



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Anna Helenelund

Kalliopohjavesiolosuhteiden selvitystavat ja näytteenottomenetelmien vertailu VOC-näytteenotossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

10.5.2019

Tekijä Otsikko	Anna Helenelund Kalliopohjavesiolosuhteiden selvitystavat ja näytteenottomenetelmien vertailu VOC-näytteenotossa
Sivumäärä Aika	35 sivua + 3 liitettä 10.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja(t)	Johtava asiantuntija, Pasi Vahanne Lehtori/projektipäällikkö, Kaj Lindedahl
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua ruhjeisen kallioalueen pohjavesiselvityksiin sekä pohjavesinäytteenottoon käytettäviin menetelmiin. Työssä tutustuttiin kentällä tehtäviin maavastusluotauksiin, vesimenekkimittauksiin ja kalliopohjavesiputkien porauksiin sekä verrattiin viittä eri näytteenottomenetelmää pohjaveden VOC-näytteenotossa. Työ tehtiin FCG Suunnittelu ja tekniikalle Oy:lle.</p> <p>Sähköinen maavastusluotaus on hyvä menetelmä maaperän tutkimisessa. Sen avulla voidaan saada tietoa maaperän koostumuksesta, kallion sijainnista ja rikkonaisuudesta sekä pohjaveden pinnan tasosta. Vesimenekkipokeilla taas saadaan tarkempaa tietoa paikkakohtaisesta kallion rikkonaisuudesta.</p> <p>VOC-yhdisteet luovat haasteita näytteenotossa, sillä ne haihtuvat herkästi vedestä sekoittumisen, lämmön, valon ja ilmakosketuksen myötä, jolloin näytteen edustavuus häiriintyy. Edustavan näytteen saaminen ei kuitenkaan ole ainoa ongelma, vaan myös vaikeakulkuinen maasto, pitkät välimatkat ja pohjavesiputken huono antoisuus luovat omat haasteensa näytteenotossa.</p> <p>Työssä tehty näytteenottomenetelmien vertailu jäi pieneksi, mutta voitiin kuitenkin havaita, että kaikilla käytetyillä menetelmillä saatiin otettua näytteitä, joiden haitta-ainepitoisuudet olivat keskenään samansuuntaisia. Havaittiin kuitenkin myös, että pelkkä näytteenottomenetelmä ei ole olennainen osa edustavan näytteen saamisessa, vaan myös näytteen pulloitusvaiheessa tulee huomioida, että näytteen ilma-altistus jäisi mahdollisimman lyhyeksi.</p>	
Avainsanat	kalliopohjavesi, geofysiikka, maavastusluotaus, näytteenotto

Author Title Number of Pages Date	Anna Helenelund Rock groundwater exploration methods and comparison of groundwater VOC-sampling methods 35 pages + 3 appendices 10 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental engineering
Instructor(s)	Pasi Vahanne, Leading advisor Kaj Lindedahl, Senior Lecturer, Project manager
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to become familiar with methods of groundwater exploration in fractured rock areas and to compare different methods used for volatile organic compound (VOC)-sampling of groundwaters. The thesis studied five different kinds of groundwater sampling methods, electrical tomography, water loss measurements and drilling of groundwater sampling holes.</p> <p>Electrical tomography is an excellent way to determine underground soil types and the depth at which the bedrock is located. It is also possible to analyze fractures in the rock and determine the level at which the groundwater is located. Water loss measurements give more precise data on how fractured the rock is underground.</p> <p>There are challenges concerning VOC-sampling of groundwaters, as the compounds evaporates easily from the water due to blending, heat, light, and air contact, thereby disturbing the representativeness of the sample. However, obtaining a representative sample is not the only problem, but also challenging terrains, long distances, and the groundwater status in the area, create their own challenges in the sampling process.</p> <p>The comparison of the sampling methods in this thesis was quite concise. It could be noted that with all the methods used, samples with similar levels of contamination were obtained. However, it was also found that the mere method of groundwater sampling was not the only integral part of obtaining a representative sample. How the sample is bottled plays an important role as well, as the water is exposed to air during the time it flows from the sampling tube in to the bottle. The air exposure time should be minimized, to prevent volatile organic compounds from evaporating from the sample.</p>	
Keywords	groundwater, sampling, geophysics, VOC

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Pohjaveden muodostuminen ja virtaukset	2
2.1	Maaperän pohjavesi	2
2.2	Kalliopohjavesi	4
3	Kalliopohjaveden laatu ja seuranta	5
3.1	Yleinen laatu	5
3.2	Haitta-aineet	6
3.3	Seuranta	8
4	Kalliopohjavesiselvitykset	9
4.1	Kairaukset/poraukset	9
4.2	Vesimenekkikokeet	10
4.3	Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät	10
4.3.1	Sähköinen maavastusluotaus	11
4.3.2	Muut menetelmät	13
4.4	Pohjaveden tarkkailuputket	14
4.5	Näytteenotto	14
5	Esimerkkikohteet	15
5.1	Porvoo, Kilpilahti	15
5.2	Sipoo, Söderkulla	18
6	Näytteenottomenetelmät	20
6.1	Uppopumput	20
6.2	Bladder-pumppu	21
6.3	LowFlow	22
6.4	Bailer	22
7	Näytteenoton toteutus	22
7.1	Näytteenottopaikka	22
7.2	Näytteenotto	24
8	Analyysit ja analyysitulokset	25
8.1	Analyysit	25
8.2	Tulokset ja niiden vertailut	26
8.3	Epävarmuustarkastelu	28

9	Näytetulosten tarkastelu	28
10	Johtopäätökset ja yhteenveto	30
10.1	Pohjavesiputkien sijoittaminen	30
10.2	Näytteenottomenetelmien vertailu	31
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1. Kalliopohjavedenlaatu alueittain ja kivilajeittain	
	Liite 2. Esimerkki LowFlow-näytteenottopöytäkirjasta	
	Liite 3. Analyysitodistukset	

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa ja tutustua kalliopohjavesiolosuhteiden selvitystapoihin ja erilaisiin pohjaveden näytteenottomenetelmiin ja niiden eroavaisuuksiin. Näyteputkien sijoittamisessa ja alueen pohjavesiolosuhteiden selvittämisessä käytettiin geofysikaalisina mittauksina sähköistä maavastusluotausta ja vesimenekikokeita.

Pohjavesiolosuhteiden selvitykseen on olemassa useita eri tapoja ja menetelmiä, keskeisimmän ollessa pohjaveden näytteistäminen. Pohjaveden näytteistämisellä saadaan tietoa pohjaveden laadusta ja mahdollisista haitta-aineista. Myös maa- ja kallioperän tuntemus on tärkeää, sillä sen avulla voidaan arvioida pohjaveden kulkeutumisreitit. Geologisten tutkimusten perusteella näytteenotto voidaan kohdistaa oikeisiin paikkoihin, mahdollistaen siten edustavien näytteiden saannin sekä sijainnin että syvyyden kannalta. Pohjaveden tilan tuntemus ja seuranta ovat tärkeässä asemassa terveyden ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta.

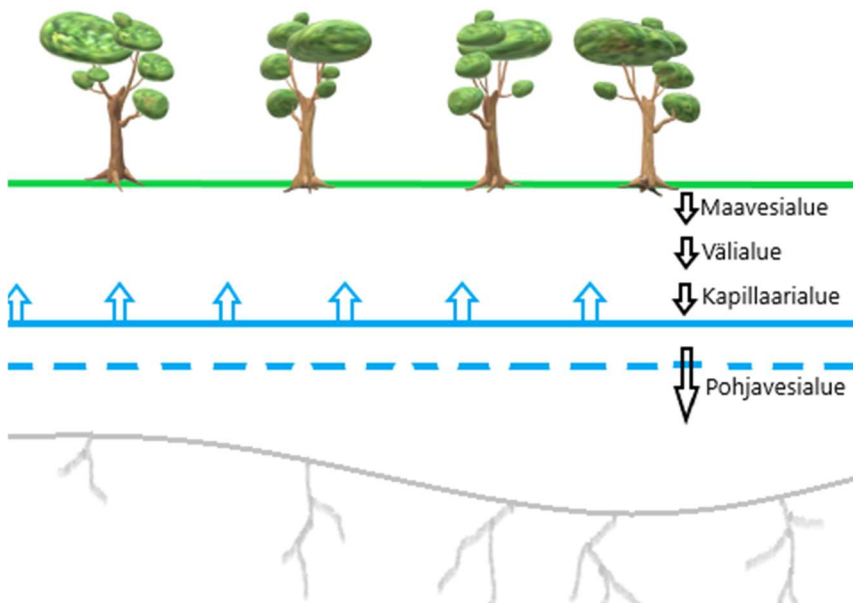
Työssä esitetään Sipoon ja Porvoon alueilla sijaitsevien esimerkkikohteiden geologiaa, niissä tehtyjä pohjaveden tilan selvitystapoja sekä pohjaveden eri näytteenottomenetelmiä ja niiden vertailua. Työ tehtiin FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:lle, joka on suomalainen monialainen konsulttiryitys. FCG Suunnittelu ja tekniikan toimialat kattavat laajalajisesti yhdyskuntasuunnittelun, ympäristökonsultoinnin, vesihuollon suunnittelun sekä talo- ja korjausrakentamisen.

2 Pohjaveden muodostuminen ja virtaukset

2.1 Maaperän pohjavesi

Maaperän pohjavesi on vettä, joka virtaa maan pinnan ja kallionpinnan välisessä vyöhykkeessä. Pohjavesikerroksen raja kulkee siinä, mistä alaspäin maa on täysin kyllästynyt vedellä. Suurin osa pohjavedestä muodostuu, kun sadevesi ja sulamisvedet perkoilituvat, eli imeytyvät maaperässä kohti pohjavesikerrosta. Pohjavettä muodostuu myös, kun vettä imeytyy maaperään vesistöistä, kuten joista, järvistä ja soista. (1 s. 14-15)

Maaperä voidaan jakaa kahteen eri vyöhykkeeseen: vedellä kyllästyneeseen sekä kyllästymättömään vyöhykkeeseen. Vedellä kyllästymätön vyöhyke voidaan edelleen jakaa kolmeen eri vyöhykkeeseen: maavesivyöhyke, välivyöhyke ja kapillaarivyöhyke (Kuva 1). Maavesivyöhykkeen vesipitoisuus riippuu maan vedenläpäisevyydestä, ympäristöstä sekä kasvillisuudesta. Välivyöhykkeessä vesi vajoaa alaspäin maaperässä painovoiman vaikutuksesta. Kapillaarivyöhyke on suoraan pohjavesivyöhykkeen yläpuolella, jossa vesi pysyy kapillaaristen voimien ansiosta. Vesipinnan kapillaarinen nousu on riippuvainen maa-aineksen laadusta ja raakoosta. (1 s. 15-16) Lisäksi maanpinnan alapuolelle voi kehittyä orsivesikerros, joka on vettä läpäisemättömän maakerroksen (esim. saven) päälle muodostunut vesivarasto, jonka alla on myös vedellä kyllästymätön maakerros ennen varsinaista pohjavesivyöhykettä.



Kuva 1. Maaperän jaottelu vyöhykkeisiin vesiolosuhteiden perusteella. Siniset nuolet kuvaavat veden kapillaarista nousua maaperässä (1 s. 14).

Maapohjaveden määrän muodostuminen tietyinä ajankohtana on riippuvainen useasta eri asiasta: maa-aineksen raekoosta ja laadusta, maaperän vesipitoisuudesta, sadannan määrästä ja intensiteetistä, sadannan laadusta (vesisade, lumi, rakeet), lämpötilasta (vaikuttaa haihduntaan) sekä kasvillisuudesta. Veden läpäisevyys, eli K-arvo, vaihtelee maaperässä välillä 10^{-10} - 10 m/s. Eri maalajien K-arvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Maalajien vedenläpäisevyydet, eli K-arvot (1 s. 15)

Maalaji	K-arvo (m/s)
Sora	10^{-10} - 10^{-3}
Hiekka	10^{-2} - 10^{-6}
Siltti	10^{-5} - 10^{-9}
Savi	$<10^{-9}$
Moreeni	10^{-5} - 10^{-10}

Jotta veden virtaama maaperässä voidaan arvioida, täytyy kyseisen alueen maaperän hydraulinen johtavuus, eli K-arvo, määrittää. K-arvo perustuu maa-aineksen raekokoon. Pohjaveden virtaama Q (m^3/s) saadaan laskettua Darcyn lailla, eli seuraavalla kaavalla:

(1)

$$Q = -KA \frac{dh}{dL}$$

jossa K on maaperän hydraulinen johtavuus (m/s), A pinta-ala (m^2) ja dh/dL on hydraulinen gradientti, eli paineviivan kaltevuus. (1 s. 17) Pohjaveden virtausnopeus maaperässä taas saadaan laskettua seuraavalla kaavalla 2:

(2)

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

jossa Δh on pohjaveden pinnan korkeusero ja Δl pohjavesivirtaaman laskenta-alueen pituus. Pohjaveden tehokas virtausnopeus, v (m/s), saadaan huomioimalla maaperän huokoisuus, n , seuraavalla kaavalla 3:

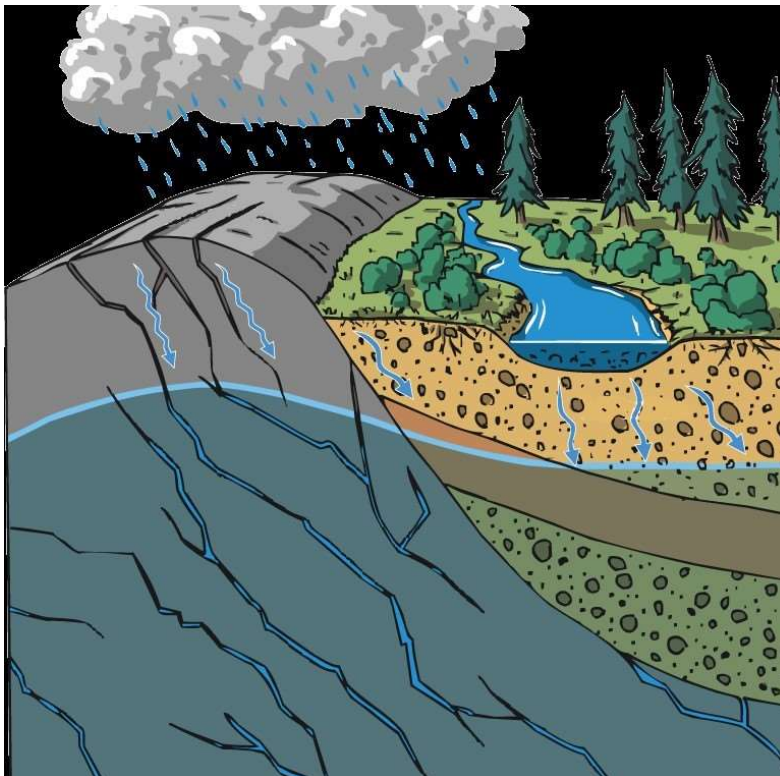
(3)

$$v = \frac{q}{n}$$

Darcyn laissa oletetaan, että veden tiheys pysyy samana riippumatta veden lämpötilasta tai paineesta, mikä ei vastaa todellisuutta. Tarkkojen tulosten saamiseksi kaavaa on siis muokattava tarpeen mukaan tämän huomioiden. (1 s. 18)

2.2 Kalliopohjavesi

Kalliopohjavesi on kallioperän ruhjeissa ja rikkoumavyöhykkeissä esiintyvää vettä. Tämä edustaa Suomen yleisintä pohjavesiesiintymää ja lähes joka neliökilometriltä voi löytää kalliopohjavesiesiintymiä, joiden antoisuus on vähintään 25 m³/vrk. Kallioperän ruhjevyöhykkeissä kierrossa oleva veden syvyys voi olla jopa satoja metrejä. (2 s. 10)



Kuva 2. Kallioperään pääsee muodostumaan pohjavettä, kun vettä imeytyy kallion ruhjeisiin ja rakoihin maapeitteen alapuolella sekä kalliojaljastumilla (3)

Ehjä kallioperä on hydrologisesti vettä läpäisemätöntä, mutta kallion rakoiluissa ja ruhjeissa vesi voi kuitenkin kulkeutua ja varastoitua (Kuva 2). Avoimet raot ja ruhjeet voivat ylettyä jopa kilometrien syvyyteen ja täyttyä vedellä. Ruhjeiden pintaosat voivat kuitenkin

olla kuivia (4 s. 304). Kallion rikkonaisuus riippuu kivilajin rakoiluominaisuuksista, mutta on usein suurinta kallion pintaosissa (5). Vedenjohtavuus kallioperässä vaihtelee erittäin suuresti sen ruuhkeisuuden ja rakoilun mukaan, ollen 10^{-2} – 10^{-11} m/s (4 s. 304). Syvemmällä oleva pohjavesi taas on pitemmän viipymän vettä, joka saattaa olla lähes liikkumatonta.

