

POHJAVESITUTKIMUSOPAS

KÄYTÄNNÖN OHJEITA

SUOMEN VESIYHDISTYS

2005



POHJAVESITUTKIMUSOPAS

KÄYTÄNNÖN OHJEITA

SUOMEN VESIYHDISTYS

2005



Toimittaja

Timo Kinnunen

Julkaisija

Suomen Vesiyhdistys r.y.

ISBN 952-9606-73-7

ISSN 0782-9612

Kartat:

© Maanmittauslaitos, lupa nro 244/MYY/05

Pohjakartat © Maanmittauslaitos, lupa nro 244/MYY/05

Maaperäkartat © Geologian tutkimuskeskus

Kallioperäkartat © Geologian tutkimuskeskus

Pohjavesikartat © Suomen ympäristökeskus

Kirjapaino

Vammalan Kirjapaino Oy

SISÄLLYS

ESIPUHE (Pertti Seuna).....	7
1. JOHDANTO (Pirkko Öhberg).....	8
2. POHJAVESITUTKIMUKSET SUOMESSA (Esko Mälkki)	8
2.1 Ketkä tutkivat pohjavettä ja miksi ?.....	8
2.2 Suomen pohjavesiesiintymät.....	10
2.3 Luonnontilainen pohjavesi tutkimus- ja hoitoympäristönä.....	10
2.4 Tulevaisuuden näkymiä ja kehitystarpeita.....	12
2.4.1 Lähtökohtia.....	12
2.4.2 Tutkimustarpeita.....	12
2.5 Vesipolitiikan puitedirektiivi (Juhani Gustafsson, Reetta Junnila).....	14
2.6 Kirjallisuutta.....	14
3. POHJAVESITUTKIMUSHANKKEEN VALMISTELU (Timo Kinnunen).....	15
3.1 Hankkeen tavoite ja laajuus.....	15
3.2 Lähtöaineisto.....	15
3.2.1 Pohjavesialuekartat ja -kortit sekä pohjavesitietojärjestelmä (POVET).....	15
3.2.2. Vanhat kartat ja tutkimukset.....	16
3.2.3 Geologiset kartat.....	17
3.2.4 Hiekka- ja soravarakartat.....	17
3.2.5 Ilmakuvat.....	17
3.2.6 Pohjavesisuojelelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamisprojekti (POSKI) (Ritva Britschgi).....	17
3.3 Tutkimusluvut ja tiedottaminen.....	18
3.4 Tehtävänkuvaus.....	19
3.5 Hankkeen suorittajan valinta.....	20
3.6 Kirjallisuutta.....	21
4. VEDENHANKINTA-, POHJAVEDEN SUOJELU- JA LIKAANTUMISTUTKIMUKSET.....	21
4.1 Vesihuoltoa varten tehtävät tutkimukset (Timo Kinnunen).....	21
4.1.1. Kaivo- ja lähdekartoitus.....	22
4.1.2 Pohjavedenottoapaikan tutkimus.....	23
4.1.3 Pitkäaikainen koepumppaus.....	25
4.1.4 Kaivonpaikkatutkimus.....	29
4.1.5 Tekopohjavesitutkimukset (Unto Tanntu, Tuomo Hatva).....	31
4.1.6 Kalliopohjaveden tutkiminen (Olli Brelín, Jaakko Tikkanen).....	33
4.1.7 Kirjallisuutta.....	36
4.2 Pohjaveden suojelelun ja seuranta varten tehtävät tutkimukset.....	36
4.2.1 Ennakkoseuranta (Pirkko Öhberg).....	37
4.2.2 Suoja- aluemenettely (Pirkko Öhberg, Riitta Molarius).....	37
4.2.3 Pohjavesialueen suojelelusuunnitelma (Pirkko Öhberg, Riitta Molarius).....	37
4.2.4 Pohjaveden suojelelusuunnitelmaa varten tehtävät tutkimukset (Riitta Molarius)	38
4.2.5 Pohjavesitutkimukset maa-ainesten ottosuunnitelmassa (Jari Rintala).....	39
4.2.6 Maa-aineston pohjavesivaikutusten seurannan toteutus (Jari Rintala).....	41
4.2.7 Pohjaveden seuranta metsäojituksen ja turvetuotannon yhteydessä (Riitta Molarius).....	43
4.2.8 Pohjaveden suojaus tien kohdalla (Pekka Vallius).....	44
4.2.9 Kirjallisuutta.....	46
4.3 Pohjaveden likaantumistutkimukset.....	47

4.3.1 Pohjavesivahinkojen torjuntatoimenpiteet (Tuomo Hatva)	47
4.3.2 Polttoainehiilivedyllä likaantunut pohjavesi (Erkki Paatonen)	51
4.3.3 Liuottimilla likaantunut pohjavesi (Jukka Ikäheimo)	54
4.3.4 Raskasmetalleilla likaantunut pohjavesi (Pertti Lahermo)	58
4.3.5 Lannoitteilla ja torjunta-aineilla likaantunut pohjavesi (Marita Honkasalo)	62
4.3.6 Tiesuolalla likaantunut pohjavesi (Taina Nystén, Juhani Gustafsson)	64
4.3.7 Mikrobiologisesti likaantunut pohjavesi (Kirsti Lahti)	67
4.3.8 Kirjallisuutta	69
4.4. Pohjaveden alentaminen rakennushankkeiden yhteydessä	70
4.4.1 Yleistä (Pekka Vallius)	70
4.4.2 Työaikainen pohjaveden alentaminen (Pekka Vallius)	71
4.4.3 Pysyvä pohjaveden alentaminen	71
4.4.4 Louhintatyöt (Riitta Molarius)	72
4.4.5 Arteesinen eli paineellinen pohjavesi (Riitta Molarius)	72
4.4.6 Kirjallisuutta	72
5. TUTKIMUSMENETELMÄT	73
5.1 Pohjavesiesiintymän rakenneselvitys ja sedimentologinen tulkinta (Jukka-Pekka Palmu, Joni Mäkinen)	73
5.1.1 Yleistä	73
5.1.2 Rakenneselvityksen toteutus	73
5.1.3 Sedimentologisen tutkimuksen toteutus	74
5.1.4 Tutkimustulosten raportointi ja visualisointi	74
5.1.5 Kirjallisuutta	76
5.2 Pohjavesiesiintymän maaperäkerrostumien, antoisuuden ja virtauskuvan tutkiminen ..	76
5.2.1 Maastotarkastelu (Timo Kinnunen)	76
5.2.2 Kartta- ja ilmakuvatulkinta (Timo Kinnunen)	77
5.2.3 Pohjaveden muodostumis- ja virtaamaselvitykset (Risto Mäkinen)	78
5.2.4 Geofysikaaliset menetelmät (Annina Mattsson, Jukka Lehtimäki, Tuire Valjus, Heikki Vanhala)	81
5.2.5 Kairaukset (Jussi Arjas)	87
5.2.6 Pohjaveden havaintoputket (Jussi Arjas)	88
5.2.7 Putkimittaukset (Timo Kinnunen, Jussi Arjas, Jukka Ikäheimo)	91
5.2.8 Ominaisantoisuuspumppaus (Jussi Arjas)	92
5.2.9 Kirjallisuutta	92
5.3 Merkkiainekokeet	93
5.3.1 Merkkiaineiden käyttö (Tuulikki Suokko)	93
5.3.2 Hapen ja vedyn pysyvät isotoopit merkkiaineina (Nina Kortelainen)	97
5.3.3 Natriunjodidi (NaI) merkkiaineena tekopohjavesilaitoksella (Jukka Ikäheimo) ..	100
5.3.4 Merkkiainekokeen suunnittelu (Jukka Ikäheimo)	101
5.3.5 Kirjallisuutta	103
6. POHJAVEDEN LAADUN TUTKIMINEN (Timo Kinnunen)	103
6.1 Näytteenoton laadunvalvonta (Marita Honkasalo, Jukka Ikäheimo)	104
6.2 Näytteenottovälineet ja -menetelmät (Timo Kinnunen, Marita Honkasalo, Jukka Ikäheimo, Jussi Reinikainen)	104
6.2.1 Näytteenottovälineet	105
6.2.2 Näytteenotto lähteestä	106
6.2.3 Näytteenotto haivaintoputkesta	106
6.2.4 Näytteenotto kaivosta	110

6.2.5 Näytteenotto koekuopista.....	110
6.2.6 Passiiviset näytteenottotekniikat.....	111
6.2.7 Monitasonäytteenotto	111
6.2.8 Maavesitutkimusten näytteenotto (Jari Rintala).....	112
6.3 Näytteenotto eri analyyseja varten (Marita Honkasalo, Pia Vesterbacka, Kirsti Lahti)....	113
6.4 Kenttämäärittelyt (Marita Honkasalo).....	116
6.5 Vesinäytteiden käsittely, kuljetus ja säilytys (Marita Honkasalo).....	118
6.6 Vesinäytteistä tehtävät analyysit (Marita Honkasalo).....	118
6.6.1 Juoma ja talousvesianalyysit (Marita Honkasalo).....	120
6.6.2 Pohjaveden laadun seuranta (Risto Mäkinen).....	121
6.7 Pohjaveden käsittelytutkimukset.....	123
6.7.1 Luonnontilaisen pohjaveden käsittely (Tuomo Hatva, Unto Tantt).....	123
6.7.2 Likaantuneen pohjaveden kunnostus (Risto Valo, Virpi Nikulainen, Kimmo Järvinen).....	128
6.8 Kirjallisuutta.....	130
7. MALLINTAMINEN (Sirkku Tuominen, Aki Artimo).....	132
7.1 Yleistä.....	132
7.2 Pohjavesimallinnuksen vaiheet.....	130
7.3 Mallinnuksessa tarvittavat lähtötiedot.....	133
7.4 Maastotutkimustiedot.....	134
7.5 Konseptuaalinen malli.....	134
7.6 Pohjaveden virtausmalli.....	136
7.7 Kalibrointi.....	136
7.8 Automaattikalibrointi.....	137
7.9 Ennusteajat.....	137
7.10 Lika-aineen kulkeutumismalli.....	137
7.11 Mallinnuksessa käytettäviä ohjelmia.....	137
7.12 Mallin raportointi.....	139
7.13 Kirjallisuutta.....	140
8. TUTKIMUSSELOSTUKSEN LAATIMINEN (Tuomo Hatva).....	141
8.1 Yleistä.....	143
8.1.1 Tutkimuksen tarkoitus, tekijät ja suoritus aika.....	143
8.1.2 Vedenkäyttötiedot ja maankäyttö.....	143
8.1.3 Tutkimuksen taustatiedot ja ohjelmointi.....	143
8.2 Maastotutkimukset.....	143
8.2.1 Pohjavesialuetta koskevat yleisselvitykset.....	143
8.2.2 Pohjavesialueen geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset.....	143
8.2.3 Pohjavesialueen hydrogeologiset tutkimukset.....	144
8.2.4 Yhteenveto pohjavesialuetta koskevista tutkimuksista.....	144
8.2.5 Pohjaveden hankintaan tähtäävät maastotutkimukset.....	145
8.3 Mallinnustutkimukset.....	145
8.3.1 Pohjavesialueiden geologiset rakennemallit (Jukka-Pekka Palmu, Olli Breilin)....	146
8.3.2 Pohjavesimallit (Sirkku Tuominen).....	146
8.4 Laboratoriotutkimukset.....	146
8.5 Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	146
8.5.1 Hydrogeologiset olosuhteet.....	146
8.5.2 Esiintymän antoisuus.....	146
8.5.3 Veden laatu.....	147

8.5.4 Vedenoton järjestely.....	147
8.5.5 Tekopohjaveden muodostamismahdollisuudet.....	147
8.5.6 Veden käsittelytarve- ja tapa.....	147
8.5.7 Ympäristövaikutukset.....	147
8.5.8 Pohjaveden suojaaminen.....	148
8.5.9 Vedenoton oikeudelliset edellytykset.....	148
8.5.10 Liitteet.....	148
8.6 Kirjallisuutta.....	152
GEOLOGISTA JA HYDROLOGISTA SANASTOA (Esko Mälkki, Jukka-Pekka Palmu, Timo Kinnunen, Sirkku Tuominen, Olli Brelín, Marita Honkasalo)	152
LIITTEET	
Liite 3.2.1 Pohjavesialuekarttojen merkinnät.....	164
Liite 3.3/1 Maastotutkimusten suorituslupa.....	168
Liite 4.1.1/1 Lähdetiedustelu.....	169
Liite 4.1.1/2 Vedentarvetiedustelu.....	170
Liite 4.1.1/3 Kaivokortti.....	171
Liite 8.5.10/1 Esimerkki yleiskartasta.....	172
Liite 8.5.10/3 Putkikortti.....	173
Liite 8.5.10/4 Esimerkkejä putkimittausten tuloksista.....	174
Liite 8.5.10/5 Esimerkki vesinäytteiden tutkimustulosten esittämisestä.....	175
Liite 8.5.10/8 Esimerkki koepumppaustulosten esittämisestä.....	176
Liite 8.5.10/9 Esimerkkejä asemapiirroksista.....	177
Liite 8.5.10/10 Esimerkkejä tutkimuskartoista.....	179
Liite 8.5.10/11 Esimerkkejä hydrogeologisista kartoista.....	181
Liite 8.5.10/12 Pohjavesinäytteenotto.....	183
Liite 8.5.10/13 Pohjaveden laatutietoja.....	184

ESIPUHE

Suomen Vesiyhdistys julkaisi vuonna 1984 opaskirjan ”Pohjavesitutkimukset”. Se on palvellut tarvitsijoita parikymmentä vuotta. Pohjavesikysymyksistä on julkaistu ulkomailla ja Suomessakin viime vuosina runsaastikin materiaalia, johon lähdeluetteloissa on viitattu, mutta ei varsinaisia opaskirjoja käytännön tarpeisiin. Nyt valmistunut ”**Pohjavesitutkimusopas - käytännön ohjeita**” on nimensä mukaisesti tarkoitettu pohjavesitutkimusten kenttämittausten käsi- ja opaskirjaksi. Mukaan on otettu sekä pohjaveden määrää että laatua koskevia tutkimusmenetelmiä. Huomiota on kiinnitetty sopivien menettelytapojen oikeaan valintaan eri tarpeita varten. Pohjavesimallinnus saa merkittävän huomion; samalla muistutetaan kuitenkin todellisten mittausten tarpeellisuudesta. Kenttätutkimusten loppuunsaattamista tarkastellaan laadittavien selosteiden näkökulmasta. Tekstiä havainnollistetaan runsaalla kuvituksella, joka on suureksi osaksi värillistä.

Opas tähtää ennen kaikkea pohjavesiteknikan ja tutkimuksissa tarvittavien toimintamenetelmien kuvaamiseen. Mukaan ei ole sisällytetty sellaista eri tutkimusten soveltamisen kannalta usein välttämätöntä geologista ja hydrogeologista perustietoa, jota on löydettävissä muun muassa tämän oppaan eri kirjoitusten viitejulkaisuista.

Kirjan tekeminen on ollut suuri työ, joka aloitettiin vuonna 2000. Sen tekeminen tuli tarpeelliseksi aikaisemman oppaan loppumisen ja lukuisten uusien asioiden esille tulemisen vuoksi. Työtä on koordinoinut Suomen Vesiyhdistyksen pohjavesijaosto puheenjohtajanaan FM Pirkko Öhberg. Sisällöstä on vastannut työryhmä, jonka projektipäällikkönä on ollut FM Timo Kinnunen. Projektiryhmän muina asiantuntijoina ja oppaan kirjoittajina ovat edellisten lisäksi toimineet Professori, FT Esko Mälkki, FM Juhani Gustafsson, FM Ritva Britschgi, DI Reetta Junnila, DI Unto Tanttu, FT Tuomo Hatva, FM Olli Breilin, FM Jaakko Tikkanen, DI Riitta Molarius, FM Jari Rintala, FT Pekka Vallius, FL Erkki Paatonen, FM Jukka Ikäheimo, FT Pertti Lahermo, DI Marita Honkasalo, FM Pia Vesterbacka, FT Taina Nystén, MMT Kirsti Lahti, DI Jussi Reinikainen, FM Risto Mäkinen, DI Annina Mattsson, DI Tuire Valjus, DI Jukka Lehtimäki, TkT Heikki Vanhala, FM Jussi Arjas, FM Tuulikki Suokko, FT Jukka-Pekka Palmu, FT Joni Mäkinen, FM Nina Kortelainen, MMT Risto Valo, DI Virpi Nikulainen, FM Kimmo Järvinen, TkL Sirkku Tuominen ja FM Aki Artimo. Kirjan toimitussihteerinä on toiminut FM Johanna Issakainen.

Oppaan laadinnan ja julkaisemisen on tehnyt mahdolliseksi työhön saatu taloudellinen tuki. Sitä ovat myöntäneet Maa- ja vesiteknikan tuki ry, Maj ja Tor Nesslingin säätiö, ympäristöministeriö sekä maa- ja metsätalousministeriö. Lisäksi eräät alan merkittävät yrittäjät ovat tukeneet julkaisutyötä.

Suomen Vesiyhdistys ry esittää parhaimmat kiitoksensa Pohjavesitutkimusoppaan laadintaan osallistuneille ja sitä tukeneille ja toivoo samalla, että nyt valmistunut opaskirja osoittautuu hyödylliseksi työvälineeksi pohjavesiin liittyvässä käytännön toiminnassa.

Helsingissä helmikuun 23. päivänä 2005.

Pertti Seuna
Suomen Vesiyhdistyksen puheenjohtaja

1. JOHDANTO

Tämän opaskirjan tarkoituksena on antaa selkeä kuva erityyppisissä pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimuksissa nykyään käytettävistä menetelmistä, menettelytavoista sekä niille asetettavista tavoitteista. Opas on tarkoitettu tueksi ja ohjeeksi tutkimusten suorittajille, suunnittelijoille, vedenhankinnasta vastaaville tahoille sekä viranomaisille – kaikille niille, jotka työskentelevät vedenhankinnan ja pohjaveden suojelun parissa.

Valtaosa Suomessa tehtävistä pohjavesitutkimuksista on edelleen puhtaan talousveden hankintaa palvelevaa tutkimusta. Valitettavasti yhä enemmän tutkimuksia tarvitaan mitalin toisen puolen – pilaantuneiden pohjavesien päästölähteiden – selvittämiseen ja pohjavesien puhdistamiseen. Analytiikan kehittymisen ja analyysivalikoiman laajentumisen myötä päivänvaloon tulee jatkuvasti tapauksia, joissa pilaantuminen on usein peräisin jopa vuosikymmeniä sitten tapahtuneista päästöistä. Pohjavesioppaassa on pyritty ottamaan huomioon myös pilaantuneen pohjaveden tutkimuksissa esiin tulevat erityis- tarpeet.

EU:n puitedirektiivi tulee jatkossa antamaan suuntaviivat pohjaveden suojelulle ja siihen liittyvälle tutkimustarpeelle. Vesipolitiikan puitedirektiivin tarkoituksena on luoda pinta- ja pohjaveden suojelua varten käytäntö, jota noudattamalla edistetään vesivarojen kestävää käyttöä ja estetään pohjavesien pilaantumista sekä vähennetään jo tapahtunutta pohjavesien pilaantumista. Pohjavesiin liittyvä tutkimus on siten mittavan haasteen edessä. Vesipuitedirektiivin toimeenpanon myötä nykyisin vapaaehtoisuuteen perustuva suojelusuunnitelmamenettely tulee todennäköisesti pakolliseksi riskialttiilla pohjavesialueilla. Tavoitteena on saavuttaa pohjavesien hyvä määrällinen ja laadullinen tila vuoden 2015 loppuun mennessä. Oppaassa on suojelusuunnitelmien laatimishojjeiden lisäksi esitetty tämän hetkistä lainsäädäntöä ja viranomaismääräyksiä. Lait ja asetukset kehittyvät nopeasti. Tämän vuoksi kunkin hankkeen kohdalla tulee tarkistaa voimassa oleva lainsäädäntö.

Helposti hyödynnettävät pohjavesialueet ovat nykyisin pääosin jo vedenhankintakäytössä. Uusien alueiden käyttöönotto vaatii seikkaperäisempiä tutkimuksia ja uusia menetelmiä. Eräs tällainen on pohjavesiesiintymän sedimentologisen tutkimuksen ja rakennegeologisen tulokinnan hyödyntäminen. Sedimentologisen ja geomorfologisen aineiston tulkinta yhdessä muun tutkimustiedon kanssa luo luotettavan ja taloudellisen menetelmäkokoisuuden pohjavesivarojen hyödyntämiseen ja suojeluun. Pohjavesimallinnusta voidaan käyttää pohjaveden virtauksen, laadun, lika-aineiden ja lämmön kulkeutumisen kuvaamiseen, vedenoton vaikutusten arviointiin sekä vesilaitosten toiminnan ohjaukseen. Oppaassa on käsitelty seikkaperäisesti uusien menetelmien ja pohjavesimallinnuksen mahdollisuuksia ja myös niiden rajoituksia.

Oppaan loppuun on kerätty pohjavesisanastoa, jota on käytetty oppaan tekstissä, tai joka on muuten keskeistä pohjavesitutkimusten yhteydessä.

2. POHJAVESITUTKIMUKSET SUOMESSA

2.1 Ketkä tutkivat pohjavettä ja miksi?

Pohjavesitutkimuksella on alunperin tarkoitettu lähinnä vedenottopaikan löytämiseen ja antoisuuden määrittämiseen tarvittavaa tutkimusta. Tehtävät ovat kuitenkin monipuolistuneet kehityksen myötä. Nykyisin pohjavettä tutkitaan esiintymien kokonaisvesivarannon, käyttökelpoisuuden, suojaamistarpeiden ja säännöstelymahdollisuuksien selvittämiseksi. Lisäksi tutkitaan pohjaveden laatua, selvitetään likaantumisen syitä ja mahdollisuuksia tekopohjaveden muodostamiseksi. Tässä luvussa pohjavesitutkimuksella tarkoitetaan tällaista laajaa tehtäväryhmää kokonaisuutena.

Suomessa tehtävä pohjavesitutkimus on suurimmaksi osaksi sovellettua, vedenhankintaa palvelevaa tutkimusta. Pohjavesitutkimusten nykyisen kehityksen voidaan katsoa alkaneen 1950-



Kuva 2.1. Valtaosa Suomessa tehdystä pohjavesitutkimuksesta on ollut vedenhankintaa palvelevaa tutkimusta. Juoma- ja talousveden hankinnassa pohjaveden merkitys on suurin. Pohjavedelle on myös muita käyttömuotoja, esimerkiksi lämmitysenergian tuotanto. Tässä kuvassa myllyn voimalähteenä on käytetty lähteestä purkautuvaa vettä. Kuninkaanlähde, Köyliö.
Kuva E. Mälkki.

luvulla, jolloin pääosin pohjavedenhankintaan perustuvan vesihuollon laajamittainen kehitys alkoi. Erilaisia tutkimus- ja suunnittelutehtäviä ovat suorittaneet sekä yksityiset konsulttitoimistot että valtionhallinnon yksiköt, lähinnä nykyiset ympäristökeskukset ja niitä edeltäneet organisaatiot. Tutkimukset painottuivat aluksi yksityissektorin tekemiin kaupallisiin tutkimuksiin, kuten vedenottoa paikkojen etsimiseen ja pohjavesivarjojen inventointeihin. Yksittäisten vedenottoa paikkojen tutkimus on 1970-luvulta lähtien siirtynyt paljolti alueellisille ympäristökeskuksille. Konsulttipalveluiden käyttö on kuitenkin yhä merkittävää erityisesti suurimuotoisissa vedenhankintatutkimuksissa, joissa tehdään paljon yhteistyötä eri osapuolten kesken. Geologian tutkimuskeskuksen edustaman tutkimuksen osuus on viime aikoina kasvanut merkittävästi, ja korkeakoulut ovat tutkimuksissa mukana omilla erityisosaamisalueillaan.

Vedenhankintaan perustuvien tutkimusten lisäksi tehdään paljon myös pohjavesien suojeleluun liittyvää tutkimusta. Pohjavedenottoamaille on laadittu erillisiä suoja-alue suunnitelmia 1950-luvulta lähtien. Pohjavesialueiden kartoitus ja suojelun suuntaviivojen hahmottelu aloitettiin 1970-luvulla pääasiassa nykyisten ympäristökeskusten edeltäjien toimesta. Ensimmäinen valtakunnallinen ns. tärkeiden pohjavesialueiden kartoitus toteutettiin Vesi- ja ympäristöhallinnon toimesta 1978 - 82. Sitä edelsi alustava alueiden luettelointi. Kattavampi pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus toteutettiin 1988 - 1996.

Pohjavesien perustutkimusta tehdään pääasiassa valtionhallinnon yksiköissä. Suomen ympäristökeskus tutkii 53 havaintoasemalla pohjavesien määrän ja laadun kehitystä. Ympäristöhallinto osallistuu muiden organisaatioiden, kuten sosiaali- ja terveysministeriön ja Kansanterveyslaitoksen kanssa pohjavesien terveydel-

lisen laadun selvityksiin. Geologian tutkimuskeskus tekee muun muassa pohjavesien geokeemiallisia kartoituksia, pohjavesialueiden rakennekartoituksia ja seuraa pohjavesien laatua. Kalliopohjavettä ympäristöineen tutkitaan laajasti liittyen erityisesti pohjavesien hyödyntämiseen ja ydinjätteiden loppusijoitukseen. Muita tärkeitä veden laadun tutkimuksen osa-alueita ovat pohjaveden radioaktiivisuuden selvittäminen ja radioaktiivisten vesien käsittelytekniikan kehittäminen. Näistä tutkimuksista vastaa suurelta osin Säteilyturvakeskus.

2.2 Suomen pohjavesiesiintymät

Maankamaran vedellä kyllästyneissä osissa voidaan erottaa vähintään tyydyttävästi vettä johtavia maa- ja kallioperän osia, akvifereja, jotka mahdollistavat veden teknisen käyttöönoton. Akvifereja ympäristöineen sekä muita pohjaveden hyödyntämismahdollisuuksia tarjoavia muodostumia nimitetään pohjavesiesiintymiksi. Niitä voi olla erilaisissa geologisissa muodostumissa. Pohjavesiesiintymän käsitteestä on erotettava käsite pohjavesialue. Pohjavesialueella tarkoitetaan aluetta, johon sisältyy varsinaisen pohjavesiesiintymän lisäksi reuna- tai yhteysalueita, jotka kaikki yhdessä muodostavat suojellisen kokonaisuuden. Pohjavesialueen ulointa rajaa ei aina ole määritetty hydrogeologisilla perusteilla, vaan raja on voitu määritellä selvästi havaittavia maaston kohtia mukaillen helpottamaan mm. valvontatoimia.

Pohjavesialueet eivät ole yhtenäisiä, eivätkä ne ole jakautuneet tasaisesti. Pohjaveden määrä ja laatu vaihtelevat alueittain (kuva 2.2). Runsaita pohjavesivaroja pinta-alayksikköä kohden löytyy muun muassa Etelä-Hämeestä, niukkavetisiä alueita on puolestaan paikoin Etelä-Pohjanmaalla. Suomen pohjavesialueet on luokiteltu vedenhankinnan kannalta kolmeen luokkaan:

- Luokka I: vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet
- Luokka II: vedenhankintaan soveltuvat pohjavesialueet
- Luokka III: muut pohjavesialueet

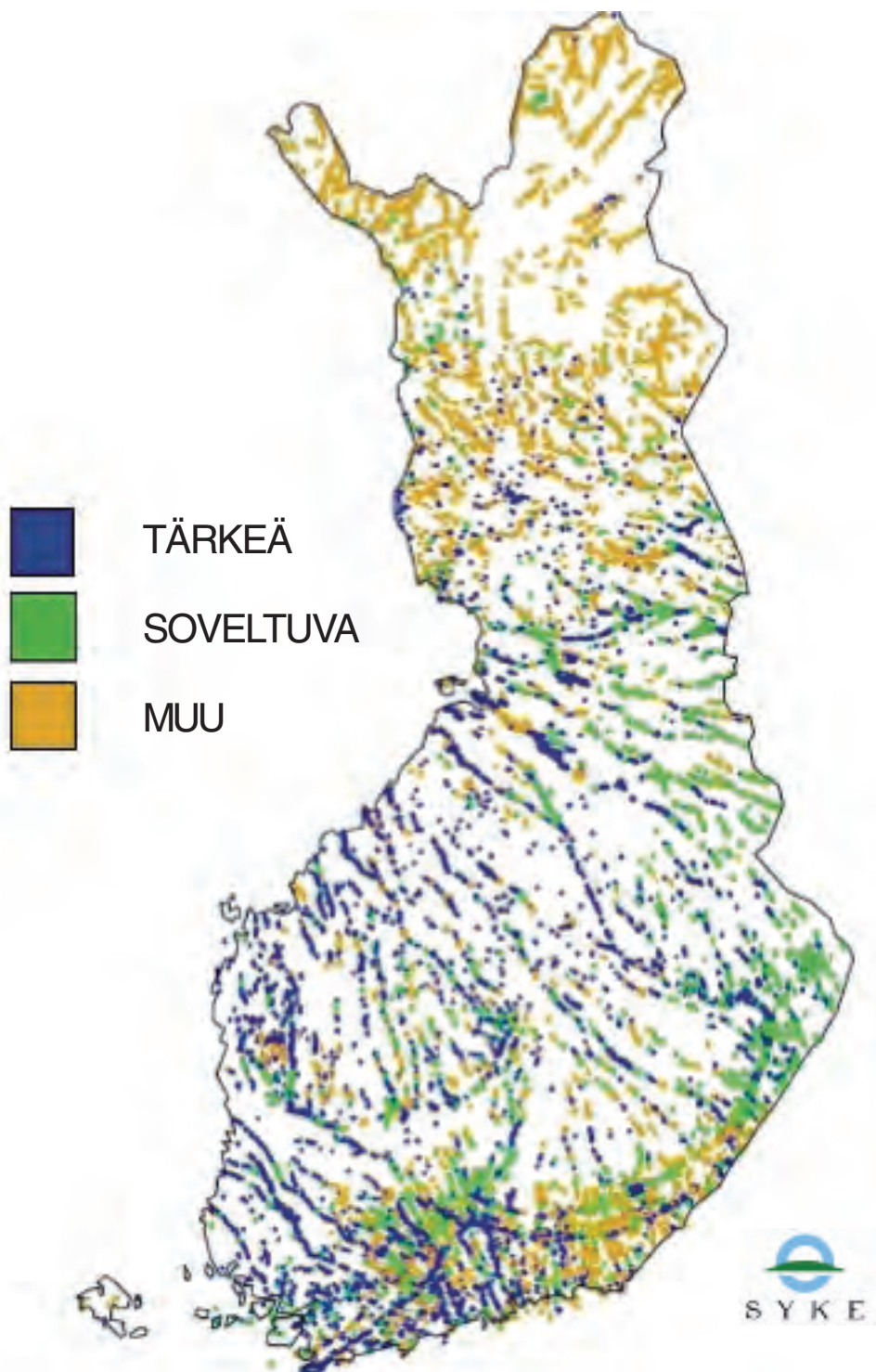
Suomen tärkeimmät pohjavesiesiintymät sijaitsevat lajittuneissa hiekka- ja sorakerrostumissa. Nämä esiintymät kattavat vain vajaat kolme prosenttia maamme pinta-alasta, mutta ne käsittävät runsaasti suuria, antoisuudeltaan jopa yli 10 000 m³/d olevia pohjavesiesiintymiä. Geologisesti nämä esiintymät ovat yleensä harjuja ja lajittuneita reunamuodostumia, jollaisia ovat esimerkiksi Salpausselät.

Kallioperässä esiintyvät ruhjeet ja muut rikoutumavyöhykkeet edustavat maamme yleisintä pohjavesiesiintymäryhmää. Melkein jokaiselta neliökilometrilta voidaan löytää kalliopohjavesiesiintymiä, joiden antoisuus on vähintään 25 m³/vrk, mutta kallioperän vedenantoisuus vaihtelee jyrkästi jo lyhyellä matkalla. Suurin osa kallioporakaivoista tehdään yksityistalouksien vedenhankintaa varten ilman ennakkoivia tutkimuksia. Vaativissa kalliopohjavesitutkimuksissa käytetään geologisia ja geofysikaalisia menetelmiä. Moreenikerrostumissa on myös runsaasti pohjavesiesiintymiä, mutta ne ovat kooltaan harvemmin vedenhankinnan kannalta merkittäviä. Ne palvelevat lähinnä vain yksityistalouksien tai kylien vedensaintia.

2.3 Luonnontilainen pohjavesi tutkimus- ja hoitoympäristönä

Pohjaveden pinta sijaitsee yleensä alle kymmenen metrin syvyydessä maaperässä ja osin kallioperässäkin. Kallioperän ruhjevyöhykkeissä hydrologisessa kierrossa olevan pohjaveden syvyys voi olla satoja metrejä. Maaperässä pohjavesivarastot ja pohjaveden kierto ulottuvat yleensä alle 30 metrin syvyyteen, mutta myös yli sadan metrin syvyyteen ulottuvia vesivarastoja tunnetaan. Olosuhteita voidaan pitää veden hyödyntämisen kannalta edullisina. Hydraulinen johtavuus vaihtelee kuitenkin hyvin herkästi riippuen maa- ja kallioperän rakenteesta, tiiviyydestä, raekoosta ja lajittumisesta. Tämän vuoksi edullisimpien akviferikohteiden paikantaminen ja hydraulisten ulottuvuuksien määritteleminen voi olla hyvinkin hankalaa.

Suomen pohjavesiesiintymille on ominaista suuri alueellinen ja paikallinen laadun vaihtelu. Tyypillistä on, että hyvälaatuisen ”ydinosan”



Kuva 2.2. Suomen luokitellut pohjavesialueet. Kuva Suomen ympäristökeskus/VES.

ohella esiintyy myös muun muassa runsaasti rautaa ja mangaania sisältävää pohjavettä. Pohjavesiesiintymät ympäristöineen ovat alttiita pilaantumiselle tai muille ympäristövaurioille, koska vesivarastot ovat usein lähellä maanpintaa, ja maaperä on läpäisevää. Lisäksi pohjavesiesiintymien lievekerrostumat ulottuvat usein pitkälle varsinaisten akviferien ulkopuolelle. Nämä seikat asettavat omat vaatimuksensa pohjavesien tutkimukselle sekä alueiden suunnittelulle ja hoidolle. Monet maankäyttömuodot aiheuttavat riskejä pohjaveden laadulle, minkä vuoksi pohjaveden suojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Pohjavettä suojellaan muun muassa vesilain ja ympäristönsuojelulain nojalla. Tulevaisuuden tavoitteena on turvata sekä pohjaveden määrä että estää veden laadun heikkeneminen.

