

TULOKSIA GEOFYSIKAALISISTA PAIKKATUTKIMUKSISTA OULUN HERUKAN SALEN TUTKIMUSKOHTEESSA

Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki Oulun Herukan Salen tutkimuskohteessa geofysikaaliset paikkatutkimukset kahdesta koekaivosta ajalla 2.8 - 19.8.2013. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää kallioperän ja lämpökaivon termiset ominaisuudet (kallion lämmönjohtavuus, kaivon lämpövastus ja lämpötilaprofiili) kahdesta n. 223 metriä syvästä kaivosta.

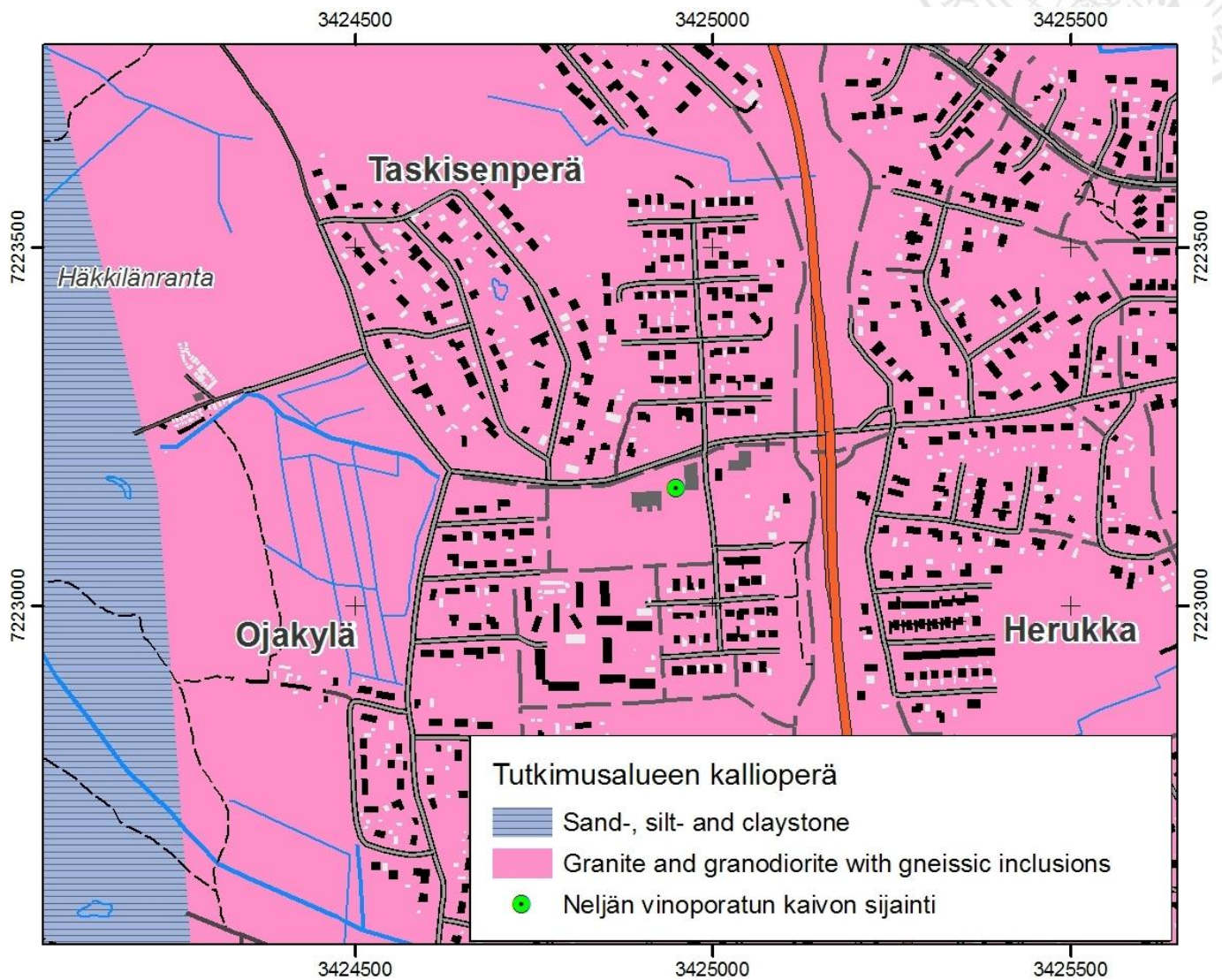
Paikkakohtaiset tutkimukset suositellaan tehtävän erityisesti kohteissa, joissa suuren energiantarpeen vuoksi tarvitaan useita energiakaivoja. Ilman lämpövastemittauksen tarjoamaa in-situ -tietoa, energiakaivokenttä täytyy mitoittaa kirja-arvoihin perustuen, jolloin vaarana voi olla joko kentän yli- tai alimitoitus. Oikeanlaisella mitoituksella kentän toimivuus voidaan optimoida vuosikymmenien ajalle.