Kalliopohjavettä syntyy pääasiassa, kun kallion päällä olevassa maaperässä kulkeutuva vesi pääsee kallioperään siinä olevien rakojen ja ruuhkeiden kautta. Tästä syystä pohjavesi on useimmiten laadultaan samankaltaista rikkonaisen kallioperän pintaosissa, kuin se on sen päällä olevien maakerrostumien pohjavedessä. Huonosti vettäläpäisevät maalajit, kuten savi, voivat kuitenkin estää veden pääsyn rakosysteemeihin. Kalliopohjavettä voi syntyä myös avoimilla kalliopaljastumilla, mikäli kallioperä on rikkonaista. (1 s. 18-20)

Kalliopohjavedessä vesi virtaa turbulently kallioperän raoissa ja halkeamissa, jotka ohjaavat veden virtaussuuntaa. Rakoilujen huokoisuus, eli niiden avoimuus, tiheys, välimatkat rikkonaisuusvyöhykkeiden välillä sekä niiden levinneisyys alueella vaikuttaa kalliopohjaveden virtaamaan. Darcyn lakia on hankala soveltaa kalliopohjaveden virtauksen määrittämisessä, sillä siinä oletetaan veden virtaavan laminaarisesti homogeenisen ja huokoisen materiaalin läpi. Mikäli Darcyn lakia hyödynnetään kalliopohjaveden virtauksen määrittämisessä, alueen efektiivinen huokoisuus tulee selvittää, eli niiden kohtien huokoisuus, jossa vesi pääsee virtaamaan. Kallion hydraulinen johtavuus voidaan myös määrittää porausrei'issä tehtävien koepumppausten avulla. (1 s. 25-26)

3 Kalliopohjaveden laatu ja seuranta

3.1 Yleinen laatu

Suomessa pohjavesi on yleisesti hieman hapanta Suomen kallioperän takia, pH on keskimäärin 6,5 ja alkaliniteetti suurimmalta osin matala, noin $1,0 \text{ mmol l}^{-1}$. Myös pohjaveden nitraattipitoisuudet ja sähkönjohtavuus ovat Suomessa matalia. Liuenneita aineita on vedessä vähän, mikä tarkoittaa sitä, että vesi on pehmeää. (6) Yleisesti ottaen pohjaveden laatu on hyvä, laatu ja määrä vaihtelevat kuitenkin alueittain ja siihen vaikuttavat ympäristön olosuhteet ja ihmisen toiminta. Suomen etelä- ja länsiosissa maankäyttö on tehokasta, mikä altistaa pohjaveden ihmisen toiminnasta peräisin oleville aineille, maaperässä on tyypillisesti myös hienojakoisia savikerrostumia, jossa voi esiintyä Itämeren eri vaiheiden aikaisia suoloja. Maan itäosissa ja pohjoisissa osissa savikkoja ei ole ja

asutus on harvempaa, jolloin pohjavesien sähkönjohtavuudet ovat tyypillisesti pienempiä. (7)

Suomen vaihtuvat vuodenaajat vaikuttavat vallitseviin pohjavesiolosuhteisiin muun muassa sateiden ja sulamisvesien kautta. Myös kuivat kaudet saattavat vaikuttaa pohjavesien virtaussuuntiin ehtyvien vesivarastojen myötä, jolloin pohjavedessä mahdollisesti esiintyvät haitta-aineet voivat levitä uusille alueille. (8)

Kalliopohjaveden laatuun vaikuttaa kallioperän kivilaji, rakenne ja rakoilu sekä kallion päällä olevan maapeitteen laatu, rakenne ja paksuus. Kallioperän kivilajikoostumus vaikuttaa veteen liuenneiden aineiden määrään ja laatuun, joten kalliopohjaveden laadussa on alueellisia eroavaisuuksia. Suomessa erityistä huolta kalliopohjavedessä luo radioaktiivinen radon, jota esiintyy runsaasti tietyillä pohjavesialueilla.

Liitteessä 1 on esitettyä Suomen kalliopohjavedenlaatu eroteltuina tutkituille alueille sekä kivilajityypeittäin. Tulokset ovat Vesihallituksen vuosina 1978-1979 tekemistä tutkimuksista, jossa tutkimuskohteina ovat olleet Keski-Suomi, Uusimaa, Häme, Kuopio, Mikkelin, Vaasa, Turku ja Pori (9 s. 6). Kaikilla tutkituilla alueilla pH on hyvin samaa luokkaa. Vehmaalla, joka on rapakivialuetta, on kalliopohjavedessä havaittu olevan korkeampia pitoisuuksia eri alkuaineita ja yhdisteitä kuin muissa vertailukohteissa. Vehmaalla myös sähkönjohtokyky on muita kohteita huomattavasti korkeampi ja vesi voidaan luokitella olevan rapakivialueella kohtuullisen kovaa, kun se kaikilla muilla alueilla on pehmeää. (9 s. 26-28) Tutkimukset vahvistavat sen, että kivilajilla on hyvin suuri vaikutus kalliopohjaveden laatuun.

3.2 Haitta-aineet

Pohjavedessä esiintyy erilaisia kemiallisia komponentteja ja haitta-aineita ulkoisten ja sisäisten luonnollisten ilmiöiden seurauksena sekä ihmisen toiminnan takia. Maa- ja kallioperässä pohjaveteen muodostuu erilaisia yhdisteitä, kun useita eri fysikaalisia, kemiallisia sekä biologisia reaktioita tapahtuu samaan aikaan. Uusia yhdisteitä muodostuu pohjaveteen hajoamisen, liukenemisen, hydrolyysin, adsorption, ionisoitumisen, diffuusion, osmoosin, hapettumisen ja pelkistymisen seurauksena, kun vedessä olevat komponentit reagoivat maa- ja kallioperään ja siellä oleviin kaasuihin. (10 s. 172-174) Suomessa fluoridi, uraani ja radon ovat aineita, joiden luonnolliset pitoisuudet (ns. taus-

tapitoisuudet) pohjavedessä ovat selvimmin riippuvaisia kallioperän kivilajikoostumuksesta ja geologisesta rakenteesta. Geologisista lähteistä myös arseeni- ja nikkelpitoisuuksien on useissa kohteissa havaittu ylittävän suositellut enimmäispitoisuudet Suomessa. (7)

Kallioperässä geologista alkuperää olevien haitta-aineiden pitoisuudet vaihtelevat Suomessa suurestikin. Fluori on kuitenkin alkuaine, jota esiintyy kaikissa geologisissa muodostumissa, etenkin rapakivialueet ovat erityinen fluorin alkulähde pohjavesiin. Rapakivialueet, joilla pohjaveden fluoridipitoisuus on 1–2 mg/l, kattavat noin 3,8 % maan pinta-alasta. Uraania taas Suomessa esiintyy alueilla, jossa kallioperä koostuu rapakivigraniiteista, graniiteista, graniittisista seoskivistä (migmatiiteista) ja pegmatiiteista. (7) Esiintyvyys on kuitenkin suurinta Etelä-Suomessa Salpausselän vyöhykkeellä sekä Uudellamaalla (11). Radonin yleisin isotooppi ^{222}Rn kuuluu luonnossa yleisimmin esiintyvän uraani-isotoopin ^{238}U hajoamissarjaan, joten sen alueellisia esiintymiä säätelevät samat geologiset tekijät kuin uraanin kohdalla. Radon voi kuitenkin geologisissa prosesseissa kulkeutua uraanista erilleen, joten paikkakohtaiset eroavaisuudet voivat olla suuriakin. Radon kulkeutuu maa- ja kallioperässä sekä kaasumaisena että veteen liuenneena, ja se pystyy kulkeutumaan hyvinkin pienissä kallion raoissa, jopa mikroraoissa. (7)

Myös maaperän ulkopuolisilla lähteillä on merkittävä vaikutus pohjaveden laatuun. Ulkopuolisina lähteinä voi olla luonnolliset ilmiöt sekä ihmisen toiminta. Pohjavedessä esiintyvien aineiden tyypillisiä ulkopuolisia alkulähteitä on esitettynä taulukossa 2.

Taulukko 2. Pohjavedessä esiintyvien haitta-aineiden tyypilliset lähteet (10 s. 174)

Lähde	Mahdolliset haitta-aineet
Happamat sateet	Rikin (SO _x) ja typen (NO _x) oksideja
Jätevesilaitosten lietteen sijoitusalueet	Orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, raskasmetalleja, mikrobiologisia epäpuhtauksia
Jätteen geologinen loppusijoitus	Erinäisiä epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä, radioaktiivisia aineita ja radionuklideja
Jäänesto (tiet)	Kloridit, natrium ja kalsium
Kaatopaikat, kunnalliset	Raskasmetalleja, kaasuja, orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä (esim. kalsium, klorideja, natriumyhdisteitä)
Kaatopaikat, teolliset	Useita erinäisiä epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä
Kaivosteollisuus	Mineraaleja, happamat kaivosvedet
Kotieläintuotanto	Orgaaninen aines, typpi ja fosfori
Maanalaiset säiliöt	Orgaaniset puhdistus- ja rasvanpoistoaineet, öljytuotteet sekä muut vaaralliset jäteaineet
Maanviljelys	Lannoitteet, torjunta-aineet, kasvimyrkyt
Sadevesi	Kloridi, sulfaatti, orgaaniset yhdisteet
Saostuskaivojen imeytyskentät	Orgaaninen aines, typpi, fosfori, bakteerit jne.
Suolaveden (/meriveden) tunkeutuminen	Epäorgaaniset suolat
Teollisten nesteiden jätealtaat	Raskasmetalleja ja erinäisiä puhdistus- ja rasvanpoistoaineet
Vaarallisen jätteen käsittelyalueet	Erinäisiä epäorgaanisia (etenkin raskasmetalleja) ja orgaanisia yhdisteitä (esim. torjunta-aineita)
Vahinkovuodot	Vaihtelevia epäorgaanisia ja orgaanisia kemikaaleja

Kalliopohjavesi ei ole yhtä herkkä pilaantumiselle kuin maaperän pohjavesi, sillä se voi usein olla paksunkin maapeitteen suojassa, jolloin pilaantuma ei välttämättä ylety kallion pintaan asti etenkään, jos kyse on vettä kevyemmistä yhdisteistä. Kalliopohjavesi on kuitenkin altis pilaantumaan vettä raskaammilla yhdisteillä, kuten klooratuilla hiilivedyillä, joita ovat esimerkiksi di-, tri- ja tetrakloorieteenit. Pilaantuneen kalliopohjaveden kunnostaminen on huomattavasti hankalampaa, kuin maaperän pohjaveden, sillä maaperän pilaantuessa pilaantunut maamassa voidaan poistaa massanvaihdolla ja pohjavettä suojata suojapumppauksen avulla.

3.3 Seuranta

Pohjaveden laadun seuranta on tärkeässä osassa ympäristön tilan tarkkailussa. Esimerkiksi teollisuusalueiden lähistöillä olevat pohjavesialueet voivat helposti kuormittaa teol-

lisistä toiminnoista, jolloin seuranta on ensisijaisen tärkeää. Ympäristöä kuormittavaa toimintaa harjoittavat tahot ovatkin velvollisia tarkkailemaan aiheuttamaansa kuormitusta juuri muun muassa pohjavesitarkkailun kautta.

Pohjavesialueiden vedenlaatua seurataan kyseisen pohjavesialueen suojelusuunnitelman mukaisesti, jonka laatiminen on ensisijaisesti kunnan tehtävä. Suojelusuunnitelma laaditaan ensisijaisesti sellaiseen kohteeseen, joka on vedenhankintakäytössä tai jonka lähetyvillä on runsaasti pohjaveden laatuun tai määrään vaikuttavia tekijöitä. (12)

Kalliopohjaveden laadun seuranta ei ole niin yleistä kuin maaperän pohjaveden seuranta. Tämä johtuu mm. siitä, että kalliopohjavettä ei hyödynnetä samassa mitassa kuin maaperän pohjavettä. Kalliopohjaveden pilaantumistapaukset ovat myös selvästi harvinaisempia kuin maaperän pohjaveden kohdalla. Lisäksi kalliopohjaveden tarkkailun järjestäminen siten, että havaintopisteet ovat edustavia, on huomattavasti vaikeampaa kuin maaperän osalta. (13)

4 Kalliopohjavesiselvitykset

4.1 Kairaukset/poraukset

Kallioperää ja sen koostumusta voidaan tutkia tekemällä kallioon kairauksia ja ottamalla kallionäytteitä. Kairauksessa kallioperän kiveä leikataan pyörittämällä ja painamalla timantein varustettua teräkruunua kallioon kairausvälineistön avulla. Teräkruunu hioutuu kallioon renkaanmuotoisessa urassa. Kairauksen aikana putkistoon pumpataan vettä, joka huuhtelee reiästä kalliosta irronneen kivijauheen ja jäähdyttää terää ja putkea sen hioutuessa kallioon. Kairauksen tuotteena saadaan kallionäyte, jota kutsutaan myös kairasydännäytteeksi. Näytteestä määritetään kallion kivilajeja ja niiden koostumusta, kallion rikkonaisuutta sekä kallion rakosysteemeissä olevan maa-aineksen laatua. (14)

Kallioperän porausta ei käytetä häiriintymättömän kallionäytteen ottamisessa, sillä poraus liittyy iskeviin ja murskaaviin porausmenetelmiin, joiden päämääränä on tuottaa pelkkä reikä kallioon. Porauksia voidaan kuitenkin käyttää, kun aikomuksena on asentaa pohjaveden seurantaputki, eikä erilliselle kallioperän näytteenotolle ole tarvetta. Sekä kairauksen että porauksen yhteydessä voidaan tehdä vesimenekikokeita.