2.4 Tulevaisuuden näkymiä ja kehitystarpeita

2.4.1 Lähtökohtia

Valtaosa Suomessa tehdystä pohjavesitutkimuksesta on ollut sovellettua, vedenhankintaa palvelevaa tutkimusta. Se on kehittynyt varsin lyhyessä ajassa nykyiselle toteutus pohjalle. Tutkimukset ovat yleensä tähdänneet kulloinkin esillä olleiden kysymysten ratkaisemiseen ilman kokonaisvaltaista, pidemmälle tähtäävää toimintaa.

Vedenhankintatyötä on leimannut yksinkertaisiin tutkimusolosuhteisiin hakeutuminen, ei välttämättä optimaalisimman vedenottopaikan etsiminen. Tämä on vaikuttanut negatiivisesti saatavan veden määrään ja laatuun. Pohjavedenottopaikkoja on aikaisemmin rakennettu myös suojauksen kannalta epäedullisiin kohtiin. Suljetut vedenottamot, tavoitteisiin ja olosuhteisiin nähden liian pienituottoiset vedenottopaikat sekä myöhemmin ilmennyt odottamaton vedenkäsittelylaitoksen tarve investointineen ovat esimerkkejä töistä, joita on toteutettu yhteiskunnan kannalta epäedullisesti. Sekä sovellettua tutkimusta, että sitä tukevaa perustutkimusta tulisiikin kehittää.

Maanpinnan alainen geologinen tieto on eräs pohjavesitutkimuksen kulmakivistä. Maanalai-

sen ympäristön tunteminen edellyttää jatkuvaa rakennetiedon hankkimista ja rakennetutkimuksen kehittämistä. Maaperän pohjavesialueiden tietojen tai muiden merkittävien pohjavesi-geotutkimustietojen kerääminen ja kokoaminen on luontevaa toteuttaa yhteistyössä vesiviranomaisen, vesilaitosten ja vesihuolto-yhtiöiden sekä Geologian tutkimuskeskuksen kesken. Eri tiedostojen soveltuvin sijainti- ja käsittelypaikka tulee suunnitella ottaen huomioon jo olemassa olevat tiedon tuottamis-, kokoamis- ja käsittelyjärjestelmät. Suomen ympäristökeskuksella on muun muassa pohjaveden laatu- ja pinnankorkeustiedot pohjavesitietojärjestelmässä (PO-VET). Geologian tutkimuskeskuksessa on käytössä laaja geotietojärjestelmä, johon kuuluu muun muassa kairaustietojen ja geologisten rakennetietojen hallintajärjestelmä.

Systemaattisesti rekistereihin kerättävien tietojen lisäksi tulisi kerätä valikoitua, edustavaa tutkimustietoa ns. avaintietorekistereihin. Tärkeä periaate olisi, että rekisterien tiedot olisivat käytettävissä kaikkeen kehitystä eteenpäin vievään tutkimukseen sen toteuttajasta riippumatta.

2.4.2 Tutkimustarpeita

Pohjavesiin liittyvä perustutkimus on painottunut geokemialliseen tutkimukseen sekä luonnontilaisten alueiden pohjaveden seurantaan. Perustutkimusta pitäisi sovelletun tutkimuksen tarpeiden valossa monipuolistaa. Edellä mainitun rakennetutkimuksen osana pitäisi selvittää maaperän vedenjohtavuusvaihteluihin läheisesti liittyviä suurrakenteita ja niiden muodostumisolosuhteita. Esimerkkinä muista tarpeista voidaan mainita pohjavesien käyttöönotto-tutkimusten, hyödyntämisen sekä suojelun kannalta keskeiset ja myös mallintamista palvelevat maaperän hydraulisten ominaisuuksien ja akviferi-alueiden hydraulisesti johtavien ulottuvuuksien selvittelyt eri päämuodostumissa.

Vesien maanalaisen hydrologisen kierron ja siihen vaikuttavien tekijöiden tuntemisen lisääminen olisi tärkeää likaantumisen torjunnassa. Haitallisten aineiden käyttäytyminen pohjavesivyöhykkeessä kaipaa edelleen tarkempaa selvittämistä. Pohjavesien laadullinen vyöhykkei-



Kuva 2.4.2. Luonnontilainen Herakkaanlähde Kiikalassa. Kuva E. Mälkki.

syys on eräs keskeinen tutkimusaihe. Lisäksi käsitys kallioakviferien hydraulisista ominaisuuksista ja ulottuvuuksista kaipaa tarkennusta. Samoin tietämys kallioperän kautta maa-akvifereihin tulevan veden osuudesta on erittäin puutteellista.

Merkitykseltään laajimpia edessä olevia sovellettuja tutkimustehtäviä ovat EU:n vesipoliitiikan puitedirektiivin edellyttämät pohjavesitutkimukset sekä muut toimenpiteet (ks. luku 2.5).

Varsinaisten vedenottoaikkojen tutkimusten ohella pohjavesitutkimuksia pitäisi toteuttaa myös erillisten varavesilähteiden muodostamiseksi. Haja-asutusalueet kärsivät yhä heikosta vedensaannista erityisesti kuivina sääjaksoina. Jos sähkö katkeaa vesilaitokselta, ollaan vedenhankinnan piirissä olevilla alueillakin usein ajo-veden varassa, koska varavoima vielä varsin yleisesti puuttuu. Kelvollisia veden noutopaikkoja on harvassa. Vesilaitosten kaivot eivät tähän pääosaltaan sovellu ahtaiden kaivorakenteiden vuoksi. Muista käytössä olevista kaivoista (yleen-

sä haja-asutuksen pienet maakaivot) vain harvat täyttävät hyvän vedenottoaikan vaatimukset veden antoisuuden ja laadun suhteen. Sijainniltaan edullisten luonnonlähteiden alueelle, itse lähteen ja sen uoman ulkopuolelle voitaisiin tietyin edellytyksin rakentaa ylivuoto-varastokaivoja.

Tietotekniikan kehittyminen on mahdollistanut esiintymien rakenteen ja pohjavesiolosuhteiden mallintamisen. Mallintamisella on jo ja tulee olemaan entistä tärkeämpi merkitys veden liikkeiden tutkimisessa erityisesti tekopohjavesilaitoksissa sekä vedenoton aiheuttamien ympäristövaikutusten selvittelyssä. Merkittävä mallintamisen sovelluskenttä on haitallisten päästöjen leviämisen arviointi haittaennusteiden laatimiseksi ja torjunnan suunnittelemiseksi. Niinikään voidaan selvittää yleisesti pohjaveden virtaussuhteita muodostumissa, joista on saatavissa riittävästi tutkimusaineistoa. Mallintamista harkittaessa on kuitenkin selvitettävä, missä kulkee sen tiedon raja, jonka ”takana” mallintamis-

ta todella tarvitaan. Monissa tapauksissa hydrogeologisella tulkinnalla päästään yksinkertaisemmin ja edullisemmin haluttuun tulokseen.

Myös pohja- ja pintavesien isotooppitutkimukset ovat tulleet käytännön tutkimuskenttään. Varsinkin tekopohjavesilaitostutkimuksissa isotooppisuhteiden perusteella tehtävät veden ikämääritykset auttavat selvittämään vesimassojen vaihtumista ja virtaussuhteita.

Paikan päällä pohjaveden laatua mittaavien laitteiden käyttö on saamassa yhä laajempaa jalansijaa monipuolistuvan mittaustekniikan ansiosta. Tekniikan kehittyminen on lisäksi mahdollistanut tiedon langattoman siirron, minkä avulla havaintopaikan tilannetta voidaan seurata reaaliajassa. Havaintopaikkojen tulee olla edustavia. Tavoitteena pitäisi olla, että havaintopaikkojen laatua parannetaan sekä sijainnin että rakenteiden osalta. Edustavien havaintopaikkojen perustamisen tulee olla lähtökohtana suunniteltaessa ja toteutettaessa pohjavesiesiintymän pitkäjänteistä tutkimusta.

Pohjaveden likaantumistapauksia ilmenee säännöllisesti tärkeillä pohjavesialueilla, vaikka toistaiseksi ainakin vakavimpia, pohjavedenotamoiden sulkemiseen johtavia tapauksia on esiintynyt suhteellisen harvoin. Tulevaisuudessa likaantumistapaukset yleistynevät ainakin tiheimmin asutuilla pohjavesialueilla johtuen kemikaalien käytön lisääntymisestä sekä analysointimenetelmien kehittymisestä. Suomen olosuhteisiin soveltuvien likaantuneiden pohjavesiesiintymien tutkimus- ja puhdistusmenetelmien kehittäminen on merkittävä haaste tulevaisuuden pohjavesitutkimuksille.

2.5 Vesipolitiikan puitedirektiivi

EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi tulee jatkossa antamaan suuntaviivat pohjaveden suojelulle ja siihen liittyville tutkimustarpeille. Vesipolitiikan puitedirektiivin tarkoituksena on luoda pinta- ja pohjaveden suojelua varten puitteet, joiden avulla pyritään edistämään vesivarojen kestävää käyttöä ja estämään pohjavesien pilaantuminen sekä vähentämään jo tapahtunutta pohjavesien pilaantumista. Direktiivi tuli voimaan 22.12.2000.

Vesipolitiikan puitedirektiivin myötä on tarkoitus saada lisätietoja pohjavesialueista laajan ja monipuolisen seurannan avulla. Myös pohjaveden suojelusuunnitelmien tekoa aiotaan lisätä. Suojelusuunnitelmien laadinta tulee tämänhetkisten suunnitelmien mukaan pakolliseksi kaikille ns. riskialueille, joilla on mahdollista, että direktiivin asettamia ympäristötavoitteita ei saavuteta. Riskialueilla on toteutettava myös pohjaveden tehostettua seuranta. Pohjavesialueita koskevia suunnitelmia ja ohjelmia sekä niitä koskevia perustietoja muun muassa hydrogeologisten olosuhteiden ja niihin kohdistuvien riskien osalta on päivitettävä säännöllisesti. Pohjavesialueista voidaan myös muodostaa ryhmiä, jotta seurantaohjelmat voitaisiin laatia järkevän kokoisille aluekokonaisuuksille.

Pohjavesiin liittyvä tutkimus on haasteiden edessä, kun pohjavesiä on käytettävä ja suojeltava EU:n asettamien periaatteiden mukaisesti. Tavoitteena on saavuttaa pohjavesien hyvä määrällinen ja kemiallinen tila 22.12.2015 mennessä. Hyvä tila edellyttää, että myös nousevat pitoisuustrendit käännetään laskeviksi.

2.6 Kirjallisuutta

- Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. 2000. Direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista (L327). Euroopan yhteisöjen virallinen lehti 22.12.2000 (FI).
- Lahermo, P., Ilmasti, R. ja Taka, M. 1990. Suomen geokemiallinen Atlas, osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 66s.
- Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tammi. 304 s.
- Vesiyhdistys r.y. 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki.
- Molarius, R. ja Poussa, L. 2001: Merkittävät pohjaveden pilaantumistapaukset Suomessa 1976 - 2000. Suomen ympäristö 550/01. Pirkanmaan ympäristökeskus.

3. POHJAVESITUTKIMUS- HANKKEEN VALMISTELU

3.1 Hankkeen tavoite ja laajuus

Hankkeen tavoitteiden määrittely on yksi tärkeimmistä lähtökohdista pohjavesitutkimuksia aloitettaessa. Tutkimukset voivat tähdätä yksittäisen kylän kaivon paikan määrittämiseen tai usean kymmenentuhannen asukkaan vedenhankinnan järjestämiseen pohjaveden avulla. Tutkimukset voivat olla esiselvityksiä, joiden tavoitteena on luoda pohjaa yksityiskohtaisemmille tutkimuksille. Ne voivat olla myös yksityiskohtaisia vedenottamopaikan tutkimuksia, joiden avulla selvitetään esiintymästä saatavan veden määrä, laatu ja mahdollinen käsittelytarve. Näiden lisäksi selvitetään, miten vesi saataisiin mahdollisimman tehokkaasti käyttöön sekä arvioidaan vedenoton aiheuttamat ympäristövaikutukset. Tutkittaessa likaantunutta pohjavettä tavoitteiden asettelu on yleensä aivan erilainen kuin vedenhankintaan tähtäävissä tutkimuksissa. Pohjavesitutkimushankkeen tavoitteita ja laajuutta mietittäessä käytäntö on osoittanut, että riittävä perusteellisuus esimerkiksi vedenottamon sijoituspaikan tutkimuksissa tulee yleensä edullisemmaksi kuin tutkimuksissa myöhemmin havaittavien puutteiden täydentäminen lisätutkimuksilla.

Tavoitteiden pohjalta määritellään tutkimusten laajuus, valitaan tutkimusmenetelmät ja arvioidaan hankkeen kustannukset. Tavoitteita asettaessa pitää selvittää muun muassa seuraavat asiat:

- olemassa oleva aiempi tutkimusaineisto
- hankkeen aikataulu
- mitä on mahdollista tehdä itse
- käytetäänkö konsultteja ja kuinka paljon
- hankkeen kustannusarvio

Tässä luvussa esitetty menettelytapa tutkimusten valmistelemiseksi on tarkoitettu lähinnä vesihuollon pohjavesitutkimuksia varten, mutta sitä voidaan soveltuvin osin käyttää myös muihin pohjavesitutkimuksiin.

3.2 Lähtöaineistot

Huolellinen tutustuminen olemassa olevaan aineistoon on tärkeä osa hankkeen valmistelua ja auttaa välttämään päällekkäisiä tutkimuksia. Aineiston pohjalta luodaan alustava kuva tutkittavasta pohjavesialueesta ja sen ominaisuuksista. Hyödyllistä lähdeaineistoa ovat muun muassa alueella aiemmin tehdyt tutkimukset, vanhat peruskartat, erilaiset maa- ja kallioperäkartat, hiekka- ja soravarakartat, pohjavesialuekartat sekä ilmakuvat.

3.2.1 Pohjavesialuekartat ja -kortit sekä pohjavesitietojärjestelmä (POVET)

Vesi- ja ympäristöhallinto on laatinut maamme pohjavesiesiintymistä kartat mittakaavoissa 1:20 000 ja 1:50 000. Kartoissa on esitetty pohjavesialueiden ja niiden varsinaisten muodostumisalueiden rajaukset, suurimmat pohjaveden purkautumispaikat, vedenottamot, pohjavesialueilla sijaitsevien havaintoputkien paikat sekä pohjaveden laatua vaarantavat kohteet (kuva 3.2.1, ks. myös liite 3.2.1). Jokaiseen pohjavesialuekarttaan liittyy pohjavesialuekortti, jossa on tietoja alueen antoisuudesta, vedenottomääristä, geologiasta, riskikohteista, alueella aiemmin tehdyistä pohjavesitutkimuksista sekä aluetta koskevista vedenottoluvista ja suoja-aluepäätöksistä. Tiedot on koottu kuntakohtaisesti pohjavesialuekansioihin, jotka on toimitettu kaikkiin kuntiin.

Pohjavesialuekarttojen ja -korttien tiedot ovat vedenottamotietoja lukuunottamatta myös saatavissa sähköisessä muodossa ympäristöhallinnon kehittämästä pohjavesitietojärjestelmästä (POVET). POVET-järjestelmä kattaa ympäristöhallinnon luokittelemilta pohjavesialueilta (n. 6600 kpl) ja ympäristöhallinnon pohjavesiasemilta (53 kpl) saatavat tiedot. Lisäksi järjestelmään tallennetaan tietoja näiden alueiden ulkopuolella sijaitsevista yksittäisistä kaivoista ja lähteistä. POVET on osa ympäristöhallinnon HERTTA-järjestelmää, johon kootaan ympäristöhallinnon keräämää ja tuottamaa tietoa ympäristöstä. Pohjavesialuekarttoja ja -kortteja sekä POVET-järjestelmän tietoja saa alueellisista ympäristökeskuksista. Vedenottamotietojen hallintaan on kehitteillä oma järjestelmänsä.



Kuva 3.2.1. Pohjavesialuekartta (Nummi-Pusula, Keräkkäre, ei mittakaavassa).

3.2.2 Vanhat kartat ja tutkimukset

Perus- tai maastokartoilta tapahtuva karttatulkinta on lähes aina pohjavesitutkimusten tärkeä lähtökohta. Vanhat perus- tai maastokartat soveltuvat hydrogeologiseen karttatulkintaan parhaiten, sillä uusimmissa painoksissa tai niiden digitaalisissa versioissa eräiden maastoelementtien, kuten korkeuskäyrien ja kalliopaljastumien, kuvaustapaa on muutettu hydrogeologista karttatulkintaa ajatellen epäkäytännöllisemmäksi. Vanhojen tutkimusaineistojen ja karttojen tutkiminen voi lisäksi usein olla ainoa tapa muodostaa kuva pohjavesiesiintymästä ennen ihmisen toiminnan aiheuttamia muutoksia. Vanhojen topografi- tai peruskarttojen korkeuskäyrien avulla pohjavesiesiintymä on mahdollista rajata sellaisena geologisena muodostumana kuin se on ollut luonnontilassaan. Vanhoista kartoista voi löytyä tietoja sellaisista pohjavesiolosuhteista kertovista yksityiskohdista, joita ei enää voida havaita maastossa. Tällaisia ovat esimerkiksi karttaan

merkityt lähteet. Vanhojen karttojen tiedot saatavat olla avainasemassa myös etsittäessä pohjaveden likaantumisen aiheuttajaa.

Pohjavesitutkimushankkeiden suunnittelussa arvokkainta lähtöaineistoa ovat aiemmin tehdyt maaperä- ja pohjavesitutkimukset. Hanketta valmisteltaessa olisikin hyvä käydä arkistot läpi ja selvittää alueella jo tehdyt tutkimukset. Taajama-alueiden läheisyydessä on usein tehty kairauksia ja jopa pohjavesitutkimuksia teiden ja rautateiden rakennushankkeiden, kaavoituksen tai maa-ainesten ottopaikkatutkimusten yhteydessä. Runsaasti eriaisteisia maaperä- ja pohjavesitutkimuksia on tehty pohjavesiensuojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamisprojektissa eli POSKI-projektissa (ks. 3.2.6), jonka tutkimustulokset löytyvät sekä alueellisista ympäristökeskuksista että Suomen ympäristökeskuksesta. Näistä tutkimuksista voi olla paljon hyötyä suunniteltaessa uutta hanketta.

Vanhat tieteelliset tutkimukset muodostavat oman lähtöaineistonsa. Puhtaasti tieteellisistä

geologisista tai geomorfologisista tutkimuksista saattaa olla hyötyä myös pohjavesitutkimuksissa. Yliopistot, korkeakoulut, Suomen ympäristökeskus ja Geologian tutkimuskeskus ylläpitävät tutkimustietokantoja ja tekevät pyydettäessä tietokantahakuja tietyllä alueella tehdyistä tutkimuksista. Käyttökelpoisimpia ovat esiintymien geologiseen rakenteeseen ja pohjavesiolosuhteisiin liittyvät tutkimukset sekä pohjaveden laatuhaitojen (esim. arseeni, fluoridi, radon, myrkylliset raskasmetallit) esiintymisalueisiin liittyvät tutkimukset.

3.2.3 Geologiset kartat

Maastamme on saatavissa maa- ja kallioperäkarttoja useissa eri mittakaavoissa. Näihin karttoihin liittyy usein joko karttaan painettu selitys tai erillinen selityskirja. Maaperäkarttoihin 1:20 000 on koottu tietoja muun muassa kaivos-, tie- ja rautatierakennushankkeiden yhteydessä tehdyistä kairauksista ja seismisistä luotauksista. Kartoista löytyy tietoja myös pintamaalajien ominaisuuksista ja pohjaveden laadusta. Maaperäkartat perustuvat ilmakuvatulkitointeihin ja niitä täydentäviin maastohavaintoihin (kuva 3.2.3). Kallioperäkartat perustuvat pääasiassa maastohavaintoihin.

3.2.4 Hiekka- ja soravarakartat

Hiekka- ja soraesiintymistä laadittuja karttoja on saatavissa Geologian tutkimuskeskuksesta. Kartat on laadittu mittakaavaan 1:20 000. Vaikka kartat sisältävät tietoa lähinnä esiintymien maa-aineksen laadusta pohjavedenpinnan yläpuolella, niistä saattaa olla apua pohjavesitutkimusten suunnittelussa. Hiekka- ja soravarakartat perustuvat pääasiassa maaperäleikkauksista tehtyihin havaintoihin ja joiltakin osin yleispiirteisiin geofysikaalisiin tutkimuksiin, koekuoppahavaintoihin sekä kairaustietoihin.

3.2.5 Ilmakuvat

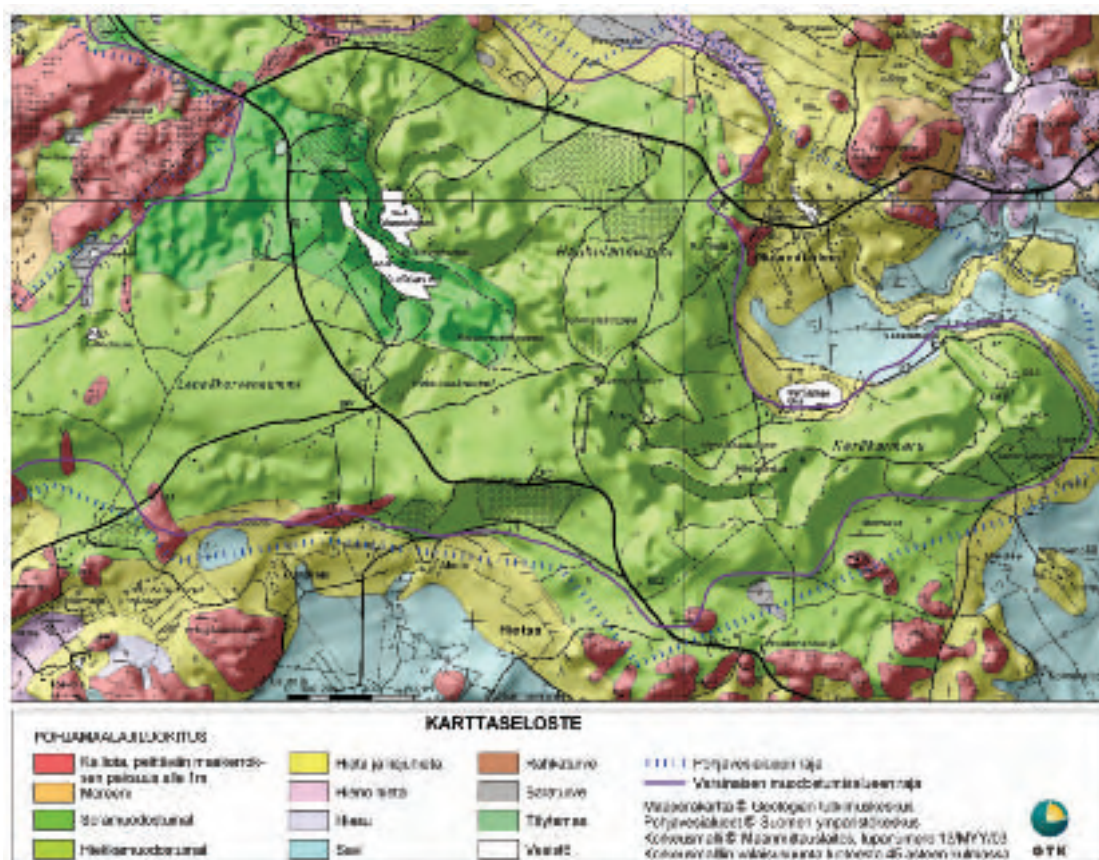
Ilmakuvia on saatavissa koko Suomesta. Taajama-alueilta otettuja ilmakuvia voi löytyä useilta eri vuosilta. Ilmakuvat ovat käyttökelpoista läh-

töaineistoa varsinkin voimakkaasti muuttuneilla alueilla, joilla kartat ovat vanhentuneet. Kuvia voidaan käyttää kartan sijasta paikantamiseen, mutta taitava tulkittaja pystyy ilmakuvien perusteella myös tekemään havaintoja tutkittavan alueen maaperä- ja pohjavesiololoista. Likaantuneen pohjaveden tutkimuksissa vanhoja ilmakuvia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi teollisuusalueen historian selvittämisessä.

3.2.6 Pohjavesiensuojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamisprojekti (POSKI)

Ympäristöministeriön johdolla vuosina 1994 - 2004 toteutettu pohjavesiensuojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamisprojekti eli POSKI -projekti oli laaja-alainen ja monivuotinen yhteistyöhanke, jonka tavoitteena oli turvata laadukkaiden kiviainesten saanti yhdyskuntarakentamiseen (mm. betoniteollisuus, tienrakennus) sekä hyvän ja turvallisen pohjaveden saanti vesilaitoksille yhdyskuntien vesihuoltoon. Lisäksi projektin tuloksena osoitettiin kiviainesten ottoon pitkällä aikavälillä soveltuvat alueet, pohjavedenhankinta-alueet, soranoton jäljiltä kunnostamista vaativat alueet sekä geodiversiteetin kannalta arvokkaat alueet.

Projektissa tuotettiin ja koottiin perustiedot sora- ja kallioalueiden kiviainesten määrästä ja laadusta, alueiden suojelluista arvoista sekä soveltuvuudesta vedenhankintaan tai kiviaineshuoltoon. Lisäksi selvitettiin tutkimusalueelta saatavissa olevan kiviainesta korvaavan materiaalin olemassaolo (esimerkiksi jättekivet, tuhkat ja kuonat). Perustietojen kokoamisen jälkeen alueet arvotettiin vesi- tai kiviaineshuollollisen soveltuvuuden sekä luonnonsuojelu-, maa-aineksen ja vesilain sekä osin rakennus- ja maankäyttölain suojelukriteerien avulla. POSKI-projektin tulokset on julkaistu alueellisina yleissuunnitelmina, joissa on ehdotukset vesihuoltoon varattavista alueista, maa- ja kiviainestenottoon soveltuvista alueista, maa- ja kiviainestenottoon osittain soveltuvista alueista sekä ottotoimintaan soveltumattomista alueista. Selvityksellä ei sinänsä ole suoraan lakiin perustuvia oikeudellisia vaikutuksia. Lopullinen alueiden käytön yhteensovittaminen tehdään maakuntien liittojen maa-



Kuva 3.2.3 Maaperäkartta 1:20 000, korkokuvakartta. Nummi-Pusula, Keräkankare (ei mittakaavassa).

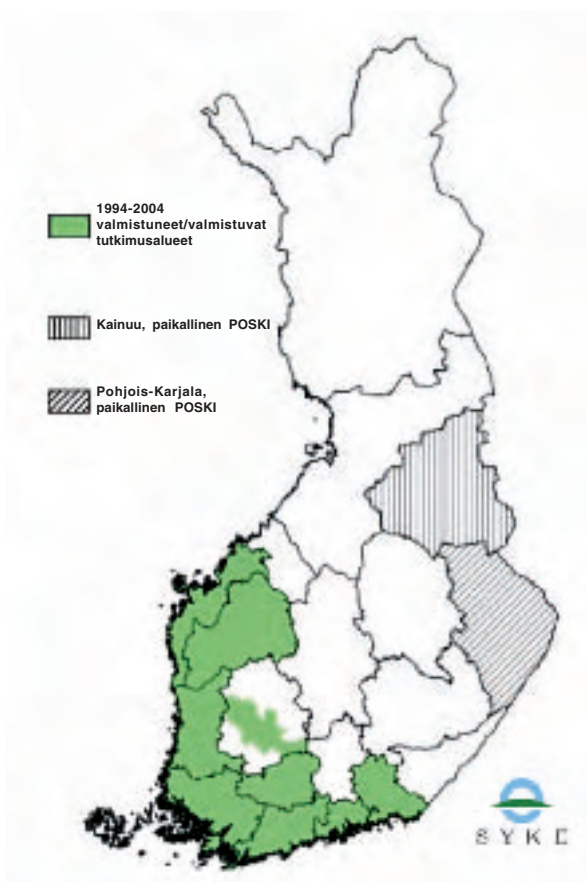
kuntakaavoituksessa ja kuntien yleiskaavoituksessa.

Perustietojen kokoamisvaiheessa POSKI-projektissa on tehty pohjavesialueilla runsaasti eriasteisia maaperä- ja pohjavesitutkimuksia, joista voi olla hyötyä suunniteltaessa pohjavesitutkimushankkeita. Lisäksi projektissa on koottu runsaasti tietoa pohjavesialueille kohdistuvista maankäytön suunnitelmista, maiseman- ja luonnonsuojeluohjelmista, arvokkaista ja harvinaisista luonnonesiintymistä sekä Natura 2000-alueista. Suuri osa aineistosta on numeerisessa muodossa. POSKI-projektin aineisto on valtakunnallisesti koottu Suomen ympäristökeskukseen. Lisäksi aineistoa on saatavissa Geologian tutkimuskeskuksesta sekä niistä maakuntaliitoista ja alueellisista ympäristökeskuksista, joiden alueella projekti on toteutettu (kuva 3.2.6).

3.3 Tutkimusluvut ja tiedottaminen

Pohjavesitutkimuksia joudutaan lähes aina tekemään toisen omistamilla tai hallitsemilla maa-alueilla. Vesilain mukaan pohjavesitutkimuksiin on saatava maanomistajan tai alueen haltijan suostumus. Yleensä luvan saanti ei ole ongelmallista ja tutkimukseen liittyvistä asioista voidaan sopia maanomistajan ja tutkimuksen teettäjän kesken. Maa-alueen omistajan tai haltijan selvittäminen saattaa kuitenkin olla tutkimusluvan saamisen hankalin vaihe.

Jos tutkimusten suorittamisesta ei päästä yhteisymmärrykseen maanomistajan kanssa, kyseisen kunnan ympäristöviranomaisen (tavallisesti ympäristölautakunta) voi myöntää luvan tutkimuksiin. Mikäli tutkimuksia tehdään usean kunnan alueella, on luvat haettava kunkin kun-



Kuva 3.2.6. POSKI -projektin tilanne vuonna 2004. Kuva Suomen ympäristökeskus, R. Britschgi.

nan alueelle erikseen. Jos kyse on koepumppauksesta, josta voi aiheutua pohjaveden tai vesistön muuttamiskiellossa mainittuja seurauksia, kunnan viranomaisella ei ole valtuuksia myöntää lupaa, vaan sitä on haettava ympäristölupavirastosta. Tutkimuslupan lisäksi voidaan hakea lupaa myös muille tutkimuksen kannalta tarpeellisille toimenpiteille, kuten voimansiirtolinjojen tai teiden rakentamiselle. Tutkimuslupien hankkiminen on runsaasti aikaa ja vaivaa vaativa työvaihe, sillä luvan saanti voi edellyttää useita yhteydenottoja sekä neuvotteluja maanomistajan kanssa. Suositeltavaa on, että tutkimusluvat olisivat olemassa jo valittaessa tutkimuksen tekijää.

Tutkimuslupien saantia helpottaa, jos hankkeesta tiedotetaan avoimesti. Tiedottaminen vaatii oman aikansa ja vaivansa, mikä pitää muistaa arvioitaessa hankkeen aikataulua ja työmäärää.

Hyviksi havaittuja tiedonvälityskkeinoja ovat kirjoitukset tai ilmoitukset paikallislehdissä ja -radiossa. Tutkimusalueen asukkaille ja maanomistajille järjestetyt tiedotustilaisuudet ja jaettavat tiedotelehtiset ovat myös tehokkaita. Tiedottaminen on aloitettava mieluiten jo ennen tutkimuslupien hankkimista ja viimeistään ennen maastotutkimusten aloittamista. Tiedottamista tulee jatkaa tutkimusten edetessä, ja niiden päättyessä on erityisen tärkeää kertoa saaduista tuloksista. Tutkimuslupa-asioita käsitellään tarkemmin julkaisussa "Vedenhankintaa koskeva lupa ja sen määräykset 2001". Liitteenä 3.3/1 on esimerkki tutkimuslupien hankinnassa käytetystä lomakkeesta.

3.4 Tehtävänkuvaus

Pohjavesitutkimushankkeesta tulee laatia kirjallinen tehtävänkuvaus varsinkin silloin, kun hanke on päätetty teettää ulkopuolisella taholla. Tehtävänkuvaus kannattaa yleensä tehdä myös tutkimuksista, jotka on ajateltu suoritettaviksi itse, sillä se selkeyttää toteutusta. Tehtävänkuvaus on selostus siitä, mitä tutkimushankkeella halutaan selvittää ja kuinka hanke on suunniteltu toteutettavaksi. Tehtävänkuvauksen tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

- hankkeen tavoitteet, osallistujat, rahoitus
- tutkimusalueet, niiden sijainti ja nykytila
- aiemmat tutkimukset ja muu käytettävissä oleva lähtöaineisto
- tilaajan näkemys pohjavesi- ja tutkimusolosuhteista ja siitä kuinka tutkimukset tulisi suorittaa
- kuvaus hankkeeseen sisältyvistä osatehtävistä
- käytettävät tutkimusmenetelmät
- tutkimuslupatilanne
- mahdolliset rajoitukset tutkimuksille ja häiriintyvät kohteet
- yleiskartta, josta selviää tutkimusalueiden sijainti
- peruskarttaote tai muu vastaava itse tutkimusalueista
- hankkeen aikataulu

Tehtävänkuvaus on yksi tärkeimmistä asiakirjoista pyydetessä tarjouksia tutkimuksista, sillä siinä määritellään tilaajan tutkimukselle asetamat vaatimukset ja laatutaso. Tehtävänkuvauksen laatii yleensä tutkimuksen tilaaja. Tehtävänkuvauksen laadinnassa on suositeltavaa käyttää apuna pohjavesitutkimuksen asiantuntemusta, esimerkiksi pyytämällä apua alueelliselta ympäristökeskukselta tai konsultilta. Tehtävänkuvauksen tulisi olla yksiselitteinen muun muassa tutkimusvaiheiden ja käytettävien tutkimusmenetelmien osalta, jotta tilaaja saisi mahdollisimman vertailukelpoisia tarjouksia.

