

Ääneniemen geoenergiapotentiaali

Annu Martinkauppi, Petri Hakala, Isa Witick ja Asmo Huusko



Kuva: Isa Witick, GTK



26.02.2019

26.02.2019 / GTK/872/03.02/2016

Tekijät Annu Martinkauppi, Petri Hakala, Isa Witick ja Asmo Huusko	Raportin laji Tilaustutkimusraportti Toimeksiantaja Keski-Suomen liitto, BEA-APP-hanke
Raportin nimi Ääneniemen geoenergiapotentiaali	
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki Keski-Suomen liiton ja BEA-APP: Baltic Energy Areas - A Planning Perspective -hankeen toimeksiannosta selvityksen Ääneniemen geoenergiapotentiaalista. Geoenergiapotentiaali selvitettiin Ääneniemen koillisrannan asemakaava-alueelta ja siinä hyödynnettiin yhdestä tutkimuskaivosta tehtyä lämpötilamittausta, termistä vastetestiä (TRT-mittaus), geologista paikkatietoa ja kohteessa tehtyä kallioperäkartoitusta. TRT-mittauksen avulla selvitettiin paikkakohtainen tehollinen lämmönjohtavuus ja kaivon lämmönsiirto-ominaisuuksia kuvaava lämpövastus. Mitattu tehollinen lämmönjohtavuus, 3,0 W/(m·K), korreloi alueen kivilajikoostumusta viitaten kvartsiköyhempään graniittiin/kvartsimontsoniittiin. Tutkimuskaivon lämpötila mitattiin syvyyden funktiona ja maanpinnan vuosittaiseksi keskilämpötilaksi saatiin 5,4 °C, mikä vastaa tyypillistä arvoa Keski-Suomessa. Suomessa maanpinnan vuosittainen keskilämpötila vaihtelee Etelä-Suomen reilusta kuudesta asteesta Lapin noin kahteen asteeseen. Alueellisen geoenergiapotentiaalin laskennassa huomioitiin Ääneniemen paikalliset lämmönsiirtoon vaikuttavat ominaispiirteet. Parametreina huomioitiin kallioperän lämmönjohtavuus ja lämpötila sekä maapeitteen paksuus. Nämä tekijät määrittävät pääsääntöisesti energiakaivon tarvittavan syvyyden. Parametrit yhdistettiin laskennallisesti alueellisen geoenergiapotentiaalin selvittämiseksi. Alueellisen geoenergiapotentiaalin lopputulos esitetään karttamuodossa. Kartta kuvaa laadullisesti geoenergian saatavuutta. Ääneniemen koillisrannan geoenergiapotentiaali on <i>hyvä</i>. Jos potentiaalitarkastelu tehdään ainoastaan kivilajin lämmönjohtavuuteen pohjautuen, on kalliosta saatava geoenergiapotentiaali keskinkertainen. Tämä siksi, että alueen kivilajin, graniitin/kvartsimontsoniitin, lämmönjohtavuus on alhaisempi kuin esim. Suomen kivilajien keskiarvo. Mitä korkeampi lämmönjohtavuus on, sitä enemmän lämpöä kalliosta voidaan ottaa. Alueen ohut maapeite parantaa geoenergiapotentiaalia. Maalajien lämmönjohtavuus on, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, kiteistä kalliota heikempi. Paksu maapeite laskee kokonaislämmönjohtavuutta, joten energiakaivon tarvittavaa syvyyttä kasvattavana tekijänä se vaikuttaa myös porauskustannuksiin. Ääneniemen koillisrannan ohut maapeite, joka paksuimmillaankin on vain kymmenisen metriä, on erittäin suotuisa geoenergian hyödyntämiselle niin lämmönsiirtymisen kuin kustannustenkin kannalta. Lopullista geoenergiapotentiaalia parantaa vielä alueen hyvä lämpötilataso, mikä vaikuttaa suoraan energiakaivon tarvittavaan syvyyteen, mutta myös lämpöpumpun	

26.02.2019

lämpökertoimeen ja antotehoon. Kaiken kaikkiaan geoenergiaa voidaan suositella hyvänä vaihtoehtoisena energiamuotona Ääneniemellä. Geoenergiapotentiaalikarttaa voidaan hyödyntää esim. kaavoituksessa, rakennus- ja ympäristövalvonnassa sekä lähtötietona kannattavuuslaskelmien tekemiselle (mm. elinkaaritarkastelu) ja sillä halutaan tukea vaihtoehtoisten energiamuotojen valintaa uusille asuinalueille. Geoenergiapotentiaaliarvion avulla voidaan hakea <i>raja-arvoja</i> energiakaivon mitoitusta varten <i>pientalokohteissa</i>. Geoenergiapotentiaalikarttaa ja esimerkinomaisia energiakaivosten mitoitustuloksia ei kuitenkaan tule sellaisenaan käyttää kiinteistöjen energiakaivosten ja/tai -kaivokenttien mitoittamiseen.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Geoenergia, geoenergiapotentiaali, kalliolämpö, kallioperä, lämmönjohtavuus, lämpötila, maapeitepaksuus, terminen vastetestti (TRT-mittaus)			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Keski-Suomi, Äänekoski, Ääneniemi			
Karttalehdet N4424 C1 (UTM), 3221 06d (KKJ)			
Muut tiedot -			
Arkistosarjan nimi -		Arkistotunnus -	
Kokonaissivumäärä 21 s + 1 liite	Kieli suomi	Hinta -	Julkisuus -
Yksikkö ja vastuualue GNR		Projektitunnus 50401-10246	
Allekirjoitus/nimen selvennys		Allekirjoitus/nimen selvennys	

26.02.2019

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

DOCUMENTATION PAGE

26.02.2019 / GTK/872/03.02/2016

Authors Annu Martinkauppi, Petri Hakala, Isa Witick and Asmo Huusko	Type of report Bespoken research report
	Commissioned by Regional Council of Central Finland, BEA-APP-project
Title of report Geoenergy potential of Ääneniemi	
Abstract Geological Survey of Finland (GTK) made an assessment of geoenergy potential (shallow ground source energy potential) in Ääneniemi. The project was financed by Regional Council of Central Finland and BEA-APP (Baltic Energy Areas - A Planning Perspective) project. The geoenergy potential was examined quantitatively in one investigation borehole via temperature measurement and thermal response test (TRT), and qualitatively for the north-eastern part of Ääneniemi using geological spatial information and bedrock observations. Via TRT, the effective thermal conductivity of the soil and the bedrock, and the resistance of the borehole were examined. The interpreted value of the effective thermal conductivity, 3.0 W/(m·K) correlated well with the local bedrock observations. With the information from TRT, the geoenergy potential map was adjusted. To receive the mean annual temperature of the ground, the temperature of the borehole was measured as a function of depth. The calculated ground temperature of 5.4 °C agrees with the typical value in Central Finland. In comparison, the annual mean temperature varies from just over six degrees in southern Finland to two degrees in Lapland. The local site properties, including the in-situ thermal conductivity and the temperature of the bedrock, and the overburden thickness, were used as parameters in the calculations of the regional geoenergy potential. These parameters are the main factors determining the borehole depth. The geoenergy potential is represented qualitatively in a map form. As a sum of moderate thermal conductivity of the bedrock (porphyritic granite / quartz monzonite), good temperature level, and a thin overburden, the final geoenergy potential in the north-eastern part of Ääneniemi is regarded as <i>good</i>. The higher the thermal conductivity is, the more heat can be extracted from the ground. The thin overburden in the area improves the geoenergy potential. The thermal conductivity of the soil is usually lower than the conductivity of the crystalline bedrock. Therefore, thick overburden decreases the overall thermal conductivity of the ground, increasing the required borehole depth and the initial costs of the single borehole or borehole heat exchanger system (BHES). However, good temperature levels favourably affect the borehole depth, improving the total geoenergy potential. Furthermore, good temperature level benefits the function and the coefficient of performance of the heat pump lowering the operating costs. All in all, we	

26.02.2019

recommend geoenergy as a good alternative energy form in Ääneniemi (see figure 10, page 14, geoenergy potential of Ääneniemi region).

The geoenergy potential map can be applied, e.g., in land use (zoning) and environmental planning, in construction supervision and environmental monitoring, and as a source data for feasibility calculations. Furthermore, the information about the geoenergy potential map can help determining *the dimension limits* of a borehole for small houses, but it is *not* suitable for dimensioning a single borehole and/or a small borehole heat exchanger field (BHE-field).

For geoenergy heating in Ääneniemi area, estimations on costs were included. One borehole could generate enough heat for an individual house. Estimation of cost is based on the 2017 prices. The average price per meter for borehole in bedrock with depths of 150-250 meter is 29-35€/meter (excluding VAT). Costs of the borehole vary then between 4 350€ - 8 750€ (excluding VAT) depending on the depth of the borehole. When drilling in areas, where the overburden is thick, additional costs to reach the bedrock are 50-60 €/m (excluding VAT). Builders should be prepared for 6 meters of overburden. In Ääneniemi region, where overburden is thin, additional costs reaching bedrock are relatively low. Total costs of a geoenergy heating system are approximately 15-20 000€ for an individual house. When maintained properly, geoenergy heating lifetimes can reach up to 50 years.

For a small row house, energy (45 MWh) could be covered with one or two boreholes. When planning more boreholes for heat energy, the allocation of the individual holes must be planned so that they do not affect the heat flow. This is where land use planning can contribute. The smart allocation of the boreholes also decreases the drilling costs. When boreholes are only used for heating, the best alignment is linear with a maximal distance from each other. When boreholes are used for heating and cooling, they can be closer to each other. Prior to starting the planning, the builder should contact the municipality's Building Control unit. Boreholes require permits, and especially in densely populated areas, the underground constructions (pipelines, cables etc.) should be identified and located. Also groundwater areas and wells must be taken into account when planning the area or geoenergy utilization.

From a land use planning point of view, geoenergy can give an alternative for RE use. The National level Geoenergy Atlas and more detailed studies on geoenergy potential (such as this study) have great importance when making individual LCA and cost-benefit analyses of geoenergy on individual sites and districts. Geoenergy does not compete with more traditional energy sources, e.g. RE district heating, but it gives a new option. In sites like Ääneniemi, the costs of the traditional district heating network can be high, and in these kind of cases geoenergy can provide economically feasible solutions on a district heating scale.

The site has a detailed land use plan, and the majority of the area is outside the district heating network. This study gives very a promising indication that Ääneniemi area heating could be arranged by geoenergy. The area has good potential for this. Also, shallow depth to bedrock favours utilization of the geoenergy, therefore decreasing the costs. Vast areas of bedrock and shallow depth to bedrock also increases building costs of the district heating network. This also

26.02.2019

favours the geoenergy utilization. City of Äänekoski and Energy company of the city are the key stakeholders in this process.			
Keywords Geoenergy, geoenergy potential, overburden thickness, shallow ground source energy, temperature, thermal conductivity, thermal response test (TRT), borehole heat exchanger system (BHES)			
Geographical area Finland, Central Finland, Äänekoski, Ääneniemi			
Map sheet N4424 C1 (UTM), 3221 06d (KKJ)			
Other information -			
Report serial -		Archive code -	
Total pages 21 p. + 1 app	Language finnish	Price -	Confidentiality -
Unit and section GNR		Project code 50401-10246	
Signature/name		Signature/name	

Sisällysluettelo**Kuvailulehti**

1	JOHDANTO	1
2	GEOENERGIA	1
2.1	Yleistä geoenergiasta	1
2.2	Geoenergiapotentiaali	2
3	ÄÄNENIEMEN GEOLOGIA	3
3.1	Maaperä ja maapeitteen paksuus	3
3.2	Kivien synty ja kallioperä	4
3.3	Kallioperäkartoitus	5
3.4	Kivilajien lämmönjohtavuus	7
4	GEOFYSIKAALINEN PAIKKATUTKIMUS	8
4.1	Kaivon lämpötilaprofiilin mittaus	8
4.2	Terminen vastetest	10
5	GEOENERGIAPOTENTIAALIKARTTA JA AINEISTOJEN LUOKITTELU	12
5.1	Ääneniemen koillisrannan alueellinen geoenergiapotentiaali	12
6	ENERGIKAIVOJEN MITOITUSLASKELMAT	16
7	GEOENERGIAJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN ÄÄNENIEMELLÄ	19
7.1	Energiakaivon poraus	19
7.2	Kaukolämpö: geoenergian este?	20
8	YHTEENVETO	20
	KIRJALLISUUSLUETTELO	22

1 JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki Keski-Suomen liiton ja BEA-APP: Baltic Energy Areas - A Planning Perspective -hankkeen toimeksiannosta selvityksen Ääneniemen koillisrannan geoenergiapotentiaalista. Selvitys koskee (maa- ja) kallioperästä saatavaa energiapotentiaalia, joka on hyödynnettävissä rakennusten lämmittämiseen ja/tai viilentämiseen *kallioon poratun lämpökaivon* eli *energiakaivon* ja siihen kytketyn lämpöpumpun tai lämmönvaihtimen avulla. Geoenergiapotentiaali selvitettiin alueellisesti Ääneniemen koillisrannan asemakaava-alueelta ja siinä hyödynnettiin yhdestä tutkimuskaivosta tehtyä termistä vastetestiä (TRT-mittaus), geologista paikkatietoa ja kohteessa tehtyä kallioperäkartoitusta.