Tutkimuskohteen kallioperä

Tutkimuskohteessa on neljä vinoporattua kaivoa, jotka erkanevat toisistaan maanpinnalla olevasta keskipisteestä. Keskipisteen sijainti kallioperäkartalla on esitetty Kuvassa 1. Tutkimusalue kuuluu yleislehtiin karttalehteen 2533 07. Kohteessa ei tehty geologista kartoitusta paikan päällä. Kallioperäkartan mukaan tutkimusalueen vallitseva kivilaji on graniitti, mutta alue sijoittuu hyvin lähelle graniitin ja savikiven, ns. Muhos-muodostuman kontaktia. Kallioperäkartta (1:1 000 000) on suuntaa-antava perustuen yksittäisiin kartoitushavaintoihin. GTK:n aerosähkömagneettinen lentomittausaineisto (Kuva 2) sen sijaan perustuu jatkuvampaan mittaukseen lentokoneesta tehtynä, joten sitä on luontevaa hyödyntää lisäinformaation saamiseksi.

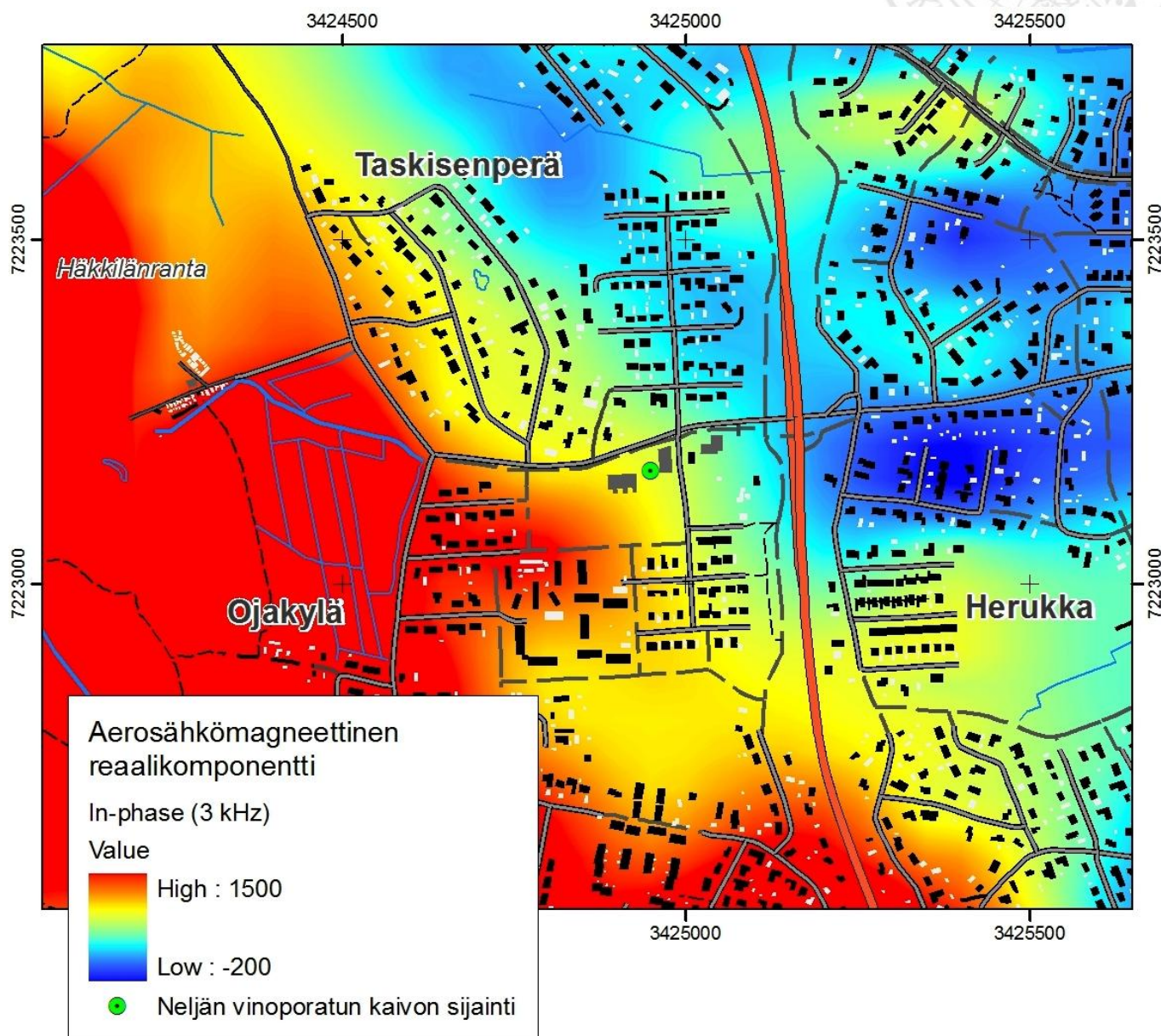
Kuvassa 2 on esitetty aerosähkömagneettinen reaalikomponentti, joka kuvaa maankamaran sähkönjohtavuusjakaumaa. Punainen väri kuvaa erittäin hyvää sähkönjohtavuutta ja sininen heikompa johtavuutta. Muhos-muodostuman savikivi (ominaisvastus eli sähkönjohtavuuden