

# KABIO – kaasut ja biogeokemian prosessit kallioperässä (2008-2010)

Ilmo Kukkonen, Lasse Ahonen, Riikka Kietäväinen ja Arto Pullinen

Geologian tutkimuskeskus (GTK)  
PL 96, 02151Espoo  
E-mail ilmo.kukkonen@gtk.fi

## Johdanto

Tutkittaessa kiteisen kallioperän käyttämistä ydinjätteen loppusijoitukseen on olennaista tuntea kallioperässä olevan kalliopohjaveden koostumus, sen sisältämät kaasut, mahdolliset mikrobit ja niitä yhdistävät biogeokemian prosessit. Kaasujen ei-bioogeeniset sekä mikrobitoimintaan liittyvät reaktiot veteen liuenneiden aineiden ja kallioperän mineraalien kanssa vaikuttavat loppusijoitusjärjestelmän lähialueen (erit. bentoniitti ja kapseli) toimintaan ja pysyvyyteen. KABIO-tutkimuksen aiheena olivat kaasujen esiintyminen kallioperässä ja kaasuihin vaikuttavat biogeokemialliset prosessit. Kalliopohjavesijärjestelmän biogeokemiallisiin prosesseihin liittyy edelleen huonosti tunnettuja ja tuntemattomia tekijöitä, jotka edellyttävät perusselvityksiä, näytteenottoa, prosessin mallintamista ja mikrobiologista tutkimuksia. KABIO-hanke toteutettiin kiinteässä yhteistyössä VTT:n GEOMOL-hankkeen kanssa.

## Tutkimuspaikka

KABIO-hankkeessa 2008-2010 käytettiin tutkimuskohteena Suomen syväntä kairareikää, joka sijaitsee Outokummussa. Outokummun 2516 m syvä tutkimusreikä antaa ainutlaatuisen mahdollisuuden tutkia kallioperän rakovyöhykkeitä ja syviä prosesseja syvyysalueella, joka ulottuu kalliopinnan ”loppusijoitusvyöhykelle” ja aina 2.5 km:n syvyyteen saakka (Kuva 1).

## Näytteenotto

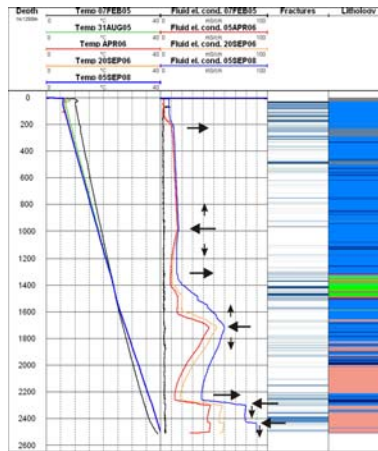
Kallioperän fluidien näytteenottoa tehtiin syväreissä kenttäkautien aikana koko KABIO-hankkeen ajan kemiallisia, isotooppi- ja mikrobiologista tutkimuksia varten (Kuvat 2-5). Näytteenottoa tehtiin käyttäen GTK:n perinteellistä letkunäytteenotinta reiän pohjavesiprofiilin selvittämiseksi. Lisäksi hanke kehitti valmiuksia ja menetelmiä hydraulisten pakkerien välissä tapahtuvaan pumppaukseen rakovyöhykkeistä. Pumppausnäytteenottoa tehtiin yhteistyötä Posivan ja Lapela Oy:n kanssa, jotka rakensivat syväreikään (halk. 22 cm) sopivat pakkerit. Syväreikäpaikalla olevaan tutkimusparakkiiin asennettiin monitorointilaitteistot veden pumppausta sekä sähköjohtavuuden, pH:n, O<sub>2</sub>:n ja redox-potentiaalin automaattista mittausta varten. Pumppausjaksot olivat 2-4 kk pituisia.

## Tuloksia

Syväreian vedet ovat Ca-Na-Cl-fluideja, joille on tyypillistä korkea kaasupitoisuus. Kaasu on koostumukseltaan pääasiassa metaania ja tyyppiä (taulukko). Veden stabiilien isotooppien koostumus osoittaa, että syväreian kallioperässä olevat fluidit eivät ole meteorisessa kierrossa mukana, vaan ilmeisesti pitkäaikaisen veden ja kiven välisen vuorovaikutuksen tulosta (kuva 5). Reikävesi näyttää olevan vallitsevasti peräisin yksittäisistä toisistaan useiden satojen metrien etäisyydellä olevista rakovyöhykkeistä, jotka eivät ole hydraulisesti tekemisissä keskenään. Eri rakovyöhykkeiden vedet eroavat toisistaan sekä kemiallisen ja isotooppikoostumuksen että mikrobiologisten tutkimusten perusteella.

Metaanin hiili-isotooppikoostumus (kuva 3) voi viitata siihen, että metaani olisi Outokummussa termogeenistä, eli korkeammassa lämpötilassa hajonneiden pitempien hiilivetyjen tuottamaa metaania, jolloin se olisi joko hyvin vanhaa tai syvemmältä kulkeutunutta. Toisaalta metaanin biogeenistä alkuperää ei ole voitu sulkea pois, sillä jos hiili kiertää suljetussa systeemissä, ei kaasulla ole odotettavissa merkittäviä isotooppisuhteiden muutoksia suhteessa käytettävissä oleviin lähtöaineisiin. Myös havainnot metanogeenisistä arkkibakteereista tukevat tätä oletusta. Vesinäytteistä ei ole pystytty analysoimaan havaittavia sulfaattipitoisuuksia, mikä voisi viitata mikrobiologiseen sulfaatin pelkistykseen.