Tässä tilaustutkimusraportissa esitellään GTK:n tekemän kallioperäkartoituksen ja geofysikaalisen paikkatutkimuksen (ml. TRT-mittauksen) tulokset, Ääneniemen koillisrannan geoenergiapotentiaalikartta sekä kartan muodostamisessa käytetty aineisto ja menettely. Geoenergiapotentiaalin merkitystä käytännössä tarkastellaan esimerkkilaskelmin energiantarpeeltaan erilaisissa kalliolämpökohteissa kaivo(je)n syvyyden, lukumäärän ja porauskustannusten kannalta.

Projektissa ovat toimineet asiantuntijoina yksikön päällikkö Asmo Huusko (projektipäällikkö, geoenergia), geofyysikko Annu Martinkauppi (geoenergia), tutkija Petri Hakala (geoenergia), tutkimusassistentti Isa Witick (geologia), geologi Perttu Mikkola (geologia), geofyysikko Kimmo Korhonen (geoenergia) sekä tutkimusavustajat Antti Mäkelä (geologia) ja Mikko Pelkkala (geoenergia).

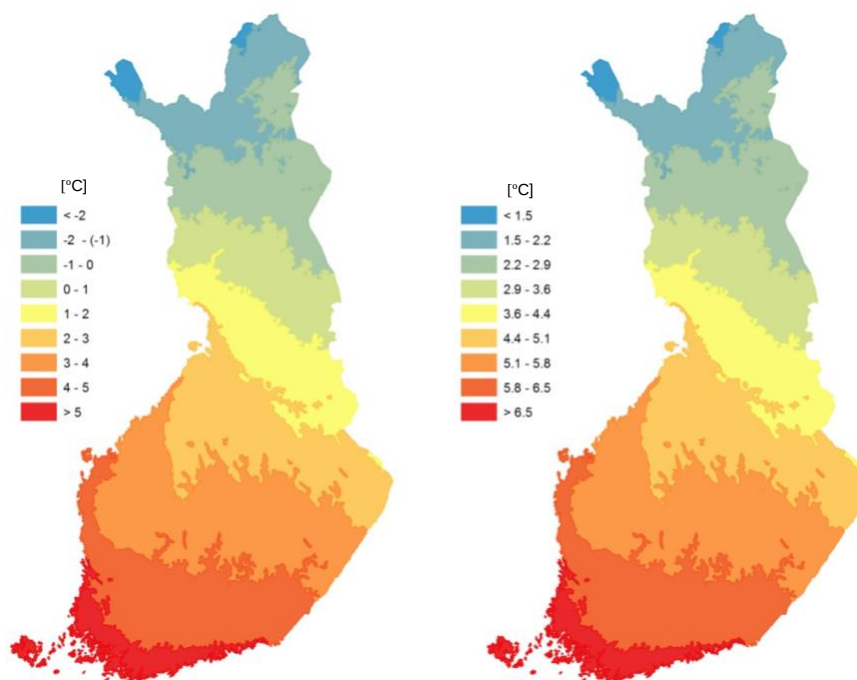
2 GEOENERGIA

2.1 Yleistä geoenergiasta

Geoenergialla tarkoitetaan yleisellä tasolla kaikkea maa- ja kallioperästä sekä vesistöjen pohjasedimentistä saatavaa lämmitys- ja viilennysenergiaa, jonka lämpöarvo on matala. Vakiintuneita termejä ovat maalämpö, kalliolämpö ja vesistölämpö. Tyypillisin geoenergian hyödyntämismuoto on kallioon porattava, n. 100 - 300 m syvä, kalliolämpö- eli energiakaivo, josta energiaa siirretään rakennukseen lämpöpumpun avulla. Kalliolämpö soveltuu hyvin taajamiin ja tiheään rakennetuille alueille toisin kuin vaakaputkistoa hyödyntävä maalämpö, jossa keruuputkiston pituus ja sen edellyttämä pinta-ala muodostuvat usein rajoittavaksi tekijäksi. Geolämmöllä tai geotermisellä lämmöllä tarkoitetaan puolestaan syvältä maan sisäosista saatavaa lämpöenergiaa, jonka lämpöarvo on korkea.

Maankamaran pintaosassa (lämpö)energia on pääosin peräisin auringon säteilystä ja loppuosa on geotermisen gradientin (lämpötilan nousunopeus syvyyden kasvaessa) vaikutusta. Maa- ja kallioperän lämpötila riippuu ilman keskilämpötilasta, ja vaihtelee Suomessa maantieteellisen sijainnin mukaan keskimäärin välillä 2 - 7 °C kuvan 1 (oikealla) mukaisesti. Maankamaran pintaosissa lämpötilaan vaikuttaa vuodenaika, mutta noin 14 - 20 metrin syvyydellä vuodenaikaisvaihtelu on suodattunut pois ja lämpötila on vakioitunut alueen sijainnin mukaiseksi. Tuolta syvyydeltä lähtien lämpötila kasvaa Suomessa noin 0,8-1,5 °C/100 m, ja tätä kutsutaan geotermiseksi gradientiksi. Geotermisen gradientin vaihtelee Suomessa kallioperän ominaisuuksien mukaan. Sitä aiheuttaa mm. radioaktiivisten aineiden (esim. kalium, uraani ja torium) hajoamisessa vapautuva lämpö ja sen geologinen vaihtelu eri osissa

maata. Esimerkiksi Etelä- ja Länsi-Suomen kallioperä sisältää muuta maata enemmän radioaktiivisia aineita. Tästä luonnollisesta radioaktiivisuudesta ei ole haittaa energiakaivon käyttäjälle.



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

2.2 Geoenergiapotentiaali

Geoenergiapotentiaali tarkoittaa, tässä selvityksessä, geoenergian saatavuutta maa- ja kallioperästä hyödynnettäessä kallioon porattavia energiakaivoja. Geoenergiapotentiaali voidaan selvittää yksittäisestä energiakaivosta tarkasti, mittaamalla. Termisellä vastetestillä (TRT-mittaus) saadaan selville paikkakohtainen tehollinen lämmönjohtavuus, joka huomioi mahdollisen maapeitteen lämmönsiirtoa heikentävän ja pohjaveden lämmönsiirtoa parantavan vaikutuksen. Aluemainen geoenergiapotentiaali on puolestaan kvalitatiivinen eli laadullinen, karttamuotoinen esitys geoenergian saatavuudesta. Sekin pohjautuu laskentaan lämmönsiirtymisestä maa- ja kallioperässä, mutta aluemaisessa esityksessä tiedot on yleistettävä riippumatta mittakaavasta. Geoenergiakartta voidaan toteuttaa tonttikohtaisesti tai alueellisesti korttelimittakaavasta aina maakuntamittakaavaan saakka. GTK on julkaissut ensimmäisen version koko Suomen geoenergiapotentiaalikartasta 1:1 000 000 alkuvuodesta 2016.

Geoenergiapotentiaaliin eli geoenergian saatavuuteen vaikuttavat eniten maa- ja kallioperän ominaisuudet, kuten lämmönjohtavuus ja maanpinnan vuotuinen keskilämpötila sekä maapeitteen paksuus. Myös kallion geotermien gradientti, alueelliset pohjavesiolosuhteet ja

energiakaivon ominaisuudet (mm. halkaisija, keruuputkisto, täyteaine) vaikuttavat geoenergian saatavuuteen ja hyödynnettävyyteen.

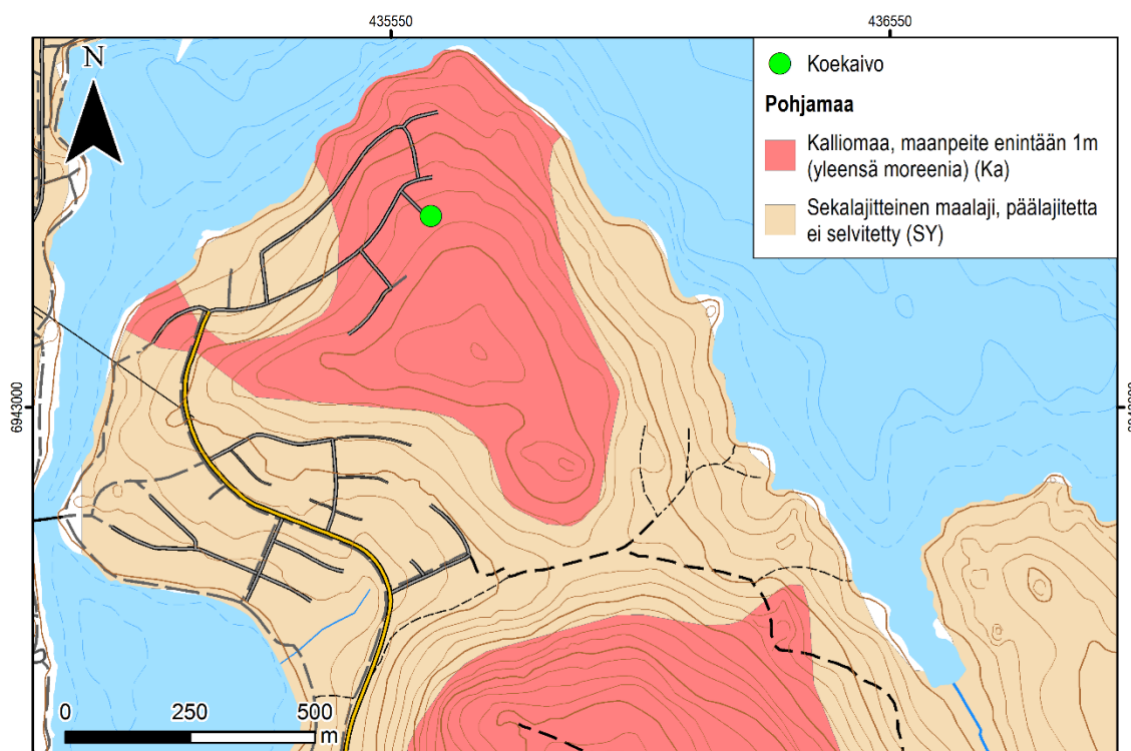
Kiteinen kallio johtaa lämpöä paremmin kuin irtain maalaji joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Toisin sanoen, maaosuudella lämmönjohtavuus on heikompi mikä tulee huomioida energiakaivon mitoituksessa, erityisesti maapeitteen paksuuden ollessa kymmeniä metrejä.

Kallion rakoilu ja pohjaveden liikkeet raoissa ja ruhjeissa vaikuttavat osaltaan geoenergian saatavuuteen. Rakoilultaan suotuisissa kivilajeissa energia siirtyy pohjaveden virtauksen mukana. Toisaalta, pohjaveden pinnan korkeus yksittäisessä energiakaivossa määrittelee kaivon aktiivisyvyyden eli syvyyden, jolta energia siirtyy maankamaraan ja kaivon (keruuputkiston) välillä. Energia siirtyy kaivossa vain siltä osin kuin se on pohjaveden, tai muun täyteaineen kuten bentoniitin, täyttämä. Pohjaveden pinnan yläpuolella energia siirtyy heikosti, sillä ilma toimii eristeenä. Pohjaveden pinta noudattaa pääosin maanpinnan korkokuvaa. Se yhtyy maanpintaan vesistöissä, soilla, lähteillä; muodostuvan pohjaveden määrä ja kerrosten vedenjohtavuus määräävät kaltevuuden, johon veden pinta asettuu purkautumistasojen yläpuolella. Pohjaveden pinta on Suomessa keskimäärin noin 2 – 4 m syvyydellä, tosin ympäristöstään kohoavilla vettäläpäisevillä harjualueilla se voi olla jopa 30 – 50 m syvyydellä.

3 ÄÄNENIEMEN GEOLOGIA

3.1 Maaperä ja maapeitteen paksuus

Maaperäkartan 1:200 000 mukaan Ääneniemellä on laaja alue alle metrin paksuista kalliomaata kuvan 2 mukaisesti. Jaakopintielle poratun tutkimuskaivon kohdalla maapeitteen paksuus on vain 0,65 metriä.