4.2 Vesimenekikokeet

Kallion ruhjeisuutta ja veden virtausta kalliossa voidaan määrittää vesimenekikokeilla. Yksinkertaisin menetelmä on ns. slug-testi, jossa poratussa reiässä aiheutetaan nopea vedenpinnan muutos, jonka jälkeen vedenpinnan tason palautumisen normaalitasoon seurataan joko jatkuvatoimisella vedenpainemittarilla tai manuaalisesti. (15 s. 23)

Tarkemmissa vesimenekikokeissa vettä syötetään porattuun reikään kahdella tai kolmella eri ylipaineella vakioajanjakson ajan, mitaten kallioon menneen veden määrä kulakin paineella. Mitä enemmän vettä kallioon menee, sitä ruhjeisempaa tai rakoillempaa sen voidaan olettaa olevan.

Kun vesimenekkimittaukset suoritetaan kairausten tai porausten yhteydessä, voidaan käyttää 1-tulppamenetelmää, jolloin pohjaa ei tarvitse tulpata, vaan pohjana toimii siihen mennessä poratun reiän pohja. 1-tulppamenetelmällä ainoastaan mittausvälin yläpää tulpataan. Mittaukset suoritetaan tasaisin välein eri syvyyksissä, kun porauksissa edetään, esimerkiksi aina 3–6 metrin välein. (14)

Mikäli mittaukset tehdään eri aikaa kuin poraukset ja reikä on jo koko pituudeltaan kairattu, käytetään 2-tulppamenetelmää. Tällöin tulpat asetetaan halutulle syvyydelle ja mittauspähän toisistaan. Tulpat lasketaan porattuun reikään ja pullistetaan joko mekaanisesti tai pneumaattisesti. Tämän jälkeen reikään tulppien väliin syötetään vettä edellä kuvatulla tavalla. (14)

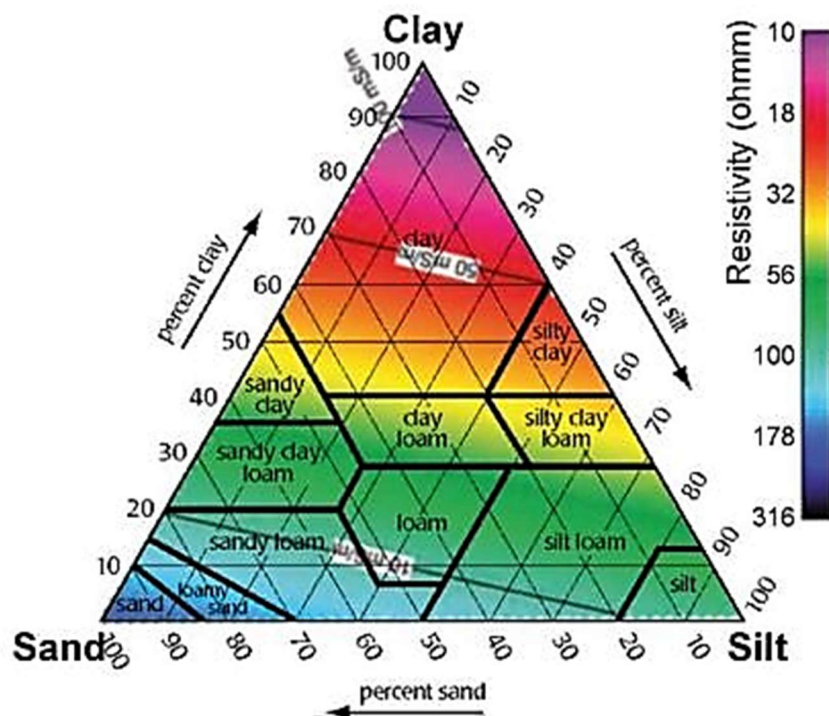
4.3 Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät

Geofysikaalisilla tutkimuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä maa- ja kallioperän tutkimiseen käytettäviä fysikaalisia tutkimustapoja ja mittauksia. Mittauksissa hyödynnetään maa- tai kallioperän ominaisuuksien fysikaalisia vaihteluita ja ominaisuuksia eri tilanteissa. Näihin ominaisuuksiin lukeutuvat muun muassa sähkönjohtavuus, painovoima (aineen tiheys), magneettisuus, lämmönjohtavuus ja aineen seismiset ominaisuudet. Tutkimuksia voidaan toteuttaa useilla eri laitteistoilla ja menetelmillä, jotka palvelevat eri tutkimustarpeita.

4.3.1 Sähköinen maavastusluotaus

Sähköinen maavastusluotaus, tai ominaisvastusmittaus, on rakennetta ja ainetta rikkomaton geofysikaalinen maaperän tutkimusmenetelmä, jonka avulla voidaan saada tietoa maa- ja kallioperän ominaisuuksista siten, että ominaisuudet pystytään kuvaamaan jatkuvana. Sähköisellä maavastusluotauksella voidaan saada tietoa myös hyvin vesipitoisten maakerrosten sekä savikerrosten alapuolelta. (16 s. 4-6) Mittauksia voidaan hyödyntää pohja-, kallioperä-, pohjavesi- ja ympäristötutkimuksissa, muun muassa kaatopaikatutkimuksissa, maa- ja betonipatojen vuototutkimuksissa ja pohjavesiesiintymien laajuustutkimuksissa.

Mittauksissa maahan asennetaan elektrodipareja, joiden välille syötetään tasavirtaa. Maan sähkönjohtavuusvaihteluiden perusteella pyritään määrittämään maankamaran kerrosrakennetta; maalajeja, kallion rakennetta ja pohjaveden pinnan tasoa.

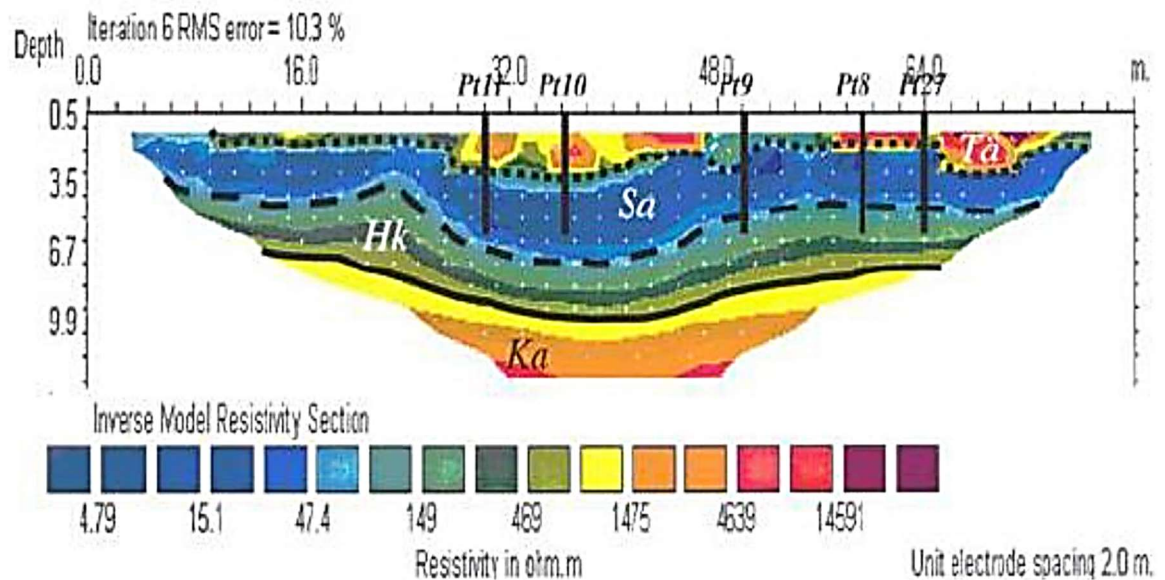


Kuva 3. Eri maa-ainesten resistiivisyyksiä. Suomennotket: sand= hiekka, silt= siltti, clay= savi, loam= hiue, percent= prosentti, resistivity= resistiivisyys. (17)

Eri maalajeille on omat ominaiset vastukset, mikä mahdollistaa niiden erottamisen tällä tekniikalla. Kuvassa 3 on esitetty, kuinka eri maalajien (hiekka, siltti, savi) ominaisvastukset erottuvat toisistaan; kallio eroaa maa-aineksestä huomattavasti korkeammalla

ominaisvastuksella. Mitä karkeampaa maalaji on, sitä huonompi on sen sähkönjohtokyky, mutta maan ollessa veden kyllästämää, sähkönjohtokyky kasvaa. Mittaukset antavat yleensä tulokset ominaisvastuksina, joka on sähkönjohtavuuden käänteisarvo.

Sipoon kartanon alue



Kuva 4. Esimerkkikuva maan resistiivisyydsmittauksista saaduista tuloksista Sipoon kartanon alueella. Lyhenteiden selitykset: Hk=hiekka, Sa=savi, Tä=täytemaa, Ka=kallio. (17)

Jo mittausvaiheessa mittalaite antaa alustavan kuvauksen maaperästä, mutta lopullisen analyysin tekevät asiantuntijat. Tuloksena saadaan kuvia, joista selviää maaperän resistiivisyys eri kohdissa ja syvyyksissä (Kuva 4). Tuloksista luotujen kuvien avulla voidaan määrittää maalajit, kallion ruhjeisuus, mahdolliset maanalaiset rakenteet, sekä mahdollisesti pohjaveden pinnan taso. Mittauksista saatujen tietojen avulla voidaan määrittää mihin pohjavesiputki kannattaa sijoittaa.

Maan resistiivisyydsmittauksissa käytetään resistiivisyydsmittaria, kuten ABEM Terrameter LS-monielektrodilaitteistoa (Kuva 5) gradientti-konfiguraatiolla. Mittauslinjojen pituudet riippuvat mitattavasta paikasta, yksi linja on 50 metriä pitkä ja niitä voi liittää useampia yhteen, luoden satoja metrejä pitkiä linjoja. 200 metriä pitkät linjat mahdollistavat noin 40 metrin syvyyssulottavuuden ja 400 metriä pitkät noin 80 metrin syvyyssulottavuuden.



Kuva 5. Ominaisvastusmittauksissa käytetty laitteisto ABEM Terrameter LS (vasemmalla), sekä maahan asennettu elektrodi

Mittauselektrodit asennetaan maahan linjaan vakioetäisyydelle toisistaan. Työssä tutustuttiin Wenner α -menetelmään, jossa uloimpana on kaksi virtaa syöttävää elektrodiä ja sisempänä kaksi potentiaaliero mittaavaa elektrodiä. Sähkön syöttöä elektrodeihin sekä potentiaalelektrodien jännitemittauksia ohjataan tietokoneella (Kuva 5). Mittaukset perustuvat maa-aineksen ominaisvastukseen, ρ_a , joka määritetään seuraavalla kaavalla:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

jossa a on elektrodien väli, I on syötetty virta ja ΔV on mitattu potentiaaliero. Mittauksien syvyyssulottuma on riippuvainen mittalinjan pituudesta ja elektrodien välimatkasta. (16 s. 4-6)

4.3.2 Muut menetelmät

Sähköisen maavastusmittausten lisäksi kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeitä, maakerrosten geometriaa, kallionpinnan topografiaa ja pohjavedenpinnan asemaa voidaan selvittää myös muilla geofysikaalisilla mittausmenetelmillä: maatulkuutuksella, painovoimamittauksella sekä seismisillä mittauksilla.

Maatutkaluotauksessa tutka lähettää antenniyksikkönsä avulla lyhyitä sähkömagneettisia pulsseja maaperään, pulssit etenevät väliaineessa (maaperässä) noin valon nopeudella ja osa lähetetystä sähköenergiasta palautuu takaisin. Palautuneen aaltoenergian voimakkuus, eli amplitudi, sekä edestakaiseen matkaan kulunut aika rekisteröityy tutkalaitteiston avulla näytölle ja tallentimelle. Tietojen avulla määritetään maaperän eri kerroksia. (18)

Painovoimamittauksissa mitataan maan painovoiman muutoksia. Mittaukset perustuvat siihen, että maa- ja kallioperän tiheysvaihtelut vaikuttavat painovoiman suuruuteen. Seismisissä mittauksissa hyödynnetään maaperän kimmoisuutta; maahan syötetään liike-energiaa ja siitä syntyvää seismistä aaltoliikettä ja aaltoliikkeen heijastumista sekä taittumista havainnoidaan ja mitataan.

4.4 Pohjaveden tarkkailuputket

Pohjaveden yleisimpiä tarkkailupaikkoja ovat havaintoputket sekä -kaivot. Havaintoputkien asennus maahan tai kallioon onkin kaikkein yleisin tapa, kun pohjavettä halutaan tarkkailla jossain uudessa paikassa tietyssä kohtaa. Pohjaveden havaintoputken oikea sijoittaminen ja oikeanlainen asentaminen on ensisijaisen tärkeää edustavan näytteen saamisessa. Alueen pohjavesitilanteen saa parhaiten selvitettyä, kun putkia asennetaan useampia eri puolille aluetta.

Maa- ja kalliopohjavedenhavaintoputket eroavat toisistaan siten, että maapohjavesiputket ovat useimmiten kokonaisuudessaan muovisia, joiden maanalaisessa osassa määrättyssä kohtaa on siiviläosa, jossa pohjavesi pääsee virtaamaan ja vaihtumaan. Kalliopohjavesiputket puolestaan ovat putkia yleensä vain kallion pintaan asti. Kallion pinnan alapuolella näyteputkenä toimii kallioon porattu reikä, johon vesi pääsee virtaamaan kalliossa olevista rakosysteemeistä. Kalliopohjavesiputken putkiosa estää valumavesien ja maapohjaveden pääsyn näyttereikään, jos kallion pinta on maapeitteen alla, ja se helpottaa myös näytteenottoa.

4.5 Näytteenotto

Pohjavesinäytteitä voi ottaa joko havaintoputkesta tai suoraan lähteestä tai hanasta pulloon. Näytepullojen täyttö riippuu analysoitavasta aineesta, esimerkiksi VOC-aineita analysoitaessa näytepulloon ei saa jäädä ollenkaan ilmaa. Yleensä näytteenottoon saa

erilliset ohjeistukset näytteet analysoivalta laboratoriolta. Mikäli näytteenotossa käytetään väliastiaa, pumppua, letkua tai muuta vastaavaa, tulee välineiden olla puhtaita, jotta ne eivät kontaminoi näytteitä. Näytteenottajan tulee aina käyttää suojakäsineitä, varsinkin jos vesinäytteistä analysoidaan bakteereita. Näytepullon tai kannen sisäpuolelle ei saa koskaan koskea.

Jotta pohjavedestä saataisiin edustava näyte, tulee vettä vaihtaa niin kauan, että seisoutta vettä ei tule näytteen sekaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pohjavesiputkista näytteitä ottaessa, tulee vesi putkessa vaihtaa vähintään noin kolme kertaa, jotta saataisiin mahdollisimman edustava näyte. Huonoantoisten putkien tyhjennys voidaan tehdä esimerkiksi päivää ennen näytteenottoajankohtaa. Näytteenoton yhteydessä tehdyt havainnot veden lämpötilasta, hajusta ja ulkonäöstä kirjataan näytteenottopöytäkirjaan. Kun näyte on otettu, tulee sitä säilyttää kylmässä ja pimeässä, kunnes se mahdollisimman nopeasti on toimitettu laboratorioon.