käänteisarvo $\rho = 20\text{--}50 \Omega\text{m}$,) on hyvä sähkönjohde aiheuttaen voimakkaan, muusta ympäristöstään erottuvan anomalian. Sinertävä väri kuvaa resistiivistä graniittia ($\rho = 7000 - 15000 \Omega\text{m}$). Kuvasta nähdään tutkimuskaivon sijoittuminen paremmin sähköä johtavalle alueelle viitaten näin savikiveen. Kun graniittien lämpöominaisuudet ovat yleisesti hyvät, savi- ja silttikivellä ne ovat huomattavasti heikommat, mikä on syytä huomioida energiakaivokenttien mitoituksia tehtäessä.

27.8.2013



Kuva 1. Tutkimusalueen kallioperä. Kaivojen sijainti on merkitty kuvaan vihreällä pisteellä. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos, 2013. Kallioperäkarta: © Geologian tutkimuskeskus 2012. Tutkimuskaivon KKJ-koordinaatit ovat 3424949, 7223163.

27.8.2013



Kuva 2. Aerosähkömagneettinen (engl. aeroelectromagnetic, AEM) reaalikomponentti tutkimusalueelta. Kaivojen sijainti on merkitty kuvaan vihreällä pisteellä. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos, 2013. AEM-aineisto: © Geologian tutkimuskeskus.