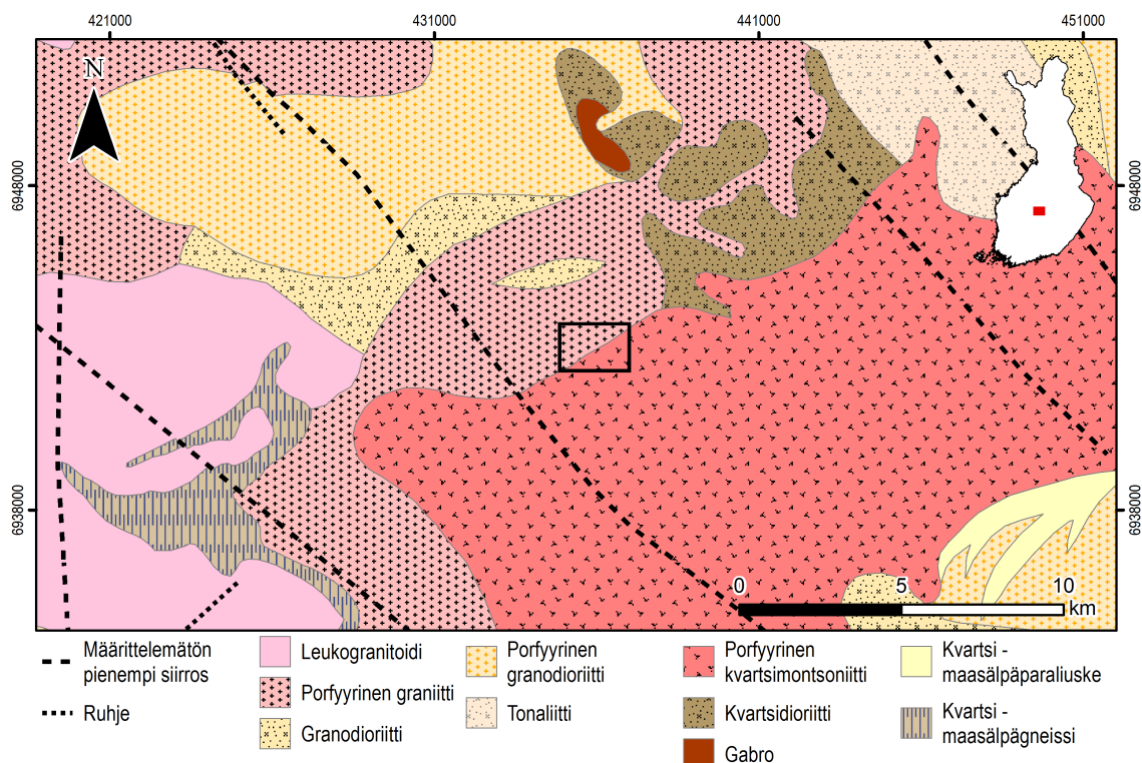


Kuva 2. Ääneniemen maaperäkartta (1:200 000). Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja HALTIK (2013).

3.2 Kivien synty ja kallioperä

Äänekosken kallioperä kuuluu Keski-Suomen granitoidikompleksiin, joka koostuu nimensä mukaisesti pääosin graniitoista eli graniitin sukuisista kivistä. Rämö et al. (2001) jakavat Keski-Suomen granitoidit kahteen ikäryhmään; synkinemaattisiin ja postkinemaattisiin. Vanhempi ikäryhmä (synkinemaattiset) ovat syntyneet Keski-Suomen kallioperän muodostuksen päävaiheessa maankuoren paksuunnuttua Keski-Suomen saarikaarikompleksin törmättyä Itä-Suomen Arkeiseen mantereeseen. Paksuuntunutta kuorta lämmittivät sekä kivien sisältämien radioaktiivisten aineiden hajoamislämpö että maapallon vaipasta kuoreen kohonneet sulat. Kuoren alaosissa syntyneet graniittiset sulat hakeutuivat maankuoressa ylöspäin heikkousvyöhykkeitä pitkin.

Geologian tutkimuskeskuksen digitaalisen kallioperäkartan mukaan Ääneniemen kallioperä koostuu porfyirisestä graniitista ja porfyirisestä kvartsimontsoniitista (Kuva 3 ja 4). Etuliite porfyyrinen tarkoittaa että kivessä on karkeita hajarakeita muutoin hienorakeisemmassa välimassassa. Ääneniemen kivet kuuluvat Keski-Suomen nuorempiin eli postkinemaattisiin kiviin (Nironen 2003; DigiKP v 2.1).

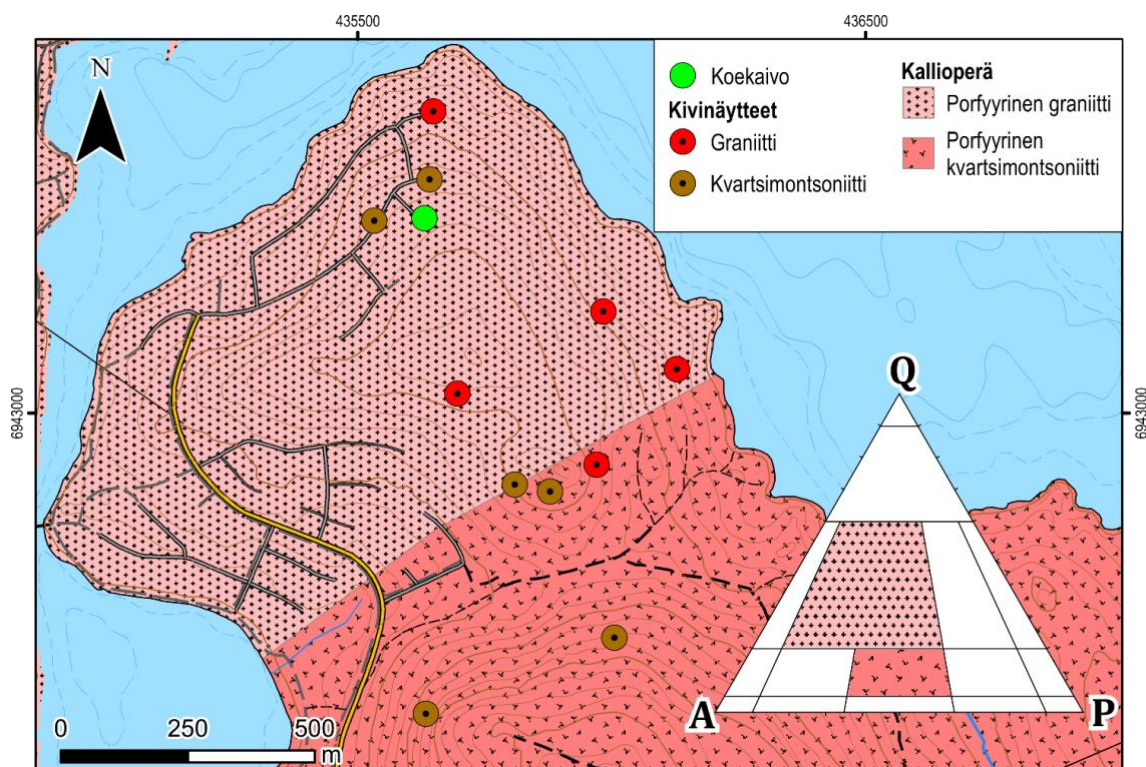


Kuva 3. Otsa lähialueen kallioperäkartasta (1:200 000) merkittävimmillä ruhje ja rikkonaisuusvyöhykkeillä (1:500 000). Musta ruutu osoittaa kuvassa 4 esitetyn Ääneniemien kallioperäkartan sijainnin. Punainen ruutu osoittaa tämän kartan sijainnin Suomen kartalla. (DigiKP v 2.1)

3.3 Kallioperäkartoitus

Ääneniemellä tehtiin keväällä 2017 kallioperäkartoitus, jossa paljastumahavaintojen lisäksi havainnoitiin alueen lohkareita. Tavoitteena oli kartoittaa kaavoituksessa nyt oleva alue, ja siksi Ääneniemien länsipuolen jo rakennetulla alueella ei tehty kallioperähavaintoja. Kartoituksen yhteydessä tehtiin 14 paljastumahavaintoa ja kerättiin 11 vasaranäytettä kuvan 4 osoittamilta paikoilta.

Kallioperäkartasta poiketen, alueen kallioperä koostuu jokseenkin samasta kivilajista, joka sijoittuu mineralogisesti kvartsimontsoniitin ja graniitin välimaastoon. Syväkivien luokittelussa, jossa ne erotellaan kvartsin, alkalimaasälvän (= kalimaansälpä ja albiitti) ja plagioklaasin määrasuhteiden perusteella, kvartsimontsoniitti ja graniitti erottuvat toisistaan kvartsin määrän suhteen. Graniitissa on enemmän kvartsia (Kuva 4, diagrammi). Tutkimusalueella kvartsin määrä vaihtelee paikoin jopa yksittäisellä paljastumalla ja siksi rajanveto näiden kivien välillä on lähinnä veteen piirretty viiva. Maastohavaintojen perusteella hieman graniittisemmat kivet sijoittuvat kuitenkin Ääneniemien itälaitaan.



Kuva 4. Ääneniemen kallioperäkartta, vasaranäytteiden ja koekaivon paikat sekä kolmiodiagrammi, joka havainnollistaa graniitin ja kvartsimontsoniitin luokitteluperiaatetta ns. QAP-kolmiodiagrammin mukaan. Tässä luokittelussa kiven nimi määräytyy kvartsin (Q), alkalimaasälvän (A) ja plagioklaasin (P) osamäärän mukaan. Graniitti eroaa kvartsimontsoniitista suuremman kvartsin osamäärän perusteella. Kivilajikartan pohjana on käytetty GTK:n DigiKP v 2.1 kallioperäkarttaa. Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja HALTIK (2013).

Ääneniemen kiven mineraaliseurue koostuu pääosin kalimaansälvästä, plagioklaasista, kvartsista ja biotiitista (Kuva 5). Hajarakeet ovat kalimaasälpää, joiden raekoko on 1–3 cm. Kivissä ei ole havaittavissa suuntausta ja kallioperä on kauttaaltaan melko ehyttä. Noin 3 km Ääneniemestä lounaaseen kulkee luode-kaakko-suuntainen siirrosvyöhyke (Kuva 3), mutta tämän suuntaisia heikkousvyöhykkeitä ei tutkimusalueella havaittu. Alueen kivet ovat erittäin heikosti magneettisia ja petrofysikaalisissa mittauksissa kivilajityyppien välillä ei ilmene huomattavaa eroa.



Kuva 5. Karkearakeinen porfyyrinen kvartsimontsoniitti/graniitti.

3.4 Kivilajien lämmönjohtavuus

Kiven lämmönjohtavuuteen vaikuttavat pääasiassa kiven mineraalikoostumus, tekstuuri ja kiven huokoisuus (Peltoniemi & Kukkonen 1995). Kvartsi on yksi parhaiten lämpöä johtavista mineraaleista ja yleensä merkittävin tekijä kiven lämmönjohtavuudessa. Kalimaasälvän ja plagioklaasin lämmönjohtavuudet ovat kvartsia huomattavasti alhaisemmat.

Kirjallisuudesta on saatavilla kiven ja mineraalien lämmönjohtavuuksista mitattuja keskiarvoja. Kirja-arvoja käytettäessä on kuitenkin muistettava, että samanimiset kivet voivat kuitenkin olla koostumukseltaan ja tekstuuriltaan hyvinkin erilaisia. Kiven nimeämisessä käytetään yleensä yhteisiä raja-arvoja mineraalikoostumuksen suhteen, mutta liikkumavara voi olla suurikin. Kivet ovat harvoin homogeenisia. Ne voivat sisältää esimerkiksi sulkeumia jostain vieraasta kivilajista, jotka muuttavat kiven teoreettista lämmönjohtavuutta.

Peltoniemi ja Kukkonen (1995) ovat koonneet kattavan aineiston Suomen kivistä mitatuista lämmönjohtavuuksista. Tässä tutkimuksessa kvartsimontsoniitti kuuluu syenitoideihin, joiden lämmönjohtavuuden keskiarvo on 2,57 W/(m·K), ja arvot vaihtelevat välillä 2,12 ja 4,05 W/(m·K). Graniitilla vastaava keskiarvo on 3,55 W/(m·K). Kvartsimontsoniitin lämmönjohtavuuden alhaisempi arvo selittyy kvartsin määrän laskulla ja maasälpäosuuden kasvulla.