5 Esimerkkikohteet

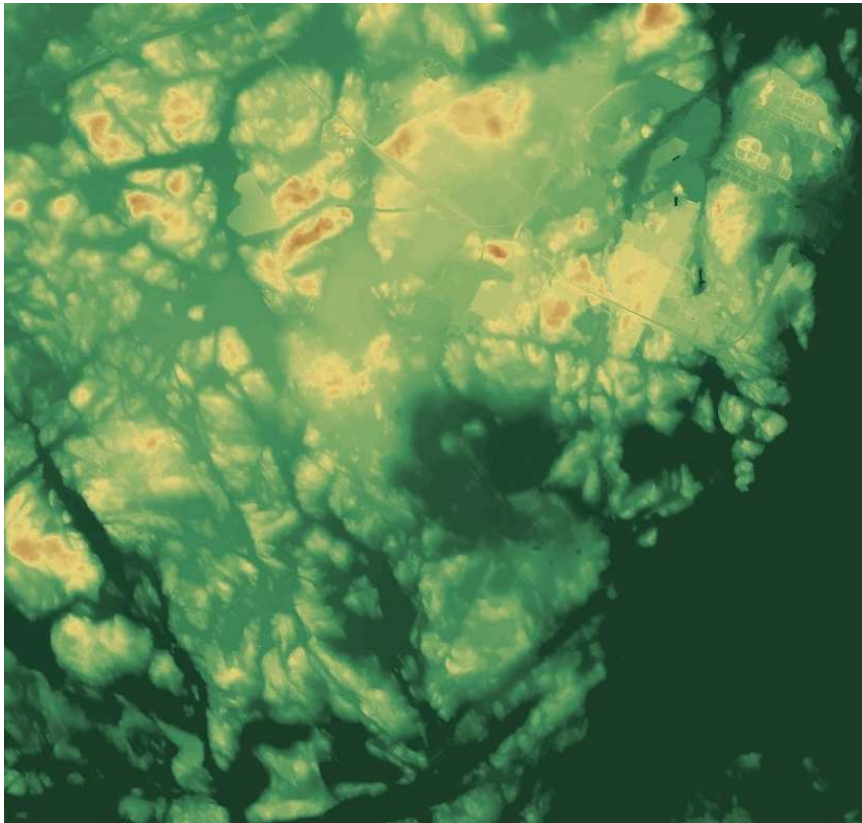
5.1 Porvoo, Kilpilahti

Työn ensimmäisenä esimerkkikohteena on vaihtelevan topografian omaava Kilpilahden alue Porvoossa. Kohde sijaitsee Suomenlahden rannikkoalueella, jossa rantaviiva on tyypillisesti rikkonainen. Useat massiiviset kallioruhjeet halkovat aluetta pitkälti pohjois-etelä ja koillinen-lounassuunnassa, luoden siitä otollisen kalliopohjavesialueen. Alueen maanpinnan korkeus vaihtelee 0–43 metriin meren pinnan tasosta, keskiarvon ollessa noin 20 m meren pinnan yläpuolella. (19)

Kilpilahden alue on topografialtaan vaihteleva, ja sen hallitsevana piirteenä ovat lukuisat kalliopaljastumat. Alueen kallioperän vallitseva kivilaji on migmatisoitunut graniitti, eli se koostuu useasta eri kivilajista graniitin ollessa vallitsevin. (19) Alueen vallitsevin maalaji on moreeni ja kallioperän ruhjeissa on yleisimmin silttiä ja savea. Moreenikerrosten kokonaispaksuus on enimmillään alueella yli 5 metriä ja savikerroksen paksuus saattaa paikoitellen olla yli 12 metriä. (20 s. 2)

Alueen suurimpien ruhjeiden poikkileikkaukset ovat samankaltaisia: niissä on noin 0,8–2,9 metriä leveä ruhjoutunut keskiosa, jota reunustaa noin 5–20 metriä leveä hyvin tiheästi rakoillut vyöhyke. Alaspäin maanpinnasta mentäessä ruhjevyyhyke kapenee.

Jotta tämänkaltaiseen paikkaan voidaan sijoittaa aluetta edustavia pohjaveden seuranta-putkia, täytyy selvittää, kuinka alueen hallitsevimmat ruhjevyöhykkeet alueelle sijoittuvat. Tämä onnistuu kenttäkäynneillä sekä avoimesti saatavilla olevaa paikkatietodataa analysoidaan. Kuvissa 6 ja 7 on esitettyä esimerkkejä, kuinka alueen topografiaa voi paikkatietojen avulla analysoida. Varjostumien ja väritysten avulla saadaan tietoa alueen korkeuseroista ja mahdollisista ruhjevyöhykealueista.



Kuva 6. Alueen korkeusdataa mallinnettuna värien mukaan

Kuvassa 6 on mallinnettu Maanmittauslaitokselta saatua dataa alueen korkeuseroista QGIS-ohjelmistolla. Tummimmalla vihreällä on kuvattuna alueen matalimmat kohdat ja merenpinta, korkeimmat kohdat ovat punaisella/oranssilla. Kuvassa voi erottaa muuta maanpintaa syvempiä uurteita, jotka halkovat aluetta. Näiden voidaan olettaa olevan kalliosta olevia ruhjevyöhykkeitä.



Kuva 7. Alueen topografiaa kuvattuna varjostumien avulla (azimuth 148°, z-arvo 2,2)

Kuvassa 7 on esitettyä alueen topografiaa rinnevarjostumien avulla. Myös tästä voi erottaa samaiset ruhjealueet kuin kuvassa 6. Tässä karttakuvassa on myös esitetty alueen pintavesialueet (meri, lammet ja joet/purot) ja voi huomata, että monissa alueen matalissa kohdissa virtaa vettä. Kuvassa 8 on esitettyä alueen suurimmat kallioruhjeet.



Kuva 8. Kilpilahden alueen suurimmat kallioruhjeet punaisella merkittynä

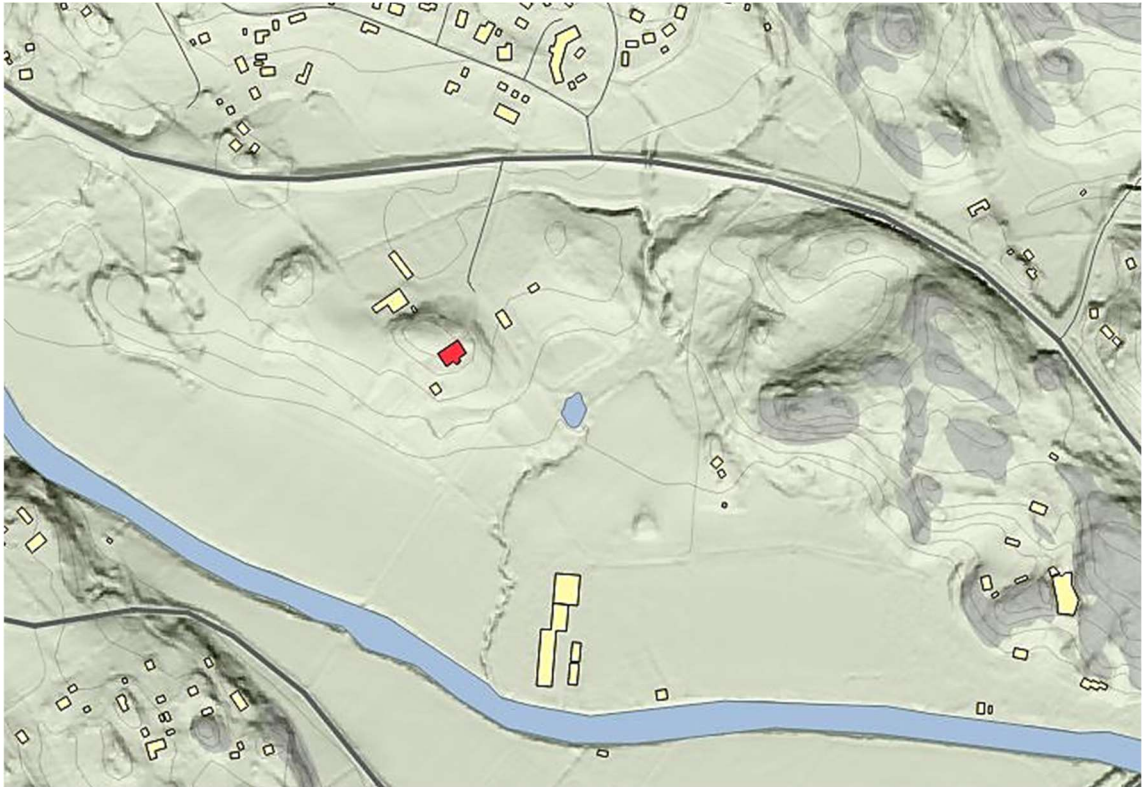
Kallion ruhjevöhykkeet keräävät alueelta valumavesiä salaojien tavoin, ja kun niiden sijainnit alueella on määritetty, täytyy myös niiden rakenne maapeitteen alta selvittää, jotta voidaan määrittää sopivat paikat pohjavesiputkille. Tätä varten kohteessa voidaan tehdä geofysikaalisia mittauksia, kuten ominaisvastusmittauksia.

5.2 Sipoo, Söderkulla

Toisena esimerkkikohteena ja näytteenottomenetelmien vertailun näytteenottokohteena on Sipoossa sijaitseva Söderkullan pohjavesialue, joka myös sijaitsee lähellä Kilpilahtea. Söderkullassa on tärkeä pohjavesialue, jossa on aikoinaan toiminut myös kaksi Tuusulan kunnan vedenottamo, mutta jotka on suljettu 1990-luvulla maaperän pilaantumisen johdosta. Pilaantuneisuutta on kuvattu tarkemmin luvussa 7.1.

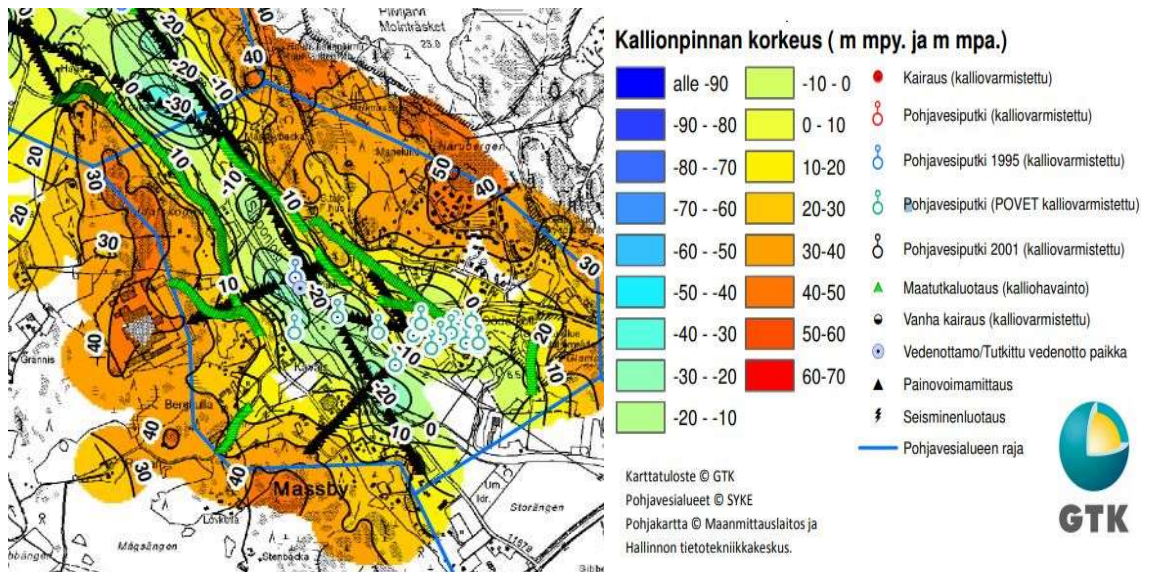
Söderkullan pohjavesialue on kallioista ja pohjamooreenipeite on melko ohut, lukuun ottamatta kallion syvänteitä. Pohjavesialueen pinta-ala noin 1,95 km², ja pohjavettä arvioidaan muodostuvan noin 600 m³ päivässä. (21 s. 26)

Söderkullan pohjavesialueen pohjavedenpinnan korkeus on korkeimmillaan Söderkullan kartanon alueen kalliomäen päällä (Kuva 9), jossa veden pinnan taso on +10...+12m mpy. Pohjavedenpinnan taso laskee jyrkästi etelään päin mentäessä joen läheisyydessä, jossa pohjaveden pinnan taso on noin +2m mpy. Pohjaveden virtaussuunta on Söderkullan kartanon alueelta etelään päin sekä jokilaakson suuntaisesti pohjoiskoillista päin. (21 s. 26)



Kuva 9. Söderkullan pohjavesialue, punainen rakennus on Söderkullan kartano

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt alueella runsaasti tutkimuksia alueen geologiaan ja pohjaveteen liittyen ja useita aluetta kuvaavia karttoja on saatavilla heidän raporteistaan ja karttapalveluistaan. Esimerkki GTK:n laatimasta alueen kartasta on esitettyä kuvassa 10.



Kuva 10. Osa GTK:n tutkimuskarttaa Söderkullan ja lähialueiden pohjavesialueista (21 s. 44)

Kuten aiemmassa esimerkkikohteesta Kilpilahdessa, on myös Söderkullasta saatavilla runsaasti avointa dataa, jota voi tarkastella paikkatieto-ohjelmistoilla, muun muassa Maanmittauslaitokselta.

6 Näytteenottomenetelmät

Työssä vertailtaviin näytteenottotapoihin valikoitui kolme eri pumppua ja kolme eri näytteenottotapaa. Pumppuina käytettiin SuperTwister-, Bladder- ja Monsoon-pumppua, sekä näytteenottotapoina suora putkesta pumppaus näytepulloon, LowFlow-tekniikka sekä näytteen nosto kertakäyttöisellä bailerilla, eli noutimella.