Tutkimuskaivojen lämpötilaprofiilit

Tutkimuskaivojen lämpötilaprofiilit mitataan ennen varsinaisia vastetestejä. Ensimmäinen mittaus tehtiin 3.8.2013 kaivosta nro 2, joka oli varustettu Pipelife:n Dueta™-keruuputkella, jossa on ns. kiinteä erotin. Toinen mittaus tehtiin 16.8.2013 kaivosta nro 4, jossa oli tavallinen U-keruuputki. Kaivot olivat pohjaveden täyttämiä ja keruuputket oli täytetty Altian Naturet -maalämpöliuksella. Kaivojen halkaisija oli 140 mm. Mittaushetkellä kaivon nro 2 aktiivisyvyys eli pohjaveden pinnan alapuolinen syvyys oli 222

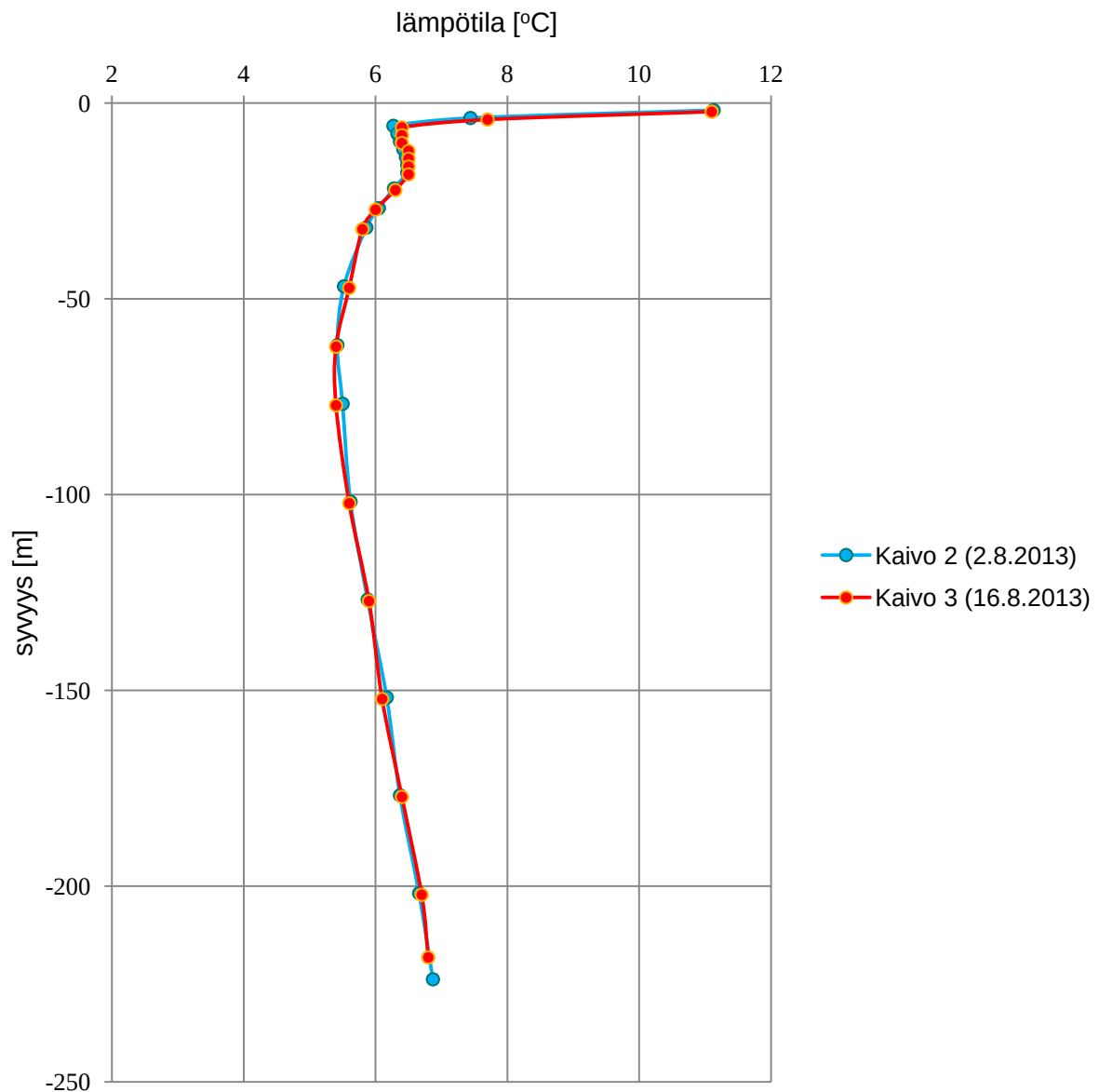


GTK

27.8.2013

metriä ja kaivon 4 aktiivisyvyys oli 216 metriä. Tutkimuskaivoja ja porausta koskevat tarkemmat tiedot löytyvät porauspöytäkirjasta.