Kallioperän teoreettinen lämmönjohtavuus voidaan laskea käyttäen mineraalien lämmönjohtavuuden kirja-arvoja, kun kiven mineraalikoostumus on tiedossa. Mineraalien lämmönjohtavuus voi kuitenkin poiketa kirja-arvoista – esimerkiksi, jos mineraali on joutunut voimakkaan deformaation kohteeksi ja sisältää paljon hilavirheitä. Tässä menetelmässä ei oteta kantaa kiven anisotropiaan.

Useimmat mineraalit ovat anisotrooppisia, tarkoittaen että niillä on erilaiset ominaisuudet vaakasuunnassa kuin pystysuunnassa, ja lämmönjohtavuus on siksi suunnasta riippuvainen. Sedimentti- ja metamorfisissa kivissä mineraalit ovat usein suuntautuneita ja näiden kiven

anisotropiakerroin voi olla huomattava (Peltoniemi & Kukkonen 1995). Vaikka syväkivet sisältävät anisotrooppisia mineraaleja, ne ovat yleensä termisesti isotrooppisia. Tämä johtuu siitä, että mineraalit eivät ole suuntautuneita, ja näin ollen mineraalit ovat kivessä satunnaisessa järjestyksessä. Tästä syystä anisotropia kumoutuu kivessä (Clauser & Huenges 1995). Ääneniemen kivet ovat suuntutumattomia ja siksi voidaan olettaa, että Ääneniemen kallioperä käyttäytyy isotrooppisesti.

Kiven huokoisuus vähentää kiven lämmönjohtavuutta. Kiven huokoisuuteen vaikuttaa kiven syntyperä. Syväkivissä ja metamorfisissa kivissä huokoisuus on vähäistä, kun taas pintasyntyisissä kivet ovat huokoisia. Ilma johtaa huonosti lämpöä, joten siksi hyvin huokoinen kivi johtaa huonosti lämpöä. Vedellä on kiveen nähden huonompi lämmönjohtavuus ja staattisessa tilassa siksi heikentää kokonaislämmönjohtavuutta. Toisaalta, mikäli vesi liikkuu kiven huokosvälitilassa hyvin, se parantaa lämmönsiirtymistä. Oleellista on siis veden liikkuminen ja lämmön siirtymien tätä kautta. (Clauser & Huenges 1995; Peltoniemi & Kukkonen 1995).

4 GEOFYSIKAALINEN PAIKKATUTKIMUS

Geologian tutkimuskeskus teki Ääneniemen Jaakopintielle poratusta energiakaivosta geofysikaalisen paikkatutkimuksen 3.-7.8.2017. Porausraportti on esitetty liitteessä 1. Geofysikaalinen tutkimus koostui kaivon lämpötilaprofiilin mittaamisesta ja termisestä vastetestistä (TRT-mittaus).

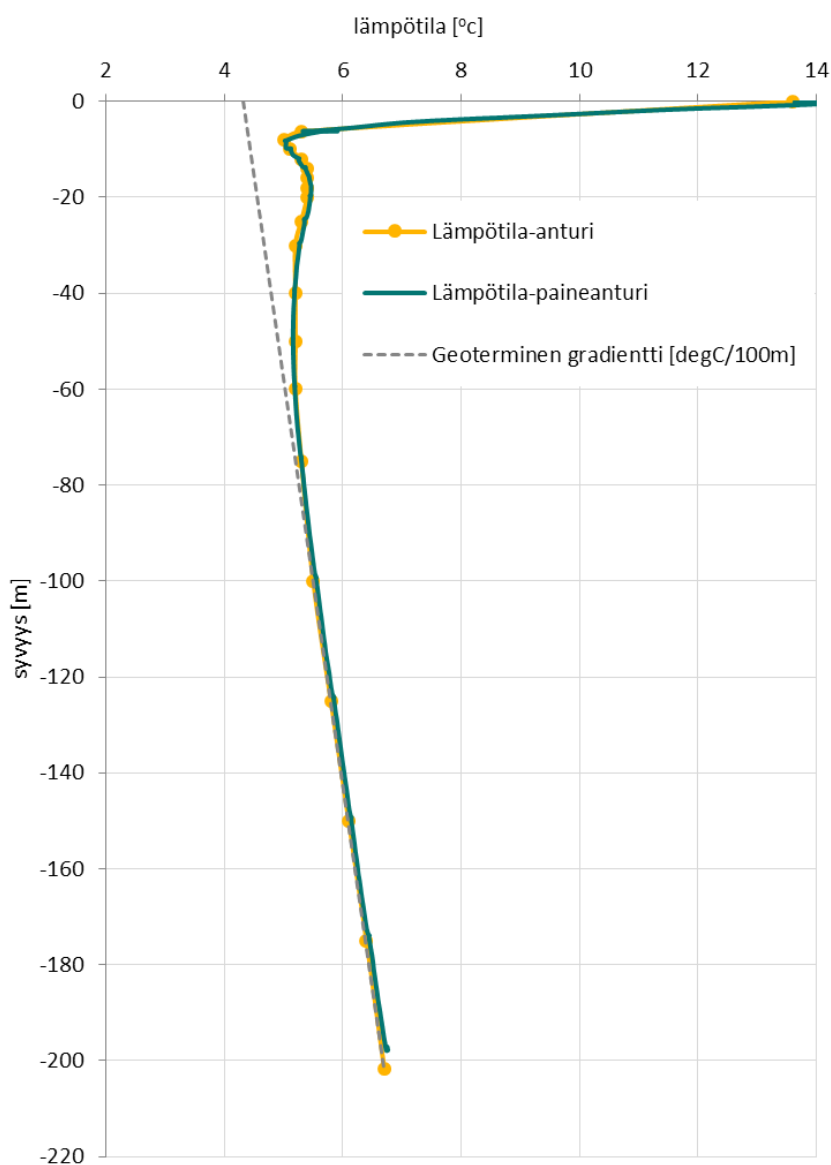
4.1 Kaivon lämpötilaprofiilin mittaus

Kaivon lämpötila mitattiin 3.8.2017 ennen TRT-mittausta käyttäen kahta tarkkaa lämpötilanturia. Mittaus tehtiin keruuputken sisällä olevassa keruunesteessä, jonka lämpötilan katsotaan vastaavan kaivossa olevan pohjaveden lämpötilaa. Lämpötila mitattiin pohjaveden pinnasta alaspäin aina keruuputkiston pohjalle.

Pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee jonkin verran sekä ajallisesti että paikallisesti. Myös energiakaivon porauksen aikana pohjaveden pinnankorkeus häiriintyy ja laskee hetkellisesti, mutta kaivo täytyy yleensä hyvinkin nopeasti porauksen jälkeen. Ääneniemen tutkimuskaivo jouduttiin täyttämään urakoitsijan toimesta verkostovedellä ennen lämmönkeruuputkiston asentamista, koska kaivo ei ollut täytynyt pohjavedellä vielä yli viikon jälkeen porauksesta. Mittaushetkellä 3.7.2017 pohjaveden pinta sijaitsi -6,3 m maanpinnasta.

Pohjaveden pysyminen kaivossa on syytä varmistaa, sillä kuiva kaivo heikentää merkittävästi lämmönsiirtoa kallion ja keruunesteen välillä ilman toimiessa eristeenä. Mikäli vesi ei jostain syystä pysy kaivossa, on sen täyttäminen muulla täyteaineella, kuten bentoniitilla perusteltua. Lisäksi, mikäli pohjaveden pinta sijaitsee hyvin syvällä kallioperässä, on kaivon osittainen täyttö esim. bentoniitilla mahdollista. Bentoniittitäyttö lisää energiakaivon rakentamiskustannuksia n. 5-10 €/m urakoitsijasta ja täyteaineesta riippuen. Mikäli Ääneniemelle tulevaisuudessa porattavissa energiakaivoissa veden tuotto on heikkoa porauksen jälkeen, niin ensisijaisesti suositellaan kaivojen täyttöä talousvedellä ja pohjaveden pinnan tarkistamista vielä lämmönkeruuputkiston asentamisen jälkeen. Bentoniittitäyttöä suositellaan vasta tämän jälkeen.

Mitattu lämpötilaprofiili on esitetty kuvassa 6. Pintaosassa näkyy viime talven kylmä pulssi, jonka eteneminen päättyy syvyydellä 14–16 metriä. Tuolla syvyydellä lämpötilan vuodenaikaisvaihtelu on suodattunut pois ja lämpötila vastaa alueen sijaintia. Geenergiapotentiaaliin vaikuttava maanpinnan vuosittainen keskilämpötila on tutkimuskaivossa 5,4 °C, mikä vastaa tyypillistä arvoa Suomen keskiosissa (vrt. kuva 1). Tutkimuskaivon geoterminen gradientti on 1,2 °C/100 m sijoittuen tyypilliseen vaihtelualueeseen Suomessa. Lämpötila-aineiston tulkinnan tulokset on esitetty kootusti taulukossa 1.



Kuva 6. Kaivon lämpötilaprofiili.

Taulukko 1. Lämpötilamittauksen kootut tulokset.

Mittauspäivämäärä	3.8.2017
Lämpötila pohjaveden pinnalla [°C]	5,3
Lämpötila kaivon pohjalla [°C]	6,7
Maanpinnan keskimääräinen (vuotuinen) lämpötila* [°C]	5,4
Kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo [°C]	5,7
Kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo vuodenaikaisvaihtelun alapuolella [°C]	5,7
Geoterminen gradientti [°C/100 m]	1,2
Teoreettinen maanpinnan lämpötila	4,3

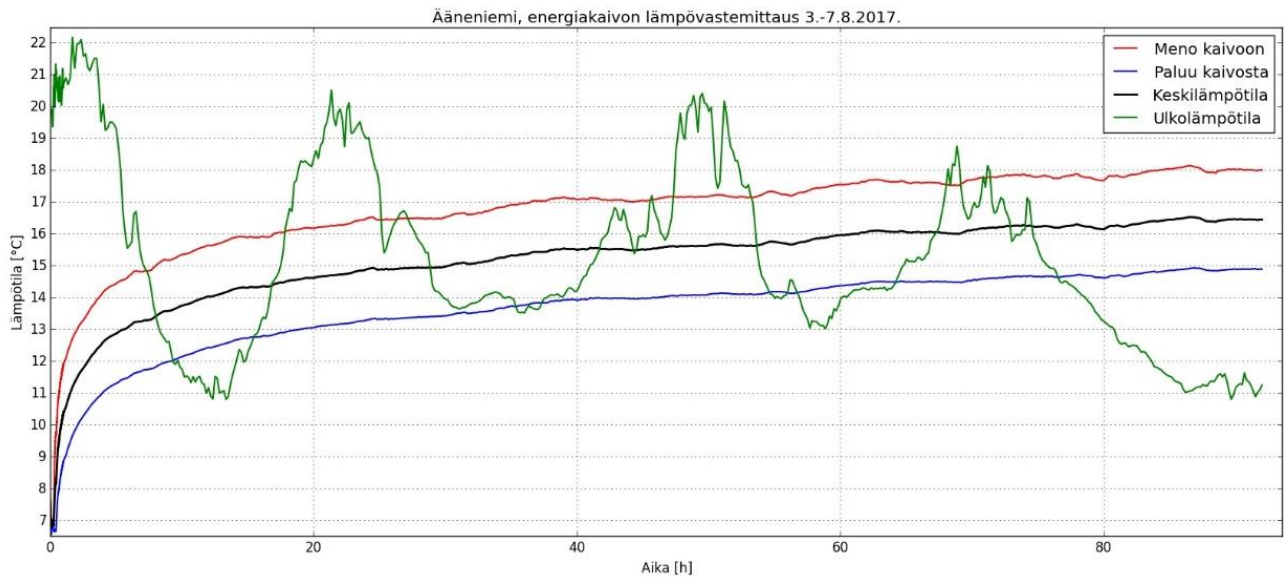
*vuodenaikaisvaihtelu suodatettu pois

4.2 Terminen vastetest

Termisellä vastetestillä simuloidaan keruuputkiston, energiakaivon ja kallioperän muodostaman kokonaisuuden käyttäytymistä todellisessa lämmönnotossa tai -syötössä. 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. Mitä korkeampi lämmönjohtavuus on, sitä enemmän lämpöä kalliosta voidaan ottaa tai sinne voidaan viillennyksellä syöttää (ladata).