Urakoitsija tai konsultti puolestaan esittää tehtävänkuvauksen perusteella omat näkemyksensä tutkimusolosuhteista, tutkimusten suorittamisesta, käytettävistä tutkimusmenetelmistä ja mahdollisuuksistaan tehdä pyydetty tutkimukset. Lisäksi urakoitsija tai konsultti laatii aikataulun ja arvioi työhön kuluvan ajan, tarvittavan henkilöstömäärän sekä kustannukset.

3.5 Hankkeen suorittajan valinta

Huomattava osa pohjavesitutkimuksista on tehty ja tullessaan tulevaisuudessakin tekemään yksityisten konsulttitoimistojen toimesta. Monet valtion virastot ja laitokset ovat myös alkaneet tarjota pohjavesitutkimuksiin soveltuvia palveluita maksullisina palveluina. Tutkimuksen tarvitsija voi valita tekijän monella perusteella. Tavalisimpia valintaperusteita ovat aikaisemmasta toiminnasta saadut myönteiset kokemukset, muilta saadut suositukset sekä tarjouskilpailu.

Kun työn teettäjänä on valtion, kunnan tai kuntayhtymän viranomainen, evankelis-luterilainen kirkko, ortodoksinen kirkkokunta ja näiden seurakunnat tai yksikkö, jonka toimialaan kuuluu vesihuolto, suorittajan valinnassa on noudatettava lakia julkisista hankinnoista (1505/1992 ja muutokset). Lain mukaan tutkimuspalveluiden hankinnassa on hyödynnettävä olemassa olevia kilpailumahdollisuuksia. Tutkimuspalveluiden hankinnan saa tehdä ilman tarjouskilpailua vain erityisistä syistä. Hankinta on tehtävä mahdollisimman edullisesti, ja tarjouksista tulee hyväksyä kokonaistaloudellisesti edullisin tai hinnaltaan halvin tarjouspyynnössä

edellytetyt vaatimukset täyttävä tarjous. Tarjouksen laatutekijät sisältyvät kokonaisedullisuuden käsitteeseen, mitä ei aina muisteta. Halvin tarjous on harvoin kokonaistaloudellisesti edullisin. Lainsäädännön asettamien ehtojen vuoksi onnistuneen tarjouskilpailun järjestäminen ja suorittajan valinta ovat vaativia tehtäviä.

Tutkimuksen tilaajan kannalta tarjouskilpailun keskeisin asiakirja on tarjouspyyntö. Tarjouskilpailun yhtenä tavoitteena on saada tutkimuskokonaisuudesta mahdollisimman yhdenmukaiset tarjoukset. Tämä on tärkeää, jotta julkisia hankintoja koskevassa laissa edellytetty tarjoajien tasapuolinen ja puolueeton kohtelu olisi mahdollista, ja tarjouksen kokonaisedullisuus tai hinnaltaan halvin tarjous olisi mahdollisimman yksiselitteisesti arvioitavissa.

Tarjouspyynnön tulisi sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- työn tilaaja
- tutkimuksen tarkoitus ja tavoite
- tutkimusalue
- aikataulu
- tehtävänkuvaus (ks. luku 3.4)
- työsuorituksille asetettavat vaatimukset
- tutkimusluvat ja tutkimusrajoitukset
- tutkimuksen suorittajan ja toimeksiantajan vastuut
- tutkimuksen suorittajan valintaperusteet
- tarjoushinnan määrittelytapa
- toimeksiantajan mahdollisuudet avustaa tutkimuksessa
- tarjouksen jättöaika
- tarjouksen vertailuperusteet
- yhteyshenkilöt

Tarjoajan pitää pyrkiä vastaamaan mahdollisimman täydellisesti tarjouspyynnössä esitettyihin asioihin, jotta tarjousten tasapuolinen vertailu olisi mahdollista. Eniten lisätyötä tarjousten käsittelijöille aiheutuu lisätiedusteluista ja vertailulaskelmista, joiden avulla eritasoiset tarjoukset pyritään saamaan yhteismitallisiksi.

Julkisia hankintoja koskevan lain muutoksessa (1247/1997) on tarkennettu säännöksiä ehdokkaan ja tarjoajan hylkäysperusteista. Näiden mukaan tarjouskilpailusta voidaan sulkea pois

sellainen ehdokas tai tarjoaja, jolla ei voida katsoa olevan teknisiä, taloudellisia tai muita edellytyksiä hankkeen toteuttamiseksi, tai joka on laiminlyönyt verojen tai lakisääteisten sosiaalimaksujen suorittamisen. Tilaajan kannalta olisi turvallisinta, että hylkäyspäätös perusteluineen tehdään, mikäli riittävä tieto on olemassa jo ennen kuin tarjoukset avataan, ja hylätty tarjous jätetään avaamatta. Laissa on säädökset mahdollisesti tarvittavista oikeusturvakeinoista, kuten muutoksenhausta, vahingonkorvauksista, vai tiolovelvollisuudesta, tietojenannosta (633/1999) ja asian saattamisesta markkinaoikeuden käsiteltäväksi.

Useimmilla julkisilla työn teettäjillä on nykyisin omat hankintaohjeensa, joissa on annettu yksityiskohtaiset ohjeet tarjouskilpailun järjestämisestä, tarjousten käsittelystä ja arvioinnista sekä suorittajan valinnasta.

3.6 Kirjallisuutta

Vesilaki n:o 264/1961.

Laki vesilain muuttamisesta n:o 88/2000.

Ympäristönsuojelulaki n:o 86/2000.

Laki julkisista hankinnoista n:o 1505/1992.

Koskinen, S. & Waris, R. 2001. Vedenhankintaa koskeva lupa ja sen määräykset. Ympäristöopas 80. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.

Esimerkkejä POSKI-raporteista

Britschgi, R., Ahonen, I., Lammila, J., Lähtenmäki, P., Sahala, L. ja Vuokko, J. 2003. Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen Satakunnan loppuraportti. Satakuntaliiton julkaisusarja A: suunnittelu- ja tutkimusjulkaisut nro 267. Pori 2003. 91 s. ISBN 952-5295-47-8, ISSN 0789-6824.

Gustafsson, J. (toim.), Innamaa, M., Vänskä, M., Fagerlund, P., Heino, M., Haume, E., Jokinen, P., Kasari, T., Koski, H., Kurkinen, I., Lyytikäinen, A., Sipilä, P. 2001. Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen - Pirkanmaan loppuraportti. Yliopistopaino, Tampere 2001. Alueelliset ympäristöjulkaisut nro 228, Pirkanmaan ympäristökeskus. 124 s. ISBN 952-11-0936-X, ISSN 1238-8610.

Britschgi, R., Ahonen, I., Lyytikäinen, A., Lähtenmäki, P., Nurmi, H. ja Salonen, V. 2001. Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen - loppuraportti Salon seudulta. Varsinais-Suomen liiton julkaisuja. 80 s. ISBN 951-9054-44-8.

4. VEDENHANKINTA-, POHJAVEDEN SUOJELU- JA LIKAANTUMISTUTKIMUKSET

4.1 Vesihuoltoa varten tehtävät tutkimukset

Vesihuoltoon liittyviä pohjavesitutkimuksia on monenlaisia riippuen ongelmanasettelusta tai tarpeesta. Tavoitteena voi olla selvittää pienellä budjetilla haja-asutusalueilla sijaitsevan kylän pohjaveden laatua ja vedentarvetta sekä mahdollisuuksia toteuttaa vesihuolto pienimuotoisena yhteisvedenhankintana. Tällöin tarvittavat tiedot, tai ainakin lähtötiedot yksityiskohtaisemmille selvityksille saadaan lähde- ja kaivotiedustelun avulla (4.1.1). Tavallisimmin tutkimusten tavoitteena on määrittää pohjavedenottoaika, eli paikka johon voidaan rakentaa turvallinen, luotettava ja helppohoitoinen vedenotto (4.1.2 - 4.1.3). Tavoitteeseen pääseminen voi tällöin edellyttää usein monipuolista pohjavesi- ja ympäristöolosuhteiden selvittelyä. Tutkimusten ongelman asettelu voi myös olla yksityiskohtainen: minkä tyyppinen, kokoinen ja syvyinen kaivo hyväksi todettuun pohjavesiesiintymään on rakennettava, jotta esiintymän pohjavesi saataisiin otettua mahdollisimman tehokkaasti käyttöön hyvälaatuisena (4.1.4).

Pohjavesiesiintymät ovat Suomessa, varsinkin isojen kaupunkien tarpeisiin, antoisuudeltaan usein pieniä. Tämän vuoksi pohjavesiesiintymän veden määrää on monin paikoin lisätty muodostamalla tekopohjavettä. Tällöin imeytetään lähistöllä sijaitsevasta vesistöstä, tai kuten esimerkiksi pääkaupunkiseudulla Päijänne-tunnelista, pohjavesiesiintymään suuria määriä pintavettä. Maakerrosten läpi imeytyessään vesi muuttuu laadultaan lähes pohjavettä vastaavaksi, ja se voidaan ottaa käyttöön esiintymään rakennetuista kaivoista. Tekopohjavesitutkimuksilla selvitetään mahdollisuudet tekopohjaveden muodostamiseen (4.1.5).

Suomessa on alueita, joilta käyttökelpoiset, hyvälaatuisia pohjavettä sisältävät maaperämuodostumat puuttuvat lähes täysin, tai ne on käy-

tetty muihin tarkoituksiin. Tällaisilla alueilla kal-liopohjaveden hyödyntäminen voi olla ratkai-su vesihuollon järjestämiseen varsinkin silloin, jos vedentarve ei ole kovin suuri (4.1.6).

Vesihuoltoon liittyvien pohjavesitutkimusten tulosten avulla hankkeen toteuttajat saavat ku-van esiintymän käyttökelpoisuudesta, vedenot-tojärjestelmien suunnittelijat saavat tarvitseman-sa tiedot pohjavesiolosuhteista ja ympäristölu-paviranomaiset tiedot esiintymän antoisuudes-ta ja toiminnan ympäristövaikutuksista. Lisäksi pohjaveden käytön valvojat saavat käsityksen esiintymän luonnonmukaisista olosuhteista, joi-hin toiminnan aikana tapahtuvia muutoksia voi verrata.

4.1.1 Kaivo- ja lähdekartoitus

Kaivo- ja lähdekartoituksilla saadaan usein yk-sinkertaisesti ja edullisesti tietoa alueen pohja-vesiolosuhteista (pohjavedenpinnan taso, pur-kautuvat vesimäärät, pohjaveden virtaussuun-nat) sekä veden laadusta ja riittävydestä.

Lähdekartoitus on parasta aloittaa peruskart-tatarkastelulla ja tutkimusalueen asukkailla suun-natulla lähdetiedustelulla. Lähdetiedustelussa käytettävästä lomakkeesta on esimerkki liittees-sä 4.1.1/1. Mikäli selvitykset tehdään haja-asu-tusalueiden vedenlaadun ja -tarpeen arvioimi-seksi, on samassa yhteydessä järkevää tehdä myös vedentarvetiedustelu, jossa voi käyttää apuna liitteen 4.1.1/2 lomaketta. Lähde- ja vedentarve-tiedusteluissa riittävän kattavan tuloksen saa-minen edellyttää huolellista tiedottamista asia-sta esimerkiksi paikallislehdissä ja -radioissa sekä kuntien ja kylätoimikuntien ilmoitustauluilla. Lähde- ja vedentarvetiedustelu voidaan suorit-taa postitse tai puhelinhaastattelulla, mutta par-haat tulokset saadaan tekemällä kyselyt paikan päällä.

Karttatarkastelun ja tiedustelun tulokset tar-kistetaan maastokäynneillä, joiden yhteydessä määritetään lähteiden tarkat sijainnit. Kartoituk-sen tavoitteesta riippuen lähteistä virtaavat vesi-määrät joko arvioidaan tai mitataan kannettavalla mittapadolla, siivikolla tai astiamittauksena. Edustavimmista lähteistä otetaan tarvittaessa ve-sinäytteet.

Kaivokartoitus on helppo tehdä. Tutkimus-alueella sijaitsevien kaivojen paikat selvitetään ja merkitään kartalle, tai kaivot paikannetaan sa-telliittipaikantimella. Kaivojen syvyydet, veden-pinnan korkeudet sekä pumppujen imutasojen korkeudet mitataan. Lisäksi arvioidaan kaivojen tekninen kunto ja selvitetään kaivon ympäris-tössä sijaitsevat mahdolliset pohjavettä likaavat kohteet. Kaivojen omistajia haastatellaan veden riittävytydestä ja laadusta. Kun tutkimusalueen kaivot on kartoitettu, niistä valitaan otanta vesi-näytteiden ottoa varten. Tiedot tallennetaan kai-vokorteille, joista on esimerkki liitteessä 4.1.1/3.

Mikäli kaivo- ja lähdekartoitus tehdään poh-javesialueen esitutkimuksiin liittyen, on syytä vaaita kaivojen, lähteiden ja pohjavesilammikoi-den vesipinnat sekä mahdollisuuksien mukaan lähteiden purkautumistasot ja mittapatojen kor-keudet. Kaivojen vesipinnan korkeutta vaaitta-essa tulee huomioida mittauksen aikainen tai sitä edeltävä vedenkäyttö. Mittaus tulisi tehdä sil-loin, kun vesipinta on käytön jälkeen tasaantu-nut. Vaaitustiedot on syytä sitoa valtakunnalli-seen korkeusjärjestelmään, mikäli niitä on tar-koitus esittää esimerkiksi hakemusasiakirjoissa tai paikkatietoaineistoissa.

4.1.2 Pohjavedenottoaikan tutkimus

Vesihuoltoon liittyvien pohjavesitutkimusten ta-voitteena on tavallisimmin määrittää pohjavesi-esiintymästä paikka, johon voidaan rakentaa pohjavedenottoamo. Tutkimuksilla hankitaan tie-toja saatavissa olevasta pohjaveden määrästä ja laadusta, pohjavesiesiintymän ulottuvuuksista sekä pohjaveden virtausolosuhteista. Tutkimus-tuloksista voidaan arvioida vedenoton ympäris-tövaikutuksia ja haittoja sekä suunnitella toimen-piteitä haittojen poistamiseksi tai lieventämisek-si. Useimmiten pohjavedenottoaikan tutki-muksilla tai niitä hieman täydentämällä saadaan tiedot myös siitä, millainen kaivoratkaisu sovel-tuu parhaiten esiintymän hyödyntämiseen. Poh-javedenottoaikkujen ja pohjavesiesiintymien antoisuuden selvittäminen käsittää yleensä seu-raavia päävaiheita:

- perehtyminen aikaisempaan tutkimus- ja kartta-aineistoon (luku 3.2.2)



Kuva 4.1.1. Kaivokartoitusta Siuntiossa. Kaivokartoituksen tarkoituksena on määrittellä kaivon tekninen kunto sekä selvittää veden riittävyys ja laatu haastattelemalla kaivon omistajaa. Erityisesti koepumppauksen yhteydessä tehtävässä kaivokartoituksessa on tärkeää selvittää tutkimusalueella sijaitsevista kaivoista syvyys, vedenpinnan korkeus ja pumpun imuaukon korkeus ennen koepumppauksen aloittamista. Näin voidaan varautua koepumppauksen mahdollisesti aiheuttamiin muutoksiin. Kuva T. Kinnunen.

- maastotarkastelut (luku 5.2.2)
- kaivoselvitykset (luku 4.1.1)
- purkautuvien vesimäärien ja virtaamien mittaukset (luku 5.2.3)
- geofysikaaliset tutkimukset (luku 5.2.4)
- kairaukset (luku 5.2.5)
- havaintoputkien asennus, ominaisintoisuuspumppaukset tai putkimittaukset (luvut 5.2.5 - 5.2.8)
- vesinäytteiden otto (luku 6.3)
- koepumppauspaikan tai koekaivon paikan määrittely ja rakentaminen (luku 4.1.2)
- koepumppaus (luku 4.1.3)
- kaivon paikan tutkimus (luku 4.1.4)
- pohjavesimallinnus (luku 7)

Tutkimusten edetessä kussakin vaiheessa tehdään tulosten avulla hydrogeologista tulkintaa, jonka perusteella päätetään seuraavista työvaiheista, tutkimusmenetelmistä ja tutkimusten laajuudesta. Tutkimusmenetelmien valinta ja painotukset riippuvat tavoitteista ja olosuhteista. Esimerkiksi pohjavesimallinnus on usein perusteltua laajoissa ja monivaiheisissa tutkimuksissa tai olosuhteissa, joissa tutkimuksista oletetaan aiheutuvan peruuttamattomia muutoksia, esimerkiksi vakavaa pohjaveden likaantumista.

Edellä esitetyn menettelyn kaikki päävaiheet yleensä toteutetaan vain kaikkein laajimmissa, monimutkaisimmissa tai tutkimusolosuhteiltaan vaikeissa tutkimuksissa. Yksi ratkaisevimmista



Kuva 4.1.2. Havaintoputkien asennusta kevyellä porakonekairauskalustolla. Kuva T. Kinnunen.

tutkimusmenetelmien valintaan ja myös tutkimuskustannuksiin vaikuttavista tekijöistä on pohjavedenpinnan syvyys sellaisissa esiintymän kohdissa, jotka muiden selvitysten perusteella saattaisivat olla soveliaita vedenottoaikoja. Kun pohjavesi on alle 6 m:n syvyydellä maanpinnasta, voidaan tutkimuksissa käyttää tavallisesti keskiraskasta tai jopa kevyttä kairauskalustoa. Tällöin noudatetaan seuraavaa tutkimusmenettelyä:

- perehtyminen aikaisempaan tutkimus- ja kartta-aineistoon
- maastotarkastelut
- purkautuvien vesimäärien ja virtaamien mittaukset
- kairaukset, ominaisantoisuuspumpaukset, havaintoputkiasennukset
- koepumppauspaikan valinta tulosten perusteella
- koepumppausvalmistelut ja havainto-ohjelman laatiminen
- koepumppaus käyttämällä imusarjaa, johon kytketään keskipakopumppu
- tutkimusten raportointi

Edellä selostetusta tutkimusmenettelystä käytetään myös nimityksiä "perinteinen tutkimusmenetelmä" tai "matalatutkimus". Hydrogeologinen tulkinta eri tutkimusvaiheissa on myös siinä avainasemassa päätettäessä seuraavista tutkimusvaiheista ja -menetelmistä. Kun pohjavesi on yli 6 m maanpinnasta, eroaa tutkimusmenetely edellä kuvatusta menettelyssä lähinnä seuraavasti:

- Alkuvaiheissa maakerrosten paksuuden, sijainnin, jatkuvuuden ja laadun arvioinnissa sekä pohjaveden tason määrittämisessä käytetään geofysikaalisia tutkimuksia (painovoimamittaukset, maatutkaluotaukset ja seismiset luotaukset), joiden perusteella määritetään alustavasti otollisimmat kairauspisteet, maanäytteiden ottokohdat ja havaintoputkien paikat.

- Kairaukset ja havaintoputkiasennukset tehdään raskaalla kairauskalustolla ja kairausten yhteydessä otetaan lupaavimmista pisteistä maanäytesarjat.
- Ominaisantoisuuspumppauksen ja niiden yhteydessä saatavien vesinäytteiden sijasta havaintoputkista tehdään veden laatua ja hydraulisia ominaisuuksia selvittäviä mittauksia.
- Geofysikaalisten tutkimusten, kairausten, maanäytteiden ja putkimittausten tulosten perusteella päätetään koepumppauspaikka, johon rakennetaan koekaivo (tavallisesti siiviläputkikaivo), josta koepumppaus tehdään (ks. luku 4.1.3).

Syvän pohjavedenpinnan olosuhteissa toteuttavasta tutkimusmenettelystä käytetään usein myös nimitystä ”syvä tutkimus”. Edellä selostettuja pohjavedenottoaikojen tutkimusmenetelyjä voidaan soveltaa myös muissa pohjavesitutkimuksissa, esimerkiksi likaantumistutkimuksissa.

4.1.3 Pitkäaikainen koepumppaus

Koepumppaus ratkaisee pohjavesiesiintymän käyttökelpoisuuden. Koepumppauksen tavoitteena on saada tietoja hyödynnettävissä olevan pohjaveden määrästä ja laadusta sekä mahdollisista laatumuutoksista, kun vettä otetaan suurista määriä. Koepumppauksen avulla voidaan määrittää pohjavesiesiintymän hydrauliset parametrit. Lisäksi saadaan tärkeitä tietoja pohjavesiesiintymän virtausoloista, kalliokynnyksistä ja heikosti vettäjohtavista osista. Koepumppauksen avulla selvitetään vedenoton aiheuttama pohjaveden pinnan alenema ja lähdevirtaamien pieneminen sekä siitä mahdollisesti aiheutuvat haitat.

Koepumppaustuottoa määritettäessä otetaan huomioon tarvittavan veden määrä sekä tavoiteltava veden laatu. Mikäli vedentarve on muodostuman antoisuutta selvästi pienempi, ei ole syytä lähteä ylisuuriin koepumppaustuottoihin. Ylisuurilla pumppauksilla voidaan saada aikaan vedenlaadun pitkäaikainenkin huonontuminen esim. reunaosien hapettomien vesien liikkeelle

lähtiessä. Usein parempi lopputulos saavutetaan pitkäaikaisella tavoitetuotolla tai sitä hieman suuremmalla tuotolla pumpattaessa kuin ylisuurilla lyhytaikaisella pumppauksella. Näin toimittaessa saadaan luotettavimmat lähtötiedot myös ympäristövaikutusten arvioinnille.

Koepumppauksen aikana tarkkaillaan jäljempänä esitetävän havainto-ohjelman mukaisesti pumppauksen aiheuttamia pohjavedenpinnan ja lähdevirtaamien muutoksia eri havaintopisteissä tutkimusalueella. Lisäksi tarkkaillaan pumppauksen vaikutusta pohjaveden laatuun ja pohjaveden pinnan palautumista pumppauksen päätyttyä. Pumppauksen aikana havaintoputkista voidaan mitata pohjaveden virtausnopeuksia, happipitoisuuden muutoksia ja sähköjohtavuutta.

Koepumppauspaikka määritetään kairausten, maanäytteiden ja ominaisantoisuuspumppauksen perusteella (ks. luku 5.2). Maakerrosten vedenantoisuutta ja eräitä veden laatuominaisuuksia voidaan myös tutkia putkimittausten avulla erityisesti silloin, jos pohjavedenpinta on syvässä (yli 6 metrin syvyydessä). Koepumppauspaikan on täytettävä myös sille asetetut kriteerit, joita ovat esimerkiksi ympäristön puhtaus ja suotuisa luontoympäristö. Pumppauspaikkaa ei pidä sijoittaa liian lähelle suota, vilkasliikenteistä tietä tai muuta kohdetta, joka voi vaarantaa pohjaveden laadun.

Koepumppaus häiritsee pohjavesiesiintymän luonnollisia olosuhteita. Huonosti suunnitellulla ja toteutetulla pumppauksella voidaan aiheuttaa merkittäviä vahinkoja alueen luonnolle tai asutukselle. Sen vuoksi pumppauksen esivalmistelut on tehtävä erittäin huolellisesti. Tärkeitä koepumppausvalmisteluja ovat:

- tutkimusalueella ja sen lähiympäristössä sijaitsevien vedenottamoiden ja kaivojen kortistointi, vedenpintojen mittaus ja vaaitus
- tutkimusalueella mahdollisesti sijaitsevien arvokkaiden luonnonesiintymien inventointi ja luettelointi sekä niihin kohdistuvien haittavaikutusten arviointi
- tutkimusalueella sijaitsevien saastuneiden maa-alueiden kartoittaminen sekä muiden sellaisten kohteiden selvittäminen, joista



Kuva 4.1.3a. Imusarjalla tehty koepumppaus. Etualalla imuputket (4 kpl), oikealla sähkökäyttöinen itseimevä pumppu, jonka sähköliittymä on oikeassa yläkulmassa. Pumpusta vasemmalle lähtee poistoputki. Poistoputken ja pumpun välissä on näytteenottohana. Kuva T. Kinnunen.

voi kulkeutua haitallisia aineita pohjaveteen pumppauksen seurauksena

- pumppausveden purkupaikan valinta ja veden poistolinjaston suunnittelu
- koepumppauksessa tarvittavan sähköenergian saannin järjestäminen
- korvausvesijärjestelyiden suunnittelemisen sen varalle, että pohjavedenpinta laskee esiintymässä koepumppauksen seurauksena niin, että alueen talousvesikaivojen antoisuudet ratkaisevasti huononevat.

Paras ajankohta koepumppaukselle on pitkä sateeton kausi, usein keskikesä. Hyviä tuloksia saadaan myös sydäntalvella tehdyillä koepumppauksilla, mutta talvella pumppausten toteutus on hankalampaa kuin kesällä. Syksyllä pitkät sadejaksot vaikeuttavat koepumppausten tulosten tulkintaa. Keväällä tulkintaa vaikeuttaa lumen ja roudan sulamisen aiheuttama valuma.

Koepumppauksessa käytettävät pumpput ovat yleensä sähkökäyttöisiä. Suositeltavin ratkaisu sähköenergian saamiseksi koepumppauspaikalle on tilata sähköyhtiöltä tilapäinen sähköliittymä. Sähkön johtamiskulut ja energiamaksut pitää ottaa huomioon arvioitaessa kustannuksia. Mikäli pumppauksen valvonta tehdään kaukovalvontana, on tarpeen järjestää koepumppauspaikalle puhelin- tai datayhteys. Ellei sähköä voida johtaa paikalle, se voidaan tuottaa myös dieselaggregaatilla tai vaihtoehtoisesti käyttämällä dieselmoottorikäyttöistä tai maataloustraktorilla pyöritettävää pumppua (kuva 4.1.3b). Nämä vaihdot lisäävät valvonta- ja huoltotarvetta, sillä esimerkiksi aggregaatti käyttää useita satoja litroja polttoöljyä vuorokaudessa. Pitkäaikaisessa koepumppauksessa aggregaattiin pitää vaihtaa öljyt ja suodattimet säännöllisin väliajoin, ja tällöin pumppaus joudutaan tavallisesti keskeyttämään huollon ajaksi.



Kuva 4.1.3b. Uppopumpulla siiviläputkikaivosta tehtävän koepumppauksen käynnistys. Laitteiden tarvitsema sähköenergia tuotetaan diesel-aggregaatilla. Kuva T. Kinnunen.

Ennen koepumppauksen aloittamista tulee laatia havainto-ohjelma, jossa rekisteröidään seuraavat asiat:

- pumppauksen aloitusajankohta
- pumpatut vesimäärät muutoksineen ja mittausapoineen (manuaalinen, astiamittaus, virtaamamittari)
- pumppausvesien johtaminen
- pohjavedenpinnan korkeus koepumppauspaikalla, esiintymään asennetuissa havaintoputkissa ja alueen talousvesikaivoissa mittaustiheyksineen ja mittausapoineen (manuaalinen, automaattimittari)
- lähteiden, purojen ja jokien virtaamat
- vedenpinnan korkeudet alueella sijaitsevilla pintavesillä (järvet ja lammet)
- sademäärä
- näytteenotto- ja analyysiohjelma
- selkeä tehtävänjako: kuka vastaa mittauksista, kuka ottaa näytteet, missä

analysoidaan, miten saatuja mittaus- ym. tuloksia toimitetaan eri osapuolten välillä

- esitys siitä, miten ja kuka voi tehdä päätökset ohjelman muutoksista kokeen aikana (esim. pumppausmäärän nostaminen tai laskeminen, mittaus- tai näytteenotto-ohjelman muuttaminen)

Havainnointi koepumppausalueella tulisi aloittaa 2 - 4 kuukautta ennen pumppausta. Havainto-ohjelmaan tulee sisällyttää sekä esiintymään asennettuja havaintoputkia että talousvesikaivoja. Tämä on tärkeää mahdollisten kaivo- ja koskevien riita- ja vauriotapausten selvittämiseksi. Lisäksi talousvesikaivoja seuraamalla voidaan tarvittavat korvausvesijärjestelyt aloittaa riittävän ajoissa.

Pohjavedenpinnan havainnointi tehdään joko käsimitoituksena tai automaattisilla vedenpinnan korkeusmittareilla (kuva 4.1.3c). Automaattimittareilla saadaan tarkempi ja yksityiskohtaisem-



Kuva 4.1.3c. Vasemmalla: Havaintoputkeen asennetun automaattisen pohjaveden pinnankorkeusmittarin tietoja kerätään. Kuva T. Kinnunen. Oikealla: Automaattimittarilla ja GSM-lähettimellä varustettu havaintoputki. Havaintoputken tiedot voidaan kerätä reaaliaikaisesti matkapuhelinverkkoa hyväksikäyttäen vesilaitoksen valvomossa sijaitsevalle tietokoneelle. Kuva K. Vuorela.

pi havaintosarja kuin käsimittauksilla. Tällä on merkitystä varsinkin koepumppauksen alkuvaiheen seurannassa. Automaattimittarit vaativat harvempia maastokäyntejä, sillä mittareiden muistitila on yleensä riittävä. Automaattisten mittareiden huonoja puolia ovat toimintahäiriöt, joiden ilmetessä ei pahimmassa tapauksessa saada minäänlaista tietoa pohjaveden pinnan vaihteluista. Suositeltavaa onkin vähentää toimintahäiriöistä aiheutuvia menetyksiä laatimalla havainto-ohjelmat siten, että osa mittauksista tehdään käsimittauksina ja osa automaattisesti.

Koepumppauksessa pumpattavaa vesimäärää mitataan säännöllisin väliajoin joko vesimittarilla, mittapadolla tai astiamittauksella. Purojen ja jokien virtaamat määritetään mittapadoilla tai siivikkomittauksella. Järviin ja lampiin asennetaan mitta-asteikot vedenpinnan muutosten seuranta varten. Sademäärää mitataan pumppauspaikalle tuotavasta sademittarista, minkä lisäksi lähimmältä säähavaintoasemalta kootaan tiedot sademääristä.

Koepumppauspaikalta pumpattavat vedet tulee johtaa pohjavesiesiintymän ulkopuolelle, jotta ne eivät sekoita tuloksia. Paikka pitää valita huolellisesti, sillä vesistöihin johdettava pohjavesi saattaa aiheuttaa purkupaikalla ja sen lähiympäristössä haitallisia muutoksia, kuten eroosiota tai vedenpinnan nousua (kuva 4.1.3d).

Koepumppauksen vaikutusta pohjaveden laatuun selvitetään ottamalla pohjavesinäytteitä pumppauspaikalta ennen pumppauksen aloittamista ja esimerkiksi viikon välein pumppauksen aikana. Näytteistä analysoidaan tavallisesti pH, sähkönjohtavuus, sameus, väri, happi, rauta, mangaani, permanganaattiluku, kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}) tai TOC, typpiyhdisteet ja bakteerit. Mikäli lähistöllä on riskikohteita, kuten tie, huoltoasema, teollisuuslaitos, ampu-marata, maa-ainestenottoalue tai golfkenttä, tai jos paikka sijaitsee lähellä järveä, jokea tai suota, on näiden mahdollinen vaikutus otettava huomioon analyysivalikoimassa. Myös kallioperän laadun vaikutus tulee huomioida. Yleensä ennen koepumppauksen aloittamista kannattaa



Kuva 4.1.3d. Kuva koepumppauksen poistoputken päästä. Pumppauspaikalta poisjohdettavat vesimäärät voivat olla suuria, minkä vuoksi purkuveden aiheuttamat haitalliset muutokset ympäristöön on estettävä. Kuvassa pumppausveden aiheuttaman eroosion estämiseksi tehty yksinkertainen rakennelma. Kuva E. Mälkki.

teettää laaja, kaikki riskikohteet ja luonnonolosuhteet huomioon otettava vesinäyteanalyysi, joka uusitaan esimerkiksi pumppauksen keski- ja loppuvaiheessa. Koepumppauksen loppuvaiheessa teetetään usein myös erittäin laaja analyysi varsinkin, jos koepumppauksen tulos näyttää vedenottamon perustamisen kannalta hyvältä. Tällöin analyysivalikoimaan kuuluvat seurattujen parametrien lisäksi raskasmetallit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, liuottimet, PAH-yhdisteet, herbisidit, pestisidit ja kloorifenolit. Analyysivalikoimia on käsitelty luvussa 6.6.

Koepumppauksen kesto riippuu pohjavesiesiintymän ominaisuuksista. Teoriassa pumppausta tulisi jatkaa niin kauan, että saavutetaan ns. tasapainotila eli tilanne, jossa käytetyllä pumppausteholla pohjavedenpinta ei enää laske pumppauksen seurauksena. Käytännössä todellista tasapainotilaa ei Suomen pienissä pohjavesiesiintymissä juuri koskaan saavuteta, vaan pumpun tehoa säätelämällä etsitään tilanne, jol-

loin pumppauspaikalla saavutetaan näennäinen tasapaino. Pumppauksen lopettamisen jälkeen pohjavedenpinnan palautumista seurataan kunnes pohjavedenpinta on noussut lähtötilannetta vastaavalle tasolle, tai nousu pysähtyy. Tyypillinen pumppausaika on 1 - 3 kuukautta. Arvioitaessa muun muassa tarvittavaa henkilötöymäärää on muistettava, että ennen pumppausta ja pumppauksen jälkeen vesipintoja on syytä havainnoida noin kuukausi. Havainnointi kestää siis yhteensä 4 - 6 kuukautta.

4.1.4 Kaivonpaikkatutkimus

Kaivon rakentamiseen tarvittavat tiedot saadaan yleensä pohjavedenottoaikkatutkimusten yhteydessä. Kaivo rakennetaan tavallisimmin koepumppauspisteeseen. Jos koepumppaus on tehty koekaivosta, soveltuu se lähes aina myös varsinaiseksi vedenottoaivoksi. Joissain tapauksissa on tarpeellista tehdä erillinen kaivonpaikkatut-

kimus. Näin tehdään esimerkiksi haluttaessa varmistaa kevyellä kalustolla suoritettun tutkimuksen tuloksia, tai jos ilmenee tarve hajauttaa vedenotto useammasta kaivosta tapahtuvaksi.