Lämpötilan mittaukset tehdään keruuputken sisällä olevassa lämmönkeruunesteessä, jonka lämpötilan katsotaan vastaavan kaivossa olevan pohjaveden ja kaivoa ympäröivän kallion lämpötilaa. Kaivon lämpötila mitataan pohjaveden pinnasta alaspäin aina keruuputkiston pohjalle saakka. Lämpötilaprofiilit on esitetty Kuvassa 3 ja mittausten kootut tulokset Taulukossa 1.



Kuva 3. Tutkimuskaivojen lämpötilat syvyyden funktiona.

27.8.2013

Taulukko 1. Lämpötilamittauksen kootut tulokset

	Dueta™	Tavallinen U-putki
Mittauspäivämäärä	3.8.2013	16.8.2013
Lämpötila pohjaveden pinnalla [°C]	11,1	11,1
Maanpinnan keskimääräinen lämpötila [°C]	6,5	6,5
Lämpötila kaivon pohjalla [°C]	6,9	6,8
Koko kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo [°C]	6,1	6,0
Kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo vuodenaikaisvaihtelun alapuolella [°C]	6,0	6,0
Geoterminen gradientti [°C/100 m]	0,8	0,7

Maanpinnan keskimääräinen vuotuinen lämpötila on Oulun seudulla n. 4-4,5 °C. Suomessa vuodenaikojen aiheuttama lämpötilan vaihtelu ulottuu keskimäärin 15 metrin syvyyteen, jossa maankamaran lämpötila on lähes sama kuin maanpinnan keskimääräinen vuotuinen lämpötila. Herukan tutkimuskohteessa maanpinnan keskimääräinen vuotuinen lämpötila on 6,5 °C, eli huomattavasti korkeampi kuin tyypillisesti Oulun seudulla. Tämä johtuu siitä, että kaivo sijaitsee rakennetulla alueella, parkkipaikalla, jonne auringonvalo on päässyt lämmittämään maanpintaa vuosien saatossa. Näin ollen maan pintaosaan on myös varastoitunut ns. ekstralämpöä lähes 50 metrin syvyyteen saakka Kuvan 3 mukaisesti. Tuolta syvyydeltä lähtien maankamaran lämpötila kasvaa geotermisen gradientin mukaisesti maapallon sisältä tulevan lämpövuon vaikutuksesta. Suomessa geoterminen gradientti on keskimäärin 8-15 °C/km eli mentäessä maankamarassa 100 metriä syvemmälle, lämpötila nousee n. 0,8 - 1,5 asteen verran. Tässä tutkimuskohteessa geoterminen gradientti on n. 0,8 °C/100 m.

Terminen vastetestti

Lämpövastemittauksella (TRT = Thermal Response Test) simuloidaan lämmönkeruuputkiston, energiakaivon ja kallioperän muodostaman kokonaisuuden käyttäytymistä todellisessa lämmönotossa tai -syötössä (Kuva 4.). Mittauksen kesto on vähintään 3 vuorokautta. Mittauksella saadaan tulkittua energiakaivoa ympäröivän kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus ja energiakaivon lämpövastus. Tehollinen lämmönjohtavuus kertoo kallioperän lämmönjohtavuudesta ja mahdollisesta pohjaveden virtauksesta kaivossa. Korkea lämmönjohtavuus parantaa lämmön siirtymistä kauempaa kallioperästä energiakaivon lähelle ja siitä lämmönkeruunesteeseen. Mitä korkeampi lämmönjohtavuus on, sitä enemmän lämpöä kalliosta voidaan ottaa tai sinne voidaan viilennyksellä syöttää (ladata).