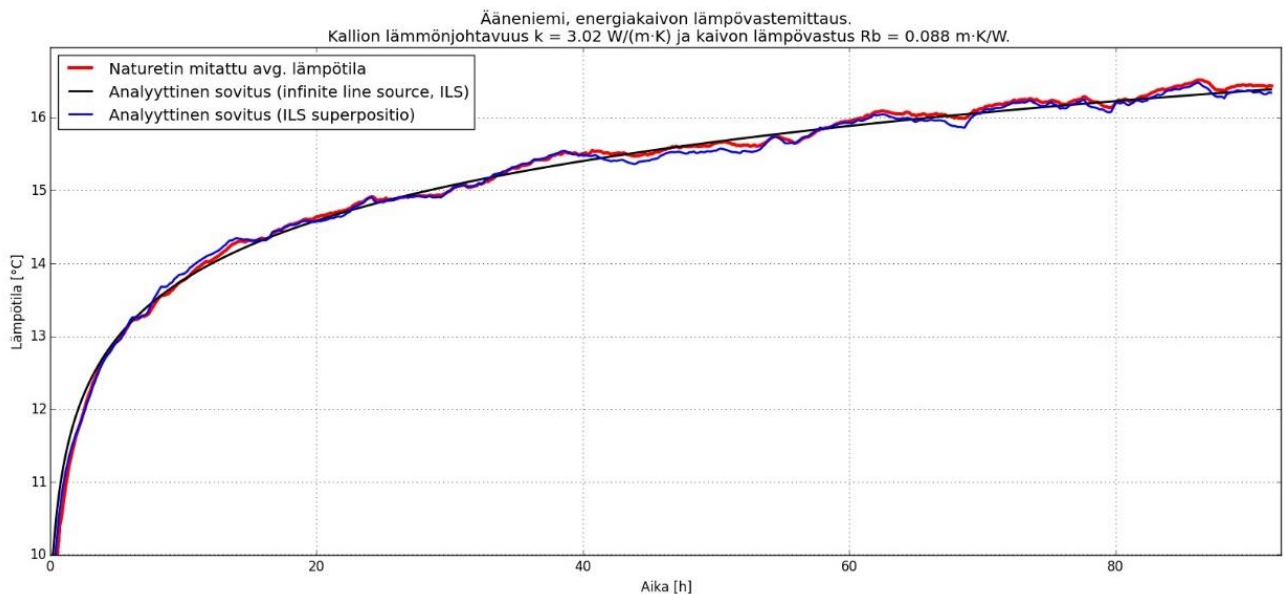
Energiakaivon lämpövastus kuvaa lämmönkeruuputkiston ja kaivon täyteaineen (pohjavesi, bentoniitti) energiansiirto-ominaisuuksia. Mitä pienempi lämpövastus on, sitä paremmin kallioperän lämpö siirtyy keruunesteeseen. Myös keruuputken haarojen välinen etäisyys vaikuttaa lämmönsiirron tehokkuuteen. Ideaalisessa tilanteessa putken haarat ovat etäällä toisistaan ja kosketuksissa kaivon seinämään, jolloin lämpötilaero keruunesteeseen ja kallion välillä saadaan minimoitua. Keruunesteeseen virtauksen tulisi myös olla turbulენტtista, jotta siitä aiheutuva lämpövastus olisi mahdollisimman alhainen.

TRT-mittaus tehtiin Ääneniemellä 3-7.8.2017. Lämmönkeruunesteeseen (Altian Naturet) virtaama oli mittauksen aikana keskimäärin 41,4 l/min, joten virtaus oli turbulენტtista edistäen lämmönsiirtoa kallioon. Lämmönkeruunestettä lämmitettiin sähkövastuksilla keskimääräisen lämmitystehon ollessa noin 8810 W, jolloin keruunesteeseen keskimääräinen lämpötila kohosi hieman yli 16 °C asteeseen. Lämpötilaero kaivon menevän ja kaivosta palaavan liuoksen välillä tasoittui n. 3 °C asteeseen. Kuvassa 7 on esitetty TRT-mittauksen tulosaieisto.



Kuva 7. TRT-mittauksen tulosaineisto.

TRT-aineiston tulkinta tehtiin käyttäen ns. ääretöntä viivalähdemenetelmää (*engl. infinite line source*). Aineistoon tehtiin sovitus (kuva 8), jossa muuttujina olivat kallion lämmönjohtavuus ja kaivon lämpövastus. Tulkinnan perusteella kallion tehollinen lämmönjohtavuus on desimaalin tarkkuudella $3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ja kaivon lämpövastus $0,09 \text{ K/(W/m)}$. Mittaus oli kestoltaan 91 tuntia.



Kuva 8. Kallioperän tehollisen lämmönjohtavuuden ja energiakaivon lämpövastuksen tulkinta mitatusta lämpötila-aineistosta.

Taulukkoon 2 on koottu TRT-mittauksen tulokset. Kallioperäkartan mukaan tutkimuskaivo sijaitsee porfyirisessä graniitissa. TRT-mittauksen mukaan lämmönjohtavuus on heikompi kuin mitä graniitin tyypillinen kirja-arvo ($k = 3,55 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) ja lisäksi se on Suomen kivilajien keskimääräistä lämmönjohtavuuttakin $3,24 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ alhaisempi. TRT-tulkittu lämmönjohtavuus vastaa lähinnä kvartsiköyhempää graniittia/kvartsimontsoniittia. Näin ollen TRT-mittaus tarkoittaa kallioperäkarttaa ja osoittaa tarpeellisuutensa suunniteltaessa suurempia geoenergiakohteita. Lisäksi se on yhdenmukainen kallioperäkartoituksen kanssa, mikä tarkoittaa alueellista geoenergiapotentiaalia.

Lämpövastus pohjavesitäytteisessä, U-keruuputkin varustetussa kaivossa vaihtelee tyypillisesti välillä $0,09 - 0,15 \text{ K/(W/m)}$. Tutkimuskaivon lämpövastus $0,09 \text{ K/(W/m)}$ sijoittuu siten normaaliin vaihteluväliin. Tupla-U-keruuputkin varustetuissa pohjavesitäytteisissä kaivoissa lämpövastus on tyypillisesti hieman alhaisempi, johtuen suuremmasta lämmönsiirtopinta-alasta kaivon seinämään nähden.

Taulukko 2. TRT-mittauksen tulokset.

Mittausajankohta	3.-7.8.2017
Mittauksen kesto [h]	91
Tehollinen lämmönjohtavuus [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$]	3,0
Kaivon lämpövastus [K/(W/m)]	0,09

5 GEOENERGIAPOTENTIAALIKARTTA JA AINEISTOJEN LUOKITTELU

5.1 Ääneniemen koillisrannan alueellinen geoenergiapotentiaali

Geoenergiapotentiaalikartan tuottamisessa hyödynnettiin kolmea lähtöaineistoa:

1. kivilajien lämmönjohtavuus
2. maanpinnan vuotuinen keskilämpötila
3. maapeitteen paksuus

Yllä olevat aineistot luokiteltiin pohjautuen samaan luokittelutapaan, jonka GTK teki koko Suomen alueellisen geoenergiapotentiaalin 1:1 000 000 (v.1.0) yhteydessä 2016. Tällä tavalla Ääneniemen geoenergiapotentiaali on vertailukelpoinen pienempimittakaavaisten selvitysten; Keski-Suomen ja Suomen geoenergiapotentiaalin kanssa.

Kallioperäkartoituksen ja TRT-mittauksen mukaan Ääneniemen koillisranta koostuu jokseenkin yhdestä kivilajista, joka koostumukseltaan sijoittuu graniitin ja kvartsimontsoniitin välimaastoon. TRT-mittauksen perusteella kallion tehollinen lämmönjohtavuus on $3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, jonka oletetaan olevan vakio koko Ääneniemen koillisrannan alueella. Taulukossa 3 on esitetty lämmönjohtavuuden luokittelu, jossa alueen kivilaji luokitellaan *keskinkertaiseksi*.

Taulukko 3. Kivilajien lämmönjohtavuuden luokittelu pohjautuen Suomen alueelliseen geoenergiapotentiaaliin v.1,0.

Luokka	Kivilaji	Lämmönjohtavuus k [W/(m·K)]
1: Erinomainen	*	
2: Kiitettävä	*	
3: Hyvä	*	
4: Keskinkertainen	Porfyyrinen graniitti/ kvartsimontsoniitti	$k = 3,0$ (mitattu)
5: Kohtalainen	*	
6: Heikko	*	

* kivilajiluokka, jota alueella ei esiinny

Taulukossa 4 on esitetty lämpötilan ja maapeitteen paksuuden luokittelu. Maanpinnan vuotuiseksi keskilämpötilaksi tutkimuskaivossa mitattiin 5,4 °C, mikä vastaa koko Suomen mittakaavassa lämpötilaluokkaa hyvä. Maapeitteen paksuuden osalta Ääneniemen alue soveltuu hyvin geoenergian hyödyntämiseen, sillä maapeitteen paksuus on paikoin jopa alle metrin ja paksuimmillaankin vain kymmenisen metriä. Maapeitteen paksuuden osalta Ääneniemen alue sijoittuu koko Suomen mittakaavassa maapeitteen paksuusluokkaan hyvä.

Taulukko 4. Lämpötilan ja maapeitteen paksuuden luokittelu pohjautuen Suomen alueelliseen geoenergiapotentiaaliin v.1,0.

Luokka	Lämpötila [°C]
1: Erinomainen	*
2: Kiitettävä	*
3: Hyvä	5,4 (mitattu)
4: Keskinkertainen	*
5: Kohtalainen	*
6: Heikko	*

Luokka	Maapeitteen paksuus [m]
1: Hyvä	0-10
2: Keskinkertainen	*
3: Kohtalainen	*
4: Heikko	*

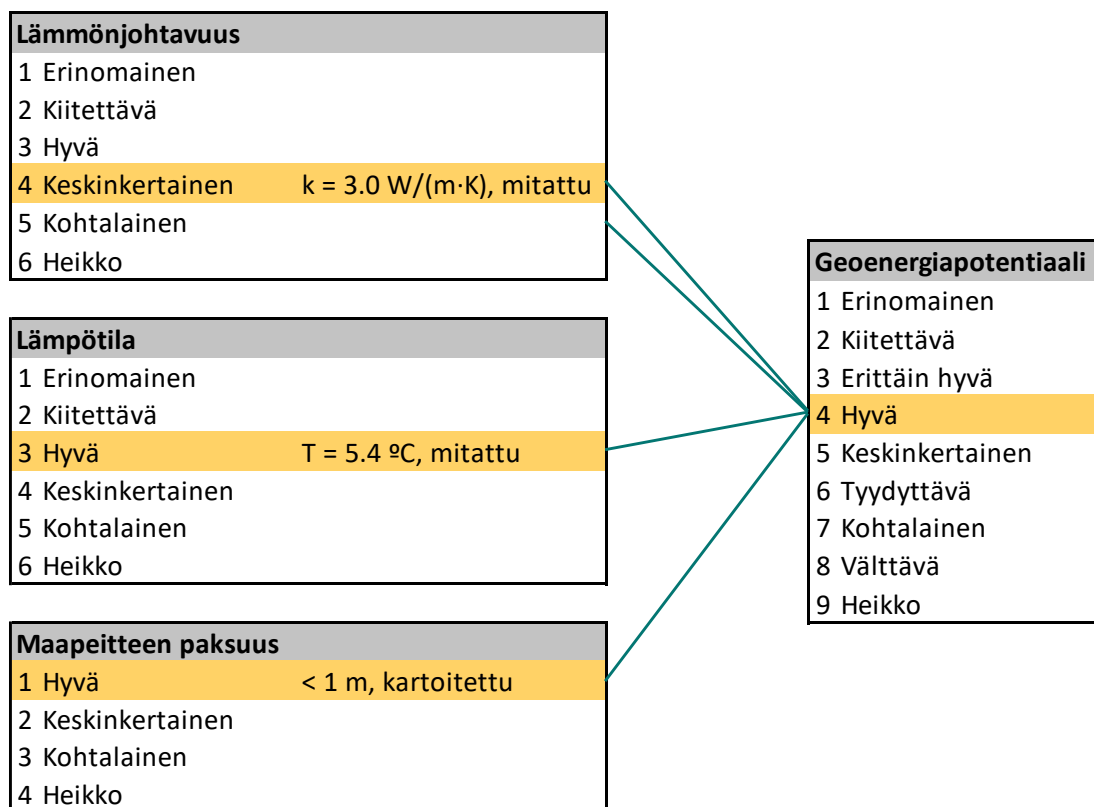
* lämpötila- ja maapeitteen paksuusluokka, jota alueella ei esiinny

Kuvassa 9 on koottu yhteen parametrit (aineistot), joita on käytetty Ääneniemen geoenergiapotentiaalikartan laatimisessa, niiden jaottelu luokkiin sekä lopullinen alueellisen geoenergiapotentiaalin laadullinen tulos. Parametrien vaikutukset yhdistettiin laskennallisesti huomioimalla lämmönsiirto maa- ja kallioperässä kaivon tarvittavan syvyyden ratkaisemiseksi numeerisesti. Laskelmissa oletettiin, että energiakaivon aktiivisyvyys on sama kuin kaivon porausyvyys.