**Kiitospainat.** KABIO-hankkeen rahoittavat KYT2010 -ohjelma ja GTK. Posiva Oy ja Lapela Oy antoivat hankkeelle merkittävää teknistä tukea pumppausnäytteenotossa.

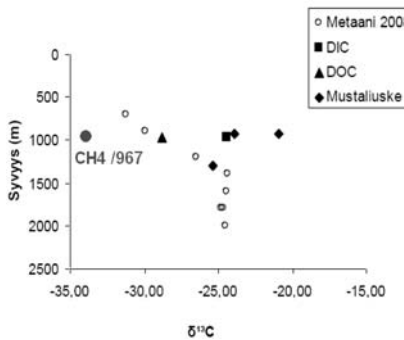


Kuva 1. Outokummun syväreian lämpötila, fluidin sähköjohtavuus, rakovyöhykkeet ja kivilajit.

Reikäluotaukset tehtiin v. 2005-2008. Nuolilla on merkitty aktiivisia virtaavia rakovyöhykkeitä (virtaus ulos ja sisään reikäin). Tulokset osoittavat reikäveden muuttuvan suolaisemmaksi yli 1 km syvyydellä. Sininen=kiilleliuske, vihreä=oliittikompleksin kivilajit, punainen=pegmatiittinen graniitti.

**Taulukko. Kaasufaasin koostumus Outokummun syväreissä.**  
Letkunäytteenotto 2008. Luvut ovat til-%.

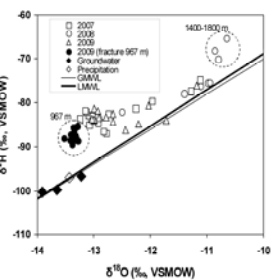
Depth (m)	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Sum
500	22	0,51	1	2,2	72	0,56	0,014	98,3
600	15	1,2	0,9	0,35	79	0,8	0,018	97,3
700	17	0,42	0,69	0,53	78	0,68	0,017	97,3
800	18	0,37	0,6	0,42	77	0,66	0,018	97,1
900	26	0,53	0,52	2,5	67	0,46	0,012	97
1000	16	0,64	0,71	0,34	79	0,75	0,018	97,5
1100	28	0,45	0,66	2,1	66	0,45	0,012	97,7
1200	18	0,48	0,96	0,63	77	0,65	0,017	97,7
1300	21	1,4	0,71	0,7	73	0,62	0,017	97,4
1400	21	0,6	1	1,6	73	0,57	0,017	97,8
1500	22	0,64	0,72	5,6	68	0,5	0,019	97,5
Average	20,4	0,66	0,77	1,54	73,5	0,61	0,016	



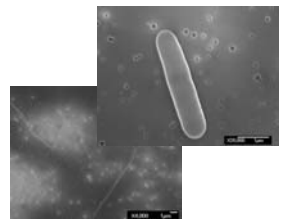
Kuva 2. Liuenneen orgaanisen (DOC) ja epäorgaanisen (DIC) hiilen isotooppikoostumukset Outokummun syväreissä verrattuna metaanin hiili-isotooppiin (Metaani 2008) ja mustaliuskeiden hiili-isotooppiin (Mustaliuske) syvyyden suhteen esitettyinä. Hiilen isotooppikoostumukset (δ<sup>13</sup>C ‰ PDB) on esitetty vaakaa-akselilla.



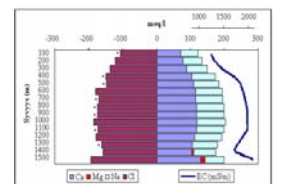
Pumppausnäytteenottoa v. 2010



Kuva 3. Veden stabiilit isotoopit Outokummun syväreissä. Tuloksia letkunäytteenotista sekä rakovyöhykkeistä pumpatusta vedestä. Kallioperän suolaiset fluidit eivät ole tekemisissä meteorisen kierrossa, jota edustavat kuvan globaali GMWL-suora ja paikallinen Itä-Suomen LMWL-suora sekä sadannan (precipitation) ja kvartaarimuodostumien pohjaveden (groundwater) isotooppiarvot. Piikkuviivalla ympäröidyt näytepiirust edustavat eräitä mahdollisia isotooppikoostumuksen päätejänsä.



Kuva 4. GEOMOL- ja KABIO-hankkeiden tulokset osoittavat Outokummun syväreian vedessä olevan 10<sup>7</sup> – 10<sup>8</sup> mikrobia/mL. Noin 15 % mikrobeista edustaa geeniperimältään metaania muodostavia arkeja ja sulfaattia pelkistäviä bakteereja. Loppuja lajeista ei voida vielä funktionaalisesti luokitella.



Kuva 5. Outokummun syväreian reikäveden koostumus ja veden sähköjohtavuus 1500 m syvyyteen saakka. Analyysitulokset on esitetty yksikkönä milliekivalentti (ionivaraus x molaarisuus).