Semipeliitti		2136333 Sueviitti
	2111142 Montsogabro		21123114 High Mg - basalti				21344 Peliitti		Metasomaattinen kivi 2137
	2111144 Gabro		211234 Mafinen tuffi				21345 Kalkkisisilikaattikivi		21371 Metasomaattinen kivi
	21111441 Noriitti		2112341 Mafinen grafiittituffi				213481 Biotiittiparaliuske		21373 Adinolikivi
	21111442 Gabronoriitti		Ultramafinen vilkaniitti 21124				213482 Fylliitti		213711 Metasomaattinen karsikivi
			21124 Ultramafinen vulkaniitti				213483 Serisiittiparaliuske		213712 Metasomaattinen kvartsikivi

17.6.2015

Kartta Keski-Suomen maakunnan kivilajien luokittelusta lämmönjohtavuudeltaan viiteen (5) luokkaan



17.6.2015

Taulukko Keski-Suomen maakunnan kivilajien luokittelusta lämmönjohtavuuden perusteella viiteen (5) luokkaan

KIVILAJI	LÄMMÖNJOHTAVUUDEN LUOKITTELU	SELITE
Amfiboliitti	23	
Amfiboliitti ja sarvivälkegneissi	22	
Amfiboliitti ja sarvivälkegneissi, uraliittiporfyriitti	22	
Apliittigraniitti	22	
Diabaasi	23	
Diabaasijuoni	23	
Dioriitti	33	
Dioriitti, gabro	23	
Dioriitti, usein kvartsipitoinen	23	
Emäksinen juoni Emäksisiä ja intermediäärisiä vul- kaanissyntyisiä kiviä	23	
Felsinen puolipinnallinen kivi	22	
Felsinen vulkaniitti, tuffiitti	12 - 22	Vaihtelee koostumuksen mukaan 12 - 22, sijoitettu kartalle. Esiintyy esim. kvartsi-maasälpäliusketta (enimmäkseen sedimenttistä) ja kvartsiittia, jossa amfibolivälikerroksia, myös grauvakkamaista liusketta sekä amfiboliittia, jossa kvm-liusketta sulkeumina. Lisäksi emäksistä ja intermediääristä laavakiveä, tuffiittia ja amfiboliittia.
Felsinen vulkaniitti (tufiitti), kiile- liuske Felsinen vulkaniitti (UP) Felsinen vulkaniitti, gneissimäinen tonaliitti	12	Esiintyy mm. hapanta gneissia, jossa kiillegneissivälikerroksia ja graniittijuonia. Esiintyy myös kiilleliusketta, jossa granaattijuonia.
Gabro	22	
Gabro ja dioriitti	23	
Gneissitonaliitti	11	
Granaatti-antofylliittigneissi	12	
Granaatti-kordieriitti-antofylliitti- sliimaniittigneissi	12	
Graniitti	11	
Graniitti, apliittigraniitti	22	
Graniittipegmatiitti	11	
Graniittiporfyryri	11	
Granodioriitti	11	
Granodioriitti tai kvartsimontsoniitti	12	

17.6.2015

Granodioriitti, (osin porfyrynen)	11	
Granodioriitti, (paikoin kvartsi-dioriitti)	11	
Granodioriitti, kalimaasalpäporfyrynen	11	
Granodioriitti, tonaliitti	11	
Grauvakkaliuske	12	
Grauvakkamainen kiillegneissi	12	
Hapan gneissi	12	
Hapan tai intermediäärinen raitainen vulkaniitti Happamia vulkaniitteja, tuffiitteja, leptiitteja ja vulkaniittigneisseja	12	
Hiekkakivi	11	
Intermediäärinen grafiittituffi	11	
Intermediäärinen puolipinnallinen kivi	22	
Intermediäärinen tuffi/(tuffiitti) Intermediäärinen vulkaniitti Intermediäärinen vulkaniitti/tuffiitti	12 - 23	Vaihtelee koostumuksen mukaan, sijoitettu kartalle.
Kiillegneissi	12	
Kiillegneissi tai suonigneissi	12	
Kiilleliuske	22	
Kiilleliuske ja fylliitti	12	
Kiilleliuske, kiillegneissi, grauvakka tai suonigneissi	12	
Kordieriitti-antofylliittigneissi	12	
Kordieriittigneissi	12	
Kordieriitti-sillimaniittigneissi	12	
Kvartsi- tai granodioriitti	11	Granodioriitti 11, mutta kvartsidioriitti 22. Kyseessä on granodioriitti, sijoitettu kartalle.
Kvartsidioriitti	22	
Kvartsiitti	11	
Kvartsi-maasälpägneissi	11	
Kvartsi-maasälpägneissi ja -liuske	11	
Kvartsi-maasälpäliuske	11	
Kvartsi-maasälpäliuske (vulkani-klastinen sedimentti)	12	Voi vaihdella, eroa mineraalikoostumuksessa.
Kvartsi-maasälpäliuske tai hapan gneissi	12	Voi vaihdella, eroa mineraalikoostumuksessa.

17.6.2015

Kvartsimontsodioriitti, kvartsi-dioriitti	22	
Kvartsimontsoniitti	22	
Kvartsimontsodioriitti	22	
Maasälpäporfyryri	11	
Mafinen tuffi	23	
Mafinen vulkaniitti	12 - 23	Vaihtelee koostumuksen mukaan, sijoitettu kartalle.
Mafinen vulkaniitti, uraliitti- plagioklaasiporfyriitti	22	
Mafinen vulkaniitti, uraliittiporfyriitti		
Metagrauvakka, kiilleliuske, kiillegneissi, suonigneissi	12	
Montsodioriitti	23	
Mustaliuske	11	
Oliviinihornblendiitti	11	
Pegmatiittigraniitti	11	
Peridotiitti	12 - 23	Riippuu mineraalikoostumuksesta. Päämineraaleja oliviini ja pyrokseenit, joilla korkea lämmönjohtavuus, sekä sarvivälke. Alueen eräät peridotiitit ovat koostumukseltaan vaihtelevia. Esiintyy myös gabrodioriittia ja serpentiniittiä. Sijoitettu kartalle.
Plagioklaasi- ja uraliittiporfyriitti	23	
Plagioklaasiporfyriitti	23	
Porfyyrinen graniitti	11	
Porfyyrinen granodioriitti	11	
Porfyyrinen kvartsimontsoniitti	22	
Pyrokseenigneissi	22	
Pyrokseenigranitoidi	11	
Sarvivälkegneissi	22	
Serisiittikvartsiitti	11	
Sulfidimalmi	22	
Suonigneissi	12	Graniittista aineista vaihtelevin määrin, biotiittiparagneissi
Suonigneissi, migmaattinen kiillegneissi	12	Vaihtelee. Migmatiitti on seoskivilaji.
Tasarakeinen graniitti	11	
Tonaliitti	11	
Tonaliittinen gneissi	12	
Tyynylaava, amfiboliitti	23	
Uraliitti-plagioklaasiporfyriitti	23	
Uraliittiporfyriitti	22	

17.6.2015

Geoenergiapotentiaali* Keski-Suomen maakunnan alueella

***Tulkinta on tuotettu yleismittakaavaan 1:250 000.**