Ääneniemen alueellinen geoenergiapotentiaali on *hyvä*. Pelkästään kalliosta saatava energiapotentiaali on Ääneniemellä *keskinkertainen*, mutta ohut maapeite ja hyvä lämpötilataso parantavat lopullista geoenergiapotentiaalia. Toisin sanoen, lämmönjohtavuudeltaan samanlaisen kivilajin geoenergiapotentiaali vaihtelee eteläisen ja pohjoisen Suomen välillä, siten, että esimerkiksi Lapissa potentiaali on matalampi kuin Etelä-Suomessa, alhaisemman lämpötilatason takia.

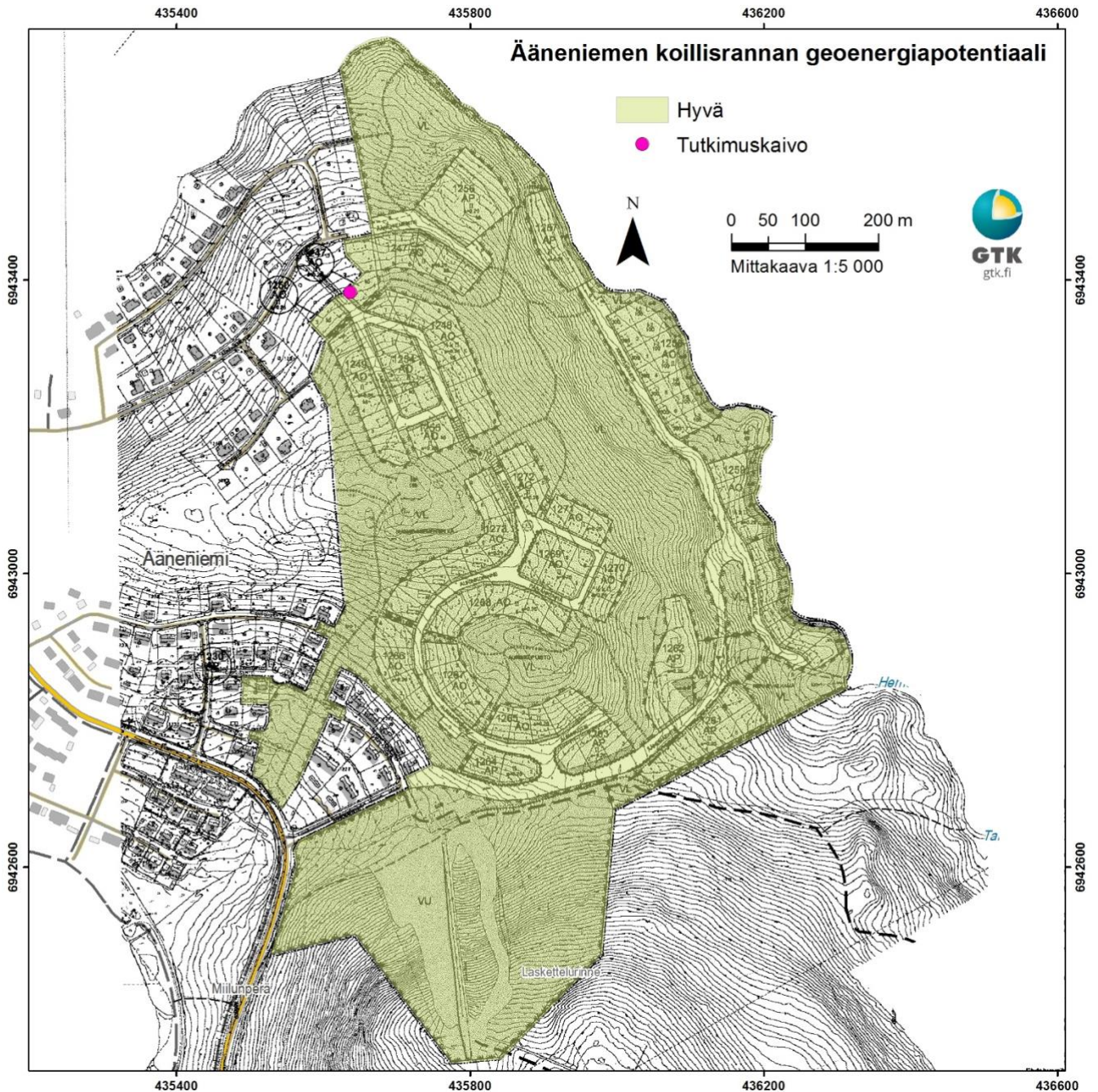
Mikäli Ääneniemen geoenergiapotentiaali olisi tehty käyttäen kivilajeille tyypillisiä kirja-arvoja, ts. graniitti $3,55 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, olisi alueellinen potentiaali ollut *hyvän* sijasta *kiitettävä* ja *hyvä* eli osin jopa kaksi luokkaa parempi. Näin ollen TRT-mittaus toi oleellisen täsmennyksen, vaikkakin on huomioitava, että se antaa kvantitatiivisen tuloksen vain yksittäisen kaivon geoenergiapotentiaalista. Alueellinen geoenergiapotentiaali on mittakaavassa täysin eri luokkaa, eikä siksi ole mielekäästä ilmaista tulosta kvantitatiivisesti, vaikka numeerinen tieto onkin laadullisen luokittelun taustalla.

Alueellisen geoenergiapotentiaalin saatavuuden arviointi tehtiin vain tunnetut maa- ja kallioperän lämmönsiirtoa kuvaavat ominaisuudet huomioiden. Alueelliset pohjavesiolosuhteet voi vaikuttaa merkittävästi lämmönsiirtoon energiakaivokentässä, mutta sen, kuten myös energiakaivon ominaisuuksien (mm. halkaisija, keruuputkisto, täyteaine) vaikutukset on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.



Kuva 9. Ääneniemen geoenergiapotentiaalikartassa käytetyt aineistot, niiden luokittelu ja lopullisen geoenergiapotentiaalin tulos.

Ääneniemen koillisrannan lopullinen geoenergiakartta on esitetty kuvassa 10. Kaava-alue on georeferoitu pohjakartan päälle. Kartasta toimitetaan tilaajalle sähköinen versio mittakaavassa 1:5 000. Topologisesti eheä aineisto toimitetaan numeerisena.



Kuva 10. Ääneniemen geoenergiapotentiaalikartta. Karttaan on merkitty tutkimuskaivon sijainti. Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja HALTIK (2013), jonka päälle on georeferoitu kaava-alue.

6 ENERGIAKAIVOJEN MITOITUSLASKELMAT

Geoenergian hyödynnettävyyttä käytännössä tarkasteltiin mitoituslaskelmin lämmöntarpeeltaan erilaisille kiinteistöille. Esimerkkilaskelmin tutkittiin geoenergiapotentiaalin vaihtelun merkitystä kalliolämpökohteissa; pientalo- (lämmitysenergian vuosittainen tarve 15–35 MWh) sekä rivi- ja kerrostalo- (lämmitysenergian vuosittainen tarve 45–105 MWh), tarvittavien energiakaivojen syvyyden ja lukumäärän sekä porauskustannusten kannalta.

Energiakaivosimuloinneissa tutkittiin kallioperän ja energiakaivon lämmönsiirtoon vaikuttavien ominaisuuksien ja kalliosta saatavan lämpöenergian vaikutusta energiakaivojen tarvittavaan aktiivisyvyyteen. Aktiivisyvyys on se osuus energiakaivon kokonaissyvyydestä, joka on pohjavedellä täyttynyt. Pohjaveden pinnan yläpuolella lämmönsiirto kallion ja keruunesteen välillä on heikkoa johtuen ilman lämmönsiirtoa heikentävästä vaikutuksesta. Energiakaivosimuloinnit tehtiin useilla vaihtoehtoisilla lämpöpumpulta (Coefficient of Performance, COP=3,0) saatavilla lämpökuormilla, jotka vaihtelivat välillä 15–105 MWh/a.

Kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus vaikuttaa merkittävästi energiakaivokentän toimintaan. Esimerkkilaskelmia varten kivilajit jaettiin lämmönjohtavuuden osalta kolmeen luokkaan, jotta voitiin todeta lämmönjohtavuuden vaikutus yksittäisen energiakaivon mitoitukseen. Laskelmissa käytetyt keskimääräiset kallion teholliset lämmönjohtavuudet (huomioi myös pohjaveden lämmönsiirtoa parantavan vaikutuksen sekä maapeitteen heikentävän vaikutuksen) olivat 3,3 W/(m·K), 3,0 W/(m·K) ja 2,7 W/(m·K).

Kallioperän tehollisen lämmönjohtavuuden lisäksi keskimääräinen lämpötila maanpinnan ja kaivon pohjan välillä vaikuttaa oleellisesti kalliolämmön hyödynnettävyyteen. Toisaalta, kallioperän jäähdytyskäytön kannalta alhaisempi lämpötila on parempi. Esimerkkisimuloinneissa maanpinnan keskimääräiselle vuotuiselle teoreettiselle lämpötilalle käytettiin arvoa 4,3 °C, joka tulkittiin tutkimuskaivossa tehdyn lämpötilaluotauksen pohjalta. Lämpötilagradientin leikkauspiste maanpinnan tasossa edustaa maanpinnan teoreettista lämpötilaa. Mitatusta lämpötilakuvaajasta voitiin todeta kallion lämpötilan vuodenaikaisvaihtelun alapuolella olevan n. 5,4 °C. Esimerkkisimuloinneissa kyseistä lämpötilaa yhdessä mitatun kallion lämpötilagradientin kanssa ei kuitenkaan voi käyttää, koska tuolloin simulointi yliarvioisi kallion alkulämpötilan. Lämpötilaluotauksen tuloksena todettiin, että kallioperän lämpötila kohoaa 100 m jälkeen lineaarisesti noin 1,2 °C/100 m. Kyseistä gradienttia ja mitattua maanpinnan teoreettista lämpötilaa käyttäen kallion keskimääräiselle lämpötilalle voidaan laskea sama arvo kuin lämpötilamittauksella saatiin.

Energiakaivosimulointeja varten laskettiin paikallinen kallioperän lämpövuoto [W/m²] suoraan kallioperän mitatun lämpötilagradientin ja kivilajin tehollisen lämmönjohtavuuden avulla. Kolmas lämmönsiirtoon vaikuttava tärkeä tekijä on energiakaivon tehollinen lämpövastus, joka osoittaa miten hyvin lämpö siirtyy lämmönkeruunesteen ja energiakaivon seinämän välillä. Mitä alhaisempi lämpövastus on, sitä tehokkaammin lämmönsiirto tapahtuu. Kaivon lämpövastukseen vaikuttaa mm. pohjaveden lämpötila kaivossa, kaivon halkaisija ja keruuputkien etäisyys toisistaan. Putkien välistä lämpökytkentää voidaan parantaa esim. putkien välisillä erottimilla, etteivät putkihaarat ole kosketuksissa toisiinsa.

Taulukkoon 5 on kirjattu simuloinnein lasketut tarvittavat energiakaivojen aktiivisyvyydet, kun kaivot mitoitettiin mallintamalla niiden toimintaa 25 käyttövuoden ajalle. Simuloinneissa oletettiin, että lämmönkeruuputkistossa kiertävän maalämpöliuoksen keskimääräinen minimilämpötila ei saa laskea -1,0 °C alhaisemmaksi. Tällöin kaivo ei missään käyttöolosuhteissa altistu jäätymiselle ja lämpöpumpun hyötysuhde pysyy hyvällä tasolla.