Energiakaivon lämpövastus puolestaan kuvaa lämmönkeruuputkiston ja kaivon täyteaineen (pohjavesi) energiansiirto-ominaisuuksia. Mitä pienempi lämpövastus on, sitä paremmin kallioperän lämpö siirtyy keruunesteeseen. Putkityypin lisäksi myös keruuputkien välisellä etäisyydellä pystytään vaikuttamaan lämmönsiirron tehokkuuteen keruunesteen ja kaivon sisäpinnan välillä. Ideaalisessa tilanteessa putket



27.8.2013

ovat etäällä toisistaan ja kosketuksissa kaivon seinämään, jolloin lämpötilaero keruunesteen ja kallion välillä saadaan minimoitua. Virtauksen tulisi myös olla turbulენტista, jotta virtauksesta aiheutuva lämpövastus olisi mahdollisimman alhainen.

Tulokset

Taulukossa 2 on esitetty vastetestin tulokset. Kallion tehollinen lämmönjohtavuus on 2,5 W/(m·K), joka on tyypillinen savi- ja silttikivelle. Myös porauspöytäkirjan mukaan kaikissa neljässä kaivossa tavattiin liestyvää kiveä ensimmäisten 130 metrin matkalla. Lisäksi irtomaata on reilut 20 metriä. Oletettavasti graniittinen peruskallio alkaa vasta noin 130 metrin syvyydeltä. Yleisesti tiedetään, että Muhos-muodostuman paksuus vaihtelee kymmenistä metreistä lähes kilometriin. Muodostuma on kehittynyt peruskallion vajoamaan rapakiven kohoamisen yhteydessä tapahtuneen yksipuolisen siirroksen seurauksena. Näin muodostuman jotuniset savi-, siltti- ja hiekkakerrokset ovat säästyneet eroosiolta ja kerrostuneet graniittisen peruskallion päälle. Porauspöytäkirja, lentomittausaineiston antama informaatio ja TRT-mittauksen tulkintatulokset tukevat toisiaan osoittaen, että kaivot sijoittuvat hyvän sähkönjohteen eli Muhos-muodostuman savikivialueelle. Energiakaivonkentän pitkäaikaista toimivuutta ja tasapainoa ajatellen, GTK suosittelee energianotto- ja syöttömäärien tarkistamista, erityisesti, jos mitoitus on tehty käyttäen parempaa lämmönjohtavuutta kuin Taulukossa 2 on esitetty.

Tämän työn yhtenä tarkoituksena oli selvittää putkityyppien välisiä eroja ja vaikutusta kaivon lämpövastukseen. Ensimmäisessä mittauksessa DuetaTM -putkesta tehtynä kaivon keskimääräiselle lämpövastukselle määrytyi arvo 0,080 (m·K)/W ja tavallisessa U-keruuputkessa se oli vastaavasti 0,085 (m·K)/W. Kyseiset lämpövastukset ovat ideaaliset U-keruuputkin varustetuille pohjavesitäytteisille kaivoille, kun normaalisti lämpövastus vaihtelee välillä ~0,09-0,15 (m·K)/W. Putkiston materiaalivahvuus vaikuttaa lämpövastukseen. Mittausten päätyttyä selvisi, että DuetaTM -putken seinämän paksuus oli suurempi kuin tavallisen.

Todennäköisesti tavallisen keruuputken haarat ovat asettuneet kaivon hyvin, jolloin ne ovat riittävän etäällä toisistaan sijoittuen myös lähelle kaivon seinämää. Jatkotutkimusaiheena voisi olla putkityyppien vertailu kapeamassa 4 ½'' kaivossa tai suuremmassa 6 ½'' kaivossa.

Taulukko 2. Vastetestin tulokset

	Dueta TM	Tavallinen U-putki
Mittauksen ajankohta	3.-5.8.2013	16. -19.8.2013
Tehollinen lämmönjohtavuus [W/(m·K)]	2,5	2,5
Lämpövastus [K/(W/m)]	0,080	0,085

**GTK**

27.8.2013



Kuva 4. TRT-mittaus käynnissä DuetaTM-putkessa.