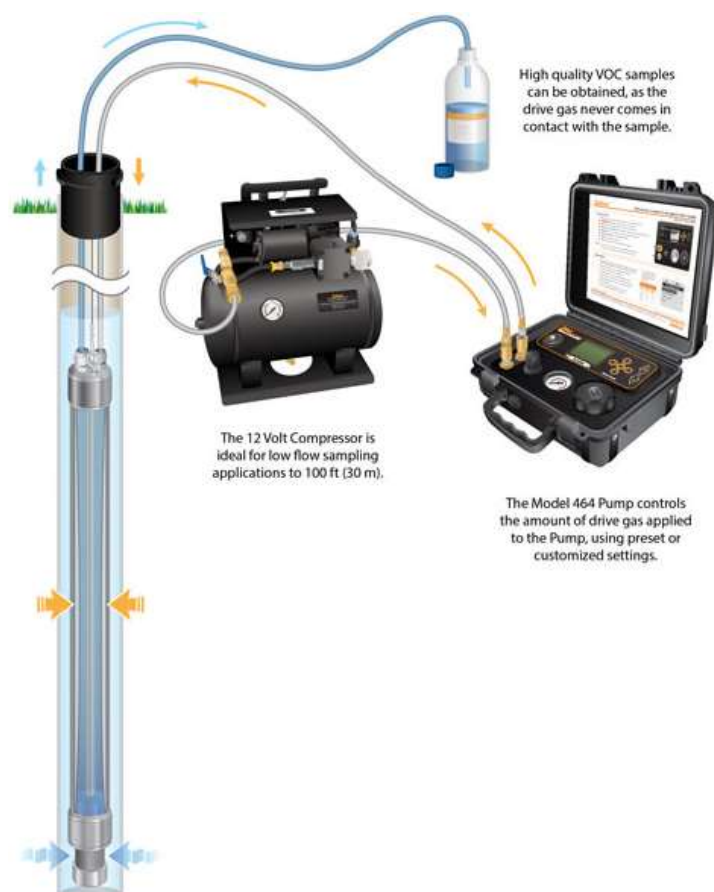
6.1 Uppopumput

Twister/Super Twister on helppokäyttöinen akulla (12 voltin) toimiva pumppu, jonka tuottoa ei voi säätää. Tuotto vaihtelee pumppaussyvyyden mukaan välillä 1...9,5 l/min. Tätä pumppua käytettiin näytteen tyhjentämiseen ja näytteen ottamiseen ”perinteisellä” tavalla suoraan pulloon.

Monsoon-pumppu on 12 voltin akulla käyvä pumppu, jonka pumppaustuotto on portaattomasti säädettävissä. Näytteenottovertailussa Monsoon-pumppua käytettiin sekä ”perinteisellä” tavalla sekä LowFlow-tekniikalla (kts. luku 6.3).

6.2 Bladder-pumppu

Solinstin Bladder-pumppu (Kuva 11) nostaa veden näytteenottoreiästä/-putkesta paineilman avulla, ja se sopii myös hidassvirtanäytteenottoon (LowFlow). Pumpun toimintatapa on täysin erilainen kuin monissa muissa pumpuissa, ja sen on esitetty olevan erityisen hyvä VOC-näytteiden otossa.



Kuva 11. Solinstin Bladder-pumpun toimintatapa (22)

Kun pumppu lasketaan näytteenottoreikään, vesi pääsee virtaamaan hydrostaattisen paineen avulla pumpun niin sanottuun rakkosäiliöön. Kun kompressoitua ilmaa tai kaasua syötetään pumppuun, puristaa se rakkosäiliössä olevan veden ylös pumppuun kiinnitettyä näytteenottoletkua pitkin. Pumpussa olevat venttiilit estävät veden takaisin pääsyn pohjavesireiässä olevasta letkusta pumppuun. Kun paineistetun kaasun syöttäminen pumppuun lopetetaan, pumpun rakkosäiliö täyttyy uudestaan vedellä, jolloin pumppuun voi jälleen syöttää paineilmaa. Tämä toistetaan niin usein, että sopiva määrä vettä on saatu näytettä varten. Pumpattava vesi ei missään vaiheessa ole kosketuksissa ilman kanssa. (22)

6.3 LowFlow

LowFlow- eli hidasvirtapumppaus on pumppaustekniikka, jossa vettä pumpataan hitaasti samalla mitaten veden kemiallisia parametrejä tasaisin väliajoin. Hidasvirtanäytteenotossa pohjavedenpinnan vajoama minimoidaan ja veden sekoittumista vältetään. Näyte ei sameudu yhtä helposti kuin ”perinteisessä” näytteenotossa, ja tätä pidetään menetelmänä, jolla saadaan edustavampia näytteitä. (23)

Vedestä seurattiin sähkönjohtavuutta, pH:ta, happea, sameutta ja lämpötilaa sekä vedenpinnan korkeutta kolmen minuutin välein. Näyte otettiin, kun arvot olivat tasaantuneet. Esimerkki näytteenoton yhteydessä käytetyssä lomakkeesta on esitettyä liitteessä 2.

6.4 Bailer

Baileria, eli niin sanottua noudinta, käytetään näytteenottovälineenä, kun näyte nostetaan manuaalisesti ylös havaintoputkesta. Noudin lasketaan narun avulla havaintoputkeen ja annetaan täyttyä vedellä. Kun se nostetaan ylös putkesta, tukkii noutimen sisällä oleva kuula pohjassa olevan aukon, joten vesi ei pääse valumaan pois. Näyte saadaan pullotettua noutimen mukana olevan pullotussuulakkeen avulla.

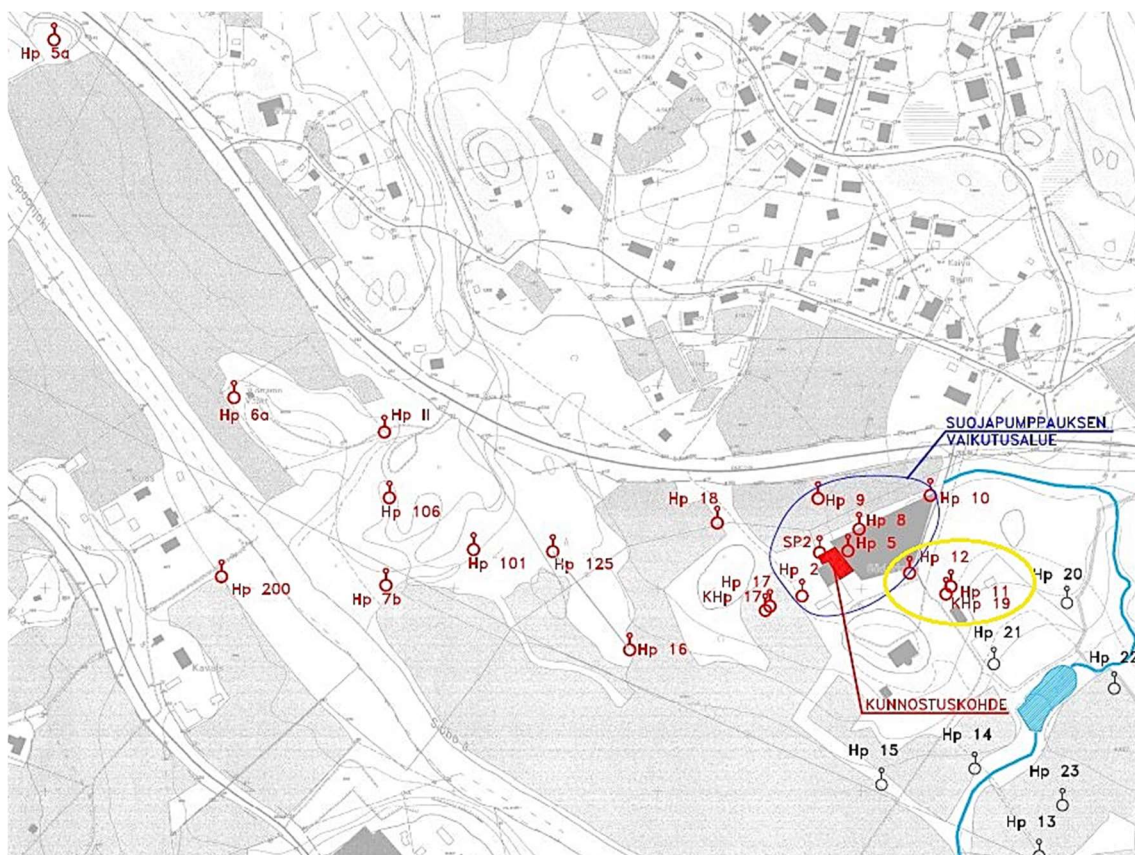
Noutimen käytössä ongelmana on, että se sekoittaa havaintoputkessa olevaa vettä näytteenottovaiheessa. Kun vesi sekoittuu, siitä voi siitä haihtua herkästi haihtuvia yhdisteitä ja näytteen edustavuus häiriintyy. Tämä on kuitenkin näytteenottotapa, jota usein käytetään erityisesti huonoantoisissa pohjavesiputkissa, kun vettä on liian vähän pumpuille nostettavaksi. Menetelmä toimii myös veden pinnalla olevan öljyfaasin näytteenottoon, sillä noutimella näyte saadaan pohjavesiputkessa olevan vesipatjan pintaosista.

7 Näytteenoton toteutus

7.1 Näytteenottoaika

Näytteenottomenetelmien vertailua varten haettiin kohdetta, jossa esiintyy helposti haihtuvia yhdisteitä ja vähintään yksi kalliopohjaveden havaintoputki. Kohteeksi valikoitui Siipoon Söderkullan pohjavesialue, jossa maaperä on todennäköisesti metallipajatoiminnan seurauksena pilaantunut liuotainaineilla. Alueella on tehty maaperän kunnostustöitä

vuosina 2001-2003 ja 2008 In-situ-kunnostuksina ja massanvaihtona sekä pohjaveden suoja-pumppausta vuosina 2001-2012. (24) Näytepistekarttakuvassa (Kuva 12) on esitettyä alueen pohjavesipisteet, pilaantuneen maan kunnostuskohde sekä suoja-pump-pauksen vaikutusalue.



Kuva 12. Näytteenottopisteet kartalla. Työn näytteenottopisteet ympyröitynä keltaisella. (24)

Tämän työn näytteenottopisteiksi valikoitui alun perin kaksi pohjaveden seurantapistettä, KHp19 ja Hp11, Söderkullan vanhan kartanon lähetyviltä. Toinen seurantapistestä on kalliopohjavesiputki, joka on noin 26 m syvä ja toinen noin 11 m syvä maapohjavesiputki. Seurantapistestä Hp11 havaittiin kuitenkin kesken ensimmäisen näytteenoton tukos, jonka ohi Monsoon-pumppu ei mahtunut, joten toisella näytteenotokerralla seurantapistettä Hp11 vaihdettiin lähellä olevaan yhtä syvään seurantapisteseen Hp12. Kaikista kolmesta putkesta on koko seurannan aikana löytynyt vaihtelevia määriä helposti haihtuvia kloorattuja yhdisteitä.

7.2 Näytteenotto

Näytteitä otettiin kaksi kertaa kahdesta eri putkesta. Pohjavesiputket tyhjennettiin päivää ennen näytteenottoa, jotta näytepisteiden antoisuus riittäisi kaikkien näytteiden ottoon yhdellä kertaa, varmistaen näytteiden yhdenmukaisen laadun. Näin mahdolliset analyysitulosten eroavaisuudet johtuisivat suuremmalla todennäköisyydellä näytteenottomenetelmien eroista, eikä vaihtuvista pohjavesiolosuhteista.

Kummallakin näytteenottopisteellä oli tarkoitus ottaa yhteensä viisi näytettä. Yksi näyte SuperTwisterillä, yksi Bladder-pumpulla, kaksi näytettä Monsoon-pumpulla (toinen ”perinteisesti”, toinen LowFlow-tekniikalla) ja yksi kertakäyttönoutimella. Ensimmäisellä näytteenottokerralla putkesta Hp11 saatiin kuitenkin vain kolme näytettä, sillä Monsoon-pumppu ei mahtunut putkeen tukoksen takia. Jokaista näytteenottomenetelmää kohden otettiin kaksi 100 ml pullollista näytettä per kerta ja näytepiste. Toinen näytepullo toimi varapullona, mikäli toiseen näytepulloon jäisi ilmakuplia, jotka vaarantavat VOC-näytteen edustavuuden.

Näytteenoton yhteydessä tarkkailtiin pohjaveden pinnan tason vajoamaa ja näytteistä kirjattiin ylös lämpötila ja aistinvaraiset havainnot, eli ulkonäkö (väri ja sameus) ja haju. Näytteenotossa pyrittiin siihen, että näytteitä ei otettu, jos vesipinta oli vajonnut alhaiseksi tai jos vesi oli sekoittumisen takia sameutunut. Mikäli vedenpinnan taso laski alhaiseksi tai vedessä havaittiin kohonnut määrä kiintoainesta, tilan tasautumista odotettiin ennen seuraavaa näytepullon täyttöä.

Näytepullot laitettiin välittömästi täytön jälkeen kylmävaraajin varustettuun kylmälaukuun, joka toimitettiin saman päivän aikana laboratorioon analysoitavaksi. Näytteet pyrittiin pitämään jatkuvasti kylmässä ja pimeässä.

Näytteet nimettiin näytteenottomenetelmien mukaan seuraavanlaisesti:

- A = SuperTwister
- B = Monsoon ”perinteisellä” tavalla
- C = Monsoon LowFlow-menetelmällä
- D = Bladder-pumppu
- E = Bailer.

Lisäksi näytepulloihin merkattiin näytepisteen tunnus ja näytteenottopäivämäärä. Havainnot ja kellonajat täytettiin kenttälomakkeeseen. Näytteet analysoi ulkopuolinen laboratorio Synlab.

8 Analyysit ja analyysitulokset

8.1 Analyysit

Työssä oli tarkoitus verrata näytteenottomenetelmiä haasteellisten herkästi haihtuvien yhdisteiden, eli VOC-aineiden, näytteenotossa. Näytteenottokohteessa tiedettiin esiintyvän alifaattisia kloorattuja hiilivetyjä: di-, tri- ja tetrakloorieteeniä sekä vinyylikloridia. Kohteessa on myös havaittu tolueenia. Näytteistä analysoitiin Cl-VOC-aineet, eli klooratut herkästi haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

Tetrakloorieteeni on helposti haihtuva aine ja veteen liukenevaa (149 mg/l). Jos veteen joutuu suuria määriä ainetta, painuu veteen liukenematon osa pohjaan. Se on maaperän laadusta riippuen helposti tai kohtalaisesti kulkeutuvaa, joten sen joutuminen pohjaveteen on mahdollista. Tetrakloorieteenin hajoaminen on aerobisissa olosuhteissa hidasta, mutta anaerobisissa olosuhteissa hajoaminen voi olla nopeampaa. Tetrakloorieteenin hajotessa anaerobisesti voi muodostua tri- ja dikloorieteeniä, vinyylikloridia, eteeniä sekä etaania. Myös tetrakloorieteenin hajoamistuotteet voivat joutua pohjaveteen. Tetrakloorieteeni on luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi sen huonon hajoavuuden takia ja sen ollessa myrkyllistä vesieliöstölle.

Trikloorieteeni on helposti haihtuva aine, joka kulkeutuu maaperässä helposti tai kohtalaisesti, jolloin sen joutuminen pohjaveteen on mahdollista. Trikloorieteeni on veteen hyvin liukenevaa (1,1 g/l) ja, kuten tetrakloorieteeni, painuu veteen liukenematon osa pohjaan. Aineen biologinen hajoaminen on hidasta sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa. Anaerobisissa olosuhteissa hajoamistuotteina voi syntyä dikloorieteeniä ja vinyylikloridia, jotka myös voivat joutua pohjaveteen. Trikloorieteeni on luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi sen ollessa haitallista vesieliöille, ja lisäksi se on huonosti hajoavaa.