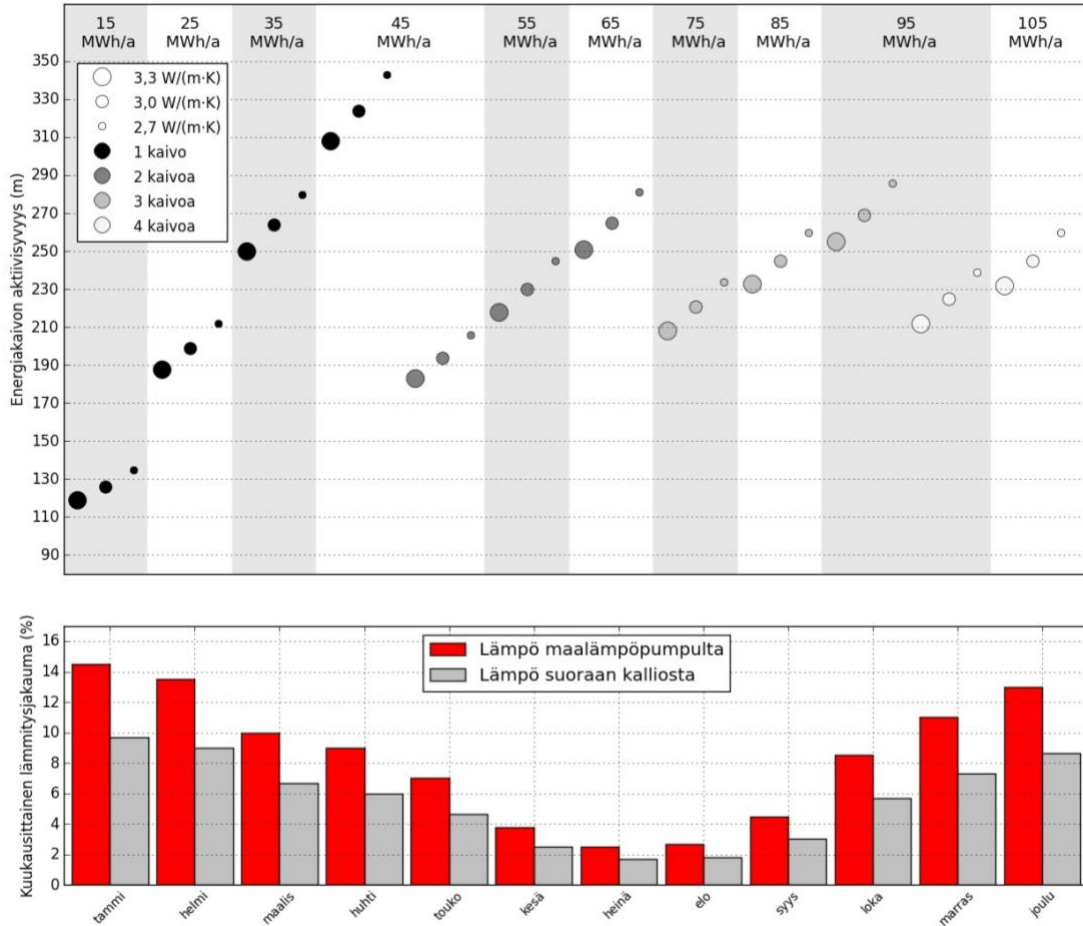
Tarkasteluissa maapeitteen paksuus ja sen lämmönjohtavuus sisältyvät kivilajin teholliseen lämmönjohtavuuteen. Laskettaessa kustannusvaikutusta parhaan ja heikoimman lämmönjohtavuusluokan välillä, tuloksessa ei ole huomioitu maaperäosuuden suoja-putkituksesta aiheutuvia kustannuksia. Hinta kaivometriä kohti teräspuutkiosuudella on noin kaksinkertainen kallioporaukseen verrattuna. Todellinen maapeitteen aiheuttama kustannusvaikutus voi olla siis selvästi korkeampi kuin taulukossa 5 on esitetty.

Taulukko 5. Energiakaivojen tarvittava aktiivisyvyys ja kaivojen lukumäärä tehollisen lämmönjohtavuuden ja lämpöenergian funktiona. Tässä on tutkittu myös kustannusvaikutusta tarvittavan kaivosyvyyden osalta lämmönjohtavuudeltaan parhaimman ja heikoimman luokan välillä, kun kaivoporausten on arvioitu maksavan keskimäärin 35 €/m. Taulukko on viitteellinen ja sitä ei saa suoraan käyttää ohjeena energiakaivojen mitoittamisessa!

Energia lämpöpumpulta [MWh/a]	Aktiivisyvyys [m] kolmella erilaisella lämmönjohtavuuden [W/(m·K)] arvolla			Kaivojen lkm	Kustannusvaikutus
	3,3	3,0	2,7		
15	119	126	135	1	$(135,0 - 119,0) \cdot 35 = 560$
25	188	199	212	1	840
35	250	264	280	1	1050
45	308	324	343	1	1225
45	183	194	206	2	$(2 \cdot (206,0 - 183,0)) \cdot 35 = 1610$
55	218	230	245	2	1890
65	251	265	281	2	2100
75	208	221	234	3	2730
85	233	245	260	3	2835
95	255	269	286	3	3255
95	212	225	239	4	3780
105	232	245	260	4	3920

Taulukkoon 5 kirjatut tulokset on esitetty myös kuvassa 11, josta käy ilmi simuloinneissa käytetty kuukausittainen prosentuaalinen energijakauma. Mikäli tätä energijakaumaa, ts. profiilia merkittävästi muutetaan, yksittäisen kaivon aktiivisyvyys muuttuu ja näin ollen mahdollisesti myös kaivojen lukumäärä voi muuttua poiketen kuvan 11 ja taulukon 5 esityksistä. Jos energiakuormaa esim. pienennettäisiin talvikuukausien osalta ja kasvatettaisiin kesäkuukausina, olisi tarvittava kaivosvyvyys hieman matalampi. Kuvasta 11 nähdään esimerkiksi, että 45 MWh/a energiatarpeen kattamiseen riittäisi lämmönjohtavuudella 2,7 W/(m·K) yksi energiakaivo, kunhan sen aktiivisyvyys on n. 343 m.

Tarkasteluissa vierekkäisten energiakaivojen etäisyys toisistaan oli 15 m. Tutkituissa kahden ja kolmen energiakaivon kentissä kaivot olivat yhdessä linjassa vierekkäin ja neljän kaivon kentässä neliömuodossa. Tässä on huomioitava, että energiakaivoja on ajateltu käytettävän ainoastaan lämmönlähteenä. Mikäli kalliota käytettäisiin myös tilojen jäähdytykseen, voisi tarvittava kaivosyvyys olla hieman alhaisempi.



Kuva 11. Yläkuva: Tarvittava aktiivisyvyys lämmönjohtavuuden funktiona yhtä energiakaivoa kohti ja kaivojen lukumäärä, kun maalämpöpumpulta (COP = 3,0) saatava lämpöenergia on 15 – 105 MWh/a. Alakuva: Simuloinneissa käytetty lämmitystarpeen prosentuaalinen jakauma eri kuukausina. Jos esim. vuotuinen lämmitysenergiatarve on 35 MWh/a, niin kuukausijakauman mukaan lämmitystarve tammikuussa on 14,5 % x 35 MWh.

Suurten energiakaivokenttien osalta on tarpeen kohdekohtaisesti aina tarkasti miettiä, millaiseen asetelmaan kaivot on järkevintä asettaa, jotta porauskustannukset saadaan minimoitua ja kytkennät kaivojen välillä on helppo tehdä. Suurkohteiden osalta suositellaan kallion termisten ominaisuuksien mittausta ennen kaivokentän suunnittelua, koska kallioperän lämmönjohtavuudella on oleellinen vaikutus energiakaivojen lukumäärään ja syvyyteen.

Jos energiakaivokenttää käytetään ainoastaan joko lämmitykseen tai viilennykseen, niin kaivoporauksen osalta kustannukset saadaan minimiin kaivojen ollessa vierekkäin yhdessä linjassa. Energiakaivot heikentävät toisiaan mahdollisimman vähän silloin, kun ne on sijoitettu

mahdollisimman etäälle toisistaan. Mikäli energiakaivokenttää käytetään lämmityksen lisäksi myös viilennykseen, voivat kaivot olla keskenään tiiviimmässä asetelmassa.

Taulukon 5 tulosten perusteella voidaan todeta, että mitä suuremmista lämpökuormista on kyse, sitä enemmän pienikin muutos lämmönjohtavuudessa vaikuttaa tarvittavaan kaivojen yhteiseen aktiivisyyteen. Siksi energiakaivokenttää mitoittaessa on tärkeää tuntea kallioperän todellinen paikallinen lämmönjohtavuus.

7 GEOENERGIAJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN ÄÄNENIEMELLÄ

Geoenergiajärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon muutamia tärkeitä lainsäädännöllisiä seikkoja, sekä ympäristön ja olemassa olevan asemakaavan kannalta huomattavia riskitekijöitä. Energiakaivon poraaminen ja lämmönkeruuputkiston asentaminen edellyttävät vähintään toimenpideluvan hakemista. Uudisrakentamisen yhteydessä lämmitysjärjestelmä hyväksytään rakennusluvassa. Energiakaivon poraamista, lämmönkeruuputkiston asentamista ja niiden suunnittelua varten on viranomaisten, maalämpöalan urakoitsijoiden sekä GTK:n toimesta laadittu opas *Energiakaivo - Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa*, joka on ladattavissa Ympäristöministeriön sivuilta. Suunniteltaessa kalliolämpöratkaisua pientaloon tulee aina olla yhteydessä paikalliseen rakennusvalvontaan. Kaupunkialueilla ja tiheään asutuilla seuduilla lainsäädännön ja kaivojen minimietäisyyksien kanssa tulee olla tarkkana. Maanpinnan alapuolella olevien rakenteiden, kuten putkien ja johtojen sijainti on tärkeää selvittää mahdollisten vaurioiden välttämiseksi. Lisäksi toteutuksessa on huomioitava ympäristön suojelu. Paikallinen rakennusvalvonta neuvoo ja ohjeistaa toimenpidelupaprosessissa tarvittavien asiakirjojen sekä toteutuksen valvonnan osalta. Se antaa myös tietoa kaava-alueen pohjavesialueista ja vedenottoista.

Yksityisen rakentajan kannattaa geoenergiajärjestelmää harkitessaan hyödyntää kuluttajien energianeuvontaa valtakunnallisesti koordinoivan Motivan (motiva.fi) palveluja. Keski-Suomen energiatoimisto tarjoaa paikallista neuvontaa (energianeuvonta@kesto.fi). Kiinteistön ja sen käyttäjien energiatarpeiden laskentaan löytyy havainnollisia laskureita.

7.1 Energiakaivon poraus

Suomessa toimii tällä hetkellä vajaat 100 porausalan yritystä, jotka toteuttavat maalämpöjärjestelmiä. Kaivojen poraaminen tulee toteuttaa alan urakoitsijoiden noudattaman sertifioidun prosessin mukaisesti. Sertifioidut urakoitsijat ovat Poratek - Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry:n jäseniä. Poratek ry on kahden vuoden ajan järjestänyt koulutusta maalämpöjärjestelmien laadukkaaseen suunnitteluun ja toteutukseen. GTK on ollut tiiviisti koulutuksessa mukana ja kiinnittänyt huomiota erityisesti energiakaivojen oikeaan mitoittamiseen pitkäikäisen lämmöntuotannon kannalta. Oikein mitoitetuna ja toteutettuna geoenergiajärjestelmä toimii hyvällä hyötysuhteella kymmeniä vuosia. Energiakaivon tekninen käyttöikä voi olla yli 50 vuotta ylittäen lämpöpumpun käyttöiän moninkertaisesti.

Energiakaivon porauksen hinta on vaihdellut viimeisen kymmenen vuoden aikana rakennusalan suhdanteiden mukaan. Vuonna 2017 yleinen hintataso pientalokohteen energiatarpeeseen soveltuvan 150 - 250 metrisen kaivon poraukselle on ollut noin 29 - 35 €/m (sis. alv). Maapeitteen poraaminen on kalliimpaa tarvittavan muovi- tai teräspuutituksen vuoksi,

keskimääräinen hinta on ollut noin 50 - 60 €/m (sis. alv) urakoitsijasta riippuen. Tarjousta pyydetessä kannattaa kysyä, paljonko maaporausta urakoitsija sisällyttää tarjoukseensa. Ääneniemien alueella maapeite on ohut ja rakennuttaja voi saada sen tarkasti selville pohjarakennusvaiheessa. Muussa tapauksessa tarjous kannattaa pyytää esim. 6 metrin maaporausella (suojaPUTKET toimitetaan yleensä 3 metrisenä salkoina porauspaikalle). Kokonaistarjouksen energiakaivosta sekä maalämpöpumpusta voi pyytää myös eriteltynä.