Kaivonpaikkatutkimuksen tarkoituksena on selvittää lähtötiedot pohjavesikaivon rakentamista varten. Tällaisia tietoja ovat pohjavedenpinnan korkeus ja sen vaihtelu tietyillä vedenottomäärillä, maaperän kerrosrakenne, maakerrosten rakeisuus, kivisyys ja läpäistävyys sekä antoisuus ja vedenlaatu eri kerroksissa. Tietojen perusteella kaivon suunnittelija ratkaisee kaivon tyypin, rakennustavan ja siiviläputkikaivojen osalta siivilän sijoitustason. Kaivon rakentaja puolestaan arvioi työmäärän ja rakentamisen kustannukset.

Kaivonpaikkatutkimukseen kuuluu tavallisesti kairauksia, kerroksittain tehtävää maa- ja vesinäytteiden ottoa sekä ominaisantoisuuspumppeja. Jos pohjavedenpinta on syvällä, tutkimuksiin voi kuulua lisäksi geofysikaalisia tutkimuksia sekä havaintoputkista tehtäviä veden laatua ja hydraulisia ominaisuuksia selvittäviä mittauksia. Kaivon paikkaa valittaessa on lisäksi tarkasteltava huolellisesti ja kriittisesti paikan soveltuvuutta vedenottoon ympäristön puhtauden, luonnonolosuhteiden, maankäytön ja likaantumiseriskien osalta.

Kaivonpaikkatutkimuksista laaditaan raportti, jonka tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

- tehdyt tutkimukset
- paikan sijainti kartalla ja koordinaatteina
- maaperän kerrosrakenne (kairautulokset)
- pohjavedenpinnan korkeus ja korkeuden vaihtelu
- isojen kivien sijainti
- maanäytteiden rakeisuusanalyysit (jos maanäytteitä on otettu)
- ominaisantoisuuspumppausten tai putkimittausten tulokset (tuotto eri kerroksista, mahdolliset silmämääräiset ja kenttämääritysten antamat vedenlaatutiedot, mittaustulokset)
- vesinäytteiden laboratorioanalyysit
- tutkijan ehdotus kaivon paikaksi ja kaivotyypiksi

4.1.5 Tekopohjavesitutkimukset

Tekopohjavettä muodostetaan imeyttämällä pintavettä maaperään, jolloin maaperää käytetään hyväksi pintaveden puhdistamisessa. Tekopohjavesitutkimusten lähtökohtana voi olla jo käytössä oleva, alueen luonnolliseen antoisuuteen perustuva pohjavesialue tai neitseellinen, hyödyntämätön alue. Ensin mainitussa tapauksessa olemassa olevan laitoksen historian selvittämisellä on tutkimuksen kannalta huomattavaa merkitystä, sillä se antaa uusien tutkimusten suunnittelulle ja luotettavuudelle paremman pohjan. Molemmissa tapauksissa pohjavesiesiintymän perusominaisuuksien selvittäminen on tutkimuksen ydin.

Tekopohjavesitutkimushankkeen sisältö voidaan jaotella seuraavasti:

1. alueen nykytilanteen sekä aiemmin tehtyjen tutkimusten ja tarkkailutietojen kartoittaminen
2. raakavesilähteen määrittäminen
3. kenttätutkimukset
4. tutkimusten tulostus ja tulosten arviointi
5. mallintaminen
6. hankkeen ympäristövaikutusten arviointi
7. jatkotutkimustarpeiden määrittäminen
8. johtopäätökset

Oleellisimmat vaiheet ovat kenttätutkimukset tulostuksineen ja niiden pohjalta tehtävä mallintaminen (vaiheet 3 - 5). Kenttätutkimukset tehdään yleensä seuraavassa järjestyksessä:

1. seismiset luotaukset, painovoimamittaukset
2. havaintoputkien asennus ja alustavat vedenlaatututkimukset
3. kaivoinventointi
4. putkivirtausmittaukset
5. koepumppauspaikan perustaminen tai koekaivojen mitoitus ja rakentaminen
6. koepumppaukset
7. imeytyspaikkojen valinta ja koeimeytykset
8. veden laatumääritykset
9. happi- ja lämpötilamittaukset

Kairaukset ja havaintoputkien asennukset tehdään erillisen suunnitelman mukaan (ks. luvut 5.2.5 ja 5.2.6). Koeimeytysvaiheessa on vain harvoin käytettävissä riittävästi lopullista raakavettä. Tällöin imeytyksessä käytetään koekaivoista pumpattavaa pohjavettä, eli pohjavettä kierrätetään imeytyksen kautta takaisin kaivoon. Tällä tavoin saadaan selvitettyä melko luotettavasti muodostuman hydrauliset ominaisuudet. Veden laadusta ei kuitenkaan saada tarkkaa tietoa, sillä lopullisessa tilanteessa imeytykseen käytettävä pintavesi poikkeaa koeimeytyksessä käytetystä pohjavedestä huomattavasti muun muassa kemiallisilta ominaisuuksiltaan ja lämpötilaltaan.

Imeytyspaikan huolellinen valinta on ratkaisevan tärkeää koeimeytyksen onnistumisen kannalta. Perustavoite on, että etäisyys imeytyspaikalta kaivoille on horisontaalisesti mahdollisimman suuri kuitenkin niin, että mahdolliset hukkavirtaamat esiintymästä pois eivät lisääntyisi. Toinen tavoite on, että imeytyspaikasta olisi pystysuunnassa mahdollisimman suuri etäisyys pohjavesipintaan (kapillaarikerrokseen). Imeytyspaikan pintarakenteella on merkitystä silloin, kun tavoitellaan ns. sadetusimeytystä (kuva 4.1.5a). Sadetusimeytyksen avulla yritetään välttää varsinainen imeytysaltaiden rakentaminen. Sadetusimeytyksen perusteena voivat olla muun muassa maisemalliset tekijät tai harjujen suojelu.

Koeimeytykset tehdään usein vaihteittain, joissa vaihdellaan vesimääriä ja imeytyspaikkoja sekä mahdollisesti myös koekaivoja. Eri vaiheet kestävät muutamia viikkoja, joskus jopa kuukausia. Vaihteittaisuuden avulla selvitetään esiintymän käyttäytymistä eri tilanteissa ja saadaan tietoja mallintamista varten. Tekopohjavesihankkeen aikataulu kuitenkin rajoittaa koeimeytykseen käytettävissä olevaa aikaa, sillä yleensä tutkimusvaiheeseen käytetään kokonaisuudessaan yhteensä 1 - 2 vuotta.

Tekopohjavesitutkimuksissa mallintamisen merkitys korostuu, sillä koeimeytyksessä ei voida juuri koskaan luoda lopullista imeytys-pumpastilannetta. Näin ollen tekopohjavesiprosessin ja ympäristövaikutusten lopullinen arviointi jää suunnitteluvaiheessa mallintamisen varaan. Tällöin on tärkeintä saada luotettava kuva esiintymän ja prosessin virtaustekniikasta eli

pohjaveden pintojen ja virtaamien käyttäytymisestä lopullisessa mitoitustilanteessa. Muita erittäin hyödyllisiä mallintamisen tuottamia sivutuotteita ovat viipymäärviot, virtaussuunnat, mahdolliset hukkavirtaamat ja riskitoimintojen vaikutukset. Lopullisen tekopohjaveden laatua on kuitenkin vaikea tutkia tai mallintaa etukäteen. Se jääkin useimmiten asiantuntijan arvioiden varaan.

Laajan ja kattavan tekopohjavesitutkimuksen kustannukset voivat olla useita satojatuhansia euroja. Kustannuksiin vaikuttavat muun muassa pohjavesiesiintymän laajuus, olemassa olevan tiedon määrä, alueen geologinen rakenne ja raakaveden saatavuus. Asiantuntijan tekemä, perusteellinen ja laaja-alainen tutkimus kuitenkin kannattaa. Sen avulla saadaan erittäin tärkeää perustietoa pohjavesiesiintymästä, mistä on hyötyä laitoksen suunnittelussa ja toiminnassa myöhemmin. Tekopohjaveden muodostaminen myös muuttaa aina luonnon tasapainoa ja aiheuttaa riskin ympäristölle. Tämän riskin minimoimiseksi on tärkeää, että tutkimukset tehdään huolellisesti.

Rantaimeytystutkimukset

Rantaimeytymistä tapahtuu monilla vesistöjen varsilla olevilla pohjaveden ottamoilla joko vahingossa tai suunnitellusti. Rantaimeytys perustuu pintaveden imeytymiseen vettä läpäisevien maakerrosten läpi pohjaveteen (kuva 4.1.5.b). Imeytymistä tapahtuu, kun pohjaveden pintaa lasketaan pohjavettä otettaessa.

Rantaimeytyslaitokset voidaan jakaa kolmeen luokkaan, jotka ovat:

- Luokka 1: Varsinaiset rantaimeytyslaitokset
Rantaimeytys on hallittua ja imeytymisen toteuttamista varten on tehty tutkimuksia. Ottamolta pumpattavasta vedestä yli 30 % on rantaimeitynyttä tekopohjavettä.
- Luokka 2: Pohjavedenottamot, joilla tapahtuu jonkin verran rantaimeytymistä
Rantaimeytymistä on todettu tapahtuvan jonkin verran. Vaikutus antoisuuteen on vähäinen. Ottamolta pumpattavasta vedestä alle 30 % on rantaimeitynyttä tekopohjavettä.



Kuva 4.1.5a. Tekopohjaveteen liittyviä imeytyskokeita sadettamalla. Kuva T. Hatva.

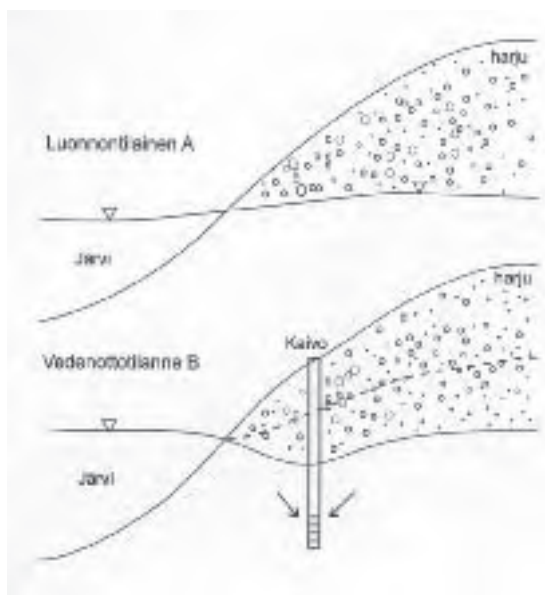
Luokka 3: Pohjavedenottamot, joilla rantaimeytyminen on mahdollista
Rantaimeytyminen on mahdollista, mutta sitä ei tapahdu nykyisillä vedenottomäärillä, tai se pyritään estämään pintaveden huonon laadun vuoksi.

Puhdistumisprosessi on rantaimeytyksessä periaatteessa samanlainen kuin tekopohjavettä muodostettaessa. Tärkeintä pintaveden puhdistumisessa on orgaanisen aineksen pidättäminen ja hajoaminen maaperässä. Pintavesi puhdistuu rantaimeytyksessä kuitenkin yleensä hyvin tehokkaasti jo lyhyilläkin matkoilla. Liejuisessa ympäristössä veteen liuennut happi kuluu helposti loppuun, jolloin rautaa ja mangaania liukenee maaperästä veteen.

Rantaimeytystutkimukset tehdään yleensä laitosmittakaavassa. Pohjaveden otto tapahtuu joko imuputkien tai koekaivon avulla.

Rantaimeytyslaitoksen tutkimukset tehdään vaiheittain seuraavasti:

- hankkeen suunnittelu ja tutkimusohjelman laatiminen
- imeytysveden laadun selvittäminen
- hydrogeologisten olosuhteiden ja imeytymisvyöhykkeiden tutkiminen geofysikaalisten luotausten, kairausten ja havaintoputkien avulla
- pohjaveden laadun tutkiminen havaintoputkista eri tasoilta pumpattavien vesinäytteiden avulla pohjavesialueella sekä rantaimeytymisvyöhykkeellä
- koepumppaus imuputkista tai koekaivosta tulevan ottamon mitoitusteholla imeytymisalueiden ja veden laadun selvittämiseksi (järven vesipintojen ja veden laatuvaikutusten selvittämiseksi viipymästä riippuen vähintään 4-6 kuukautta)



Kuva 4.1.5.b. Rantaimeytyksen periaate. A) Pohjavettä purkautuu järveen. B) Veden oton seurauksena pohjaveden pinta alenee ja pintavettä imeytyy harjuun.

- raakaveden, pohjaveden ja pumppausveden laatututkimukset (havaintoputkien eri tasot pohjavesialueella sekä imeytymisalueen ja koepumppauspaikan välillä).

4.1.6 Kalliopohjaveden tutkiminen

Kalliopohjavettä käytetään yleisesti haja-asutusalueen talouksien ja loma-asutuksen vedenhankinnassa. Tällöin porakaivot on tavallisesti sijoitettu mahdollisimman lähelle käyttökohdetta, eikä geologisia ja hydrogeologisia tekijöitä ole otettu huomioon. Tällaisten kaivojen antoisuudet ovat tyypillisesti 1 - 30 m³/d, mutta satunnaisesti on löydetty myös runsastuottoisempia kaivoja. Taajama- ja kuntatasolla vesihuollon turvaaminen yksinomaan kalliopohjavedellä on harvinaista. Se on kuitenkin varteenotettava vaihtoehto alueilla, missä harjualueiden pohjavesiesiintymiä ei ole, tai esiintymät ovat pieniä. Veden tarve taajama- ja kuntatasolla on tyypillisesti 100 - 1000 m³/d, mistä on esimerkkinä Leppävirran kunnan pohjaveden hankinta (kuva 4.1.6). Jonkin verran kalliopohjavettä hyödynnetään

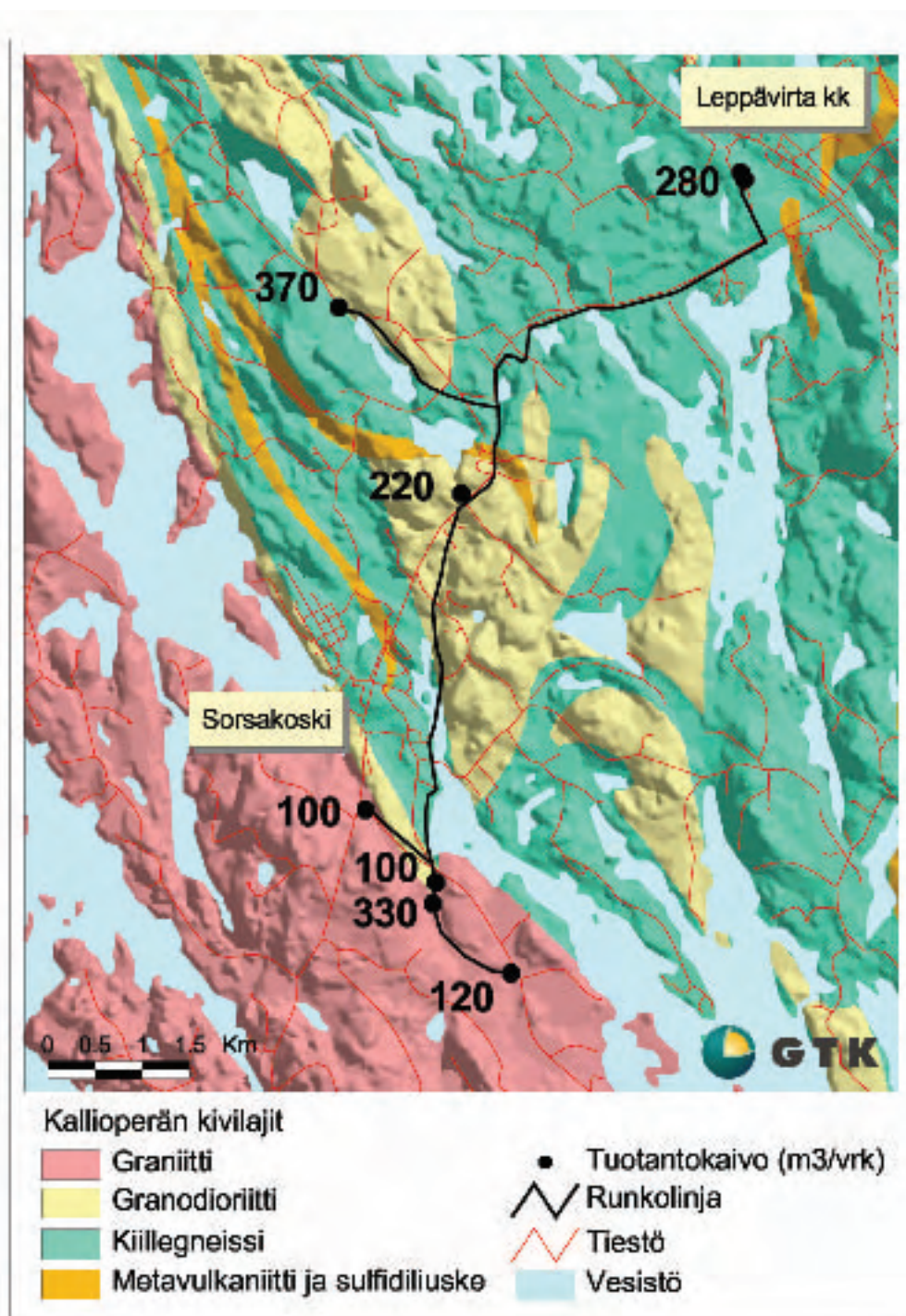
vanhoista kalkkikaivoksista, kuten esimerkiksi Lohjalla ja Virtasalmella. Hyvälaatuista kalliopohjavettä voidaan käyttää riittävän vesikapasiteetin turvaamiseksi myös runkolinjojen äärialueilla.

Laadultaan hyvän ja samalla runsastuottoisen kallioporakaivon paikan määrittäminen edellyttää geologisia, hydrogeologisia ja geofysikaalisia tutkimuksia. Harjualueilta pohjavettä voidaan löytää varsin helposti, mutta kallioperäruhje ja siihen sijoitettava porakaivo on kyettävä paikantamaan muutamien metrien tarkkuudella. Mitä laajamittaisempaa kalliopohjavesihanketta suunnitellaan, sitä enemmän tarvitaan tutkimuksia hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Kalliopohjavesihankkeen kannalta suurimmat kustannukset aiheutuvat geofysikaalisten mittausten lisäksi kaivon porauksen ja itse kaivorakenteiden ja -varusteiden kokonaiskustannuksista, mukaan lukien tiekustannukset. Laajoissa hankkeissa kattavilla maastogeofysikaalisilla tutkimuksilla voidaan säästää poraus-, tiestö- ja sähkölinjakustannuksissa. Tutkimusten avulla olisi saatava riittävän hyvät tiedot kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeistä, jotta tutkimuskaivoja olisi porattava mahdollisimman vähän, ja niitä voitaisiin käyttää tarvittaessa myös vedenottamon kaivoina.

Kallion- ja maanpinnan korkokuvalla on merkittävä vaikutus pohjaveden määrään. Kalliopohjavesiesiintymien antoisuuteen suuresti vaikuttavia tekijöitä ovat myös kallioperän rikkonaisuus- ja ruhjevyöhykkeiden varasto-ominaisuudet ja vedenjohtokyky. Lisäksi antoisuuteen vaikuttaa pysty- ja vaakarakojen vedenjohtokyky. Kalliopohjaveden paine kasvaa tasaisesti alaspäin mentäessä (1 atm/ 10 m). Harjut ovat yleisesti kerrostuneet kallioperän ruhjeisiin. Eri-tyisesti pienten harjujen alla sijaitsevilla ruhjeilla voi olla merkitystä pohjaveden kokonaisantoisuutta lisäävänä tekijänä.

Etsintämenetelmät

Kallioperän rikkonaisuutta voidaan ennen maastotutkimusten alkua arvioida maanpinnan korkeusmallista laadittujen erilaisten vinovalaistujen korkokuvakarttojen avulla. Korkokuvakarttoihin voidaan yhdistää kallioperä- ja maaperäkattatietoja. Erilaisia valaisukulmia ja katselu-



Kuva 4.1.6. Leppävirran vesihuolto perustuu kalliopohjaveteen. Hankkeessa etsittiin yli 100 m³/d tuottavia kallioporakai-voja. Nykyisten tuotantokaivojen poraussyvyudet vaihtelivat 50 - 95 metrin välissä. Kaivoporausten aikana tehtiin havain-not kivilajista, ruheisuudesta ja vesimäärästä. Veden laatu todettiin koepumppausten aikana otetuista vesinäytteistä. Koe-pumppausten antoisuudet vaihtelivat yksittäisissä kaivoissa 45 - 370 m³/d välillä. Tällä hetkellä tuotantokaivoja on käytös-sä 8 kpl, joista saadaan kalliopohjavettä enimmillään 1500 m³/d.

suuntia käytettäessä saadaan eri suuntaiset rikkonaisuus- ja ruhjevyöhykkeet hyvin esille. Tämä menetelmä soveltuu parhaiten ohuiden maapeitteiden alueille esimerkiksi rannikkoseuduilla. Paksujen maapeitteiden alueilla kallioperän rakenteet saadaan parhaiten selville erilaisten geofysikaalisten mittausten avulla. Maaperäkartojen avulla voidaan arvioida alueen vedenmuodostumisoloja. Joskus vesistöistä toiseen purkautuu vettä kallioperän rikkonaisuus- ja ruhjevyöhykkeiden kautta. Näin ollen tällaiset alueet voivat olla vedenhankinnan kannalta otollisia. Myös kallioperälohkojen välisten ruhjeiden risteyskohdat ovat hyviä kalliopohjaveden etsintäalueita.

Tutkimusten alkuvaiheessa kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeet on tulkittava geofysikaalisen matalalentomittausaineiston perusteella käyttäen maankamarasta mitattua magneettista ja sähkömagneettista aineistoa (ks. kohta 5.2.4). Tarkentavassa ruhjetulkinnassa käytetään maastogeofysikaalisia mittauksia, joita ovat mm. painovoimamittaus, magnetometraus, VLF-R ja slingram-mittaus. Tarkentavassa ruhjetulkinnassa ruhjeen lopullinen laatu on todettava räjäytysseismisellä refraktioluotauksella. Kivilajista riippuen veden hankinnan kannalta parhaat seismiset nopeudet ovat 3000 - 4000 m/s luokkaa. Maatutkaluotauksella voidaan ohuiden maapeitteiden alueella selvittää myös kallioperän rakoja ja ruhjeiden sijainti. Menetelmällä saadaan paikannettua myös vino- ja vaakarakenteet, joita muilla geofysikaalisilla menetelmillä ei voida todeta.

Veden laadun kannalta riskialttiita kivilajeja sisältävät alueet voidaan jättää tutkimusten ulkopuolelle kallioperäkartan perusteella. Tällaisia kivilajeja ovat mustaliuskeet, sulfidipitoiset kivilajit sekä jossain määrin myös graniittiset kivilajit. Näiden kivilajien alueilla pohjavedessä voi esiintyä radonia, uraania ja fluoria.

Kallioporakaivot tulisi sijoittaa siten, että porakaivo puhkaisee vettä johtavan rakenteen sopivalla syvyydellä (30 - 60 m) maanpinnasta. Kallioporakaivon sijainti kallioperän rakenteisiin nähden määritetään kallioperäkartoilta sekä maastomittauksilla saatavien kivilajirakenteiden kulku- ja kaadetietojen avulla. Uutena menetel-

mänä kaateen kaltevuuden mittaamisessa voidaan käyttää sähköistä monielektrodimittausta.

Porakaivojen asennus- ja koepumppaus

Koepumppausta varten rakennettava kallioporakaivo on hyvä mitoittaa niin, että sitä voidaan käyttää myöhemmin varsinaisena vedenottamo-kaivona. Porakaivon rei'än on oltava riittävän suuri, jotta uppopumpun ympärille jää tarpeeksi tilaa. Mitoituksessa on otettava huomioon myös mahdollisen sisäputken vaatima tila. Muovisen tai RST-teräksisen sisäputken asentaminen porakaivoon on suositeltavaa, mikäli kallioperä on porauksen yhteydessä todettu rikkonaiseksi pumpun tavoitesyvyyden yläpuolelta. Kaivon porauksen aikana tehdään havaintoja maaperän laadusta, kallioperän kivilajista, rapautuneisuudesta, ruhjeisuudesta sekä vettä johtavien kallioperän rakenteiden syvyydestä ja paksuudesta.

Jo kaivonporauksen yhteydessä saadaan viitteitä porakaivon vedenantoisuudesta. Kallioporakaivon tuotto voidaan todeta alustavasti lyhytkestoisella, yhden työvuoron kestäväällä koepumppauksella. Mikäli kaivosta saadaan vähintään haluttu määrä vettä ja vedenpinnan lasku ei ole nopeaa, varsinaisen koepumppauksen suorittaminen on suositeltavaa. Koepumppauksen on oltava riittävän pitkäaikainen. Suositeltavaa on jatkaa koepumppausta kuivan kauden yli esimerkiksi syksystä alkukesään. Kalliopohjavesiesiintymän laajuudesta ja kallioperän rikkonaisuudesta riippuu, kuinka antoisa porakaivo on käytössä. Laaja kalliopohjavesiesiintymä voi aluksi tuottaa runsaastikin pohjavettä, mutta jos imeytymisolosuhteet ovat heikot, tuotto voi laskea huomattavasti pidemmän ajan kuluessa. Rikkonaisuusvyöhykkeen ominaisintoisuuden ylittyessä pohjavedenpinta laskee kaivossa nopeasti.

Koepumppauskaivon läheisyyteen, samaan rikkonaisuusvyöhykkeeseen on suositeltavaa asentaa tarkkailukaivoiksi vähintään yksi kallioporakaivo sekä pohjaveden virtaussuunnan yläettä alapuolelle. Tarkkailukaivoista havainnoidaan pohjavedenpinnan muutoksia ja otetaan tarvittaessa vesinäytteitä pohjaveden laadun toteamiseksi. Ennen koepumppauksen aloittamista ympäristön kiinteistöissä on tehtävä kaivokar-

toitus (ks. 4.1.1). Vedenpintojen muutosta on havainnointava koepumppauksen aikana ja sen päätyttyä (ks. 4.1.2). Tarkkailukaivoista on otettava vesinäytteitä ennen koepumppausta ja pump-pauksen loputtua. Pitkään jatkuvan koepump-pauksen aikana on suositeltavaa ottaa vesinäy-teitä kerran kuukaudessa koepumppauskaivos-ta ja osasta tarkkailukaivoja. Näytteistä on suosi-teltavaa tutkia normaalin talousvesiparametri-en lisäksi ns. laaja metallianalytiikka, anionit ja tarvittaessa myös radon.

Porakaivoa ei ole suositeltavaa sijoittaa aivan vesistöjen läheisyyteen, jolloin vesi voi vähähap-pisuudesta johtuen olla rauta- ja mangaanipi-toista. Meren rannalla ja saaristossa ongelmia ai-heuttaa suolainen pohjavesi, joka tulee usein vastaan jo lähellä merenpinnan tasoa. Myös si-sämaassa voi olla suolaista vettä. Satunnaisesti suolaista vettä on tavattu jopa 60 metrin syvyy-dessä, mutta yleisemmin vasta noin 150 metrin syvyyden jälkeen.

4.1.7 Kirjallisuutta

Koepumppaukset, kaivonpaikkatutkimukset

Mälkki, E. 1999: Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi. 304s. ISBN 951-26-4515-7

Korkka-Niemi, K. & Salonen V.-P. 1996: Maanalaiset vedet – pohjavesigeologian perusteet. Turku. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A:50. Vammalan kirjapaino Oy. ISBN 951-29-0825-5, ISSN 0788-7906

Airaksinen, Jussi U 1978: Maa- ja pohjavesihydrolo-gia. Oulu. Kustannusosakeyhtiö Pohjoinen. 248s ISBN 951-9099-73-5

Tekopohjaveden muodostaminen

Hatva, T. 2004. Havaintoja pohjaveden laadusta pohjavesialueilla sekä tekopohjavesi- ja rantai-meytyslaitoksilla. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 255. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 117 s. ISBN 952-11-1186-0.

Helmisaari, H-S, Illmer, K., Hatva, T, Lindroos, A.-J., Miettinen, J., Pääkkönen, J. ja Reijonen, R. 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imey-tystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. TEMU-tutkimusten loppuraportti. Metsäntut-kimuslaitoksen tiedonantoja 902, 2003. Metsän-tutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Kivimäki, A.-L. 1992. Tekopohjavesilaitokset Suomes-sa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sar-ja A: 98. 150 s. ISBN 951-47-5717-3.

Kivimäki, A.-L. 1995. Rantaimetys tekopohjaveden muodostamismenetelmänä. Vesi- ja ympäristö-hallituksen monistesarja: 573. 51 s. ISBN 951-47-9118-5.

Rönkä, E., Hatva, T. & Iihola, H. 1977. Tekopohjave-den muodostaminen. Helsinki. SITRA, YVY-tutkimus 34. 215 s.

Kalliopohjaveden tutkiminen

Leveinen, J., Rönkä, E., Tikkanen, J. & Karro, E. 1998. Fractional flow dimensions and hydraulic prop-erties of a Structure-Zone aquifer, Leppävirta, Finland, Hydrogeology Journal, vol.6, n:o 3 p. 327-340.

Mälkki, E. 1999: Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi. 304 s. ISBN 951-26-4515-7.

Niini, H. & Niini, S. 1995. Vesigeologia (hydrogeolo-gia). Teknillinen korkeakoulu. Materiaali- ja kalliotekniikan laitos. Insinöörigelogian ja geofysiikan laboratorio. Opetusjulkaisu TKK-IGE-C 17. 176 p.

Rönkä, E., Särkioja, A. & Tikkanen, J. 1992. Porakai-von paikan määrittäminen ja koepumppaus. Ve-sitalous 1992:3, s.16-18, 34.

4.2 Pohjaveden suojelua ja seurantaa varten tehtävät tutkimukset

Pohjavesialueilla ja niiden lähialueilla on monenlaisia toimintoja, joiden yhteydessä pohja-veden suojelu tulee ottaa huomioon. Toiminnan harjoittajan on oltava tietoinen pohjavedelle ai-heuttamistaan riskeistä ja hänen on seurattava toimintansa vaikutuksia pohjaveteen. Valvovan viranomaisen on pystyttävä arviomaan toimin-nan haitallisuutta. Toimintojen haitallisia vaiku-tuksia voidaan estää erilaisin suojelutoimenpi-tein tai suojarakentein. Edellä mainittujen seik-kojen luotettava selvittäminen ei usein ole mah-dollista ilman toiminta-alueen pohjavesiolosu-h-teiden tutkimista. Jäljempänä on kuvattu eräi-den tyypillisten ja vaikutukseltaan laaja-alaisten toimintojen yhteydessä tehtäviä pohjavesitutki-muksia, joiden avulla arvioidaan toiminnan vai-kutuksia sekä määritetään tarvittavat suojelutoi-menpiteet. Tällaisia toimintoja ovat muun mu-assa maa-ainesten otto, teiden rakentaminen, poh-javeden alentaminen rakentamishankkeiden yh-teydessä sekä turvetuotanto.

Pohjaveden käyttöä ja suojelua koskevat sää-dökset otettiin Suomessa vesilakiin vuonna 1961.

Laissa annettiin vedenottajille mahdollisuus vahvistuttaa suoja-alue vedenottamoiden ympärille. Alueen vahvisti vesioikeus, nykyisin suoja-alueiden vahvistaminen kuuluu ympäristölupavirastojen toimialaan. Suoja-alueen muodostaminen on pitkä prosessi, johon usein liittyy pohjavesitutkimusten lisäksi laajoja katselmuksia ja pitkiä valitusprosesseja. Suoja-alueen toteuttamisen yleistyminen hidasti se, että monesti rajoituksista jouduttiin maksamaan haitan kärsijöille korvauksia, vaikka pohjavedellä itsellään ei ollut lain suojaa. Niinpä 1960 - 1980 -luvulla suoja-alueet pyrittiin rajaamaan mahdollisimman suppeiksi.

Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien laatiminen alkoi 1980-luvun lopulla. Koska suoja-alueiden muodostaminen oli lähes pysähdyksissä ja pohjavesiä uhkaavat toiminnot olivat siirtyneet yhä lähemmäksi vedenottamoja, tarvittiin vapaaehtoinen menettely turvaamaan pohjaveden laatua ja määrää. Suojelusuunnitelman laatiminen perustuu vuonna 1987 tulleen vesilain muutokseen. Sen perusteella on kielletty jo sellaisen uhkan aiheuttaminen, joka saattaa heikentää pohjaveden laatua tai määrää. Nykyisin pohjaveden pilaamiskielto on sisällytetty ympäristönsuojelulakiin ja muuttamiskielto vesilakiin.

4.2.1 Ennakkoseuranta

Ennakkoseuranta eli pohjavesialueen vedenlaadun seuranta vedenottamoa laajemmalla alueella on tärkeää pohjavesialueilla, joilla on todettu olevan pohjavedelle riskiä aiheuttavia toimintoja. Ennakkoseurannan suorittaa vedenottaja. Seurantaa varten vedenottamon valuma-alueelle asennetaan vesinäytteenottoon soveltuvia havaintoputkia. Näytteistä tehtävät analyysit valitaan alueella olevien riskitoimintojen perusteella. Seurannan avulla saadaan tietoa pohjaveden laadusta laajemmalla alueella kuin vain vedenottamoalueelta. Näin voidaan riittävän aikaisin ryhtyä toimenpiteisiin, mikäli ottamolta saatava pohjavettä uhkaa laadun heikkeneminen.

4.2.2 Suoja-alueen menettely

Ympäristölupavirasto voi hakemuksesta määrätä suoja-alueen vedenottamon ympärille tervey-

dellisistä syistä tai pohjaveden puhtauden säilyttämiseksi. Suoja-alueella ei saa ilman ympäristölupaviraston lupaa pitää asuin- tai muuta vakituksena oleskelupaikkana olevaa rakennusta tai sellaista varastoa, säiliötä, viemäriä tai laitosta, josta likaa tai muuta veden laatuun vaikuttavaa ainetta voi päästä pohjaveteen. Suoja-alueella ei saa suorittaa sellaista toimintaa, joka vahingollisella tavalla voi huonontaa ottamosta saatavan veden laatua. Suoja-alue on usein jaettu vedenottamoalueeseen sekä lähi- ja kaukosuojavyöhykkeeseen.