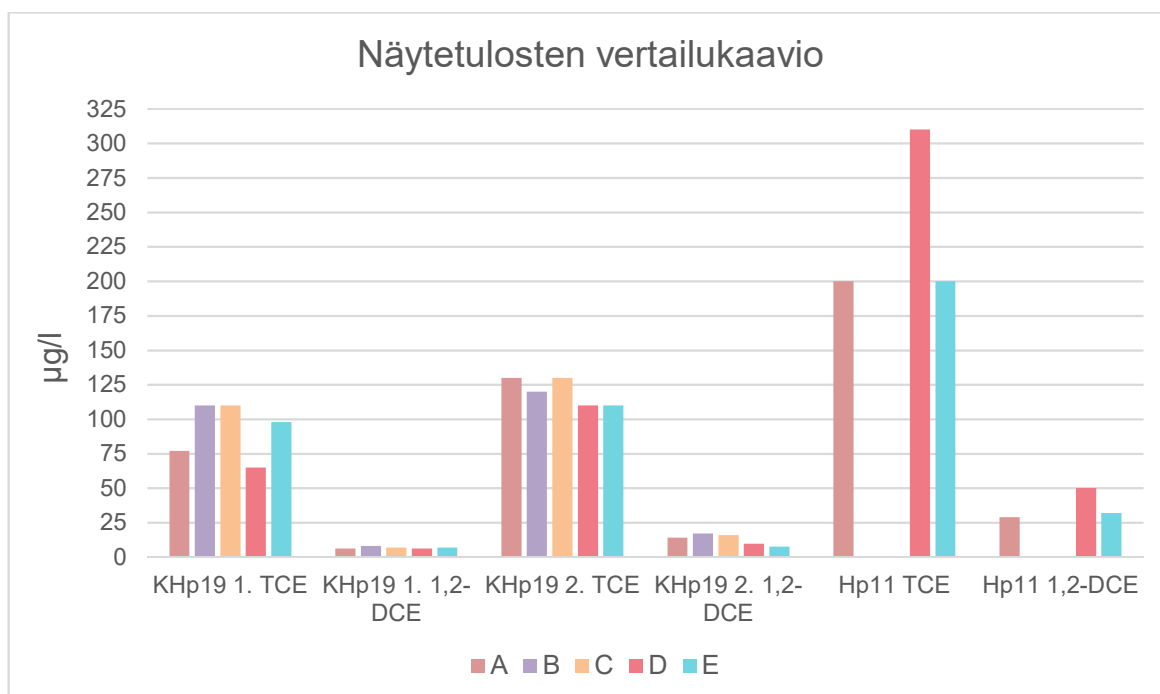
Dikloorieteenit ovat trikloorieteenin hajoamistuotteita, jotka aiheuttavat vaaraa ihmisen lisääntymis- ja terveydelle. 1,1-dikloorieteeni on Suomessa luokiteltu syöpäsairauden vaaraa aiheuttavaksi aineeksi. Aine on myrkyllistä vesieliöstöille. (25) 1,2-dikloorieteenit

(trans- ja cis-isomeerit), hajoavat ja haihtuvat kuumennettaessa ja ilman, valon ja kosteuden vaikutuksesta (26).

Vinyylikloridi on helposti haihtuva aine. Haihtumaton vinyylikloridi on kuitenkin maaperässä helposti kulkeutuvaa ja voi joutua pohjaveteen, jossa se on kohtalaisen hitaasti tai hitaasti hajoavaa. Vinyylikloridin biologisen hajoamisen puoliintumisajaksi maaperässä ja vedessä on saatu aerobisissa olosuhteissa kuukaudesta puoleen vuoteen ja anaerobisissa olosuhteissa parista kuukaudesta useisiin vuosiin. Vinyylikloridi on kuitenkin vain hyvin lievästi myrkyllistä vesieliöille, eikä sen luokitella olevan nykyisten voimassa olevien kriteerien perusteella ympäristölle vaarallista. (27)

8.2 Tulokset ja niiden vertailut

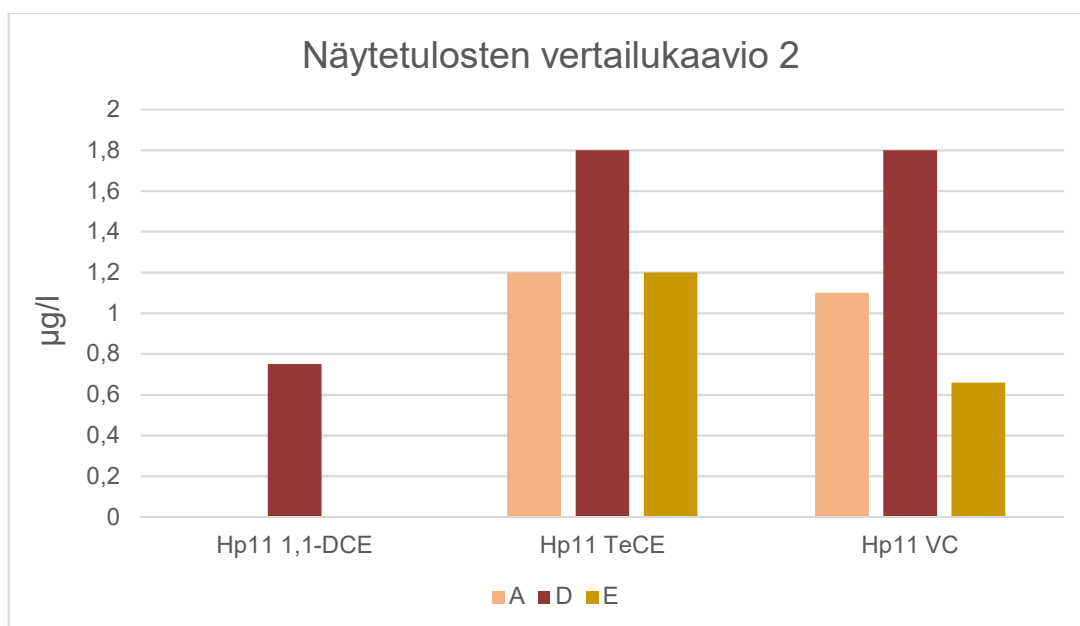
Analyysitulosten perusteella pohjavedestä löytyi kloorattuja helposti haihtuvia yhdisteitä tri- ja tetrakloorieteeniä pisteissä Hp11 ja KHp19. Tulokset on esitettyä kuvissa 11 ja 12. Taulukossa ei ole esitettyä niitä yhdisteitä, joiden pitoisuus ei vesinäytteissä ylittänyt määritysrajaa. Analyysitodistukset ovat liitteessä 3. Koska putkesta Hp12 ei löytynyt VOC-yhdisteitä, se ei soveltunut näytteenottomenetelmien vertailuun.



Kuva 13. Eri näytteenottomenetelmien analyysitulosten eroavaisuudet eriteltyinä haitta-aineittain

Pisteissä KHp19 ja Hp11 esiintyi trikloorieteeniä (TCE) ja 1,2-dikloorieteeniä (1,2-DCE). Pisteessä Hp11 esiintyi myös 1,1-dikloorieteeniä (1,1-DCE), tetrakloorieteeniä (TeCE), sekä vinyylikloridia (VC).

Pisteessä Hp11 havaittiin trikloorieteenin ja 1,2-dikloorieteenin lisäksi 1,1-dikloorieteeniä, tetrakloorieteeniä ja vinyylikloridia (Kuva 14). 1,1-dikloorieteeniä havaittiin ainoastaan Bladder-pumpulla otetusta näytteestä. Bladder-pumpulla otetusta näytteestä havaittiin myös suuremmat pitoisuudet tetrakloorieteeniä ja vinyylikloridia kuin Twister-pumpulla ja noutimella otetuilla näytteillä.



Kuva 14. Putkessa Hp11 havaitut pitoisuudet 1,1-dikloorieteeniä (1,1-DCE), tetrakloorieteeniä (TeCE) ja vinyylikloridia (VC) näytteenottomenetelmittäin

Pisteessä Hp11 havaittiin trikloorieteenin ja 1,2-dikloorieteenin lisäksi 1,1-dikloorieteeniä, tetrakloorieteeniä ja vinyylikloridia (Kuva 14). 1,1-dikloorieteeniä havaittiin ainoastaan Bladder-pumpulla otetusta näytteestä. Bladder-pumpulla otetusta näytteestä havaittiin myös suuremmat pitoisuudet tetrakloorieteeniä ja vinyylikloridia kuin Twister-pumpulla ja noutimella otetuilla näytteillä.

8.3 Epävarmuustarkastelu

Epävarmuutta näytetuloksiin luo virheet näytteenotossa, kuljetuksessa sekä laboratoriossa. Synlab, eli laboratorio joka näytteet analysoi, on akkreditoitu ja vahvan kokemuksen omaava laboratorio, joten mahdollisuus siellä tehtyihin virheisiin on pieni. Virhemarginaalit näytetuloksissa on kuitenkin huomioitava näytetuloksia vertailtaessa.

Virheet näytteenotossa ja kuljetuksessa ovat kuitenkin mahdollisia, etenkin kun kokemus joissain näytteenotossa käytetyissä menetelmissä on vähäinen tai olematon. Kuljetus on kuitenkin pyritty hoitamaan asianmukaisesti pimeässä ja kylmässä, toimituksen ollessa samana päivänä laboratorioon.

Myös pohjavesiputkessa olevien olosuhteiden muutos voi aiheuttaa epävarmuutta näytteiden edustavuudessa, kun näytteitä otetaan putkesta monella eri tapaa saman päivän aikana. Pohjavesi sekoittuu ja häiriintyy joka kerta, kun putkeen lasketaan näytteenotin (pumppu/noudin) ja kun sieltä pumpataan vettä. Tämän takia pyrittiin myös aina odottamaan hetki, ennen seuraavaa näytteenottoa samasta putkesta.

9 Näytetulosten tarkastelu

Eri näytteenottomenetelmien välillä esiintyi eroavaisuutta haitta-aineiden pitoisuuksissa. Pitoisuudet ovat kuitenkin samansuuntaisia etenkin 26 metriä syvässä kalliopohjavesiputkessa (KHp19). Huomattavampaa eroavaisuutta näytetuloksissa esiintyi matalammassa, 11 metriä syvässä maapohjavesiputkessa Hp11, jossa Bladder-pumpulla otetusta näytteestä haitta-aineita havaittiin enemmän kuin muilla pisteestä otetuilla menetelmillä. On kuitenkin huomioitava, että kyseisestä putkesta ei saatu otettua näytettä Monsoon-pumpun avulla, jolla olisi otettu kaksi vertailunäytettä (ns. perinteisesti ja Low-Flow-menetelmällä), joten vertailu jäi vajavaiseksi.

Näytetulosten silmiinpistävin eroavaisuus on Bladder-pumpulla: pisteen KHp19 ensimmäisellä näytteenottokerralla trikloorieteenin pitoisuus on jopa 45 µg/l pienempi kuin Monsoon-pumpulla otetuissa näytteissä, sekä 33 µg/l pienempi kuin noutimella otetussa ja 12 µg/l pienempi kuin Twister-pumpulla otetussa näytteessä. Pisteen KHp19 toisella näytteenottokerralla eri näytteenottomenetelmillä otettujen näytteiden eroavaisuudet ei kuitenkaan olleet yhtä suuria kuin ensimmäisellä näytteenottokerralla, joskin pientä eroa-

vaisuutta kuitenkin esiintyi. Pisteessä Hp11 Bladder-pumpulla otetussa näytteessä trikloorieteenin pitoisuus on kuitenkin 110 µg/l korkeampi, kuin noutimella tai Twister-pumpulla otetussa näytteessä.

Syytä Bladder-pumpulla otettujen näytteiden pitoisuuseroihin on hankala määrittää näin pienellä otannalla. Mahdollisia syitä voi kuitenkin olla useita:

- Kun näytettä otettiin pisteestä KHp19 Bladder-pumpulla, virtasi vesi hyvin hitaasti näytepulloon, jolloin vesi pääsi kosketuksiin ilman kanssa koko sen ajan, kun pullo täyttyi. VOC-yhdisteet haihtuvat vedestä, kun ne pääsevät kosketuksiin ilman kanssa. Tällöin pitoisuudet vedessä pienenevät. Veden hidas virtaama saattoi johtua siitä, että putki oli niin syvä.
- Vaikka vesi virtasi Bladder-pumpulla melko hitaasti näytepulloon myös matalammasta, noin 11 metriä syvästä Hp11-putkesta, pullo täyttyi kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin putkesta KHp19. Virtaama oli ihanteellinen näytteen pullo-tukseen, sillä vesi ei sekoittunut pullossa suuren virtaaman takia eivätkä ilmakuplat aiheuttaneet ongelmaa. Näytepullo saatiin täyteen noin 2–3 pumppausyhtä.
- Vesi virtasi erityisen hitaasti näytepulloon ensimmäisellä kerralla, kun näyte otettiin Bladder-pumpulla pisteestä KHp19. Pohjaveden pinta näyteputkessa oli vajonnut huomattavasti siinä vaiheessa, kun näyte otettiin Bladder-pumpulla, minkä takia hydrostaattinen paine putkessa oli madaltunut. Hydrostaattinen paine auttaa pumppua nostamaan vettä ylös putkesta.
- Ensimmäinen näytteenottokerta pisteestä KHp19 oli ensimmäinen kerta, kun näytteenottaja käytti Bladder-pumppua kenttäolosuhteissa. Kokemattomana saattaa helposti tehdä virheitä, jotka vaikuttavat näytteen edustavuuteen.

Huomattavaa näytetuloksissa on myös se, että noutimella saatiin hyvin samankaltaisia tuloksia, kuin muillakin näytteenottomenetelmillä, vaikka noudinta ei yleisesti pidetä erityisen hyvänä näytteenottotapana. Syy miksi noudinta ei pidetä niin luotettavana näytteenottovälineenä, on se, että näytteenotossa vesi pohjavesiputkessa sekoittuu herkästi, jolloin herkästi haihtuvat yhdisteet saattavat haihtua vedestä sekä siksi, että näyte saadaan pohjavesiputken pintakerroksesta, jolloin vettä raskaammat yhdisteet eivät välttä-

mättä päädy näytteeseen. Tässä kokeilussa noutimella saatiin kuitenkin ilmeisen edustavia näytteitä. Syynä voi olla osaksi se, että noudin oli viimeinen näytteenottotapa, jolloin vesi oli mahdollisesti useankin otteeseen jo vaihtunut putkessa eivätkä vettä raskaammat yhdisteet olleet vielä ehtineet vajota pohjaan.

10 Johtopäätökset ja yhteenveto

10.1 Pohjavesiputkien sijoittaminen

Pohjavesiputkien sijoittaminen aluetta edustavien näytteiden saamiseksi vaatii hyvää tuntemusta alueen geologiasta sekä maa- ja kalliopohjavesiolosuhteista. Maastokäyntien ja paikkatietokantojen lisäksi geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset ovat tärkeässä roolissa pohjavesiolosuhteiden määrittämisessä ja mahdollisten haitta-aineiden levinneisyyden määrittämisessä ja riskinarvioinnissa. Etenkin sähköinen maavastusluotaus on hyvä keino selvittää maanalaisia olosuhteita melko syvältäkin maa- ja kallioperässä, kuten maaperän koostumusta sekä kallionpinnan tasoa ja ruhjeisuutta. Parhaan kuvan alueen geologiasta ja pohjavesiolosuhteista saa kuitenkin tekemällä kohteessa useita eri tutkimuksia. Näiden avulla saadaan myös määritettyä optimaaliset kohdat pohjaveden havaintoputkille.