7.2 Kaukolämpö: geoenergian este?

Suomessa ei ole lämmitysmuodon valintaa ohjaavaa erityislainsäädäntöä. Kaukolämpö on perinteisesti ollut vahvimmillaan suurissa kiinteistöissä eli asuinrakennuksista rivi- ja kerrostaloissa tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla. Pientaloihin rakennetut kaukolämmitysjärjestelmät ovat ennen kaikkea alueellinen ilmiö: jotkut kaukolämpöyhtiöt liittävätkin aktiivisesti pientaloja kaukolämpöverkkoon, mutta eivät suinkaan kaikki. Rajoittavana tekijänä ovat olleet uuden verkoston rakentamisen kustannukset verrattuna siihen liittyvien kulutuspisteiden määrään. Kustannustehokkaampaa, kevyempää verkostotekniikkaa on kehitetty, mutta hajautettujen järjestelmien kuten ilma- ja ilmavesilämpöpumppujen sekä myös maalämpöpumppujen kokonaiskustannukset ovat olleet houkuttelevammat pientalorakentajille. Rakentaja voi investoida myös aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmiin vähentäen omaa hiilijalanjälkeään. Ääneniemellä rakennettavissa uudiskohteissa keräimien sijoittelu voidaan optimoida jo suunnitteluvaiheessa ja niiden hyödyntäminen osana geoenergiajärjestelmää on helppo toteuttaa.

Kaukolämpöyhtiöt tarjoavat verkostonsa rinnalla jo hajautettua energiantuotantoa, erityisesti aurinkosähköä, mutta eivät toistaiseksi aurinkolämpöä. Lisäksi julkisten kiinteistökohteiden geoenergiajärjestelmienkin toimittaja voi nykyään olla kaukolämpöyhtiö. Yhdistetyt kauko-maalämpöjärjestelmät ovat myös yleistyneet suurissa kaupungeissa. Ympäristöministeriössä on käynnissä maankäyttö- ja rakennuslain uudistaminen osana Euroopan unionin nollaenergiatavoitteisiin siirtymistä vuoteen 2018 mennessä. Kaukolämpöalan edunvalvoja Energiategollisuus ry on itse kannattamassa liittymisvelvoitteiden purkamista. Ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta tarvitaan hajautettua, mutta myös keskitettyä energiantuotantoa.

Ääneniemelle on rakennettu toimiva kaukolämpöverkko ja siihen veloitetaan liittymään tontin luovutuksen ehtona tietyissä kortteleissa. Tässä selvityksessä tutkittu koekaivo porattiin itse asiassa liittymisvelvoitteen alaiselle alueelle, koska koillisrannan katuverkosto oli tutkimuksia tehtäessä pääosin rakentamatta. Kaukolämpöverkoston laajentaminen koillisrannan kaava-alueelle ja liittymisvelvoitteiden asettaminen ovat liiketaloudellisen arvioinnin jälkeen lopulta kaupungin ja Äänekosken Energian päätäntävällä. Alueen hyvä geoenergiapotentiaali puoltaa kuitenkin maalämpöpumppujen tai mahdollisten hybridijärjestelmien valintaa tuleviin energiatehokkaisiin uudisrakennuksiin. Tämä olisi vähintäänkin suotavaa tuoda rakennuttajien tietoon.

8 YHTEENVETO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) selvitti Keski-Suomen liiton ja BEA-APP: Baltic Energy Areas - A Planning Perspective -hankkeen toimeksiannosta Ääneniemien koillisrannan geoenergiapotentiaalin. Työssä keskityttiin tarkastelemaan (maa- ja) kallioperästä saatavaa

energiapotentiaalia, joka on hyödynnettävissä rakennusten lämmittämiseen ja/tai viilentämiseen kallioon poratun lämpökaivon eli energiakaivon avulla. Geoenergiapotentiaalin selvittämiseksi hyödynnettiin yhdestä tutkimuskaivosta tehtyä termistä vastetestiä (TRT-mittaus), geologista paikkatietoa ja kohteessa tehtyä kallioperäkartoitusta. Selvityksessä huomioitiin geoenergian saatavuuden kannalta olennaiset tekijät; (maa- ja) kallioperän lämmönjohtavuus ja lämpötila sekä maapeitteen paksuus, joiden vaikutukset yhdistettiin laskennallisesti. Nämä tekijät omalta osaltaan ohjaavat geoenergiajärjestelmän kustannustehokkuutta, sillä ne määrittävät kaivon tarvittavan syvyyden. Kaivon poraus muodostaa suuren osan geoenergiajärjestelmän alkuinvestoinneista.

Ääneniemen koillisrannan alueellinen geoenergiapotentiaali on hyvä. Alueen kivilajin, porfyyrin graniitin/kvartsimontsoniitin lämmönjohtavuus on alhaisempi kuin Suomen kivilajien keskiarvo. Pelkästään kalliosta saatava energiapotentiaali on Ääneniemellä siten *keskinkertainen*. Huomioitaessa alueen ohut maapeite, joka on pääosin alle yhden metrin ja paksuimmillaankin vain kymmenisen metriä, sekä hyvä lämpötilataso, geoenergiapotentiaali nousee kokonaisuudessaan paremmaksi. Näin ollen geoenergiaa voidaan suositella hyvin vaihtoehtoiseksi energiamuodoksi Ääneniemellä.

Geoenergiapotentiaalin merkitystä käytännössä tutkittiin esimerkkilaskelmin yksittäisen energiakaivon aktiivisyvyyteen, pienen energiakaivokentän kaivojen lukumäärään ja porauskustannuksiin, kun lämpöenergian määrää ja kallion tehollista lämmönjohtavuutta muutettiin. Lämmönjohtavuuden arvona käytettiin Ääneniemellä tehdyn termisen vastetestin avulla saatua paikkakohtaista tehollisen lämmönjohtavuuden arvoa $3,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, mikä vastaa alueen kivilajia, porfyyristä graniittia/kvartsimontsoniittia. Herkkyytstarkasteluun lämmönjohtavuutta myös hieman pienennettiin ($2,7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) ja kasvatettiin ($3,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), jotta vaikutukset energiakaivon aktiivisyvyyteen ja sitä kautta porauskustannuksiin energiantarpeeltaan erikokoisissa kiinteistöissä saatiin selvitettyä. Kaivojen porauskustannuksia laskettaessa tuloksissa ei huomioitu maaosuuden suoja-putkituksesta aiheutuvia kustannuksia, sillä maapeite on Ääneniemellä hyvin ohut. Maaporauksen hinta suoja-putkineen vaihtelee jonkin verran urakoitsijoiden välillä ja on kaivometriä kohden noin kaksinkertainen kallioporaukseen verrattuna. Todellinen maapeitteen aiheuttama kustannusvaikutus voi siis olla korkeampi kuin mitä taulukossa 5 on esitetty.

Yhden kaivon tapauksessa, riippuen omakotitalon energiantarpeesta, tarvittava kaivosyvyys vaihtelee 16 – 30 metriä lämmönjohtavuudeltaan heikoimman ja parhaimman luokan välillä, jolloin vastaavasti porauskustannukset vaihtelevat n. 500 – 1000 euroa.

Pienessä rivitalokohteessa sama energiantarve (45 MWh) voidaan kattaa 1 – 2 kaivolla. Yhden kaivon tapauksessa tarvittava kaivosyvyys vaihtelee peräti 35 metriä lämmönjohtavuudeltaan heikoimman ja parhaimman luokan välillä ja porauskustannukset nousevat n. 1200 euroa. Kahdella kaivolla tarvittava kaivosyvyys vaihtelee vastaavasti 23 metriä/kaivo lämmönjohtavuudeltaan heikoimman ja parhaimman luokan välillä ja porauskustannukset nousevat n. 1600 euroa. Sen sijaan, vertailtaessa pienen rivitalokohteen energiantarpeen kattamista joko yhdellä tai kahdella kaivolla, porauskustannukset nousevat keskimäärin 20 % porattaessa kaksi kaivoa.

Rivi- tai kerrostalokohteessa sama energiantarve (95 MWh) voidaan kattaa 3 – 4 kaivolla. Kolmen kaivon tapauksessa tarvittava kaivosyvyys vaihtelee peräti 31 metriä/kaivo lämmönjohtavuudeltaan heikoimman ja parhaimman luokan välillä ja porauskustannukset nousevat n. 3200 euroa. Neljällä kaivolla tarvittava kaivosyvyys vaihtelee vastaavasti 27 metriä/kaivo lämmönjohtavuudeltaan heikoimman ja parhaimman luokan välillä ja

porauskustannukset nousevat n. 3800 euroa. Edelleen, vertailtaessa rivi- tai kerrostalokohteen energiantarpeen kattamista joko kolmella tai neljällä kaivolla, porauskustannukset nousevat keskimäärin 12 % porattaessa yksi kaivo enemmän.

Geoenergiapotentiaalikarttaa voidaan hyödyntää esim. kaavoituksessa, rakennus- ja ympäristövalvonnassa sekä lähtötietona erilaisten kannattavuuslaskelmien (esim. elinkaaritarkastelu) tekemisessä, ja sillä halutaan tukea vaihtoehtoisten energiamuotojen valintaa uusille asuinalueille. Selvityksessä on huomioitu energiakaivon mitoittamiseen vaikuttavat Ääneniemen paikalliset ominaispiirteet, mikä voi auttaa paikallisia maalämpöyrittäjiä toimittamaan asiakkailleen paremmin toimivia ja kustannustehokkaampia järjestelmiä. Geoenergiapotentiaaliarvion avulla voidaan hakea *raja-arvoja* energiakaivon mitoittamista varten *pientalokohteissa* (omakotitalot, paritalot, pienet rivitalot ja muut vastaavat kiinteistöt). Asiantunteva lämpökaivourakoitsija ja LVI-suunnittelija pystyvät sen perusteella huomioimaan pienkohteiden mitoittamiseen vaikuttavien tekijöiden merkityksen geoenergiajärjestelmän toiminnan ja rakentamiskustannusten kannalta. Geoenergiapotentiaalikarttaa ja kappaleessa 6 esitettyjä esimerkinomaisia energiakaivojen mitoituslaskelmia ei tule kuitenkaan sellaisenaan käyttää kiinteistöjen energiakaivojen ja/tai -kaivokenttien mitoittamiseen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Clauser, C. & Huenges, E. 1995. Thermal conductivity of rocks and Minerals. Julkaisussa: T.J. Ahrens (toim) Rock physics & phase relations: a handbook of physical constants. Washington D. C.: American Geophysical Union. doi:10.1029/RF003

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas. Ympäristöministeriö. 64 s. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

Nironen, M. 2003. Keski-Suomen granitoidikompleksi. Karttaselitys. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusra- portti 157. 45 s., 1 liite. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_157.pdf

Peltoniemi, S. & Kukkonen, I. 1995. Kivilajien lämmönjohtavuus Suomessa: yhteenveto mittauksista 1964-1994. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti Q18/95/1. 14.s. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q18_95_1.pdf

Rämö, O. T., Vaasjoki, M., Mänttari, I., Elliot, B. A. & Nironen, M. 2001. Petrogenesis of the Post-kinematic Magmatism of the Central Finland Granitoid Complex I; Radiogenic Isotope Constraints and Implications for Crustal Evolution. Journal of Petrology 41, 1971–1993. doi:10.1093/petrology/42.11.1971

Suomen kallioperä - DigiKP. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [viitattu 18.08.2017]. Versio 2



Porakaivon pöytäkirja

Kohteen tiedot

- Tilaaaja **Geologian Tutkimuskeskus**
- Toimitusosoite **Jaakopintie, 44100 Äänekoski**

Kaivon tiedot

- Kaivon numero/tyyppi **1 / lämpökaivo**
- Porauspäivämäärä **6.7.2017**
- Koordinaatit **N 62°36'55'' E25°44'44''**
- Maakerroksen paksuus **0,65 m**
- Suojaputken määrä **6 m**
- Suojaputken tiedot **139,7 mm x 4,5 mm**
- Kallioporaus **194 m**
- Porakaivon halkaisija **115 mm**
- Kokonaissyvyys **200 m**
- Porauksen kallistusasteet **0°**
- Porauksen kallistus suunta **pysty**
- Veden tuotto poratessa **kuiva**
- Kaivon tuli vesi **kuiva poratessa**
- Lämmönkeruuputkiston pituus **400 m**
- Kaivo täytetty ulkopuolisella vedellä täyteen putkituksen yhteydessä.
- Lämmönkeruuputkiston paineistus
 - Koepaine 4bar/30min, silmämääräinen tarkastus
- Lämmönkeruuputkiston materiaali
 - PEM 40x2.4 PN 8 SDR17 Turbo Kollektori
- Maalämpöneste
 - Altia Naturet Strong 30 %

Kallion tiedot

- **ei lustoa**

Takuu

- Porakaivon takuu on 5 vuotta, alkaen **7.7.2017**
- Takuun piiriin ei kuulu kaivon tukkeutuminen/sortuminen

Pintavesieristys

- Teräsputki on injektoitu kallioon betonoimalla

Leppävirta 18.7.2017

Vuorjo Aalto

FinKaivot Oy
Teollisuustie 20, 79100 Leppävirta | puh. 040 712 8966 | www.finkaivot.fi
Y-tunnus 2691448-4 | Kotipaikka Leppävirta