Vesilain mukainen suoja-alue voidaan määrätä vain vedenottamolle. Tämä seikka on rajoittanut menettelyn käyttökelpoisuutta koko pohjavesialueen suojelussa. Suoja-alueen määräämistä voidaan hakea ympäristölupavirastolta samalla, kun haetaan vedenottolupaa. Suoja-alueen muodostamiseen voi liittyä edelleen selvitys- tai katselmusmenettely. Jos suoja-alueen muodostaminen ei loukkaa kenenkään etua ja asiaa koskevat asiakirjat ovat kattavia, ympäristölupavirasto voi myöntää suoja-alueen ilman lisäselvittelyä kuulutusmenettelyllä. Vedenottamoiden suoja-alue voidaan monessa tapauksessa korvata pohjavesialueen suojelusuunnitelmalla. Aikaisempaa suunnittelua voidaan myös täydentää uudemman tiedon ja periaatteiden mukaan.

4.2.3 Pohjavesialueen suojelusuunnitelma

Pohjavesialueen suojelusuunnitelman ja vesilaissa tarkoitetun suoja-alueen tavoitteet ovat samat. Suoja-alueen menettelyä voidaan soveltaa suojelusuunnitelmamenettelyn ohella. Suojelusuunnitelmamenettely perustuu toistaiseksi vapaaehtoisuuteen, mutta vesipuitedirektiivin toimeenpanon myötä se todennäköisesti tulee pakolliseksi riskialttiille pohjavesialueille. Suojelusuunnitelmia laaditaan pääasiassa vedenotokäytössä oleville pohjavesialueille (I luokka), mutta usein myös vedenhankintaan soveltuville pohjavesialueille (II luokka). Suojelusuunnitelma on tarkoitettu ohjeeksi niin viranomaisille kuin pohjavesialueella toimivillekin.



Kuva 4.2.2a. Nykyisen käytännön mukaisesti pohjavedenottamoiden vedenottoalueet yleensä aidataan.
Kuva T. Kinnunen



Kuva 4.2.2b. Pohjavedenottamoiden lähisuojavaähykkeet merkitään yleensä maastoon kuvan kaltaisilla kylteillä.
Kuva T. Hatva

Suojelusuunnitelma poikkeaa suoja-alueen menetelmästä seuraavissa olennaisissa kohdissa:

- Suojelusuunnitelma ei ole ottamokohtainen vaan kattaa koko pohjavesialueen tai sen osan reunavyöhykkeeseen.
- Suojelusuunnitelmamenettelyä voidaan soveltaa kaikilla pohjavesialueilla, myös sellaisilla, joita ei ole otettu vedenhankintakäyttöön.
- Suojelusuunnitelma on sisällöltään usein kattavampi kuin vesioikeudellinen suoja-alue-suunnitelma.
- Suojelusuunnitelmaa ei toimiteta ympäristölupaviraston vahvistettavaksi vaan sitä käytetään ohjeena viranomais-toiminnassa kuten maankäytön suunnittelussa, vesi- ja ympäristölakien mukaisissa pohjaveden muuttamis- ja pilaamiskiellonvalvonnoissa, öljy- ja kemikaalivahinkojen torjunnassa, ympäristölupia käsiteltäessä, jätehuollon suunnittelussa sekä maa-aineslain mukaisia lupia myönnettäessä.
- Suojelusuunnitelmalla ei ole välitöntä tai sitovaa juridista seurausvaikutusta eikä sen laatimisesta tai soveltamisesta siten aiheutu korvausvastuuta vedenottajalle. Juridisia seurausvaikutuksia syntyy vasta sovellettaessa käytäntöön vesi-, ympäristönsuojelu- ja maa-aineslakeja suojelusuunnitelmassa esitettyjen näkökohtien

mukaisesti. Tällöin ratkaistaan samalla kuhunkin lakiin liittyvät mahdolliset korvaus- ja lunastuskysymykset.

- Suojelusuunnitelmat laaditaan yhteistyössä ympäristöviranomaisten ja vedenottajien kanssa. Suunnitelman yhteydessä selvitetään pohjaveden virtauskuvaa, käydään läpi kaikki pohjavesialueella sijaitsevat riskitekijät ja priorisoidaan ne sekä etsitään toimenpiteitä riskien pienentämiseksi tai poistamiseksi. Suojelusuunnitelmaan liittyy asianosaisten hyväksymä toimenpideohjelma, jonka toteutumista seurataan vuosittain. Asianosaisina ovat yleensä kunnan lisäksi muun muassa tiehallinto, varuskunnat, seurakunnat tai sähköyhtiöt.

4.2.4 Pohjaveden suojelusuunnitelmaa varten tehtävät tutkimukset

Suojelusuunnitelman laadinta aloitetaan pohjavesialueiden hydrogeologisella kartoituksella. Tavoitteena on selvittää vedenottamoiden pohjaveden muodostumisalue ja määritellä pohjaveden virtaussuunnat pohjavesialueella.

Hydrogeologisen kartoituksen tarkkuus vaihtelee pohjavesialueen luonnontilaisuuden mukaan. Mitä rakennetummassa ympäristössä pohjavesialue sijaitsee, sitä tarkemmin pohjaveden virtaussuunnat tulee selvittää. Jos alue sijaitsee ympäristössä, jossa on ainoastaan yksi likaantu-

misriskin aiheuttava kohde, pohjaveden virtaussuunnat voidaan selvittää vain kyseisen riskikohteen ympäristössä. Joskus tarkasteltavalla alueella sijaitsee runsaasti asutusta tai teollisuutta. Tällöin pohjaveden pinnan korkeustasot ja virtaussuunnat on tunnettava tarkoin, jotta voidaan varautua vakavien pohjavesionnettomuuksien varalle. Pohjaveden virtaussuuntien tunteminen mahdollistaa torjuntatoimien tehokkaan kohdistamisen onnettomuustilanteissa.

Pohjaveden virtaussuunnan tutkimukset

Pohjaveden virtaussuunnan tutkimuksilla selvitetään vedenottamoiden pohjaveden muodostumislueiden rajoja, saastuneen pohjaveden kulkeutumismahdollisuuksia riskikohteen ympäristössä tai pohjavesialueen uloimpia rajoja.

Tutkimusten avulla selvitetään pohjaveden pinnan vietto (gradientti) eri suuntiin ja pohjaveden jakajien sijainti. Pohjaveden virtaussuuntaa tutkitaan pääasiassa pohjaveden vapaan pinnankorkeuden perusteella. Pohjavesi virtaa ”alamäkeen” suuntaan, johon pohjaveden pinnan korkeustaso laskee. Pohjaveden pinnankorkeus mitataan joko mittausta varten asennetuista havaintoputkista (ks. luku 5.2.6), olemassa olevista kaivoista tai esimerkiksi pohjavesilammista, joiden pinta yhtyy ympäristön pohjaveden pintaan. Havaintoputkien väliset etäisyydet riippuvat tarkasteltavasta pohjavesialueesta. Neitseellisellä alueella putket voivat aluksi olla jopa 0,5 kilometrin etäisyydellä toisistaan. Jos putkien vesipinnat vaihtelevat paljon (yli 1,5 metriä), tulee taajuutta lisätä. Alueilla, joilla huomataan pohjaveden pinnan korkeustason muuttavan suuntaa, tulee putkien taajuutta lisätä kunnes saadaan riittävän tarkka kuva pohjaveden pinnan käyttäytymisestä. Tällaisia alueita ovat muun muassa pohjavedenjakaja-alueet ja pohjaveden purkautumisalueet. Alueilla, joilla on paljon riskitekijöitä, voi olla tärkeää tietää vedenjakajan sijainti jopa kymmenen metrin tarkkuudella. Jos havaintopisteitä on runsaasti, on mahdollista käyttää apuna pohjavesimalleja.

Riskikohteiden tarkastelu

Jos tarkastelulla halutaan tietoa riskikohteiden ympäristössä tapahtuvista pohjaveden ja lika-

neen virtauksista, joudutaan usein tekemään tarkempia tutkimuksia. Raskaat liuottimet, kuten kloorietaanit ja -etaanit, vajoavat pohjavesikerroksen pohjaan ja valuvat kallionpintaa pitkin ”alaspäin” tai vajoavat kalliohalkeamiin. Kallionpinta ei aina vietä samaan suuntaan kuin pohjaveden pinta, minkä vuoksi pohjaveden virtauskuva ei kerro totuutta lika-aineen kulkeutumisesta.

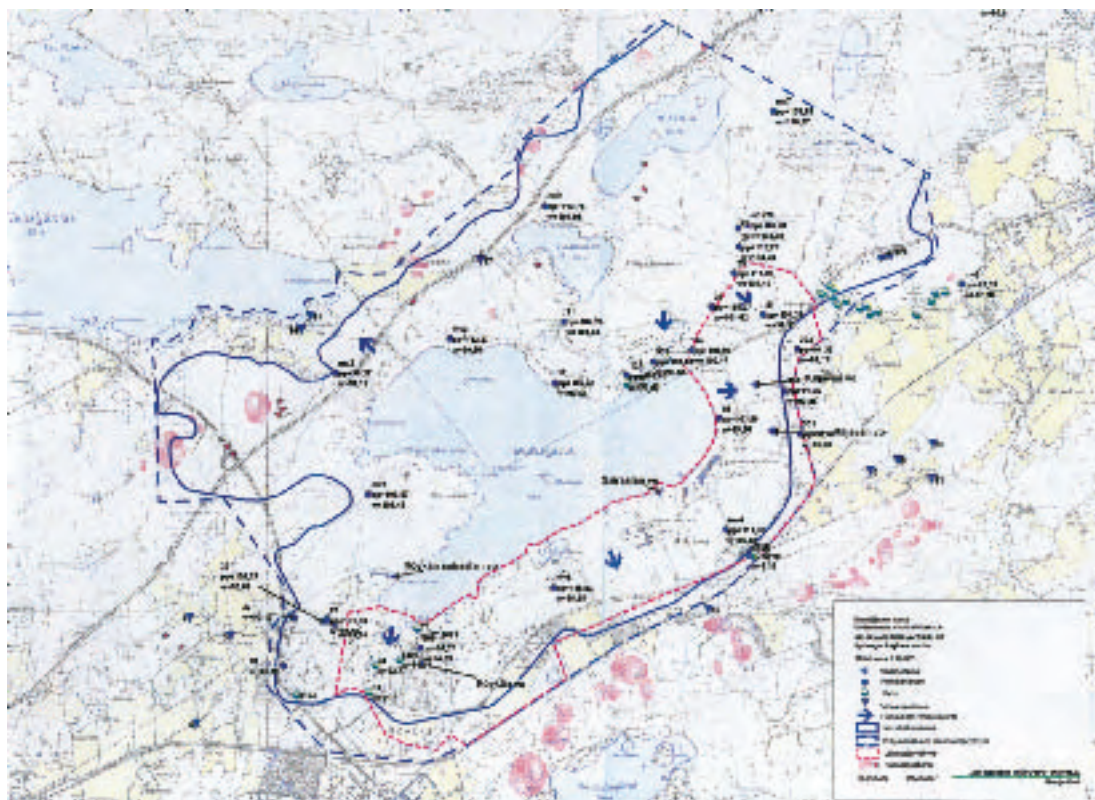
Riskikohteiden tutkimisen tarkoituksena on selvittää, voiko kohteesta mahdollisesti kulkeutua lika-aineita vedenottamolle onnettomuuden sattuessa. Lisäksi selvitetään, miten ja millä kalustolla päästöt saadaan rajattua mahdollisimman pienelle alueelle, jos kohteessa sattuu onnettomuus. Tutkittavan kohteen eri puolille asennetaan havaintoputkia, joista selvitetään pohjaveden pinnan korkeustaso. Pohjavesipinnan vieton suunta selvitetään, ja pinnan tasoa verrataan vedenottamon pohjaveden pinnan korkeustasoon. Samalla selvitetään, onko riskikohteen ja ottamon välillä mahdollisia vedenjakajia. Vaikka pohjavesialueen jollakin osalla olisi pohjavedenjakaja, on mahdollista, että pohjavesi pääsee vedenjakajan ohi ”kiertoreittejä” pitkin. Riskialueilla tulisikin huolellisesti selvittää kalliopinnan muodot vedenjakajien tarkentamiseksi ja kairausten kohdistamiseksi syvimmille alueille. Apuna voidaan käyttää gravimetristä luotausta (ks. luku 5.2.4).

Pohjaveden laadun tutkiminen

Pohjaveden laatua selvitetään ja tarkkaillaan suojelusuunnitelmien yhteydessä lähinnä riskikohteiden ympäriltä. Tämän vuoksi alueelle asennetaan havaintoputkia näytteenottoa varten (ks. luku 5.2.6). Putkien koko riippuu pohjaveden syvyydestä ja kallionpinnan sijainnista sekä käytävissä olevasta pumppauskalustosta.

4.2.5 Pohjavesitutkimukset maa-ainestenotto-suunnitelmassa

Maa-ainestenotto vaikuttaa pohjaveden määrään ja laatuun. Pohjaveden turvaamiseksi maa-ainestenotto tulee suunnitella ja toteuttaa oikein. Pohjavesiolot ja arvioidut ottotoiminnan vaikutukset pohjaveteen tulee esittää maa-ainestenotto-suunnitelmassa, joka toimitetaan ottamislupaa



Kuva 4.2.4. Esimerkki pohjavesialueen suojelusuunnitelman laadinnan yhteydessä havaituista riskikohteista. Nurmijärvi, Kiljava. Kuva Maa ja Vesi Oy.

haettaessa lupaviranomaiselle. Maa-ainestenoton vaikutuksia pohjaveteen seurataan toiminnan aikana maa-aineslupan määräysten mukaisesti. Lupaehtoihin perustuva, ottamisaluekohtainen seuranta voidaan liittää osaksi pohjavesialuekohtaista seurantaa kunnan tai vedenottajan toimesta. Laajempi pohjavesialuekohtainen seuranta ei yleensä sisälly lupaehtoihin, vaan se toteutetaan esimerkiksi pohjavesialueen suojelusuunnitelmassa esitettyjen ehdotusten mukaisesti.

Maa-ainestenottosuunnitelma ja lupamääräykset

Maa-ainestenottoa ja siihen liittyviä toimintoja säädellään ensisijaisesti maa-aineslaissa ja -asetuksessa. Niiden asettamat säännökset edistävät myös ympäristönsuojelulain sekä vesilain ja asetuksen tavoitteita kuten pohjaveden pilaamis- ja muuttamiskiellon toteutumista. Maa-ainelain

mukaan maa-ainesten otto ei saa vaarantaa tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesialueen veden laatua tai antoisuutta.

Maa-ainestenottoa varten laadittavassa lupahakemuksessa on yleensä oltava suunnitelma ottamistoiminnasta, ottamisalueen ympäristön hoitamisesta ja alueen myöhemmästä käytöstä. Suunnitelmassa tulee esittää alueen luonnonolosuhteet sekä hankkeen vaikutukset ympäristöön ja luonnonolosuhteisiin, kuten pohjaveteen (MAL 5 §). Suunnitelman sisältöön vaikuttavat ottamisalueen pohjavesialuealuokka, maa-ainesten oton laajuus, oton ulottaminen pohjavesipinnan alapuolelle, ottamisalueen vaikutusalueella olevat vedenottamot tai potentiaaliset vedenottamot ja alueen tiiviiden reunakerrosten sijainti sekä mahdollisesti huonolaatuisten pintavesien tai soiden läheisyys. Suunnitelman huo-

lellinen laatiminen on erityisen tärkeää alueilla, jotka sijaitsevat ympäristöhallinnon luokitteluilla pohjavesialueilla. Eri tasoista ottamissuunnitelmista on esimerkkejä ympäristöministeriön julkaisemassa oppaassa ”Maa-ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito”.

Maa-ainestenottosuunnitelmassa tulee esittää seuraavia tietoja ottamisalueen geologiasta ja hydrogeologiasta:

- maaperäolosuhteet (maalajit, maaperän rakenne, kerrospaksuudet, tiiviit välikerrokset, kalliokynnykset)
- mitatut pohjaveden ja orsiveden korkeustiedot sekä mittausajankohdat
- pohjaveden ylin luonnollinen korkeustaso
- pohjaveden virtaussuunnat
- vaikutusalueen vedenottamot, kaivot ja potentiaaliset vedenottoapaikat
- suunnitellut suojakerrospaksuudet
- mahdolliset kunnostustoimenpiteet
- suunniteltu pohjavesiseuranta

Maaperä- ja pohjavesitietojen hankkimista varten alueella voidaan tehdä kairauksia ja luotauksia sekä asentaa pohjaveden havaintoputkia. Suunnitelman laadinnassa voidaan hyödyntää itse hankealueella tai sen vaikutusalueella aikaisemmin tehtyjä maaperä- ja pohjavesitutkimuksia sekä olemassa olevia pohjaveden havaintopaikkoja kuten kaivoja, pohjavesilamikoita ja havaintoputkia.

Suojakerroksen paksuuden ja ottotason määrittäminen

Maa-ainestenottosuunnitelmassa pitää esittää pohjavedenpinnan korkeus ja sen vaihtelut ottamisalueella. Tietojen avulla määritellään pohjaveden suojaamiseksi tarvittavan suojakerroksen paksuus ja sallittu ottotaso. Yleensä pohjavedenpinnan korkeus mitataan ottamisalueelle asennetuista havaintoputkista ennen toiminnan aloittamista. Havaintoputket sijoitetaan niin, että pohjaveden pinta ja alin sallittu kaivusvyvyys voidaan määrittää alueen eri osissa. Näin pohjavedenpinnan korkeustietojen avulla voidaan selvittää pohjaveden virtausolosuhteet.

Vaadittava suojakerroksen paksuus ilmoitetaan lupaehdoissa yleensä metreinä luonnollisesta pohjaveden pinnasta. Pohjavesialueilla vaadittava suojakerrospaksuus on yleensä 4 - 6 metriä. Koska pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee merkittävästi eri vuosina ja vuodenaikoina, perustuu ylimmän luonnollisen pohjaveden pinnan selvittäminen yleensä lyhyen havaintosarjan perusteella tehtävään arvioon. Suojakerroksen paksuutta voidaan tarkistaa maa-ainestenoton aikana, jos alueelta saatavat seurantatiedot antavat siihen aiheutta.

4.2.6 Maa-ainestenoton pohjavesivaikutusten seurannan toteutus

Maa-ainestenoton pohjavesivaikutusten seurannan tavoitteena on selvittää maa-ainestenoton ja siihen liittyvien toimintojen mahdollisia vaikutuksia pohjaveden määrään ja laatuun. Tämä tarkoittaa lähinnä hankkeen paikallisten vaikutusten seuranta ottamisalueella. Seuranta voivat tehdä sekä luvan haltija että valvontaviranomainen.

Pohjavedenpinnan korkeutta tulee seurata kaikilla ottamisalueilla, mutta erityisen tärkeää seuranta on pohjavesialueilla. Pohjaveden laadun seuranta on tärkeää silloin, kun maa-ainestenotto tapahtuu laajalla alueella tai ulottuu pohjaveden pinnan lähelle tai alapuolelle sekä laajan lisäoton yhteydessä. Veden laatua tulee seurata myös silloin, kun ottamisalue sijaitsee lähellä vedenottamoita, tai kun kunnostetaan pohjavesialueella sijaitsevia vanhoja maa-ainestenottoalueita.

Näytteenottopisteet

Maa-ainestenoton aiheuttamia vaikutuksia seurataan pääosin ottamisalueelle ja sen lähiympäristöön asennetuista pohjaveden havaintoputkista. Luvan hakijan tulee esittää ottamissuunnitelmassa pohjaveden pinnan korkeuden ja laadun seurantaputkien sijainnit sekä havaintoputkien asennustapa ja materiaali. Putkien asentamisesta huolehtii luvan haltija lupamääräysten mukaisesti. Tarvittaessa sijoittamispaikasta ja tavasta sovitaan erikseen valvontaviranomaisen kanssa. Putket suositellaan asennettavaksi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen kaivu-



Kuva 4.2.6. Vasemmalla ylhäällä: Asianmukaisesti suojamalla pohjavedenpinnan havaintoputket saadaan säilymään toimintakuntoisina koko ottotoiminnan ajan ja sen jälkeenkin. Kuva J. Rintala.

Oikealla ylhäällä ja alhaalla: Havaintoputki maa-ainestenottoalueella ottotoiminnan aikana ja jälkihoidon päätyttyä (Tuusula, Jäniksenlinna). Kuva U. Tantt.



toiminnan aloittamista. Mikäli maakerrokset alueella ovat paksuja, voidaan osa havaintoputkista asentaa ottamisen edetessä lupaviranomaisen suostumuksella. Tällöin tulee varmistua siitä, että maa-ainestenotto ei etene liian lähelle pohjavedenpintaa. Tämä edellyttää asiantuntijan perusteltua arviota pohjaveden pinnan tasosta.

Havaintoputkista pitää pystyä ottamaan vesinäytteitä ja määrittämään pohjaveden pinnan taso. Putket tulee sijoittaa siten, että näytteenotto on mahdollista koko seurantajakson ajan. Havaintoputkien maanpinnan yläpuoliset osat on suojattava ja merkittävä selvästi maastoon sekä varustettava lukittavalla suojakannella (kuva 4.2.6). Putkien kunto pitää tarkastaa säännöllisesti vuosittain. Mikäli putki on tukkeutunut tai vesinäyte on samentunut siivilään joutuneesta hienoaineksesta, se huuhdellaan. Yksityiskohdaisia tietoja havaintoputkista ja niiden sijoittamisesta on esitetty luvussa 5.2.6 ja ”Sorannoton vaikutus pohjaveteen” -raportissa sekä ”Maa-

ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito” -oppaassa.

Näytteenotto ja määritykset

Pohjaveden pinnan korkeus määritetään lupamääräysten mukaisesti. Mittauksia edellytetään yleensä tehtävän eri vuodenaikoina ainakin neljä kertaa vuodessa, jotta pystytään arvioimaan pohjaveden vuotuinen korkeusvaihtelu. Seuranta aloitetaan noin vuotta ennen ottotoimintaa ja lopetetaan noin vuosi toiminnan päättymisen jälkeen. Pohjaveden pinnan korkeus mitataan havaintoputken yläpinnasta ja tulos ilmoitetaan korkeustasona.

Pohjaveden pinnan korkeus- ja laatutiedot tulee toimittaa säännöllisesti lupamääräysten mukaisesti valvontaviranomaisen, alueellisen ympäristökeskuksen tai konsulttitoimiston asiantuntijan arvioitaviksi. Tulokset säilytetään kunnassa, vesilaitoksessa tai alueellisessa ympäristökeskuksessa.

Pohjaveden laadun määrittämiseksi vesinäytteitä otetaan suppeaa analyysiohjelmaa varten vähintään kerran vuodessa ja laajaa analyysiohjelmaa varten kolmen vuoden välein. Jos pohjaveden laadun todetaan muuttuneen voi valvontaviranomainen määrätä näytteitä otettavan useammin. Tavallisesti määritettäviä parametreja on esitetty taulukossa 6.6. Analyysivalikoimaa voidaan tarvittaessa tarkentaa ottotoiminnan aikana tai laajentaa tapauskohtaisista syistä. Vesinäytteet otetaan yleensä havaintoputkesta imu- tai uppopumpulla näytteenotto-ohjeita noudattaen (kts kpl 6.2.3.) ja ne kestävöidään ja säilytetään standardien esittämällä tavalla (kpl 6.5). Näytteet otetaan vuosittain samana ajankohtana.

Pohjavesialueen yleistilan seuranta maa-ainesten yhteydessä

Maa-ainesten ottolupa ei kuulu seurata toiminnan vaikutuksia koko pohjavesialueen yleistilaan. Yleistilan seuranta toteutetaan yleensä erillisten, kunnostus- ja suojelusuunnitelmissa esitettyjen yksityiskohtaisten seurantaohjelmien mukaan. Lupamääräysten mukainen seuranta on usein tarkoituksenmukaista liittää osaksi pohjavesialueen yleistilan seuranta.

Seurannan avulla voidaan selvittää maa-ainestenoton ja siihen liittyvien toimintojen sekä ottamisalueiden jälkihoidon lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia pohjaveden määrään ja laatuun. Eri kohteista saatavia tietoja voidaan käyttää hyväksi pyrittäessä vähentämään maa-ainestenotosta aiheutuvia haittoja sekä yleisesti kehittämään maa-ainestenotto- ja jälkihoitomenetelmiä. Yleistilan seurannassa ja maa-ainestenoton vaikutusten arvioinnissa on otettava huomioon vanhat, nykyiset ja tulevat ottamisalueet sekä luonnontilainen vertailualue.

Lupamääräysten noudattamisen seuranta

Maa-ainesten ottolupien noudattamista ohjaa ja valvoo kuntatasolla kunnan määräämä viranomainen (valvontaviranomainen). Valvontaviranomainen on yleensä rakennus- tai ympäristölautakunta. Aluetasolla ohjaus ja valvonta kuuluvat alueelliselle ympäristökeskukselle, jonka tehtäviin kuuluvat myös neuvonta, yhteydenpito, ylei-

nen asiantuntija-apu sekä osallistuminen vaativampiin valvontatoimiin tarvittaessa. Ympäristöministeriö ohjaa, seuraa ja kehittää maa-aineslain mukaista yleistä toimintaa. Valvontaviranomaisen seuraa pohjaveden seurantajärjestelmän toteutumista vuosittaisissa tarkistuksissa. Mahdolliset puutteet esitetään korjattavaksi määräajassa.

4.2.7 Pohjaveden seuranta metsäojituksen ja turvetuotannon yhteydessä

Metsäojitukset saattavat ajattelemattomasti tehtyinä vaikuttaa sekä pohjaveden määrään että laatuun. Pohjavesialueilla tapahtuvissa metsänhoitotoimissa ei sallita maan pintaa voimakkaasti rikkovia korjuu- tai hoitomenetelmiä. Lisäksi tulisi välttää harjuja ympäröivien metsien ojitamista harjuun päin.

Joskus harjua ympäröivät metsämaat on kuitenkin ojitettu harjua kohti siten, että ojen vesi lopulta imeytyy karkeaan harjuainekseen. Tällöin harjun pohjaveden määrä saattaa lisääntyä, ja sen purkautumispisteisiin voi syntyä tavallista voimakkaampia virtauksia. Jos imeytyvä vesi sisältää runsaasti humusainetta, kohoo pohjaveden humuspitoisuus.

Metsäojituksen vaikutusten selvittämiseksi harjuun asennetaan ojien purkupaikan lähelle havaintoputki, josta seurataan sekä pohjaveden laatua että pinnan korkeutta. Tämän lisäksi harjualueelle asennetaan havaintoputket noin 300–500 metrin etäisyydelle ojituspisteestä sekä oletettuun pohjaveden virtaussuuntaan että virtaussuuntaa vastaan. Putkista seurataan pohjaveden pinnan korkeusasemaa sekä pohjaveden humuspitoisuutta ja sen muuttumista. Humuspitoisuutta seurataan analysoimalla pohjavedestä esimerkiksi permanganaattikilutusta. Jos humuspitoisuus on korkea myös seurantapisteesä, tulee alueelle asentaa etäämmälle havaintoputkia, kunnes saadaan rajattua ojituksen vaikutusalue. Uusia alueita ojitettaessa tulee varmistua siitä, että ojia ei kaiveta harjujen läheisyydessä kivennäismaahan asti.

Suot voidaan luokitella joko ombrotrofisiin tai minerotrofisiin soihin sen perusteella, mikä on niiden vesien alkuperä. Ombrotrofinen suo tai suon osa elää sadeveden varassa. Minerotrofi-

nen suo tai suon osa saa pääosan vedestä kivennäismailta tai pintavalunnasta. Minerotrofisiin soihin kuuluvat myös ne suot, joille purkautuu vettä pohjavesiesiintymistä kuten harjuista.

Harjuissa ja niiden liepeillä saattaa esiintyä sekä ombrotrofisia että minerotrofisia soita. Soiden ojittaminen voi aiheuttaa muutoksia pohjaveden laadussa tai sen määrässä. Jos harju purkaa jo luontaisesti pohjavettä turvetuotannossa olevalle suoalueelle (pohjaveden pinta on harjussa korkeammalla kuin ympäröivillä suoalueilla), saattaa suon ojitus aiheuttaa pohjaveden hallitsematonta purkautumista suolle. Ojien kaivaminen suon alla olevaan mineraalimaahan voi aiheuttaa uusien pohjaveden purkautumispaikkojen syntymisen. Pohjaveden pinnan hakeutuessa uuteen tasapainotilaan purkautuminen aiheuttaa pohjaveden pinnan alenemista harjussa.

Minerotrofisella turvetuotantoalueella pohjaveden pinnan korkeutta pitää seurata sekä harjussa että sen reuna-alueilla. Harjun rakenteesta ja vesivaraston käyttöasteesta riippuen pohjaveden korkeuden seurantaputkien etäisyydet saatavat vaihdella 300 metristä jopa kilometriin. Suon pohjaveden pintaa voidaan usein laskea niin, että harjun pohjavesipinta ei muutu. Tämä edellyttää hyvin suunniteltua ja rakennettua tuotantoaluetta. Tärkeää on estää ojia ulottumasta kivennäismaahan asti.

Mikäli todetaan, että pohjaveden pinta suolla on korkeammalla kuin harjussa, harjuun järjestetään pohjaveden pinnan korkeuden seurannan lisäksi pohjaveden laadun seurantapisteitä. Pohjaveden laadun seurantapisteitä pitää joskus olla tiheämmässä kuin pohjaveden pinnan havaintoputkia, mikäli halutaan selvittää kohteet, joista humuspitoista suovettä pääsee imeytymään harjuun. Pohjaveden humuspitoisuutta analysoidaan yleensä mittaamalla pohjaveden permanganaatin kulutusta.

Mikäli pohjaveden pinta on pohjavesialueella alempana kuin turvetuotantoalueella, suo-ojien ulottaminen mineraaliainekseen asti saattaa aiheuttaa suovesien imeytymistä pohjavesivarastoon. Samoin voi käydä, jos ojat johdetaan harjuun. Tällöin pohjaveteen pääsee suon humuspitoisia vesiä, jotka heikentävät sen laatua. Tällainen tilanne vallitsee usein ombrotrofisilla suoalueilla.

4.2.8 Pohjaveden suojaus tien kohdalla

Pohjavesien suojaustarvetta vilkasliikenteisten teiden osalta täytyy tarkastella sekä uusien, rakennettavien teiden suhteen että jo olemassa olevien teiden suhteen. Uusien, vilkasliikenteisten teiden rakentamista pohjavesialueelle vältetään. Jos tie joudutaan sijoittamaan pohjavesialueelle, suojaustoimet toteutetaan osana tierakennushanketta. Olemassa olevaa vilkasliikenteistä tietä parannettaessa yhtenä vaihtoehtona tutkitaan tien siirtämistä pohjaveden oton kannalta suotuisampaan paikkaan tai pois pohjavesialueelta. Yleensä tietä ei kuitenkaan siirretä pois, vaan tarveselvityksen avulla selvitetään tien kunnossapidon ja liikenteen pohjavedelle aiheuttamat riskit.

Pohjavesialueelle rakennetun tien osalta selvitetään, tarvitaanko toimenpiteitä tiesuolauksen aiheuttamien haittojen tai onnettomuuksissa tapahtuvien mahdollisten vaarallisten aineiden ja polttoaineiden vuotojen vuoksi. Toimenpiteitä ovat suolauksen vähentäminen, pintavesien mahdollisimman tehokas johtaminen alueelta pois, tieympäristön pehmentäminen, suojakaitteen rakentaminen onnettomuuksien varalle tai pohjavesisuojaus rakentaminen.

Tiehallinto selvittää ympäristöviranomaisten kanssa teiden suolauksen vaikutuspiirissä olevien pohjavesialueiden kestävyys ja varmistaa ettei kestävyys ylitä sekä toteuttaa tarvittaessa suojaukset. Yhteistyössä muiden vastuullisten tahojen kanssa Tiehallinto kehittää vaarallisten aineiden kuljetuksiin liittyvien riskien hallintaa. Tavoitteena on, että pohjaveden suojelun kannalta kiireelliset kohteet suojataan vuoteen 2010 mennessä. Kiireellisiksi kohteiksi on määritetty pohjavesikohteet, jotka sijoittuvat tieverkolle kunnossapitoluokituksessa I ja Is (pääasiassa vilkasliikenteiset valtatie), ja joissa vedenotto on saanut riskikartoituksessa korkeat riskipisteet ja pohjaveden kloridipitoisuus on yli 25 mg/l tai pitoisuustaso on selvästi kohoamassa.

Pohjaveden suojauksen suunnittelu eri suunnitteluvaiheissa

Pohjaveden suojauksen suunnittelu riippuu siitä, onko kyseessä uuden tien sijoittaminen poh-

javesialueelle vai vanhan tien suojaustarpeen selvittäminen. Uuden tien suunnittelussa käydään usein läpi kaikki suunnitteluvaiheet, joita ovat esisuunnitelma, yleissuunnitelma, tiesuunnitelma, rakennussuunnitelma ja rakentaminen. Rakennussuunnitelma voidaan yhdistää rakentamiseen. Tässä tapauksessa tiesuunnitelman täytyy olla tasoltaan riittävän kattava, jotta urakkarjoukset voidaan pyytää sen perusteella. Vanhan tien suojaustarpeen selvittäminen aloitetaan usein tarveselvityksellä. Tarveselvityksen jälkeen voidaan toteuttaa yhdistetty tie- ja rakennussuunnitelma, tai tiesuunnitelman jälkeen pyydetään tarjoukset rakennussuunnitelmasta ja rakentamisesta. Eri suunnitteluvaiheiden aikana ollaan yhteydessä kuntiin ja alueelliseen ympäristökeskukseen sekä suunnitelman tarkentamisessa alueen asukkaisiin ja maanomistajiin.