Pohjaveden näytteistäminen ja seuranta on ensisijaisen tärkeää pohjaveden tilan määrittämiseksi. Pohjaveden seurantapistettä olisi hyvä olla alueella useita, jotta alueen pohjavesiolosuhteet saataisiin luotettavammin määritettyä. Etenkin kallioperässä oleva pohjavesi voi virrata arvaamattomiin suuntiin kallioperän ruhjeiden ja rakoilujen kautta, jolloin haitta-aineita voi päätyä hyvinkin kauas haitta-ainelähteestä.

Työn aikana kävi myös hyvin ilmi, että maastossa voi helposti tulla yllätyksiä, joihin voi olla hankala varautua, ja että pohjavesiolosuhteet ovat muuttuvia. Työssä yllätyksenä olivat esimerkiksi KHp19-putken huono antoisuus sekä putken Hp11 tukos, joka ei ollut aiemmin tiedossa. Tukoksen olemassaolo selvisi vasta siinä vaiheessa, kun oli aika ottaa näyte Monsoon-pumpulla, sillä muut pumput ohittivat tukoksen helposti. Putken Hp12 näytetulokset tulivat myös yllätyksenä, kun niissä ei ollut lainkaan haitta-ainepitoisuuksia, sillä viime vuonna putkesta otetuissa näytteissä havaittiin selkeitä VOC-pitoisuuksia. Lisäksi Hp12 on työssä käytetyistä näytepisteistä kaikkein lähimpänä pilaantuneen maa-alueen kunnostuskohdetta, jolloin voisi helposti ajatella, että siinä ainakin esiintyisi haitta-ainepitoisuuksia.

Pohjavesiolosuhteet eivät ikinä ole yksiselitteisiä, ja niihin vaikuttaa moni tekijä. Virtausuunnat voivat vaihdella vuodenaikojen ja ympäröivän ympäristön vesiolosuhteiden mukaan. Myöskään pohjaveden haitta-ainepitoisuudet eivät pysy vakiona, vaan ne voivat vaihdella lyhyenkin ajanjakson sisällä.

10.2 Näytteenottomenetelmien vertailu

Eri näytteenottomenetelmien välillä esiintyi eroavaisuutta haitta-aineiden pitoisuuksissa. Pitoisuudet ovat kuitenkin samansuuntaisia, joten voidaan todeta, että kaikki näytteenottotavat soveltuvat näytteenottoon, kun tavoitteena on selvittää, mikä pohjaveden tila yleisesti on, eikä pohjaveden tarkkaa haitta-ainepitoisuutta ole tarpeellista määrittää. Aiemman tiedon valossa voidaan kuitenkin todeta, että kertakäyttönoudinta ei voi pitää ensisijaisena näytteenottomenetelmänä, sillä sen lisäksi että se helposti sekoittaa putkessa olevan veden, sillä ei välttämättä pysty ottamaan näytettä halutusta syvyydestä, vaan näyte tulee väistämättä vesipatsaan pintaosasta. Tämä johtuu siitä, että noutimen täyttyminen ei ole hallittua, vaan kun noudin osuu veteen, se alkaa heti täyttymään vedellä.

Jos kuitenkin on tarve saada pohjavedestä erityisen tarkkoja tuloksia, joissa veden VOC-pitoisuudet olisivat mahdollisimman vähän häiriintyneitä näytteenotosta johtuvista tekijöistä, on näytteenottomenetelmällä suurempi merkitys. Kuten tuloksista huomasimme, löydettiin Bladder-pumpulla matalammasta putkesta otetusta näytteestä muita korkeampia haitta-ainepitoisuuksia ja jopa yhdiste (1,1-dikloorieteeni), jota putkesta ei vuosittaisen seurannankaan aikana ole löytynyt. Syvemmissä putkessa samankaltaisia pitoisuuseroja ei huomattu, mikä saattoi johtua veden todella hitaasta virtaamasta näytepulloon, mikä altisti näytteen ajallisesti pitkän kosketuksen ilman kanssa pullotusvaiheessa. Työssä käytetyt näytepullot olivat kierrekorkillisia 100 ml pulloja, jota olivat käytännössä avoimia astioita, kunnes korkki laitettiin kiinni. Ilma-altistuksen aikana VOC-yhdisteet haihtuvat herkästi näytteestä. Tämä saattaisi olla korjattavissa erilaisella näytepullon täyttötyylillä, jossa ilmakosketus minimoidaan. Olisikin suositeltavaa, että kun VOC-näytteitä otetaan hitaasti virtaavalla näytteenottomenetelmällä, ei näytepullon suuaukko olisi avoin, vaan että näyte virtaisi ympäröivältä ilmalta suljettuun pulloon.

Aina, kun valitaan näytteenottotapaa johonkin kohteeseen, tulee huomioida kohteessa esiintyvien haitta-aineiden ominaisuudet ja pohjavesiputkien syvyys ja antoisuus. Näyt-

teenotossa edustavien näytteiden saaminen on ensisijaisen tärkeää, mutta näytteenototavan käytännöllisyydellä ja käyttömukavuudella on myös suuri merkitys. Havaintoputket ovat usein vaihtelevassa maastossa, jossa voi olla melko haasteellista liikkua, jolloin suuret, painavat ja hankalasti kannettavat näytteenottovälineet saattavat hidastaa näytteenottoa merkittävästi. Esimerkiksi tässä työssä käytetyt Monsoon- ja Bladder-pumput ovat melko kookkaita ja raskaita kantaa, ja ne tarvitsevat pohjavesiputken syvyydestä riippuen melko suuren virransyötön, jolloin kannettavaksi tulee myös akut. Twister-pumppu ja noudin ovat huomattavasti helpompia kantaa ja myös helpompia ja nopeampia käyttää. Näitä rajoituksia ei kuitenkaan luonnollisestikaan ole, mikäli pohjavesiputket sijaitsevat paikalla, jonka viereen tai lähetyville on helppo tulla autolla.

Tämän työn näytteenottomenetelmien vertailu jäi epäonnisten sattumien myötä haluttua suppeammaksi, joten tuloksia voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina. Jotta eri menetelmien eroista saataisiin selvempi kuva ja luotettavin näytteenottomenetelmä saataisiin määritettyä, vertailuja tulisi tehdä lisää. On kuitenkin selvää, että kaikilla tässä työssä käytetyillä menetelmillä saadaan nostettua pohjavesiputkesta pohjavesitilannetta kuvaavia näytteitä.

Lähteet

1. Floren, Sara. 2015 En litteraturstudie samt fallstudie av järnvägstunneln delen Varberg-Hamra. Lund: Lunds Universitet.
2. Kinnunen, Timo; Mälkki, Esko; Brelín, Olli; Tikkanen, Jaakko; Tanttu, Unto; Hatva, Tuomo; Gustafsson, Juhani; Britschgi, Ritva; Junnila, Reetta; Molarius, Riitta; Rintala, Jari; Vesterbacka, Pia; Vallius, Pekka; Paatonen, Erkki; Ikäheimo, Jukka; Lahermo, Pertti; Honkasalmi, Marita; Nystén, Taina; Lahti, Kirsti; Reinikainen, Jussi; Mäkinen, Risto; Mattsson, Annina; Valjus, Tuire; Lehtimäki, Jukka; Vanhala, Heikki; Arjas, Jussi; Suokko, Tuulikki; Palmu, Jukka-Pekka; Mäkinen, Joni; Kortelainen, Nina; Valo, Risto; Nikulainen, Virpi; Järvinen, Kimmo; Tuominen, Sirkku & Artimo, Aki. 2005 Pohjavesitutkimusopas - käytännön ohjeita. Suomen Vesiyhdistys Ry.
3. Regional District of Nanaimo. What is an Aquifer? Verkkoaineisto. <<http://rdnwater-budget.ca/water-101/aquifers-groundwater/>> Luettu 7.5.2019
4. Mälkki, Esko. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
5. Oy, Rudus ja Oy, FCG Planeco. Kalliokiviaineksen ottotoiminta, Rajavuoren alue, Kotka. Ympäristövaikutusten arviointiselostus.
6. Lavapuro, Maarit; Lipponen, Annukka; Artimo, Aki & Katko, Tapio S. 2008. Groundwater sustainability indicators: testing with Finnish data. Boreal Environment Research.
7. Lahermo, Pertti; Tarvainen, Timo; Hatakka, Tarja; Backman, Birgitta; Juntunen, Risto; Kortelainen, Nina; Lakomaa, Tuula; Nikkarinen, Maria; Vesterbacka, Pia; Väisänen, Ulpu & Suomela, Pekka. 2002. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
8. Suomen ympäristökeskus SYKE. Kysymyksiä kaivoveden laadusta.
9. Rönkä, Esa. 1983. Drilled wells and ground water in the precambrian crystalline bedrock of Finland. Helsinki: Vesihallitus.
10. Tölgyessy, Juraj. 1993. Chemistry and biology of water air and soil - environmental aspects. Bratislava: Department of Environmental Science, Faculty of Chemical Technology, Slovak Technical University, Czechoslovakia.
11. Terveystieteiden tutkimuskeskus. 2019. Uraani. Verkkoaineisto. Verkkoaineisto. <<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi/kaivoveden-kemialliset-epapuhtaudet/uraani>> 21.1.2019. Luettu 25.3.2019.
12. Suomen ympäristökeskus SYKE. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Verkkoaineisto. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueen_suojelusuunnitelma> 15.8.2013. Luettu 20.3.2019.

13. Vahanne, Pasi. 2019. Haastattelu. Helsinki: FCG Suunnittelu ja tekniikka, 25.4.2019.
14. Jokinen, Juha. 2011. Kallionäytekairaus - menetelmät ja tarkoitus Esimerkkinä länsimetro. Rakennustietosäätiö. Pohjatekniikka Oy.
15. Liikennevirasto. 2013. Pohjaveden hallinta alikulkupaikoilla - Geotekniikan käsikirja.
16. Törnqvist, Jouko; Laaksonen, Rainer & Juvankoski, Markku. 2001. Sähköinen vastuluotaus tien painaumataskennan lähtötietojen hankkimisessa. s.l.: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
17. Korkealaakso, Juhani. Sähköinen tomografia - tutkimusmenetelmä ympäristöselvityksiin ja infrarakentamiseen. VTT Technical Research Centre of Finland LTD.
18. GEO-Work infra Oy. 2018. Maatutkaluotausraportti (FCG:n sisäisessä käytössä).
19. Johansson, Stig. 1985. Engineering geological experience from unlined ex-cavated oil storage caverns in a Precambrian rock mass in the Porvoo area, Southern Finland. Neste Oy.
20. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2016. PÄÄTÖS UUELY/1146/2016. 7.3.2016.
21. Friman, Timo; Ahonen, Jussi; Lonka, Harriet; Säävuo, Heikki; Huotari-Halkosaari, Taija & Valjus, Tuire. 2015. Tutkimusraportti osa II: pohjavesialueiden geologisen rakenteen selvitys Sipoon Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueilla. Geologian tutkimuskeskus, Uudenmaan liitto.
22. Solinst. Bladder Pump Operation. Verkkoaineisto. <<https://www.solinst.com/products/groundwater-samplers/407-bladder-pumps/datasheet/bladder-pump-operation.php>> Luettu 20.2.2019.
23. GWM Engineering. Pohjavesi Low-Flow sampling. Verkkoaineisto. <<https://gwm-engineering.fi/fi/tuoteryhmat/vedenlaatu-ja-virtaamamittaukset/hidasvirtausmittaukset-low-flow-sampling/>> Luettu 20.2.2019.
24. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2018. Söderkullan pohjavesitarkkailu - Tarkkailuraportti 2016-2017 (FCG:n sisäisessä käytössä).
26. Työterveyslaitos. 2018. Vinylideenikloridi. Verkkoaineisto. Kansainvälinen kemikaalikortti. <http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=0083&p_version=2> Luettu 28.2.2019.
27. Työterveyslaitos. 1,2-dikloorietyleeni. Verkkoaineisto. Kansainvälinen kemikaalikortti. <http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=0436&p_version=2> Luettu 28.2.2019.

28. Työterveyslaitos. 2017. Verkkoaineisto. OVA-ohje: VINYYLIKLORIDI.
<<https://www.ttl.fi/ova/vinyyklo.html>> 11.6.2017. Luettu 28.2.2019.

Kalliopohjaveden laatu alueittain ja kivilajeittain

Kalliopohjaveden laatu alueittain

		Keski-Suomi			Savo			Helsingin seutu			Vehmaa			Vertailualue*			Kaikki		
		KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n
pH		6,8	0,7	210	6,8	0,6	115	7	0,6	44	6,8	0,9	11	6,9	0,8	14	6,8	0,6	394
Sähkönjohtokyky	mS/m	25,8	14,1	210	30	17,3	115	21,7	8	44	84	64,7	11	21,8	9,4	14	28	20,2	394
Kovuus	dH°	4,3	2,6	209	5,2	3,2	114	3,5	1,9	49	7,8	4,5	11	4,1	2,3	14	4,5	2,8	397
Ca	mg/l	19,5	12,4	209	24,3	16,3	114	17,5	9,8	49	38,1	23,3	11	20,7	13,4	14	21,2	14,1	397
Mg	mg/l	6,8	4,5	209	7,6	5,2	114	4,7	3	49	10,1	6	11	5,4	2,1	14	6,8	4,7	397
Na	mg/l	15,8	16,5	109	17,8	14,4	114	27,3	31,5	49	98,2	94,9	11	11	5,8	14	19,9	27,2	397
K	mg/l	4,1	5,7	209	8,4	14,1	114	2,3	1,1	49	6,1	2,6	11	1,8	0,9	14	5,1	8,9	397
SiO ₂	mg/l	19,2	6,3	209	19	6,6	114	14	4,1	49	15	3,4	11	12,4	3,5	14	18,1	6,4	397
Fe	mg/l	0,82	1,58	210	1,42	2	114	0,31	0,42	51	3,21	2,62	9	0,21	0,3	14	0,98	2,08	398
Mn	mg/l	0,25	0,51	210	0,31	0,92	115	0,07	0,1	51	0,34	0,22	11	0,02	0,04	14	0,24	0,62	401
SO ₄	mg/l	14,4	12,8	209	21,9	16,8	114	20	14,4	49	73,6	58	11	18,4	6,8	14	19	19,3	397
PO ₄	mg/l	0,03	0,05	210	0,05	0,12	107	0,04	0,04	49	0,06	0,08	11	0,01	0,01	14	0,03	0,08	391
Cl	mg/l	17,5	21,7	209	19,7	26,5	112	21,1	36,3	52	107,7	143	11	9	3,6	14	20,8	36,7	398
F	mg/l	0,7	0,6	189	0,3	0,3	114	0,7	0,7	50	1,5	1	11	0,2	0,2	14	0,6	0,6	378
NH ₄ —N	mg/l	0,06	0,21	210	0,09	0,3	114	0,02	0,03	51	0,11	0,13	11	0	0	14	0,06	0,22	400
NO ₂ —N	mg/l	0,01	0,1	210	0	0,01	108	0	0	51	0	0	8	0	0	14	0,01	0,07	391
NO ₃ —N	mg/l	1,5	2,8	210	1,9	3,7	106	0,8	1,4	52	0,08	0,2	11	2,3	1,7	14	1,5	2,9	393
Väri	mg/l Pt	25	67	210	32	50	114	10	15	37	110	81	11	9	9	14	27	60	386
COD	mg/l	2,3	2,8	210	2,1	2	115	1,3	1,2	51	4,9	3,3	11	1,6	1,7	14	2,2	2,5	401
Cu	µg/l	22	25	37	45	50	41	15	21	9	9	6	2	29	23	14	31	38	103
Zn	µg/l	651	1168	37	308	601	41	56	46	9	58	81	2	206	234	14	390	821	103
Cd	µg/l	0,7	0,9	38	0	0,2	41	0	0	9	0	0	2	0,2	0,8	14	0,3	0,7	104
Pb	°g/l	1,6	1,5	37	1,4	4,9	41	1,7	5	9	2,5	0,7	2	1,3	4,3	14	1,5	3,8	103
Ni	°g/l	3,8	4,8	37	0,8	2,1	40	0	0	9	0	0	2	0,6	2,1	14	1,8	3,6	102
²²² Rn	pCi/l	12800	22200	179	8000	11200	107	46800	98000	51	29600	38200	11	1400	900	14	16200	42600	362
²²⁶ Ra	pCi/l	0,6	0,9	179	0,5	0,8	111	2,3	4,2	51	2,7	2,6	11	0	0,1	14	0,8	1,9	366
Kok. alfasäteily	pCi/l	11,8	26,4	179	10,3	49,7	111	51,1	129,7	51	21,1	40	11	0,8	1,3	14	16,7	60,2	366

KA = Aritmeettinen keskiarvo

KH = Keskihajonta

n = Näytteiden lukumäärä

*Vertailualue sijaitsee Helsingin seudulla. Kaikki kohteen näytepaikat sijaitsevat alle 1 km² kokoisella alueella.