Esi- ja tarveselvitykset

Uuden tien eri linjausvaihtoehtoja suunniteltaessa selvitetään, onko alueella pohjavesialueita ja voidaanko tie linjata niiden ulkopuolelle. Suunnittelun aikana arvioidaan tienpidosta pohjavesialueelle ja vedenottamoille aiheutuvat riskit sekä alustava suojaustarve. Samalla selvitetään muut keinot, joilla voidaan vähentää tienpidosta ja tieliikenteestä pohjavedelle aiheutuvia riskejä. Suunnittelun aikana kerätään olemassa olevat tiedot pohjaveden virtaussuunnista, maaperästä, pohjaveden laadusta sekä alueen muista mahdollisista kloridilähteistä.

Vanhan tien suojaustarveselvityksessä arvioidaan, aiheuttaako tie uhkaa pohjavedelle. Lisäksi suojattava alue rajataan alustavasti ja selvitetään vesien poisjohtaminen alueelta (kuivatus) sekä laaditaan alustava kustannusarvio suojausten rakentamisesta. Pohjavesialueelle joudutaan usein asentamaan lisää pohjavesiputkia, jotta suojaustarve voidaan selvittää ja rajata tarkemmin suojattava alue. Pohjaveden virtaussuuntien ja maaperän koostumuksen selvittämiseksi käytetään usein apuna geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä, nykyisin varsinkin sähköistä luotausmittausta. Ennen lisätutkimuksiin ryhtymistä täytyy kuitenkin tutkia tarkkaan olemassa olevat tiedot, kuten ympäristökeskuksen tekemät pohjavesialueen rajaukset, vedenottamon toi-



4.2.8. Pohjavesisuojaus Vihdin Nummelanharjulla. Vasemmalla säiliöauton kaatumisen estävä betonikaide, oikealla luiskasuojauksia. Kuva T. Kinnunen

mintaan liittyvät maastotutkimukset sekä vesianalyysi- ja pumppaustiedot. Kairaukset ja havaintoputkien asennukset tehdään erillisen suunnitelman mukaan.

Yleissuunnitelma

Jos esi- ja tarveselvityksen yhteydessä on tehty edellä esitettyjä maastotutkimuksia, yleissuunnitelmaa ei tarvitse tehdä. Tällöin voidaan siirtä suoraan tiesuunnitelman laatimiseen.

Yleissuunnitelmaa laadittaessa uudelle tielle etsitään ympäristön, liikenteen tarpeiden ja kustannusten kannalta edullisin sijainti. Tienpidon pohjavesialueelle ja vedenottamoille aiheuttaman riskin arvioinnit päivitetään. Suunnittelun aikana kerätään olemassa olevat tiedot pohjaveden virtaussuunnista, maaperästä ja veden laadusta sekä alueen muista kloridilähteistä, jos niitä ei ole kerätty esiselvityksen yhteydessä. Suunnitelmassa esitetään pohjaveden suojauksen laajuus ja alustavat rakentamiskustannukset. Suojaustarpeesta neuvotellaan alueellisen ympäristökeskuksen kanssa. Suunnitelmassa esitetään myös muut keinot vähentää tienpidon ja tieliikenteen aiheuttamia riskejä pohjavesialueella.

Yleissuunnitelma valmistuu usein vuosia ennen tiesuunnitelman laatimista. Siinä suunnitellaan alustavasti pohjavesialueen maastotutkimukset ja tarvittavat pohjaveden laadun seurannat, joiden tuloksia tarvitaan tiesuunnitelmaa laadittaessa. Tutkimukset on syytä aloittaa vuosi ennen tiesuunnitelman laatimisen aloittamista.

Tiesuunnitelma

Tiesuunnitelman perusteella Tiehallinto saa oikeuden tietä ja/tai pohjavesisuojausta varten tarvittavaan maa-alueeseen. Tien sijainti ja korkeustaso (tasausviiva) määräytyvät tässä suunnitteluvaiheessa. Tiesuunnitelmassa tai sen täydennysosassa esitetään pohjavesisuojauksen sijainti ja kustannukset, mahdolliset suojauksen edellyttämät rakenteet (esim. kaiteet) sekä suunnitelma pintavesien poisjohtamisesta suojattavalta alueelta (kuivatussuunnitelma ja purkupaikat). Suojausmateriaaleja ei päätetä tiesuunnitelman yhteydessä. Tässä vaiheessa on kuitenkin suositeltavaa selvittää alueen moreenin ja saven määrät sekä tekniset ominaisuudet kuten rakeisuus ja vedenläpäisevyysarvot. Näin saadaan selville, voidaanko pohjavesisuojauksessa käyttävä luonnon materiaaleja. Saven tai moreenin hyödyntämiseen tarvitaan yleensä maa-ainestenottolupa, jonka hakemiseen täytyy varata aikaa vähintään vuosi.

Tiesuunnitelma tulisi laatia muutamia vuosia ennen rakentamista, mutta sitä voidaan tarkistaa ja täydentää vielä ennen rakentamista. Suunnitelmasta ja tarkistuksista pyydetään lausunto kunnasta ja alueellisesta ympäristökeskuksesta.

Rakennussuunnitelma

Rakennussuunnitelman teettää Tiehallinto tai urakoitsija. Rakennussuunnitelmassa voidaan esittää useita vaihtoehtoja suojaukseen käytettävän tiivistemateriaalin suhteen (esim. bentoniittimatto, lasiaalisavi, muovi, bentoniittimaa). Materiaalien laatuvaatimukset ja kerrospaksuudet on esitetty Tiehallinnon (Tielaitoksen) ohjeissa ja työselityksissä. Pohjavesisuojausten suunnitteluun sisältyy lopullisten rakennekuvien ja työselitysten laatiminen (mm. altaat, pumppaamot ja purkulinjat). Suunnitelmassa varmistetaan suojauksen pysyminen luiskissa ja läpivientien toteuttamiskelpoisuus.

Rakentaminen

Rakentamisen aikana havaitut poikkeamat pohjamaassa tai suojaukseen käytettävän tiivistemateriaalin suhteen voivat edellyttää tehtyjen suunnitelmien muuttamista. Urakoitsijan on neuvoteltava muutoksista tilaajan kanssa, suojausalueen laajuuden ja purkupaikkojen osalta myös alu-

eellisen ympäristökeskuksen kanssa. Urakoitsija tai ulkopuolinen laadunvalvoja tekee suunnitelman mukaiset laadunvalvontamittaukset ja toimittaa tulokset tilaajalle. Tilaaja saattaa tehdä pistokokeita rakentamisen laadun varmentamiseksi.

Heti rakentamisen jälkeen tehdään vastaanottotarkastus, jossa tarkistetaan, että laadunvarmistukseen liittyvät kokeet ja mittaukset on tehty, tarkastusten tulokset on kirjattu ja valmis tuote on vaatimusten mukainen. Pohjavesisuojauskohteesta laaditaan pohjavesisuojauksen kuvaus, joka toimitetaan kunnossapitäjälle ja pelastusviranomaiselle. Pohjavesisuojauksen kuvauksessa annetaan ohjeet vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksien varalle ja esimerkiksi liikennemerkkien pystyttämiseksi.

Takuutarkastus suoritetaan takuuajan lopussa, yleensä kahden vuoden päästä rakentamisen jälkeen. Takuutarkastuksen suorittavat tilaaja ja urakoitsija yhdessä. Takuutarkastuksessa kiinnitetään huomioita varsinkin seuraaviin asioihin: suojatun alueen kuivatus toimii suunnitellulla tavalla, suojatulla alueella ei ole havaittavissa pintaveden aiheuttamia syöpymiä ja suojusrakenne on muutenkin ehyt silmämääräisesti tarkasteltuna. Mahdolliset puutteet korjaa rakentaja omalla kustannuksellaan.

4.2.9 Kirjallisuutta

Maa-ainestenotto

Alapassi, M., Rintala, J. & Sipilä, P. 2001. Maa-ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito. Ympäristöopas 85. Ympäristöministeriö. 101 s. ISSN 1238-8602, ISBN 951-37-3473-0.

Hatva, T., Hyypä, J., Penttinen, H., Ikäheimo, J. & Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Raportti V: Soranotto ja pohjaveden suojelu. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - Sarja B 15. Vesi- ja ympäristöhallitus. 119 s. ISSN 0786-9606, ISBN 951-47-7012-9.

Tien rakentaminen

Tielaitos, 1993. Pohjaveden suojaus tien kohdalla. ISBN 951-47-7428-0, TIEL 2140001-93, 32 s.

Tielaitos, 1996. Pohjavesisuojauksen kuvaus. Esimerkkejä toteutetun suojauksen kuvaamisesta. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 10. TIEL 4000133, 54 s.

Tiehallinto 2004: Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Helsinki. Tiehallinto 2004 ISBN 951-803-384-6. TIEH 2100028-04 Suunnitteluvaiheen ohjaus.

- Edita Prima Oy. Helsinki.
- Tiehallinto 2004: Pohjaveden suojausrakenteet. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset TYLT 4840. ISBN 951-803-386-2 TIEH 2200029-04. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Vallius, P. 1999. Deicing of roads and the chloride concentrations of groundwater intakes. Hydrogeology and land use management, XXIX Congress of International Association of Hydrogeologists, Bratislava, Slovak Republic, 6.-10. September 1999, 571-574.
- Vallius, P. 2000. Suomalainen saviaines soveltuu tärkeiden pohjavesialueiden suojausmateriaaliksi. Tie ja Liikenne 1-2, 24-27.
- Vallius, P. & Immonen, J. 2000. Valtatien 25 pohjavesi-suojaukset välillä Hanko-Skogby. Väylät & Liikenne 2000, Esitelmät, Suomen Tieyhdistys, 61-71
- Ympäristöministeriö. 2000. Ohje tienpidon pohjavesi-vaikutusten valvonnasta -22.5.2000. Helsinki, Ympäristöministeriö.
- Suojelusuunnitelma**
- Molarius, R. ja Rintala, J. 1999. Nastolan Villähteen ja Nastonharju-Uudenkylän pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Nastolan kunta ja Pirkanmaan ympäristökeskus ISBN 951-96240-2-3. Multiprint, Tampere.
- Molarius, R. 1999. Yhteistyöllä parempiin pohjavesialueiden suojelusuunnitelmiin. Pirkanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 137. ISBN 952-11-0568-2. Multiprint, Tampere
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys (VVY) 1999. Pohjaveden suojelu erityisesti vedenhankintaa silmällä pitäen. Helsinki. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 134 s. ISBN 952-5000-20-6

4.3 Pohjaveden likaantumistutkimukset

4.3.1 Pohjavesivahinkojen torjuntatoimenpiteet

Pohjavesivahinkoja voidaan ehkäistä erilaisilla ennakkotoimenpiteillä kuten suoja-alueiden muodostamisen, suojelusuunnitelmien laatimisen, maankäytön suunnittelun, informaation sekä lakeihin ja asetuksiin perustuvan valvonnan avulla. Pohjavesivahingon torjuntatoimenpiteet voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- valmiussuunnittelu
- tilannearvio
- tiedottaminen
- välittömät torjuntatoimenpiteet
- pohjavesitutkimukset
- mekaaninen puhdistus
- kemiallinen ja biologinen puhdistus

Torjunnan eri vaiheet tapahtuvat usein samanaikaisesti, koska syntynyt tilanne muuttuu jatkuvasti ja vaatii nopeita toimenpiteitä. Torjunnan toteuttaminen riippuu lisäksi paikallisista olosuhteista, lika-aineen laadusta ja vedenhankintatilanteesta, joten yksityiskohtaisia torjuntasuunnitelmia ei voida tehdä etukäteen. Vahinkoihin on kuitenkin syytä varautua ja laatia niitä koskevat yleiset suunnitelmat, esimerkiksi vesilaitoksen ja pelastuslaitoksen toimintaa varten.

Lähtökohtana pohjavesivahinkojen torjuntaa suunniteltaessa ja toteutettaessa tulisi olla kunnan pohjavesialueiden hydrogeologisten olosuhteiden tunteminen. Lisäksi on tunnettava kysymykseen tulevien kemikaalien tai muiden lika-aineiden ominaisuudet sekä käyttäytyminen maaperässä ja pohjavedessä. Samoin on oltava tiedossa, millaista haittaa ja vahinkoa kyseinen lika-aine voi aiheuttaa. Torjuntahenkilöstön tulisi olla asiantuntevaa ja käytettävän kaluston asianmukaista.

Vahingon torjuntaa suunniteltaessa ja toteutettaessa tulee myös arvioida, missä suhteessa vahingon torjuntakustannukset ovat mahdollisesti saavutettavaan hyötyyn nähden. Jos torjuntakustannusten voidaan riittävällä tarkkuudella arvioida olevan saavutettavaan hyötyyn nähden erityisen kalliita, tulisi ensin selvittää muut tilanteen ratkaisumahdollisuudet ja vedenhankintavaihtoehdot.

Likaantumisen selvittämistutkimukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat akuutti likaantumistapaus, vanha likaantumistapaus ja likaantumistapaus, jonka päästölähdettä ei tiedetä.

Seuraavassa on käyty läpi mahdollisuuksia varautua vahinkoihin jo etukäteen, mahdollisten vahinkojen ilmenemistavat, välittömät toimenpiteet akuutin likaantumisen tullessa ilmi sekä tarvittavat pohjavesitutkimukset tilanteen selvittämiseksi. Vahinkojen torjuntatoimenpiteitä on kuvattu julkaisussa "Pohjaveden suojelu, erityisesti vedenhankintaa varten" (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys (VVY) 1999).

Valmiussuunnittelu

Pohjavesivahinkojen torjuntaan voidaan varautua etukäteen osana vesilaitoksen valmiussuunnittelua. Suunnittelu voi käsittää erilaisia toimenpiteitä, kuten pohjavesitutkimuksia ja muuta tiedon hankintaa, koulutusta sekä eri viranomaisien välistä yhteistyötä. Pelastuslaitosten laatimat öljyvahinkojen torjuntasuunnitelmat muodostavat jo osan valmiussuunnittelusta.

Pohjavesivahinkojen torjunta edellyttää, että pohjavesialueista on käytettävissä mahdollisimman hyvät tiedot. Ne voidaan saada vain tekemällä riittävän yksityiskohtaisia pohjavesitutkimuksia. Jos ennen likaantumista tehty pohjavesitutkimukset ovat riittävän yksityiskohtaisia, tutkimustarve on vähäisempi likaantumisen tullessa ilmi. Valmiussuunnittelun kannalta hyödyllisiä, helposti saatavissa olevia tietoja ovat muun muassa:

- pohjavesialueiden hydrogeologiset kartat
- yksityiskohtaiset tiedot pilaantumisriskin aiheuttavista tehtaista, laitoksista ja niiden varastoista (pohjavettä vaarantavien aineiden tietokortti)
- tiestö ja sen suojaus (Tiehallinto)
- öljysäiliöt ja niiden kunto (pelastuslaitos)
- pohjaveden pinnan ja laadun havaintoverkosto sekä seurantatiedot (vesilaitos)
- pohjavesitutkimustiedot (alueelliset ympäristökeskukset, vesilaitos, konsultit)

Tiedot on suositeltavaa koota vesilaitoksella säilytettäväksi. Pohjavesialueiden sijaintia koskeva hydrogeologinen yleiskartta tulisi olla aina käytettävissä vesilaitoksella sekä poliisi- ja pelastuslaitoksilla. Tällöin esimerkiksi liikenneonnettomuuden sattuessa voidaan heti tarkistaa, aiheuttaako tapaturma pohjavesien pilaantumisvaaraa.

Liikenne- ja viestintäministeriön kotisivuilla on VAKSU-palvelu, jota voi käyttää kuka tahansa. VAKSU-palvelu on alun perin kuljetusyrityksille kehitetty työkalu, jolla voidaan suunnitella maantie- ja rautatiekuljetuksia ja reittien riskialttiutta. Palvelu sisältää mm. liikennealueiden riskiluokituksen, joka perustuu maanteiden ja rautateiden välittömässä läheisyydessä vallitseviin maaperä-, pohjavesi- ja pintavesiolo-



Kuva 4.3.1a. Kuva Äänekoskella suoritetusta, teiden riskiluokitukseen liittyvästä harjoituksesta, jossa simuloitiin säiliöauto-onnettomuus ja harjoiteltiin sen aiheuttamien päästöjen torjuntatoimenpiteitä. Kuva J. Sorvali.

suhteisiin. Luokituksen avulla voidaan arvioida ja ennakoida ympäristöön kohdistuvia likaantumisriskejä esimerkiksi onnettomuustapauksissa, jolloin ympäristöön voi joutua haitallisia tai vaarallisia aineita. Riskiluokitus on laadittu Keski-Suomen, Uudenmaan, Turun ja Hämeen ja Kaakkois-Suomen päätieverkolle.

Pohjavesivahinkojen torjuntaan tulisi varautua myös asianomaisten kunnan viranomaisten koulutuksella sekä yhteisillä harjoituksilla, joihin myös ympäristökeskusten asiantuntijat voisivat osallistua.

Vanhojen, pitkän ajan kuluessa syntyvien pohjavesivahinkojen torjuntaan tulisi varautua pohjaveden laadun seurannan ja mahdollisten riskikohteiden tarkastusten avulla. Tällaisia likaantumistapauksia voi sattua esimerkiksi teollisuuslaitoksen viemäreiden vuodon seurauksena.

Vahinkojen ilmeneminen

Pohjavesivahingot voivat tulla esille muun muassa seuraavilla tavoilla:

- onnettomuuksien yhteydessä (säiliöauton kaatuminen, rautatieonnettomuus)
- vahinkojen seurauksena (öljysäiliön ylitäyttö, hydraulikkajärjestelmän rikkoutuminen)
- pohjaveden laadun lakisäateisen tai tehostetun seurannan yhteydessä
- saastuneiden maa-alueiden kartoituksen yhteydessä



Kuva 4.3. I b Pohjavesialueen suojelusuunnitelman laadinnan yhteydessä esiin tullut maaperän ja pohjaveden likaantumistapaus. Kuva T. Kinnunen.

- kun pohjavesialueella epäillään tapahtuneen veden pilaantumista, pilaantuminen todetaan tätä varten tehdyissä tutkimuksissa
- veden käyttäjät toteavat vedessä erityistä makua tai hajua
- sattumalta esimerkiksi vedenhankintaa varten tehtävien pohjavesitutkimusten tai muiden tutkimusten yhteydessä.

Tilanteen kartoitus ja välittömät torjuntatoimenpiteet

Pohjavesivahingon tapahduttua on tärkeää ryhtyä heti toimenpiteisiin tilanteen selvittämiseksi ja käynnistää vahingontorjunta. Jos kysymys on suuresta veden jakeluun vaikuttavasta vahingosta, tulisi kiinnittää erityistä huomiota asiasta tiedottamiseen. Asiasta on ilmoitettava pelastuslaitokselle, poliisille, vesilaitokselle ja kunnan muille viranomaisille sekä alueelliselle ympäristökeskukselle.

Tilanteen arvioimiseksi ja jatkotoimenpiteiden suunnittelua varten tulisi heti alustavasti selvittää:

- aikaisemmin tehdyt pohjavesitutkimukset
- maaperään ja mahdollisesti pohjaveteen päässeeseen aineen laatu ja määrä
- lika-aineen ominaisuudet ja käyttäytymisen maaperässä ja pohjavedessä
- vahinkoalueen hydrogeologiset olosuhteet (maaperän laatu, pohjaveden pinta ja virtaussuunta) ja sijainti pohjavesialueella
- lika-aineen mahdollinen kulkeutuminen vedenottamolle tai yksityisiin kaivoihin
- lika-aineen leviämisen estäminen maaperässä ja pohjavedessä

Tilanneselvityksen yhteydessä ratkaistaan, mitkä ovat välittömät torjuntatoimet. Vahingon laajuudesta, vakavuudesta ja olosuhteista riippuen niitä voivat olla esimerkiksi:



Kuva 4.3.1 c. Säiliöautovuodon rajoittamista harjoitellaan Äänekoskella (vrt. kuva 4.3.1 a). Kuva J. Sorvali.

- vedenoton keskeyttäminen mahdollisuuksien mukaan
- lika-aineen maaperään valumisen estäminen (vuotojen tukkiminen, onnettomuusauton tyhjentäminen lika-aineesta, pinta-valunnan estäminen)
- likaantuneen maa-aineksen poistaminen
- lika-aineen poistopumppaus pohjavedestä vahinkopaikalla (mikäli se on mahdollista)
- vesinäytteidenotto vedenottamolta ja kaivoista

Välittömien torjuntatoimenpiteiden tarkoituksena on rajata maaperän ja pohjaveden pilaantuminen mahdollisimman pienelle alueelle sekä varmistaa mahdollisuuksien mukaan, että lika-aine ei pääse kulkeutumaan vedenottamolle.

Tiedottaminen

Tiedottamisen tarve ja laajuus riippuvat pohjavesivahingon laadusta ja luonteesta. Jos vahingosta ei aiheudu välitöntä vedenottamolta otet-

tavan pohjaveden pilaantumisvaaraa, torjuntatoimenpiteisiin voidaan ryhtyä ilman välitöntä tiedottamista kuluttajille. Asiasta tulee kuitenkin tällöin ilmoittaa vesilaitokselle, kunnan rakennusviranomaisille, alueelliselle ympäristökeskukselle ja pelastuslaitokselle.

Kun terveydelle vaarallisia aineita on pääsyt vedenottamolle ja vesijohtoverkostoon, vedenotto on lopetettava välittömästi ja on toimitettava erityistilanteiden varalle laaditun vedenhankintasuunnitelman mukaisesti. Vedenjakelun keskeyttämisestä tiedotetaan heti kuluttajille radion avulla. Lisäksi vesilaitoksen tai ympäristöterveysviranomaisten on syytä järjestää puhelinpäivystys. Tapahtuneesta laaditaan kuluttajille myös tiedote ja järjestetään tarvittaessa tiedotustilaisuuksia. Hyvän, nopean ja sujuvan tiedottamisen järjestämiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Pohjavesitutkimukset

Välittömien torjuntatoimenpiteiden jälkeen, ennen varsinaisten torjuntatoimenpiteiden aloittamista on usein tarpeellista tehdä yksityiskohdaisia pohjavesitutkimuksia. Ennen uusien tutkimusten aloittamista tulee selvittää, minkälaisesta aiempaa tutkimustietoa alueelta on käytettävissä. Lisäksi tulee neuvotella tilanteesta tutkimukset tehneen konsulttitoimiston ja alueellisen ympäristökeskuksen kanssa.

Tutkimusten tarkoituksena on selvittää ne vahingontorjunnan suunnittelun kannalta oleelliset tekijät, jotka eivät ole tiedossa. Tärkeitä tietoja ovat vahinkopaikan hydrogeologiset olosuhteet, maaperään joutuneen lika-aineen ominaisuudet sekä kulkeutuminen maaperässä ja pohjavedessä. Tarvittavia hydrogeologisia tietoja ovat maaperän laatu ja kerrosrakenne (mahdolliset tiiviit, vettä pidättävät maakerrokset ja niiden suunta), mahdolliset orsivesikerrokset, pohjaveden virtausta hidastavat tai virtauksen suuntaa muuttavat maakerrokset, vettä hyvin johtavien maakerrosten paksuus ja leveys pohjaveden pinnan ylä- ja alapuolella, pohjaveden virtaussuunnat ja -nopeudet, pohjaveden määrä ja laatu sekä yksittäisten kaivojen ja vedenottamoiden sijainti ja käyttö.



Kuva 4.3.1 d. Monikerrosnäytteenottoon soveltuvaa havaintoputkea rakennetaan reaktiivisten seinien tutkimusten yhteydessä Orivedellä. Kuva SYKE/S. Giles.

Tutkimustapa ja -kalusto määräytyvät vahinkopaikan olosuhteiden mukaan. Niihin vaikuttaa myös, onko kyseessä akuutti vai vanha likaantumistapaus, ja tiedetäänkö likaantumispaiikka. Jos pohjavesi on lähellä maanpintaa käytetään kevyttä kairaus- ja putkenlyöntikalustoa. Pohjavesinäytteitä otetaan eri tasoilta pumppaamalla. Tutkimuksissa voidaan käyttää myös geofysikaalisia menetelmiä kuten maatulkaa ja seismisiä luotauksia. Lika-aineen kulkeutumista on mahdollista tutkia sähköisten luotausten avulla. Muita kysymyksen tulevia geofysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi VLF- ja gravimetriset luotaukset.

Yli kuuden metrin syvyydellä olevan pohjaveden laadun tutkimista varten joudutaan käyttämään raskasta porakonekalustoa, jonka avulla havaintoputket asennetaan (ks. luku 5.2.6). Vesinäytteet otetaan eri tasoilta uppopumpulla. Raskaalla kalustolla voidaan asentaa tarvittaessa myös tutkimuskaivoja, joita käytetään esimerkiksi suojapumppauksiin tai likaantuneen pohjaveden poistopumppauksiin. Pumpattavan veden määrä on kaivon halkaisijasta riippuen noin 400 - 500 tai jopa yli tuhat kuutiometriä vuorokaudessa. Pohjaveden laatua ja virtausnopeutta voidaan tutkia in-situ mittausten avulla.

Pohjavesivahinkoa ja sen laajuutta on mahdollista arvioida myös matemaattisten pohjavesimallien avulla jos lähtötietoja on riittävästi saatavilla. Mallintaminen soveltuu rajoitetusti pohjaveden virtauksen ja lika-aineiden kulkeutumi-



sen ennustamiseen heterogeenisissä pohjavesiesiintymissä. Mallin kalibrointia varten tarvitaan verrattain paljon yksityiskohtaisia tietoja pohjavesialueen hydrogeologisista olosuhteista. Mallin antamia tietoja voidaan soveltaa suunniteltaessa vahingon torjuntatoimenpiteitä.

Tutkimusten perusteella arvioidaan pohjaveen joutuneen lika-aineen kulkeutumisnopeus ja -suunta, todennäköinen leviämisalue maaperässä ja pohjavedessä sekä pohjavedenottamon likaantumiseriski ja -aika. Jos vahingon todetaan aiheuttavan pohjavedenottamon likaantumisaaran, laaditaan yksityiskohtainen torjuntasuunnitelma ja ryhdytään nopeasti sen edellyttämiin toimenpiteisiin.

4.3.2 Polttoainehiilivedyllä likaantunut pohjavesi

Polttoaineiden, bensiinin ja öljyjen, aiheuttama maaperän likaantuminen on yleisin pilaantuneen maaperän kunnostustoimenpiteiden syy

Suomessa. Kyseiset yhdisteet ovat myös tavanomaisimpia pohjaveden likaantumista aiheuttavia aineita. Bensiini, dieselöljy ja polttoöljy ovat sekoituksia lukuisista erilaisista hiili-vedyistä, joista kukin on oma kemiallinen yhdisteensä. Bensiinissä erilaisia hiilivetykomponentteja on yli 300, dieselöljyssä ja polttoöljyssä vielä useita satoja enemmän. Pohjaveteen päästessään polttoaineet eivät käyttäydy kuten yksi aine, vaan sadoista komponenteista jokainen liukenee, pidentyy, kulkeutuu ja hajoaa omien fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksiensa ohjaamalla tavalla.

Polttoainehiilivetyjen liukoisuus veteen

Pohjaveden likaantumisen kannalta keskeinen polttoainehiilivetyjen ominaisuus on niiden liukoisuus veteen. Hiilivetyjen vesiliukoisuus riippuu paitsi aineiden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista myös lämpötilasta. Karkeasti yleistäen voidaan todeta, että polttoainehiilivetyjen liukoisuus veteen on sitä suurempi, mitä pienempi niiden molekyylipaino on, tai mitä lyhyempi on niiden hiiliketju. Bensiinin komponenttien liukoisuus veteen on keskimäärin suurempi kuin diesel- ja polttoöljyn komponenttien. Bensiinin lisäaineiden, MTBE:n ja TAME:n, vesiliukoisuus on 20 - 320 -kertainen verrattuna muihin polttoainehiilivetyihin.

Polttoainehiilivedyt ja talousvesinormit

Suomessa ei ole säädetty raja-arvoja pohjaveden polttoainehiilivetyjen pitoisuuksille. Tästä syystä polttoainehiilivedyllä likaantuneen pohjaveden kunnostustarvetta tarkasteltaessa ja kunnostustavoitteita asetettaessa on yleisesti käytetty talousvesinormeja. Talousvesinormit on määritelty EU:n direktiivissä 98/83/EY ja vastaavassa sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 461/2000. Bensiinin komponenteista vain bentseenille on asetettu pitoisuusraja, joka on 1 µg/l. Talousveden mineraaliöljypitoisuudelle ei uusimmissa normeissa ole määritelty pitoisuusrajaa, mutta aikaisemmassa sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä vuodelta 1994 mineraaliöljyn pitoisuusraja oli 50 µg/l.

Suomen ympäristökeskus on tehnyt laajan riskiarvion MTBE:stä. Riskiarviossa esitetään

MTBE:lle juomaveden pitoisuusrajaksi 15 µg/l. Kyseinen pitoisuus ei ole terveysperusteinen, vaan se on määritelty maku- ja hajukynnyksien perusteella (ns. teknis-esteettinen arviointi). Terveysperusteista pitoisuusrajaa riskiarviossa ei selkeästi määritellä. Selvittäessä polttoainehiilivetyjen aiheuttamaa pohjaveden likaantumista, tutkimuksen kannalta merkitykselliset pitoisuudet ovat usein hyvin alhaisia ja näin ollen analyysimenetelmän määrittämisryvyn rajoilla. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia näytteenoton ja näytteiden käsittelyn huolellisuudelle.

Analyysimenetelmät

Bensiinihiilivetyjen pitoisuutta pohjavesinäytteissä analysoidaan yleisimmin kaasukromatografisesti. Kaasukromatografisia tekniikoita on lukuisia, ja niistä bensinihiilivetyjen analysoinnissa yleisimmin käytetty on ns. head space -tekniikka. Head space -tekniikassa analysoitava näyte otetaan tiiviisti suljetusta, vain osittain täytetystä näyteampullista vesifaasin yläpuolella olevasta ilmatilasta (ns. head space). Analysoitava näyte on siis ilmaa, joka sisältää vesifaasista näyteampullin ilmaan haihtuneita hiilivetyjä. Head space -tekniikkaa käytetään yleisimmin helposti haihtuvien bensinihiilivetyjen analysoimiseen (yleensä yhdisteet, joiden kiehumispiste on alle 180 °C). Bensiinin komponenttien kiehumispistealue ulottuu 210 °C:een, mutta pääosalla yhdisteistä kiehumispiste on alle 180 °C. Poltto- ja dieselöljyjen komponenttien kiehumispiste on vastaavasti pääosin yli 180 °C.

Sadoista bensiniin komponenteista pohjavesinäytteistä analysoidaan yleensä ns. BTEX-yhdisteet, MTBE, TAME ja TVOC. BTEX -yhdisteillä tarkoitetaan bentseeniä, tolueenia, etyyli-bentseeniä ja ksyleeneitä. Nämä komponentit kattavat melko hyvin bensiniin eri komponenttien liukoisuus- ja kiehumispistealueen. MTBE (metyyli-tert-butyli-eetteri) ja TAME (tert-amyyli-butyli-eetteri) ovat bensiniin oksygenaatteja, joiden pohjavesitutkimusten kannalta keskeinen ominaisuus on korkea vesiliukoisuus ja heikko pidentyvyys maa-ainekseen. Lisäksi näiden eetteriyhdisteiden maku- ja hajukynnyksen sanotaan olevan vesiliuoksessa alhainen (hajukynnyks keskimäärin 15 µg/l ja makukynnyks 40 µg/l).

MTBE otettiin käyttöön lyijyä korvaavana lisäaineena 1980-luvun puolivälissä ja TAME:n käyttö MTBE:n korvaajana alkoi noin 10 vuotta myöhemmin. TVOC:lla tarkoitetaan haihtuvien hiilivetyjen kokonaispitoisuutta (TVOC = total volatile organic compounds) näytteessä, ja siihen lasketaan yleensä yhdisteet, joiden hiililuku on välillä C6-C10 ja kiehumispiste on pienempi kuin 180 °C (hiililuvulla tarkoitetaan kyseisen yhdisteen molekyylissä olevien hiiliatomien lukumäärää). Tutkittaessa erityisesti (ja vain) bensiinin aiheuttamaa pohjaveden likaantumista voidaan yleistää sanoa, että TVOC -arvo kuvaa bensiinihiilivetyjen kokonaispitoisuutta pohjavesinäytteessä, mutta TVOC -arvo voi kuitenkin pitää sisällään myös muita kuin bensiinistä peräisin olevia haihtuvia hiilivetyjä.

Mineraaliöljypitoisuuden määrittämiseksi vesinäytteistä on Suomessa aiemmin yleisesti käytetty infrapunaspektroskopiaa. Tässä ns. IR-menetelmässä vesinäytteen sisältämät hiilivedyt uutetaan ravistamalla mahdollisimman vähän analyysiä häiritsevään orgaaniseen liuottimeen (aikaisemmin hiilitetrakloridi, nykyisin yleensä jokin muu esim. pentaani). Liuotinfraasi erotetaan vesinäytteestä ja analysoidaan infrapunaspektroskopisesti. Ennen analyysiä mineraaliöljyt yleensä erotetaan rasvoista esimerkiksi alumiinioksidikolonnilla. IR-menetelmällä analysoitu mineraaliöljypitoisuus kuvaa uuttomenetelmän vuoksi mineraaliöljyn kokonaispitoisuutta, eikä sillä erotella polttoainehiilivetyjen osuutta muista mineraaliöljyistä kuten voiteluöljystä.

Vesinäytteiden öljymääriätyksiin käytettävien kaasukromatografisten menetelmien käyttö on aiemmin jäänyt vähäiseksi, koska niiden määrittäysraja on ollut verrattain korkea. Viime aikoina menetelmäkehitys on tehnyt mahdolliseksi myös niiden käytön vesinäytteiden mineraaliöljypitoisuuden määrittämisessä. Kaasukromatografisten menetelmien etuna on niiden kyky erotella yhdisteitä hiiliketjun pituuden mukaan ryhmään, esimerkiksi kevyeen ja raskaaseen polttoöljyyn. On todennäköistä, että tulevaisuudessa kaasukromatografisten menetelmien käyttö pohjavesinäytteiden mineraaliöljypitoisuuden ana-

lysoinnissa yleistyy ja IR-analyysien käyttö vastaavasti vähenee.

Pohjaveden pinnalla kelluvan polttoainefaasin toteamiseen ja sen paksuuden mittaamiseen on saatavilla erilaisia elektronisia rajapintamittareita, joiden mittaustarkkuus on yleensä hyvä ja käyttö on yksinkertaista. Puhtaan polttoainekerroksen voi havaita myös bailer-näytteenottimella otetusta näytteestä, mutta kerrospaksuuden mittaaminen ei tällä menetelmällä onnistu luotettavasti. Lähellä potentiaalista likaantumiskohdetta sijaitsevista, uusista tai pitkään käyttämättä olleista putkista tulee aina selvittää mahdollinen puhtaan polttoainefaasin esiintyminen ennen kuin ko. havaintoputkesta otetaan ensimmäistä kertaa näytteitä.

Polttoainehiilivetyjen käyttäytyminen pohjavedessä

Polttoaineet kulkeutuvat pohjavedessä kahden eri mekanismin vaikutuksesta. Pohjaveteen liuenneet hiilivetymolekyylit kulkeutuvat pohjaveden virtauksen mukana (advektio). Diffuusion aiheuttama kulkeutuminen tapahtuu pitoisuuserojen tasaantumisen johdosta. Edellä mainittujen lisäksi omana faasinaan pohjaveden pinnalla kelluva hiilivetykerros kulkeutuu pohjaveden kaltevuuden mukaan "alamäkeen".

Pohjaveteen liuenneiden hiilivetyjen (molekyylien) leviämistä rajoittavat hiilivetyjen biologinen hajoaminen, sitoutuminen maaperän orgaaniseen ainekseen ja mineraaliainekseen sekä hajoaminen erilaisten fysikaalisten prosessien, kuten hapettumisen vaikutuksesta. Merkittävin syy konsentraatioiden alenemiseen on yleensä laimeneminen. Laajoissa USA:ssa tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että bensiinihiilivedyt (oksygenaatteja lukuun ottamatta) kulkeutuvat harvoin pidemmälle kuin 200 metrin päähän likaantumiskohteesta. Usein kuitenkin tilanne on se, että vedenoton aiheuttama lisääntynyt virtaus kuljettaa hiilivetyjä, jolloin kulkeutumismatka saattaa olla huomattavasti edellä mainittua pidempi. Suomen oloissa asiaa ei ole yhtä tarkasti selvitetty. Vedenoton vaikutuksesta MTBE:n on todettu kulkeutuneen likaantumiskohdasta lähes kilometrin päässä sijaitsevalle vedenottamolle.

Pohjavesiputket polttoainehiilivetyjen tutkimisessa

Pohjavesiputkien asentamista käsitellään luvussa 5.2.6. Tässä yhteydessä on kuitenkin tuotava esiin muutamia erityisiä seikkoja, joihin on kiinnitettävä huomiota, kun asennetaan pohjavesiputkia polttoainehiilivetyjen aiheuttaman pohjaveden likaantumisen tutkimista varten. Vaikka usein on perusteltua asentaa pohjavesiputki pohjaveden virtaussuunnassa alavirtaan mahdollisimman lähelle oletettua likaantumiskohdetta, tulee pohjavesiputken asentamista hiilivedyillä likaantuneen maaperän läpi välttää. Putken asennuksen yhteydessä hiilivedyille muodostuu hyvin vettä ja siihen liuenneita hiilivetyjä johtava reitti likaantuneesta maaperästä pohjaveteen, joka saattaa maaperän likaantumisesta huolimatta olla puhdasta. Erityisesti tulee välttää vettä huonosti läpäisevien siltti- ja savikerrosten läpäisemistä, koska tällöin hiilivedyillä likaantunut orsivesi voi kulkeutua pohjavesikerrokseen. Mikäli on välttämätöntä asentaa pohjavesiputki likaantuneelle alueelle, nousuputken osalle on tehtävä tiivistys vettä huonosti läpäisevästä materiaalista, tavallisimmin bentonitista tai bentonitiin ja hiekan seoksesta.

Kontaminaatiota tulee välttää myös pohjavesiputkien asennuksen yhteydessä. Pohjavesiputkien asentamiseen käytettävissä laitteissa tarvitaan polttoaineen lisäksi erilaisia hydrauliikkaöljyjä, voiteluaineita ja jäähdytysnesteitä. Näitä hiilivetyjä voi päästä pohjaveteen putken asennuksen aikana esimerkiksi letkurikon yhteydessä tai putkimateriaalien likaantumisen vuoksi. Suojaputkiporauksessa putkien kierteissä käytettävä rasva voi olla hiilivety pohjaista ja siten aiheuttaa kontaminaatiota. Suojaputkien tyhjennykseen käytetään usein ilmahuuhtelua, jolloin erityisesti huonokuntoisesta paineilmakompressorista voi huuhteluilman välityksellä päästä hiilivetyjä (lähinnä voiteluöljyjä) pohjaveteen.

Koska polttoainehiilivedyt ovat vettä kevyempiä, ei ole harvinaista, että likaantumisalueella ja sen lähiympäristössä on pohjaveden pinnalla polttoainetta omana faasinaan (ns. puhdas tuote). Tällaisen tilanteen havaitseminen on oleellisen tärkeää näytteenottoa ja puhdistustoimenpiteitä suunniteltaessa. Jotta puhdas polttoaine-

faasi voidaan havaita ja sen paksuus mitata, on pohjavesiputken siiviläosan ulotuttava selvästi pohjaveden pinnankorkeuden arvioitua maksimitason yläpuolelle. Toisaalta putkeen saattaa kulkeutua vettä syvemmillä sijaitsevista puhtaista pohjavesikerroksista, jos vesinäyte otetaan pumppaamalla putkesta, jonka siiviläosa on hyvin pitkä. Tällöin näyte laimenee tarpeettomasti. Yleistäen voidaan sanoa, että havaintoputken siiviläosan tulisi olla sitä pidempi, mitä kauempana likaantumislähteestä putki sijaitsee.

Pohjavesiputkien tyhjentämiseen on tarjolla lukuisia erilaisia menetelmiä. Polttoaineilla likaantuneen pohjaveden kohdalla parhaaseen tulokseen päästään, kun tyhjennysmenetelmä valitaan siten, että maaperästä putkeen ja edelleen pois putkesta saadaan aikaan putken antoisuutta pienempi, tasainen veden virtaus. Erityisesti tulee välttää tilannetta, jossa putkesta poistettavaan veteen sekoittuu ilmaa. Näin voi käydä, jos putkesta pumpataan vettä liian suurella teholla, ja putki tyhjenee kokonaan. Tällöin pumppu joutuu osittain kuiville ja pumppaa veden sekaan ilmaa. Polttoainehiilivedyt haihtuvat osittain vedessä olevaan ilmaan ja vapautuvat edelleen ilmakehään. Ilman mukana veteen sekoittuu happea, joka edistää polttoaineiden biologista hajoamista.

Näytteenotto polttoainehiilivedyillä likaantuneesta pohjavedestä

Myös näytteenotto polttoainehiilivedyillä likaantuneesta pohjavedestä vaatii erityistä huolellisuutta. Näytteiden hiilivetytypitoisuus alenee nopeasti, mikäli näytteenotossa, näytteiden käsittelyssä, säilytyksessä tai kuljetuksessa menetellään virheellisesti. Voidaankin todeta, että parhaimmallakin tekniikalla otetun pohjavesinäytteen hiilivetytypitoisuus kuvaa epätäydellisesti pohjavedessä vallitsevaa todellista tilannetta. Pohjavesinäytteenottoa käsitellään luvussa 6.2.

4.3.3 Liuottimilla likaantunut pohjavesi

Liuottimet eivät ole yhtenäinen kemiallinen aineryhmä, vaan ne määritellään lähinnä teknisen käyttötarkoituksen mukaan. Myös ns. haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) kuuluvat liu-

ottimiin. Liuottimien käyttökohteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. maalien, liimojen, painovärien, polttoaineiden ym. valmiiden tuotteiden liuottimet
2. teollisuudessa käytettävät, mm. lääkaineiden ja öljytuotteiden liuottamiseen tai uuttamiseen tarvittavat liuottimet
3. puhdistusliuottimet, joita käytetään metalli- ja muoviteollisuudessa, kemiallisessa tekstiilien pesussa ja autojen pesussa

Liuottimet käsittävät suuren määrän aineita, jotka poikkeavat ympäristöominaisuuksiltaan huomattavasti toisistaan. Syklisiä hiilivetyjä kuten bentseeniä ja toluenia on polttonesteissä, joiden tutkimista on käsitelty edellisessä luvussa. Muita orgaanisia liuotinryhmiä ovat halogeeniyhdisteet, alkoholit, glykolit, esterit, eetterit, ketoni ja amiinit. Pohjaveden likaantumisen aiheuttajaa voidaan lähteä alustavasti paikantamaan löydetyn liuottimen käyttötarkoituksen perusteella. Mikäli pohjavedessä on todettu tetrakloorieteeniä, pohjaveden virtausvyöhykkeellä sijaitsee todennäköisesti kemiallinen pesula tai entinen pesula. Mikäli lika-aine on trikloorieteeniä tai -etaania, päästölähde on useimmiten konepaja tai metallien maalausta harjoittava yritys.

Talousveden kemiallisissa laatuvaatimuksissa (STM 461/2000) on annettu raja-arvot myös liuottimille, lähinnä klooratuille ja halogenoiduille liuottimille. Taulukossa 4.3.3 on esitetty niiden enimmäispitoisuudet talousvedessä.

Monet liuottimet ovat vettä raskaampia ja huonosti veteen liukenevia. Niiden pitoisuudet vedessä kohoavat kuitenkin helposti moninkertaiseksi enimmäispitoisuuksiin verrattuna. Tästä johtuen vähänkin isommissa päästöissä niiden aiheuttama haitta pohjavedessä ilman puhdistustoimia on käytännössä pysyvä.

Liuottimien käyttömääristä ei ole helposti saatavissa ajantasaista tietoa. Suhteellisen hyvän käsityksen niiden käytöstä saa kuitenkin U.-M. Mrouehin laatimasta julkaisusta ”Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa”. Kloorattujen liuottimien käytössä on teoksen ilmestymisen jälkeen tapahtunut muutoksia sikäli, että muun muassa hiilitetrakloridin ja trikloorietaanin käyt-

tö on kielletty. Toisaalta aiemman käytön jäljiltä pohjavedestä löytyy yhä liuottimia, joita ei saa enää käyttää. Aineiden ympäristöhaittoja koskevan tiedon lisääntyessä on siirrytty vähemmän haitallisten aineiden käyttöön ja etsitty aktiivisesti mahdollisuuksia pienentää käyttömääriä. Vuonna 1991 kloorattuja liuottimia käytettiin noin 2 900 t. Tästä arviolta 1 000 t oli dikloorimeetaania, 750 t sittemmin kiellettyä 1,1,1-trikloorieteeniä, 700 t tetrakloorieteeniä (perkloorietyleeni) ja 400 - 450 t trikloorieteeniä. Kloorattuja liuottimia on käytetty jo 1900-luvun ensimmäisillä vuosikymmenillä.

Liuottimien tutkiminen

Eri liuottimien ympäristöominaisuudet vaikuttavat siihen, minkälaisia menetelmiä tutkimuksessa tulisi soveltaa. Näitä ominaisuuksia ovat tiheys, haihtuvuus, vesiliukoisuus ja kulkeutuvuus maassa. Yleisesti voidaan todeta, että maaperään päässeet liuottimet pidäytyvät siihen maaperän ominaisuuksista riippuen suhteellisen suurina pitoisuuksina liueten hiljalleen vajoveden mukana pohjaveteen. Maaperän prosessit ovat useimmiten hitaita, toisin sanoen haihtuminen ja biologinen, kemiallinen tai fysikaalinen hajoaminen on vähäistä. Vaikka tetrakloorieteeni voi hajota trikloorieteeniksi ja edelleen dikloorieteeniksi ja vinyylidikloridiksi, pohjavedestä löydetään vielä pitkänkin ajan kuluttua suurimmat pitoisuudet juuri lähtöainetta eikä hajoamistuotetta.

Tutkimuksen etenemiseen vaikuttaa, tunnettaanko pohjavettä likaava kohde. Usein liuottimien olemassaolo pohjavedessä todetaan vedenottamon rutiinitarkkailun yhteydessä. Tällöin aloitetaan samanaikaisesti sekä liuottimien kulkeutumisreitin tutkimukset pohjaveden virtauskuvaselvityksineen että mahdollisten likaavien kohteiden tutkimukset.

Liuottimien kulkeutumisreitin tutkimukset

Pohjaveden virtauskuva selvitetään kuten muissa pohjavesitutkimuksissa. Kairausten ja havaintoputkien asennusten avulla etsitään maaperästä vettä hyvin johtavat kerrokset, selvitetään niiden ulottuvuudet ja yhteydet, mitataan pohjavedenpinnan asema ja kaltevuus sekä määräte-

tään pohjaveden virtauskuva. Kairausten yhteydessä tehdään havaintoja liuottimien esiintymisestä kenttämittareilla ja haistelemalla. Havaintoputket asennetaan siten, että siiviläosat kattavat koko vettä johtavan vyöhykkeen ja ylettyvät todetun liuottimen ominaisuuksista riippuen myös 1 - 1,5 metriä pohjavedenpinnan yläpuolelle (vettä kevyemmät liuottimet). Mahdollisten orsivesikerrosten esiintymiseen ja niiden puhkaisemisen estämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Geofysikaalisia menetelmiä käytetään maakerrosten rakenteen, pohjaveden virtausta ohjaavien kalliokohoumien ja pohjavedenpinnan tason tutkimiseen (ks. luku 5.2.4). Vaikka useat orgaaniset liuottimet ovat herkästi haihtuvia, ei maaperän huokosilmanäytteiden tutkimuksilla saada riittävän luotettavaa kuvaa liuottimen kulkureitistä. Huokosilmatutkimukset soveltuvat sen sijaan hyvin likaantumiskohteen tutkimuksiin. Kulkeutumisreitti tulee aina selvittää havaintoputkien, kaivojen pohjavesilampien ja lähteiden vesianalyysien perusteella. Näytteet otetaan mahdollisuuksien mukaan aina pumppaamalla. Havaintoputkista on syytä ottaa myös kerroskohtaisia näytteitä liuottimien vertikaalisen pitoisuusjakauman selvittämiseksi.

Kun pohjavesi on riittävän lähellä maanpintaa (alle 6 m), voidaan tutkittavasta pisteestä määrittää antoisuudet ja vesinäytteet kerroksittain. Näin saadaan käsitys liuottimen käyttäytymisestä ja pitoisuusjakaumasta syvyyden ja maakerroksen vedenjohtavuuden suhteen. Kokemukseen perustuvan käsityksen mukaan liuottimien pitoisuudet poh-

javesipatjassa ovat usein suurimpia parhaiten vettä johtavassa kerroksessa. Maaperän vedenjohtavuusominaisuus saattaa siis olla tärkeämpi liuottimen pitoisuuksia pohjavesipatjassa selittävä tekijä kuin itse liuottimien ominaisuudet.

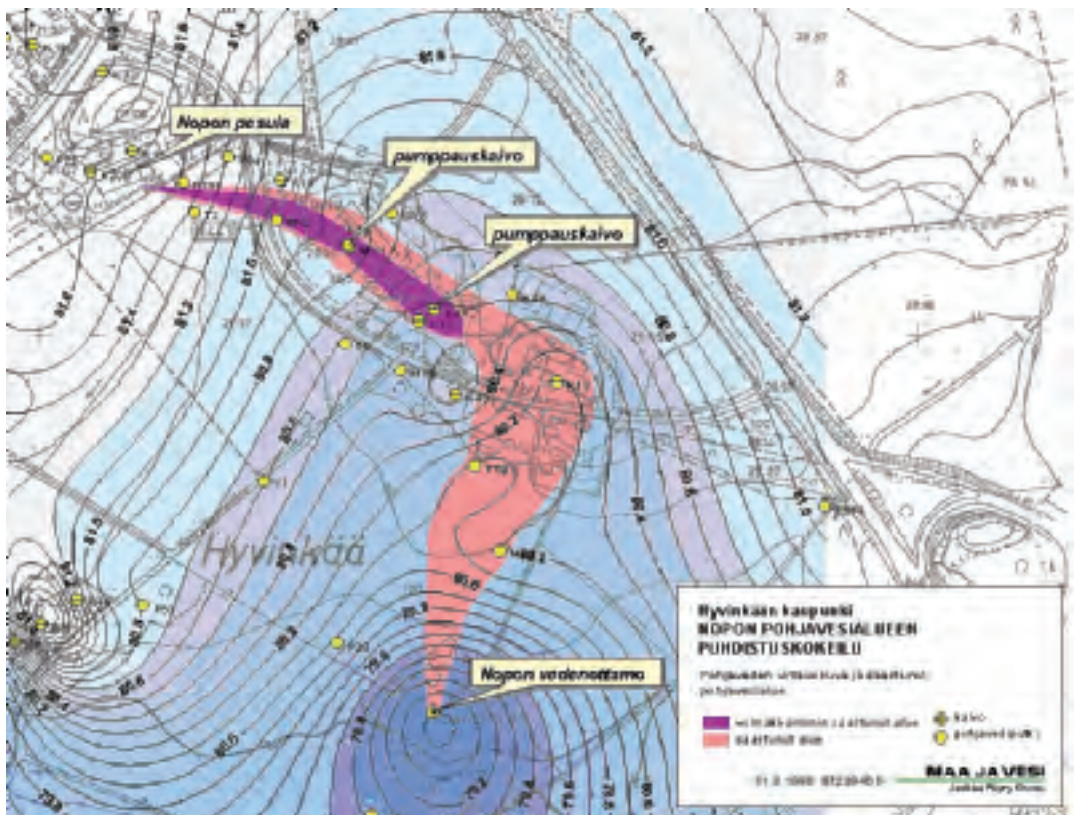
Käytännössä on usein tullut esille, että liuottimet, varsinkin klooratut liuottimet, saattavat kulkea pohjavesivirrassa sekä vertikaali- että horisontaalisuunnassa hyvin kapeata reittiä pitkin. Kulkureitti voi sivusuunnassa olla vain muutamametrin levyinen. Tämä asettaa pohjavesigeologin ammattitaidolle kovat haasteet varsinkin Salpausselissä ja muissa laajoissa muodostumissa, joissa ei ole yhtä selkeää päävirtausreittiä tai -vyöhykettä. Virtauskuvaselvitysten tulee näin ollen olla poikkeuksellisen tarkkoja ja varmistuspisteitä tarvitaan paljon, sillä ”puhdas” havaintoputki ei osoita välttämättä muuta kuin, että juuri tämän pisteen kautta lika-aine ei näytä kulkevan. Kuvassa 4.3.3 on esitetty erään entisen pesulan tetrakloorieteenipäästön leviäminen pohjavedessä ja kulkeutuminen vedenottamolle Salpausselkään liittyvässä harjumuodostumassa.

Toinen tutkimuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa huomioon otettava erityisominaisuus on liuottimien, varsinkin kloorattujen liuottimien, kyky tunkeutua läpäisemättömänä pidetyn savikerroksen läpi. Tästä on olemassa useita esimerkkejä. Näin ollen tapauksissa, joissa orsiveen on päässyt liuotinta, on syytä selvittää myös varsinaisen pohjaveden tila.

Hankalissa likaantumistapauksissa pohjavesimallia apuna käyttäen voidaan simuloida lika-

Taulukko 4.3.3. Talousveden kemiallisissa laatuvaatimuksissa liuottimille esitettyjä raja-arvoja.

Aine	Kemiallinen laatuvaatimus(enimmäispitoisuus) µg/l	Huom.
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10	
1,2-dikloorietaani	3,0	
Vinyylikloridi	0,50	
Trihalometaanit yhteensä	100	Kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani



Kuva 4.3.3. Tetrakloorieteenillä saastuneen pohjaveden kulkeutuminen vedenottamolle. Kuva Maa ja Vesi Oy.

aineen pitoisuuksia, kulkeutumista ja levinneisyyttä sekä saada näin arvokasta lisätietoa päästökohteen sijainnista ja maaperään päässeeseen aineen määrästä. Luotettavat mallitarkastelut edellyttävät kyseessä olevan liuottimen ominaisuuksien tarkkaa tuntemista, jotta sen simuloitu käyttäytyminen vastaisi mahdollisimman hyvin todellisuutta.

Likaantumiskohteen tutkimukset

Jos likaantumiskohte ei ole selvillä, tulee selvitykset aloittaa historiatietojen kokoamisella. Haastattelujen ja arkistotietojen lisäksi on hyvä tutkia alueelta löytyviä ilmakuvia, sillä toiminnot ja niiden sijoittuminen muuttuvat, ja tämän päivän maankäyttötilanne ei välttämättä riitä selvittämään aiempia tapahtumia.

Tutkimusmenetelminä voidaan käyttää karsoittavia maaperän huokosilmatutkimuksia, kairauksia, koekuoppia, maanäytteiden ottoa ja ana-

lysointia, pohjavesiputkien asennuksia vesinäytteen ottoineen sekä geofysikaalisia menetelmiä. Maaperän huokosilmatutkimus on nopeata ja edullista. Menetelmä toimii kuitenkin vain maaperässä, jonka ilmanläpäisevyys on riittävä (hie-
no hiekka ja sitä karkeammat maalajit). Mitä heikommin johtava maaperä ja mitä heikommin haihtuva aine, sitä tiheämpi havaintoputkiverkko tarvitaan. Hiekkamaassa voi sivusuunnassa olevan likaantuneen kohteen havaita 5 - 10 metrin päästä. Putket asennetaan maan pintaosiin (1 - 3 metrin syvyydelle) maan pintaan tapahtuneiden päästöjen havaitsemiseksi ja syvemmälle viemäritason alapuolelle mahdollisen viemäripäästön tai maanalaisen säiliön päästön toteamiseksi. Maaperän huokosilmaputket asennetaan vain pohjavesipinnan yläpuolelle, alapuolelle asennetaan pohjaveden havaintoputki. Putken yläpää tiivistetään mahdollisen ohivirtauksen estämiseksi esimerkiksi hiekka-bento-

niittiseoksella. Huokosilmatekniikalla voidaan selvittää vesi- ja maanäytteistä nopeasti karkaan, kaasumaisen ja erittäin myrkyllisen vinyylkloridin esiintymistä.

Geofysikaalisista menetelmistä liuottimilla likaantuneen maaperän tutkimukseen soveltuvat mm. maatutkaluotaus ja sähköiset maavastuksen mittaukseen perustuvat menetelmät. Menetelmien luotettava tulkinta kaipaakin kuitenkin tuekseen kairauksista saatuja tietoja, koekuoppatietoja ja maanäytteiden analyysituloksia.

Havaintoputkien asentamisessa käytetään siivilän sijoittamisessa ja vesinäytteen otossa samoja periaatteita kuin kulkeutumisreitien tutkimuksissa. Maanäytteet, vesinäytteet ja maaperän huokosilmanäytteet tutkitaan kaasukromatografisesti, yleisimmin head space- ja purge & trap -tekniikoilla sekä niitä yhdistämällä. Jos ei ole tietoa siitä, mitä ainetta maaperään ja pohjaveteen on päässyt, on hyvä tehdä osasta näytteistä orgaanisten haitta-aineiden erotteluanalyysi (screenaus).

Tutkimuksiin ryhdyttäessä on tiedossa olevien liuottimien osalta selvitettävä kemikaalirekisterin ja käyttöturvallisuustiedotteiden avulla tarvittavien suojavälineiden ja -toimien tarve.

4.3.4 Raskasmetalleilla likaantunut pohjavesi

Raskasmetalleiksi luetaan ominaispainoltaan yli $5,0 \text{ kg/dm}^3$ painoiset metallit. Yleisimmät pohjaveden laatuun vaikuttavat raskasmetallit ovat rauta ja mangaani. Ne aiheuttavat sekä teknisiä että esteettisiä haittoja, ja siksi ne analysoidaan useimpien pohjavesitutkimusten yhteydessä. Pienempinä pitoisuuksina esiintyviä raskasmetalleja ovat muiden muassa sinkki, kupari, nikkeli, kromi, lyijy, kadmium ja elohopea sekä radioaktiivisista metalleista uraani. Nämä eivät yleensä kuulu rutiininomaisesti pohjavesitutkimuksissa analysoitaviin aineisiin. Eräät kevyet metallit kuten alumiini ja epämetallit, kuten arseeni ovat nykyään kasvavan kiinnostuksen kohteena terveysvaikutuksiensa vuoksi.

Luonnontilaisiin pohjavesiin liuenneiden metallien primäärisiä lähteitä ovat maa- ja kallioperän mineraalit ja myös malmimineraaleina tunnetut metallien rikkiyhdisteet eli sulfidit. Rapautumisessa vapautuneita ja ilmaperäisen las-

keuman mukana tulleita metalleja, kuten kuparia, nikkeliä, lyijyä ja kadmiumia sitoutuu maan humuspitoiseen pintaosaan ja rikastumiskerrokseen sekä osin myös pohjavedenpinnan yläpuoliseen vedellä kyllästymättömään vyöhykkeeseen. Erityisesti maassa olevat rauta- ja mangaanisaostumat, mutta myös alumiini- ja piisaostumat sekä humus sitovat metalleja. Saostumien liuettessa metalleja voi uudelleen vapautua maa- ja pohjaveteen.

Pohjaveteen joutuu metalleja monenlaisen likaantumisen seurauksena. Likaantumisen aiheuttajia voivat olla vuotavat viemäriputket ja sakkokaivot, yhdyskuntajätteen kaatopaikat, metalli- ja kaivosteollisuuden jätteet, jätealueet ja rikastekasat sekä liikenne. Kaikista näihin liittyvistä lika-aineista liukenee veteen myös metalleja. Monet jätteet synnyttävät hajotessaan happamia liuoksia, jotka edistävät metallien liukemista. Runsas orgaaninen aine kaatopaikka-alueella kuluttaa veteen liuennutta happea, jonka seurauksena syntyneet pelkistävät olosuhteet lisäävät raudan ja mangaanin liukoisuutta veteen. Toisaalta voimakkaasti pelkistävässä pohjavesiympäristössä monet raskasmetallit, kuten sinkki, kupari, nikkeli ja kadmium voivat saostua vaikealiukoisina sulfideina, jolloin ne eivät kulkeudu kauemmaksi pohjaveden virtauksen mukana.

Rauta ja mangaani

Hapen kyllästävässä vedessä on vain vähän liuennutta rautaa, koska raudan hapettunut ferri-muoto (Fe^{3+}) on hyvin vaikealiukoinen. Vähähappisessa pohjavedessä vallitsevat pelkistävät olosuhteet, jolloin rauta esiintyy helppoliukoisena ferrorautana (Fe^{2+}). Myös pohjaveden happamuus ja runsas humuspitoisuus myötävaikuttavat raudan esiintymiseen liukoisessa muodossa. Savi- tai turvekerrosten alaisista vettäjohtavista kerrostumista tai syvältä kallioperästä peräisin oleva pohjavesi voi sisältää runsaasti rautaa. Kemiaalisesti rautaa muistuttava mangaani esiintyy happiköyhässä pohjavedessä liukoisena mangaano-ionina (Mn^{2+}), mutta saostuu hapen läsnäollessa vaikealiukoisessa MnO -muodossa (tai MnO_2).

STM:n talousveden raudalle ja mangaanille asettamat enimmäispitoisuudet ($200\text{ }\mu\text{g/l}$ ja $50\text{ }\mu\text{g/l}$) ylittyvät usein pohjavedessä. Ongelmallisimpia ovat osaksi tai kokonaan savi- tai turvekerrosten peittämät harjuakviferit, joista pumpattavan veden rauta- ja mangaanipitoisuudet usein vielä lisääntyvät pumpattavan vesimäärän kasvaessa ja veden virratessa kauempaa ja syvemmältä kviferista. Pohjaveden rautaongelma on yleinen tasaisella Pohjanmaalla, jossa kviferien reunat alueita peittävät savi-, siltti- ja turvekerrokset. Pääosa raudasta ja mangaanista saadaan poistettua ilmastamalla vettä. Vedenkäsittelystä kerrotaan luvussa 6.7.

Muut raskasmetallit ja arseeni

Lievästi happamassa tai neutraalissa pohjavedessä raskasmetallit pidäytyvät tehokkaasti maassa olevaan humukseen, rauta- ja mangaanisaostumiin sekä hienojakoiseen saviainekseen. Näin ollen esimerkiksi sinkki-, kupari- ja nikkelipitoisuudet ovat pohjavedessä pieniä, vaikka näitä metalleja olisi huomattavia määriä maan pintaosassa sitoutuneena ja happamassa vajovedessä pohjavesivyöhykkeen yläpuolella.

Sinkki on raudan jälkeen runsaimmin maassa ja vedessä esiintyvä raskasmetalli, joka esiintyy yhdessä paljon pienempinä pitoisuuksina esiintyvän kadmiumin kanssa. Sinkki on yleisesti käytetty metalli, jota leviää ihmisen toiminnan seurauksena kaikkialle luontoon fossiilisista polttoaineista, yhä lisääntyvästä teräksen galvanoinnista sekä monista muista teollisista prosesseista, kuten metallien sulatus- ja valutoiminnasta. Myös liikenne lisää tiealueiden pohjaveden sinkkipitoisuuksia. Sinkkikontaminaatio on yleisyytensä vuoksi vesinäytteiden otossa vaikeasti vältettävissä. Pitoisuudet ovat pohjavedessä kuitenkin niin pieniä, ettei sinkille ole katsottu aiheelliseksi asettaa talousveden enimmäispitoisuutta. Terveystieteellisesti haitallista kadmiumia esiintyy aina pieniä määriä sinkin kanssa. Talousvetenä käytettävän pohjaveden kadmiumin enimmäispitoisuus ($5\text{ }\mu\text{g/l}$) ei käytännössä kuitenkaan ylitä muutoin kuin kaatopaikkojen tai muiden jätealueiden välittömässä vaikutuspiirissä.

Yhdyskunta- ja teollisuusjätevedet, kaatopaikat ja lannoitteet sekä kaivosteollisuuden jätteet ovat yleisiä paikallisia kuparin lähteitä. Vesijohdoveden poikkeuksellisen korkeat pitoisuudet ovat lähes aina peräisin kuparisista lämminsäätöputkista. Kuparille asetettu enimmäismäärä 2 mg/l ylittyy kuitenkin hyvin harvoin. Nikkelle on asetettu $20\text{ }\mu\text{g/l}$:n enimmäispitoisuus. Se ylittyy vain poikkeustapauksissa, kuten kaatopaikkojen tai kaivosalueiden jätealueiden tai voimakkaiden nikkelimineralisaatioiden vaikutuspiirissä olevassa pohjavedessä.

Talousveden sisältämälle kromille, lyijylle ja elohopealle on asetettu enimmäispitoisuudet ($50\text{ }\mu\text{g/l}$, $10\text{ }\mu\text{g/l}$ ja $1\text{ }\mu\text{g/l}$), jotka käytännössä hyvin harvoin ylittyvät pohjavedessä. Terveystieteellisesti haitallisinta kromin hapettunutta kuuden arvoista esiintymismuotoa ei esiinny tavanomaisissa pohjavesiolosuhteissa. Lyijy ja elohopea puolestaan ovat vaikeasti liikkuvia ja sitoutuvat tehokkaasti maaperään.

Uraanille ei toistaiseksi ole asetettu enimmäismäärää. Sitä voi liueta pohjaveteen uraanipitoisilla kallioperäalueilla, joita on erityisesti Etelä-Suomen ja paikoin Etelä-Lapin graniittialueilla. Hiekasta ja sorasta koostuvilla tärkeillä pohjavesialueilla uraania on vedessä kuitenkin aina hyvin vähän, kun taas kallioporakaivoissa uraanin (ja radonin) pitoisuudet voivat olla suuria.

Pääosa pohjaveden arseenista on peräisin arseenipitoisista mineraaleista, kuten arseenikiususta ja pyriitistä, joissa voi olla vaihtelevia määriä arseenia. Arseenia voi myös joutua pohjaveteen maatalouden torjunta-aineista, lannoitteista, metalliteollisuuden jätteistä ja puun kyllästämöistä. Vanhoille kaatopaikoille on saattanut joutua arseenipitoisia jätteitä (esim. lyijyakkuja), jotka tulevaisuudessa voivat aiheuttaa ympäristöongelmia. Arseenin liukoisuus ja liikkuvuus ovat monitahoisia ilmiöitä, joihin vaikuttavat geologisen ympäristön pH ja hapetus-pelkistyspotentiaali. Arseeni esiintyy usealla hapetusasteella, jotka voivat muuttua toisikseen kemiallisesti ja bakteeritoiminnan vaikutuksesta. Arseenin tärkeimmät liukoiset esiintymismuodot ovat hapetusasteella +3 esiintyvät heelpoliukoiset arseeniitit ja hapetusasteella +5 esiintyvät arsenaatit. Hapellisessa pohjavedessä arsenaatti on vallitseva



Kuva 4.3.4a. Kaatopaikka-alueiden ympäristön pohjavedessä voi olla korkeita raskasmetallipitoisuuksia . Kuva T. Kinnunen.

olomuoto. Arsenaatti-arseenia voi pidäytyä maaperässä ja kallion raoissa oleviin savespitoisiin kerrostumiin (kalliosaviin) ja rautasaostumiin. Toisaalta niistä voi olosuhteiden muuttuessa pelkistäviksi vapautua arseenia. Arseenia pidetään karsinogeenisena aineena.

Esimerkkitapauksia likaantumisesta

Toimivat tai hylätyt kaivokset ja niiden rikastehiekka- ja sivukiviläjitysalueet aiheuttavat poikkeuksellisen voimakkaita maaperään ja pohjaveteen kohdistuvia ympäristövaikutuksia. Tärkeimmät malmimetallit (Cu, Zn, Ni, Pb) esiintyvät sulfidimineraaleina. Hienoksi jauhettu rikastushiekka ja sivukivi muodostavat monilla kaivosalueilla suuria läjitysalueita. Kiviaines reagoi happipitoisen sadeveden kanssa, jolloin alunperin pelkistävissä olosuhteissa syntyneet sulfi-

dimineraalit hajoavat. Sulfideista vapautuu rikkihappoa ja sulfaatteja, raskasmetalleja (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Cd) sekä monia muita haitallisia aineita kuten arseenia. Mineraalien ferrorauta hapettuu vaikealiukoiseksi ferriraudaksi, joka pääosaksi jää läjityspaikalle. Pelkistävissä oloissa se kuitenkin liikkuu helppoliukoisena ferrorautana, jota voi muiden raskasmetallien kanssa kulkeutua happamissa valu- ja vajovesissä pohjaveteen. Kaivosalueiden valuvesissä saattaa olla poikkeuksellisia määriä sulfaatteja ja metalleja.