Kalliopohjaveden laatu kivilajeittain

		Felsiset syväkivet			Piihappopitoiset liuskeet			Rapakivi			Maafiset kivet		
		KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n	KA	KH	n
pH		6,8	0,7	205	6,8	0,6	131	6,3	0,5	7	7	0,6	33
Sähkönjohtokyky	mS/m	23,6	12,3	205	31	25,6	131	63	47,5	7	34,5	18,5	33
Kovuus	dH°	3,9	2,2	207	5	3,2	131	8	4,7	7	6,4	3,2	34
Ca	mg/l	17,8	11	207	23,1	15,2	131	39,4	26,2	7	30,8	16,1	34
Mg	mg/l	5,9	3,7	207	7,6	5,5	131	10,8	5,1	7	8,9	5,2	34
Na	mg/l	16,7	21,3	207	23,2	33,3	131	60	64,9	7	20,1	17,9	34
K	mg/l	4	6,5	207	6,3	9,9	131	6,8	3,1	7	6,9	15	34
SiO ₂	mg/l	18	6,2	207	18,6	6,7	131	16,7	2,7	7	19	6,5	34
Fe	mg/l	0,71	1,51	210	1,42	2,86	129	3,34	2,68	7	0,6	0,01	34
Mn	mg/l	0,2	0,48	210	0,32	0,87	132	0,44	0,2	7	0,27	0,38	34
SO ₄	mg/l	15,5	14,3	207	21,7	22,5	114	59,1	55,8	7	19,4	10,6	34
PO ₄	mg/l	0,03	0,05	205	0,05	0,11	130	0,03	0,02	7	0,03	0,04	32
Cl	mg/l	16,2	23,4	207	23,7	46,8	132	66,4	99,6	7	31,3	37,3	33
F	mg/l	0,6	0,6	197	0,4	0,5	125	2	0,9	7	0,5	0,6	34
NH ₄ —N	mg/l	0,04	0,18	210	0,1	0,29	131	0,07	0,05	7	0,07	0,18	34
NO ₂ —N	mg/l	0,01	0,1	205	0	0,01	128	0	0	7	0	0	33
NO ₃ —N	mg/l	1,53	2,63	204	1,58	3,44	130	0,01	0,02	7	1,38	2,62	33
Väri	mg/l Pt	22	67	203	34	54	126	113	81	7	21	29	33
COD	mg/l	2	2,7	210	2,5	2,5	132	2,8	1,4	7	2	1,8	34
Cu	µg/l	21	20	51	42	52	36	9	6	2	57	49	8
Zn	µg/l	395	825	51	493	969	36	58	81	2	191	238	8
Cd	µg/l	0,3	0,8	52	0,3	0,7	36	0	0	2	0,1	0,4	8
Pb	°g/l	1,4	3,2	51	1,9	5,2	36	2,5	0,7	2	0,8	1,4	8
Ni	°g/l	1,9	3,8	50	2	4	36	0	0	2	1,3	2,3	8
²²² Rn	pCi/l	18500	52500	186	10800	22500	120	32900	47500	7	10100	12600	31
²²⁶ Ra	pCi/l	0,8	1,8	188	0,8	2,2	122	2,2	1,4	7	0,6	0,8	31
Kok. alfasäteily	pCi/l	17,3	52,4	188	11,1	31,1	122	8,1	5,2	7	13,1	34,8	31

KA = Aritmeettinen keskiarvo

KH = Keskihajonta

n = Näytteiden lukumäärä

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

Näytetunnus		19VN 0708	19VN 0709	19VN 0710	19VN 0711	19VN 0712	
Näytteen nimi		KHp19 A	KHp19 B	KHp19 C	KHp19 D	KHp19 E	
Näytteen saapumispäivä		02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	
Näytteen aloituspäivä		02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019	
Näytteen valmistuspäivä		08.04.2019	08.04.2019	08.04.2019	08.04.2019	08.04.2019	
Määritykset							
Bentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Tolueneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Ksyleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Etylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0708 KHp19 A	19VN 0709 KHp19 B	19VN 0710 KHp19 C	19VN 0711 KHp19 D	19VN 0712 KHp19 E	
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorieteeni	µg/l	77	110	110	65	98	ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0708 KHp19 A	19VN 0709 KHp19 B	19VN 0710 KHp19 C	19VN 0711 KHp19 D	19VN 0712 KHp19 E	
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Isopropylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
n-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0708 KHp19 A	19VN 0709 KHp19 B	19VN 0710 KHp19 C	19VN 0711 KHp19 D	19VN 0712 KHp19 E	
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	6,3	8,0	7,0	6,3	6,8	ISO 20595:2018 mod.*
1,1-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0708 KHp19 A	19VN 0709 KHp19 B	19VN 0710 KHp19 C	19VN 0711 KHp19 D	19VN 0712 KHp19 E	
Cis-1,3-diklooripropeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI


Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0708 KHp19 A	19VN 0709 KHp19 B	19VN 0710 KHp19 C	19VN 0711 KHp19 D	19VN 0712 KHp19 E	
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

Näytetunnus		19VN 0713	19VN 0714	19VN 0715			
Näytteen nimi		HP11 A	Hp11 D	Hp11 E			
Näytteen saapumispäivä		02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019			
Näytteen aloituspäivä		02.04.2019	02.04.2019	02.04.2019			
Näytteen valmistuspäivä		08.04.2019	08.04.2019	08.04.2019			
Määritykset							
Bentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Tolueneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Ksyleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Etylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	0,75	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0713 HP11 A	19VN 0714 Hp11 D	19VN 0715 Hp11 E			
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorieteeni	µg/l	200	310	200			ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0713 HP11 A	19VN 0714 Hp11 D	19VN 0715 Hp11 E				
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Isopropylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
n-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0713 HP11 A	19VN 0714 Hp11 D	19VN 0715 Hp11 E				
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	29	50	32				ISO 20595:2018 mod.*
1,1-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka

Anna Helenelund

Osmontie 34

00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0713 HP11 A	19VN 0714 Hp11 D	19VN 0715 Hp11 E			
Cis-1,3-diklooripropeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	1,2	1,8	1,2			ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1901456
Pvm: 8.4.2019

12(12)

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI



Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001, Söderkulla**

		19VN 0713 HP11 A	19VN 0714 Hp11 D	19VN 0715 Hp11 E			
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	1,1	1,8	0,66			ISO 20595:2018 mod.*

SYNLAB Analytics & Services Finland Oy

Jarkko Kupari
Kemisti

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Tuloksia koskevat tiedustelut

Ympäristöanalytiikka

Jarkko Kupari, Kemisti, puh. +358 50 464 7345,
jarkko.kupari@synlab.com

Lisätiedot Talous- ja luonnonvesinäytteelle yksittäisten bensiinihiilivetyjen mittausepävarmuus: 0,5 - 1,0 µg/l ± 40 %, 1,1 - 500 µg/l ± 35 % ja yli 500 µg/l ± 25 %.

Jakelu pasi.vahanne@fcg.fi

Laskutus FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy, Ostoreskontra, PL 950, 00601 HELSINKI

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

Näytetunnus		19VN 0885	19VN 0886	19VN 0887	19VN 0888	19VN 0889	
Näytteen nimi		KHp19 A	KHp19 B	KHp19 D	KHp19 E	Hp12 A	
Näytteen ottaja		Anna Helenelund	Anna Helenelund	Anna Helenelund	Anna Helenelund	Anna Helenelund	
Ottopäivä		10.04.2019	10.04.2019	10.04.2019	10.04.2019	10.04.2019	
Näytteen saapumispäivä		12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	
Näytteen aloituspäivä		12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019	
Näytteen valmistuspäivä		18.04.2019	18.04.2019	18.04.2019	18.04.2019	18.04.2019	
Määritykset							
Bentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Tolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Ksyleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Etylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
 Pvm: 18.4.2019

2(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0885 KHp19 A	19VN 0886 KHp19 B	19VN 0887 KHp19 D	19VN 0888 KHp19 E	19VN 0889 Hp12 A	
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorieteeni	µg/l	130	120	110	110	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0885 KHp19 A	19VN 0886 KHp19 B	19VN 0887 KHp19 D	19VN 0888 KHp19 E	19VN 0889 Hp12 A	
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Isopropylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
n-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0885 KHp19 A	19VN 0886 KHp19 B	19VN 0887 KHp19 D	19VN 0888 KHp19 E	19VN 0889 Hp12 A	
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	14	17	9,6	7,7	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
 Pvm: 18.4.2019

5(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0885 KHp19 A	19VN 0886 KHp19 B	19VN 0887 KHp19 D	19VN 0888 KHp19 E	19VN 0889 Hp12 A	
1,1-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Cis-1,3-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
 Pvm: 18.4.2019

6(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0885 KHp19 A	19VN 0886 KHp19 B	19VN 0887 KHp19 D	19VN 0888 KHp19 E	19VN 0889 Hp12 A	
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	< 0,5	0,51	< 0,5	< 0,5	< 0,5	ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

Näytetunnus		19VN 0890	19VN 0891	19VN 0892			
Näytteen nimi		Hp12 B	Hp12 D	Hp12 E			
Näytteen ottaja		Anna Helenelund	Anna Helenelund	Anna Helenelund			
Ottopäivä		10.04.2019	10.04.2019	10.04.2019			
Näytteen saapumispäivä		12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019			
Näytteen aloituspäivä		12.04.2019	12.04.2019	12.04.2019			
Näytteen valmistuspäivä		18.04.2019	18.04.2019	18.04.2019			
Määrittelykset							
Bentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Tolueneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Ksyleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Etyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
 Pvm: 18.4.2019

8(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0890 Hp12 B	19VN 0891 Hp12 D	19VN 0892 Hp12 E			
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
 Pvm: 18.4.2019

9(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0890 Hp12 B	19VN 0891 Hp12 D	19VN 0892 Hp12 E			
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Isopropylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
n-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0890 Hp12 B	19VN 0891 Hp12 D	19VN 0892 Hp12 E			
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0890 Hp12 B	19VN 0891 Hp12 D	19VN 0892 Hp12 E			
1,1-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Cis-1,3-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901708
Pvm: 18.4.2019

12(12)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, P10040P001 Söderkulla**

		19VN 0890 Hp12 B	19VN 0891 Hp12 D	19VN 0892 Hp12 E			
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5			ISO 20595:2018 mod.*

SYNLAB Analytics & Services Finland Oy


 Jarkko Kupari
Kemisti

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Tuloksia koskevat tiedustelut

Ympäristöanalytiikka

 Jarkko Kupari, Kemisti, puh. +358 50 464 7345,
jarkko.kupari@synlab.com

Lisätiedot Talous- ja luonnonvesinäytteelle yksittäisten bensiinihiilivetyjen mittauserävarmuus: 0,5 - 1,0 µg/l ± 40 %, 1,1 - 500 µg/l ± 35 % ja yli 500 µg/l ± 25 %.

Jakelu anna.helenelund@fcg.fi
pasi.vahanne@fcg.fi

Laskutus FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy, Ostoreskontra, PL 950, 00601 HELSINKI

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

Näytetunnus		19VN 0865	19VN 0866				
Näytteen nimi		KHp19 C	Hp12 C				
Näytteen ottaja		Anna Helenelund	Anna Helenelund				
Ottopäivä		10.04.2019	10.04.2019				
Näytteen saapumispäivä		10.04.2019	10.04.2019				
Näytteen aloituspäivä		10.04.2019	10.04.2019				
Näytteen valmistuspäivä		17.04.2019	17.04.2019				
Määritykset							
Bentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Tolueneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Ksyleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Etyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

		19VN 0865 KHp19 C	19VN 0866 Hp12 C				
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorieteeni	µg/l	130	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901679
 Pvm: 17.4.2019

3(6)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

		19VN 0865 KHp19 C	19VN 0866 Hp12 C				
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Isopropylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-trimetylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
n-butylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

TUTKIMUSTODISTUS

 Tilaus: 1901679
Pvm: 17.4.2019

4(6)

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

		19VN 0865 KHp19 C	19VN 0866 Hp12 C				
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropeneeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	16	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

FCG Suunnittelu ja Tekniikka
Anna Helenelund
Osmontie 34
00610 HELSINKI

Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

		19VN 0865 KHp19 C	19VN 0866 Hp12 C				
1,1-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Cis-1,3-diklooripropenei	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.

TUTKIMUSTODISTUS

6(6)

 Tilaus: 1901679
 Pvm: 17.4.2019

 FCG Suunnittelu ja Tekniikka
 Anna Helenelund
 Osmontie 34
 00610 HELSINKI

 Tilauksen nimi: **Vesi, Söderkulla**

		19VN 0865 KHp19 C	19VN 0866 Hp12 C				
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	< 0,5	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*

SYNLAB Analytics & Services Finland Oy


 Jarkko Kupari
 Kemisti

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Tuloksia koskevat tiedustelut

Ympäristöanalytiikka

 Jarkko Kupari, Kemisti, puh. +358 50 464 7345,
 jarkko.kupari@synlab.com

Lisätiedot Talous- ja luonnonvesinäytteelle yksittäisten bensiinihiilivetyjen mittauserävarmuus: 0,5 - 1,0 µg/l ± 40 %, 1,1 - 500 µg/l ± 35 % ja yli 500 µg/l ± 25 %.

Laskutus FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy, Ostoreskontra, PL 950, 00601 HELSINKI

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittauserävarmuudet ovat saatavilla pyydettyessä.