Sulfidien hapettuessa vapautuva rikkihappo voi alentaa valuvesien pH:ta jopa 3:n tienoille, mikä merkitsee neutraaliin veteen (pH 7,0) verrattuna 10 000-kertaista vetyionikonsentraatiota. Jätealueiden tihkuvesiin liunneen ferroraudan hapettuminen vaikealiukoiseksi ferriraudaksi ai-



Kuva 4.3.4b. Suuri puunkyllästämö. Kyllästämöalueiden pohjaveden kromi- ja arseenipitoisuudet voivat olla korkeita.
Kuva T. Hatva.

heuttaa myös paikallista happamoitumista. Happamoituminen ja sen kiihdyttämä metallien liukeneminen on suurin ongelma kaivosalueilta ja jättekivi- tai rikasteläjitäysalueilta virtaavissa pintavesissä. Sen sijaan esimerkiksi Ylöjärven vanhan kaivoksen alueelle asennetuista pohjaveden havaintoputkista otettujen vesinäytteiden pH on lähellä neutraalia riippumatta niiden etäisyydestä rikastushiekka-alueelta.

Hituran nikkelikaivoksen rikastushiekka-alueen pohjavedessä on havaittu suuria SO_4^{2-} , Fe-, Ni- ja Co-pitoisuuksia, mutta ne pienenevät nopeasti läjitäysalueen ulkopuolella. Aijalan kaivoksen rikastamon jätealueen vaikutuspiirissä ja sen välittömässä läheisyydessä olevissa pohjavesiputkissa on havaittu korkeita mangaani- ja sinkkipitoisuuksia ja myös kupari- ja nikkelipitoisuudet ovat selvästi ympäristöä suurempia. Kallioisella, topografialtaan vaihtelevalla alueella, jossa savi-kerrokset peittävät laaksoja, ei kuitenkaan ole tärkeitä pohjavesialueita.

Suolakyllästämöt ovat käyttäneet laajassa mittassa kromi-, kupari- ja arseenioksidipitoisia CCA-kyllästysaineita. Kyllästysaineiden metallien kulkeutuminen maaperässä ja pohjavedessä riippuu maan saviaineksen ja orgaanisen aineksen sekä erityisesti rauta- ja mangaanisaostumien määrästä ja laadusta, maan kerrospaksuuksista ja -rakenteista sekä maan ja veden pH:sta ja hapetuspelkistysoloista. Savimineraalit sitovat kuparia ja kromia, kun taas rauta- ja mangaanioksidit pidättävät tehokkaasti kuparia ja rautaoksidit arseenia. Mitä happamampi maaperä on, sitä tehokkaammin metallit kulkeutuvat pohjaveteen lukuun ottamatta arseenia, jonka sitoutuminen ja kulkeutuminen eivät ole yhtä riippuvaisia pH:sta.

Lammin kirkonkylässä Linnamäen pohjavesialueella tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että vanhasta vuoteen 1965 asti toimineesta suolakylästästä peräisin olevaa kuparia, kromia ja arseenia on levinnyt pohjavesivirtauksen mukana lähialueelle vain pieniä määriä. Kaikki lähis-

tön viidestä kaivosta analysoidut Cr-, Cu- ja As-pitoisuudet olivat paljon STM:n talousvedelle asetettujen enimmäispitoisuuksien alapuolella, mukaan lukien vain muutaman sadan metrin päässä kyllästämöstä harjun toisella puolella sijaitsevan vedenottamon kaivo. Suurin As-pitoisuus oli $4,8 \mu\text{g/l}$, joka analysoitiin kyllästämön omasta kaivovedestä. Myös nikkeliä oli hyvin vähän. Lammin tutkimus osoittaa, että kyllästeistä peräisin olevat metallit eivät kulkeudu kauaksi edes hyvin vettä johtavissa harjukerrostumissa.

Saarijärven Kalmarin pohjavesialueella vuosien 1952 ja 1978 välisenä aikana toiminnassa olleesta kyllästämöstä on harjukerrostumiin joutunut runsaasti metalleja. Kolmen keskeisellä kyllästämöalueella sijaitsevan havaintokaivon veden Cr- ja As-pitoisuudet ylittivät maaliskuussa 1997 otetuissa näytteissä STM:n talousvedelle asettamat enimmäispitoisuudet. Kromia oli enimmillään $430 \mu\text{g/l}$ ja arseenia $69 \mu\text{g/l}$, vaikka yleensä pitoisuudet olivat paljon pienempiä. Lyijypitoisuuden enimmäispitoisuus ($10 \mu\text{g/l}$) ylittyi kaikissa kyllästämöalueen neljässä kaivossa, suurimman pitoisuuden ollessa $140 \mu\text{g/l}$. Kuparipitoisuudet olivat alle STM:n enimmäispitoisuuden. Vedessä oli myös runsaasti sinkkiä, jolle ei kuitenkaan ole asetettu enimmäis- tai suosituspitoisuutta. Saman vuoden elokuussa ja lokakuussa otetuissa näytteissä kromia, kuparia ja arseenia oli enimmäkseen alle enimmäispitoisuuksien. Kalmarin tutkimustulokset osoittavat, että metallien pitoisuudet voivat olla hyvin vettä johtavalla harjumaalla sijaitsevan suolakyllästämön pohjavedessä suuret.

Suosituksia

Hiekasta ja sorasta koostuvilla tärkeillä pohjavesialueilla, kuten harjuissa ja reunamuodostumissa veden raskasmetallien luontaiset määrät ovat hyvin pieniä. Tästä syystä myös vesilaitosten käyttämässä pohjavedessä raskasmetalleja on rautaa ja mangaania lukuun ottamatta vain vähän. Rautaa ja mangaania lukuun ottamatta muut raskasmetallit eivät ole tähän asti kuuluneet tavanomaisten pohjavesitutkimusten vesianalyysohjelmaan. Hyvin vettä johtavat harjumuodostumat ovat kuitenkin helposti likaantuvia. Likaantumisvaaraa lisää se, että pohjaveden pinta

on monessa harjussa paljastunut soranoton seurauksena, ja vanhoja sorakuoppia on joskus käytetty kaatopaikkoina. Siksi raskasmetallien mahdolliseen esiintymiseen on syytä kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Jos tutkittavan pohjavesialueen vaikutuspiirissä on vanhoja kaatopaikkoja, suolakyllästämöitä sekä metalli- ja kaivosteollisuutta tai niiden jätealueita, veden laadun rutiinitutkimuksen ohella on syytä analysoida myös sinkki, kupari, nikkeli, lyijy ja kadmium sekä mahdollisesti elohopea. Myös arseeni ja uraani (ja radon) on syytä analysoida sellaisilla alueilla, joilla geologisen tiedon perusteella voidaan olettaa olevan maa- ja kallioperässä tavallista enemmän kyseisiä alkuaineita. Useimmat raskasmetallit pitäytyvät kuitenkin tehokkaasti rauta- ja mangaanisaostumiin, saviainekseen ja humusainekseen, jolloin ne kulkeutuvat maa- ja pohjavedessä vaivalloisesti. Raskasmetallien pitoisuudet ja niiden aiheuttamat laatuongelmat ovat suurimpia haja-asutusalueiden yksityisten talousvesikaivojen vedessä.

4.3.5 Lannoitteilla ja torjunta-aineilla likaantunut pohjavesi

Keinolannoitteet voivat vesistöjen rehevöitymishaittojen lisäksi aiheuttaa haittaa myös pohjavesille. Lannoitteiden pääravinteet ovat typpi, fosfori, kalium ja boori. Lannoitteet saattavat sisältää lisäksi pieniä pitoisuuksia eri tyyppisiä epäpuhtauksia, kuten myrkyllisiä raskasmetalleja (kadmium). Lannoitetyppi huuhtoutuu vesistöihin pääasiassa nitraattina. Kaivovesitutkimusten perusteella on todettu, että korkea nitraattipitoisuus on yksi yleisimmistä kaivoveden laatua heikentävistä tekijöistä maassamme. Ammoniumnitraatti on vesiliukoinen aine, joten se suotautuu maaperään ja voi kulkeutua pohjaveen asti.

Torjunta-aineisiin luetaan kuuluviksi useita satoja yhdisteitä, joiden kemialliset ominaisuudet, myrkyllisyys ja pysyvyys maaperässä tai pohjavedessä vaihtelevat hyvin paljon. Myös torjunta-aineiden hajoamistuotteet saattavat olla terveydelle haitallisia tai jopa haitallisempia kuin itse lähtöaineet. Torjunta-aineita huuhtoutuu pintavesiin mm. pelloilta. Pohjavesiin ne saattavat jou-



Kuva 4.3.5. Kasvisuojeluruiskutusta. Pohjavedestä löytyneet torjunta-aineiden tai niiden hajoamistuotteiden jäämät ovat aiheuttaneet ikäviä yllätyksiä muutamilla pohjavedenottamoilla Suomessakin. Kuva T. Kinnunen.

tua paitsi normaalin käytön seurauksena, myös väärän varastoinnin ja pakkausten hävittämisen tuloksena. Euroopassa torjunta-aineet ovat aiheuttaneet lukuisia pohjaveden pilaantumistapauksia.

Torjunta-aineiden käytössä on tapahtunut muutoksia vuosien mittaan. Ympäristölle tai terveydelle haitallisten torjunta-aineiden käyttö on joko kielletty kokonaan, tai niiden tuonti maahan on lopetettu. Käytöstä poistuneiden yhdisteiden tilalle on otettu uusia yhdisteitä, jotka ajan mittaan on korvattu jälleen muilla aineilla. Näin ollen käytössä olleiden torjunta-aineiden lukumäärä on ollut suuri. Lisäksi tehoaineita on käytetty monella eri kauppanimellä myytävissä tuotteissa. Kun vielä useat yhdisteet ovat luonnossa varsin pysyviä, on analyysimenetelmien kehittyminen viime vuosina paljastanut jo käytöstä poistuneilla torjunta-aineilla ja niiden hajoamistuotteilla likaantuneita pohjavesiä.

Torjunta-aineiden laboratorioanalytiikka on kehittynyt erityisen paljon viime vuosien aika-

na, niin että entistä useamman yhdisteen ja yhdisteryhmän lisäksi nykyisin kyetään analysoimaan varsin pieniä pitoisuuksia. Torjunta-aineiden laboratorioanalytiikassa on eduksi, jos tiedetään, mitä aineita pohjavesialueella on käytetty ja mitä yhdisteitä tulisi etsiä. Yleisimmin käytetään kaasukromatografista menetelmää, jolloin analysoitavia yhdisteitä voidaan samalla ajolla tutkia useita kymmeniä. Nämä yhdisteet on yleensä valittu niin, että ne kattavat suuren osan yleisesti käytössä olleista aineista. Myös nestekromatografisia menetelmiä käytetään torjunta-aineiden tutkimuksessa. Tutkimusmenetelmät ovat kehittyneet kattamaan hajoamistuotteita. Tutkitavat yhdisteet kuitenkin vaihtelevat laboratorikohtaisesti. Sen vuoksi tutkimuksen tilaajan kannattaa etukäteen selvittää, mitä yhdisteitä tutkimus kattaa.

Suomessa pohjavesistä on todettu muun muassa ns. triatsiineihin kuuluvia yhdisteitä atratsiinia ja simatsiinia sekä niiden hajoamistuottei-

ta. Etsittyjen yhdisteiden listalla ovat olleet myös fenoksiherbisidit ja glyfosaatti. Tutkittavasta aineesta ja pilaantumisajankohdasta riippuen pohjavedestä saattaa löytyä varsinaisten torjunta-aineiden tehoaineiden lisäksi myös ko. yhdisteiden hajoamistuotteita.

4.3.6 Tiesuolalla likaantunut pohjavesi

Tieliikenteen pohjavesialueille aiheuttaman riskin arvioinnin, pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien tilastollisen tarkastelun ja suolan leviämisen mekanismien matemaattisen mallinnuksen tutkimustulosten perusteella on laadittu tie- ja ympäristöhallinnon yhteiset toimenpideohjeet, joilla pyritään vähentämään tiesuolauksen pohjavesivaikutuksia. Nämä ohjeet ovat samalla myös osa ympäristöministeriön valvontaohjetta alueellisille ympäristökeskuksille tienpidon pohjavesivaikutusten valvontaan.

Pohjavesimuodostumilla kulkevia teitä on suolattu monen vuoden ajan ja kloridikuormituksen vähentämiseksi tehtyjen toimenpiteiden vaikutus näkyy hydrologisen kierron kautta veden laadun mittaustuloksissa usein vasta vuosien viipeellä. Tutkimusalueen pohjaveden pinnan vuodenaikaisvaihtelujen, geologisen rakenteen sekä muodostuman koon ja muodon perusteella voidaan matemaattisilla malleilla ennustaa muodostumakohtaisesti kloridin kulkeutuminen vedenottoalueelle. Sekä mallinnuksen että pohjaveden laadun seurannan perusteella on todettu, että yksittäisessä pohjavesimuodostumassa voi kestää kymmeniä vuosia ennen kuin suolaantunut pohjavesi puhdistuu luonnontilaiseksi, vaikka maanteiden suolaus lopetettaisiin tai suolapitoisen veden pääsy tieltä pohjaveteen estettäisiin kokonaan esimerkiksi luiskasuojauksin. Lisäksi pohjavesialueiden vedenlaatuun vaikuttaa oleellisesti muodostuman vesimäärä ja tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella.

Pohjaveden laatua tulisi seurata kaikilla pohjavesialueilla, joilla kulkee suolattavia teitä (kuva 4.3.6a). Maantiesuolan pohjaveden laadulle aiheuttamia riskejä pohjavesialueilla on kartoitettu koko Suomesta. Riskiä pohjavedelle arvioidaan Suomen ympäristökeskuksen ja Tiehallinnon yhteistyössä kehittämällä riskipisteytysmenetelmäl-

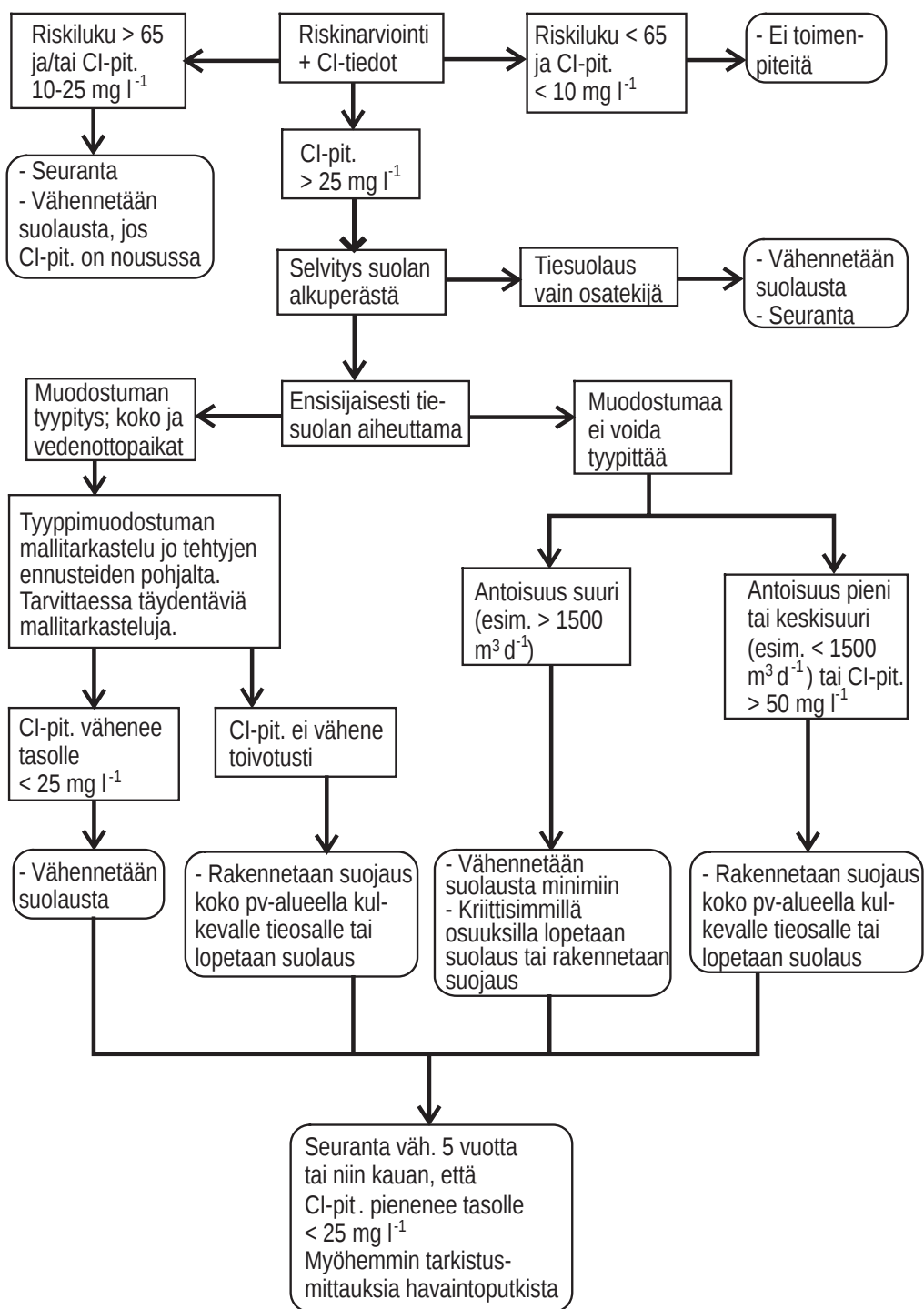
lä. Suomessa noin 400 vedenottoalueella ylittyy 65 riskipistettä. Mikäli riskipisteet ovat yli 65 ja/tai pohjaveden kloridipitoisuus ylittää luontaisena pidetyn noin 10 mg/l tason, tulee ryhtyä toimenpideohjeiden mukaisiin toimiin. Näitä ovat suolan alkuperän selvittäminen, suolauksen vähentäminen, pohjaveden kloridipitoisuuden seuranta ja viime kädessä pohjavesisuojausten rakentaminen. Riskinarvioinnin perusteella jatkotoimenpiteinä on ehdotettu mm. noin sadan havaintopisteen sisällyttämistä jatkuvaan pohjaveden laadun seurantaan. Tämä edellyttää tieosuuskohtaisten suolaustietojen jatkuvaa dokumentointia, pohjaveden laadun jatkuvaa seurantaa myös luiskasuojatuilta alueilta sekä tietojen päivittämistä tiesuolauksen riskirekisteriin.

Vedenlaatuparametrit

EU:n juomavesidirektiivin laatusuosituksissa kloridin raja-arvoksi on asetettu 250 mg/l. Tämän lisäksi vesi ei saa asetuksen mukaan olla syövyttävää. Vesijohtoverkoston ja vesisäiliöiden syöpymisen ehkäisemiseksi veden kloridipitoisuuden tulisi olla mielellään alle 25 mg/l, elleivät veden muut ominaisuudet vähennä kloridin korrodoivaa vaikutusta. Myös EU:n vesipuidedirektiivin mukaan ihmistoiminnasta johtuvat merkitykselliset ja pysyvät pohjaveden lika-aineiden nousevat muutossuunnat tulee kääntää laskeviksi vuoteen 2015 mennessä. Samaan pyrkii kansallinen ympäristönsuojelulaissa oleva pohjaveden pilaamiskielto (4.2.2000/86, 8S), joka ei salli luonnontilaisen veden laadun muutoksia.

Teiden suolauksen lisäksi pohjaveden kloridipitoisuuden kohoamiseen voi olla myös muita ihmistoiminnan aiheuttamia syitä. Kohonneen kloridipitoisuuden syyn arvioimiseksi tarvitaan kloridipitoisuuden lisäksi tietoja myös muiden anionien ja kationien määristä. Tärkeimmät pohjavedessä olevat anionit ovat Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ja kationit Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Yksittäisten anionien ja kationien määriä voidaan verrata toisiinsa muuntokertoimien avulla. Saaduista suhteellisista määristä voidaan arvioida, mikä on kloridipitoisuuden kohoamisyy.

Mikäli suolattavalla tiellä käytetään vain vuorisuolaa (NaCl), voidaan tiesuolauksen osuus kloridipitoisuuden kohoamiseen varmistaa ve-



Kuva 4.3.6a. Esimerkki tiepiirien ja alueellisten ympäristökeskusten toimenpiteistä pohjaveden suolaantumistapauksissa. Kuva T. Nystén & T. Hänninen.

den sähkönjohtavuuden ja kovuuden perusteella. Suomessa sora- ja hiekka-alueiden kaivojen pohjavesi on luontaisesti pehmeää. Keskimääräinen veden kovuus on 0,6 mmol/l ja mediaaniarvo on 0,4 mmol/l. Jos vedessä on luontaisesti runsaasti klorideja, siinä on usein runsaasti muitakin suoloja ja sähkönjohtavuus on korkea. Kloridipitoisuus nostaa osaltaan sähkönjohtavuutta siten, että kloridipitoisuus 1 mg/l vastaa likimäärin sähkönjohtavuutta 0,33 mS/m.

Havaintoputkien sijoittelu

Pohjaveden laatua tulee tarkkailla sekä oikein sijoitetuista havaintoputkista että vedenottamoilta. Pohjavesiputkista voidaan seurata pohjaveden laatua paikallisella tasolla ja eri kerroksista. Tien ja vedenottamon välille sijoitetuista havaintoputkista voidaan myös ennakoida vedenottamolla tapahtuvia vedenlaadun muutoksia. Pohjavesialueella tulee tutkimusten alkuvaiheessa olla havaintoputkia vähintään 3 - 5 kappaletta. Havaintoputket sijoitetaan pohjaveden virtausuunnassa tien ja vedenottamon välille todennäköisimmälle suurimpien kloridipitoisuuksiin esiintymisalueelle. Lähimmät putket asennetaan 10 - 100 metrin etäisyydelle tiestä, jos kloridipitoisuuksien seurannan ensimmäisessä vaiheessa halutaan tarkastella nimenomaan edellisen talven suolauksen "suolapulssin" vaikutusta. Vähintään yksi havaintoputki asennetaan siten, että se mittaa tausta-arvoa. Kun luonnontilaista suurempien pohjaveden kloridipitoisuuksien esiintymisalueet on selvitetty, voidaan tehdä ennusteita alueen pohjaveden kloridipitoisuuden kehityksestä.

Näytteenotto

Harjujen ja reunamuodostumien kerrostumisen aikana on sulamisvesien virtauksen vähentyminen synnyttänyt karkeamman aineksen sekaan hienoaaineskerroksia. Yhtenäiset hienoaaineskerrokset estävät veden pystysuuntaisen sekoittumisen ja patoavat suolaisen veden ylempään pohjavesikerrokseen. Hienoaaineskerrokset estävät pohjaveden sekoittumista pystysuunnassa ja ohjaavat veden virtausta. Koska yleensä ei voida

etukäteen tietää, miten kloridipitoinen vesi pohjavesimuodostumassa kulkeutuu, pohjaveden laadun tarkkailun on ulotuttava koko pohjavesikerroksen läpi. Näytteet otetaan kloridipitoisuuden määrittämistä varten yleensä muodostuman pohjalta, parhaiten vettä johtavasta kerroksesta muodostuman ytimeistä, ydinkerroksen yläpuolelta ja pohjavedenpinnan tuntumasta. Pohjavesikerrokseen asennetut havaintoputket huuhdellaan ja vettä pumpataan jokaisesta näytteenottotasosta ennen varsinaista vesinäytteenottoa. Sähkönjohtavuuden kenttämittarilla voidaan nopeasti havaita kloridipitoisuuden syvyysuuntaiset vaihtelut ja valita jatkossa sopivat näytteenottosyvyydet. Suomen ympäristö-sarjan julkaisussa "Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista" on esitetty erityyppisten pohjavesimuodostumien esimerkkikuvien, mihin paikkoihin 3 - 5 ensimmäistä havaintoputkea tulisi sijoittaa, ja miten valitaan ensimmäiset näytteenottosyvyydet.

Näytteenottoajankohdat

Hydrologiseen kiertoon liittyvät seikat saavat aikaan pohjaveden laadun vuodenaikaisvaihtelua ja määräävät siten myös näytteenottoajankohdat. Tutkimuksen alkuvaiheessa ensimmäiset suositeltavat näytteenottoajankohdat ovat:

- keväällä roudan sulamisen jälkeen
- mielellään kaksi kertaa kesässä, koska tilastollisesti suurimmat kloridipitoisuudet mitataan useimmiten keväällä ja kesällä
- syksyllä ennen talven ensimmäisiä tiesuolauksia
- kevättalvella ennen roudan sulamista, koska leuto talvi voi aiheuttaa pohjaveden kloridipitoisuudessa huippuja

Vasta ensimmäisen vuoden kloridiseurannan jälkeen saadaan käsitysärkevimmistä näytteenottoajankohdista ja -syvyyksistä tutkimusalueella. Muodostuman virtauskuva ja havaintopisteiden sijainti vaikuttavat muodostumakohtaisesti lopulliseen alueellisen ympäristökeskuksen hyväksymään veden laadun jatkuvan seurannan suunnitteluun.



Kuva 4.3.6b Sähkönjohtavuuden mittausta kenttämittarilla. Kuva T. Nystén.

4.3.7 Mikrobiologisesti likaantunut pohjavesi

Pohjavesien mikrobiologisen saastumisen syitä ovat viemäriverkostojen vuodot ja tukkeutumat, pintavesien pääsy pohjaveteen tulvien, sulamisvesien tai voimakkaiden sateiden seurauksena sekä ylikuormitetut käymälät tai lantalat. Kalliohalkeamien ja vedenottokaivojen kautta tai liian lyhyiden suotautumismatkojen seurauksena ulosteilla saastunutta vettä pääsee pohjaveteen. Koska pohjavettä ei yleensä desinfioida, aiheuttaa taudinaiheuttajamikrobien pääsy veteen helposti laajoja vesiepidemioita. Vuosina 1980 - 2000 Suomessa raportoitiin vesivälitteisiä epidemioita hieman yli 40, ja niissä sairastui lähes 30 000 ihmistä. Epidemioista 3/4 oli saastuneen pohjaveden aiheuttamia. Valtaosassa vesiepidemioista varsinainen taudinaiheuttaja on aiemmin jäänyt epäselväksi, mutta oireiden perusteella syylisiksi on useimmiten epäilty viruksia. Viime vuosina osoitusmenetelmien kehittyessä ulosteperäisiä viruksia on pystytty meilläkin osoittamaan juomavedestä useiden vesiepidemioiden yhteydessä.

Taudinaiheuttajamicrobit

Yleisimmät vesien välityksellä tauteja aiheuttavat microbit ovat erilaisia viruksia (kaliki-, ast-

ro-, entero- ja rotavirukset, hepatiitti A), bakteereita (*Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* (EHEC), *Salmonella*, *Vibrio cholera*, *Yersinia*) sekä alkueläimiä (*Giardia*, *Cryptosporidium*). Suomessa kalikivirukset ovat aiheuttaneet useita epidemioita. Veden välityksellä tauteja aiheuttavista bakteereista puolestaan *Campylobacter* on ollut yleisin tunnistettu epidemioiden aiheuttaja.

Veden kautta ihmisille tauteja aiheuttavat virukset ovat peräisin lähinnä ihmisten ulosteista, mutta taudinaiheuttajabakteerit saattavat olla peräisin myös tasalämpöisten eläinten ulosteista. *Campylobakteereita* ja *salmonellaa* on eristetty etenkin lintujen, mutta myös kotieläinten, ulosteista. Myös *Giardia*- ja *Cryptosporidium*-alkueläinten ihmisille infektiivisiä kystamuotoja voi esiintyä koti- ja villieläinten ulosteissa.

Alkueläinten kestomuodot ja osa viruksista kestävät vaikeitakin ympäristöolosuhteita paremmin kuin bakteerit. Koska virukset ovat pienikokoisia (20 - 40 nm), niiden kulkeutuminen pohjaveteen on todennäköisempää kuin bakteerien tai niitä suurempien alkueläinten kystamuotojen kulkeutuminen. Lisäksi virusinfektioon sairastuneen ihmisen tai eläimen ulosteessa on huomattavan korkeita virusmääriä, jopa satoja miljardeja grammassa. Useat eri tekijät vaikuttavat mikrobien kulkeutumiseen pohjaveteen. Alhainen lämpötila ja maan kosteus suosivat mikrobien säilyvyyttä. Veden pH:lla on vaikutusta mikrobien adsorptioon yhdessä ionien määrän ja koostumuksen kanssa. Maa-aineksen laatu, organismin rakenne, veden orgaanisen aineen määrä, maan ja veden mikrobiaktiivisuus sekä virtausolosuhteet vaikuttavat eri tavoin taudinaiheuttajien kulkeutumiseen ja säilymiseen. Viileässä pohjavedessä microbit ovat suojassa niitä tehokkaasti tuhoavalta auringonsäteilyltä ja ravinnokseen käyttävilä eliöiltä. Siten ne säilyvät elossa kauemmin kuin pintavesissä. Suomessa-kin kalikiviruksia on osoitettu vielä kuukausia saastumistapauksen jälkeen maahan suotautuneesta vedestä. Adsorptiolla on huomattava merkitys mikrobien kulkeutumisessa ja savipitoisissa kerrostumissa pidäytymistä tapahtuu voimakkaasti verrattuna hiekkaan ja soraan.

Näytteenotto mikrobiologista tutkimusta varten

Taudinaiheuttajamikrobeja on vaikea tutkia, koska niiden esiintyminen vesissä on satunnaista, pitoisuuksien vaihtelu on suurta ja yksinkertaisia viljely- tai osoitusmenetelmiä on ollut vähän käytettävissä. Virusten ja eräiden taudinaiheuttajabakteerienkin infektiivinen annos on hyvin pieni, teoriassa jopa yksi viruspartikkeli voi aiheuttaa sairastumisen. Laimeissa liuoksissa mikrobien esiintyminen vedessä ei ole tasaista, minä vuoksi pienen tilavuuden rinnakkaisnäytteiden tulokset saattavat erota huomattavastikin. Tämän vuoksi on syytä ottaa joko tilavuudeltaan suurempia kertainäytteitä tai sitten useampia rinnakkaisnäytteitä, kun halutaan selvittää mikrobiologisen likaantumisen laajuutta ja todennäköisyyttä. Näytteenottoa käsitellään luvussa 6.2.

Näytteenotto pohjaveden mikrobiologisia tutkimuksia varten onnistuu parhaiten, mikäli esiintymää käytetään talusvesilähteenä. Tällöin näytteet voidaan ottaa sekä vedenottokaivosta että vesijohtoverkostosta aseptisesti steriileihin astioihin. Mikäli halutaan selvittää pohjavesiesiintymän likaantumisen laajuutta, joudutaan vesinäytteitä ottamaan myös havaintoputkista pumppaamalla. Veden pumppausnopeudella ja -ajalla on huomattava vaikutus veden laatuun ja kontaminaation vaara on suuri. Mikäli halutaan varmistua siitä, että varsinaisesta pohjavesiesiintymästä saadaan mahdollisimman häiriintymätön näyte, vettä on pumpattava pitkään ja alhaisella nopeudella. Veden kanssa kosketuksiin joutuvat näytteenottopumpun osat tulee puhdistaa huolellisesti eri havaintoputkien välillä tai on käytettävä kertakäyttöisiä. Aseptinen näytteenotto havaintoputkesta onnistuu harvoin. Tämän vuoksi näytteenotto tulisi suunnitella niin, että edetään puhtaammilta alueilta likaisempiin ja pitkäaikaisella vedenpumppauksella vältetään itse havaintoputkesta tai siinä seisoneesta vedestä ja maahiukkasista aiheutuva kontaminaatio. Kontaminaatio-ongelmat ovat suurempia tavanomaisten indikaattoribakteerien kohdalla kuin varsinaisten taudinaiheuttajamikrobien osalta.

Indikaattoribakteerit

Viranomaisten veden laadun valvontatutkimuksissa pyritään mikrobiologisilla tutkimuksilla jäl-

jittämään pääasiassa ulosteperäistä saastumista ja siitä aiheutuvaa taudinaiheuttajien esiintymisriskiä. Tätä varten vedestä tutkitaan *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien esiintymistä. Näiden ryhmien bakteerit ovat yleisiä, ja niitä esiintyy runsaina määrinä ihmisten ja talalämpöisten eläinten ulosteissa. Enterokokeista käytettiin aiemmin määritelmää tarkistettuja fekaaliset streptokokit. Useiden eläinten ulosteissa enterokokkeja on enemmän kuin *E. coli* -bakteereja. Tuoreessa saastumistapauksessa näiden indikaattoriryhmien suhde voi auttaa aiheuttajan jäljittämistä. Enterokokkien koliformeja parempi säilyvyys vedessä kuitenkin rajoittaa suhteen käyttökelpoisuutta laajemmin.

Talusvesistä määritetään lisäksi koliformisten bakteerien kokonaismäärää, joka ei välttämättä kerro ulostesaastutuksesta, mutta kuvaa herkästi pintavesien pääsyä kaivoon joko lyhyen suotautumismatkan tai kaivon rakenteiden puutteiden vuoksi. Edellä mainittujen erilaisten indikaattoribakteerien esiintymiselle talusvedessä on annettu raja- ja ohjearvoja, joiden mukaan niitä ei tulisi olla 100 ml:ssa vettä. Koliformisten bakteerien kokonaismäärän sallittu enimmäispitoisuus yksittäisissä kaivovesissä on alle 100 kpl/100 ml, mutta hyvässä pohjavedessä ei koliformisiakaan bakteereja tavata.

Vaikka indikaattoribakteerien esiintyminen vedessä harvoin korreloi taudinaiheuttajien esiintymisen kanssa, voidaan niiden avulla kuitenkin helposti jäljittää ulostesaastutusta ja mahdollista riskiä. Tilanteissa, joissa epäillään veden saastumista, on hyvä tutkia indikaattoribakteerimäärittäyksissäkin suurempia vesimääriä kuin vain 100 ml. Näytteenotto tulisi ajoittaa sateiden jälkeisiin päiviin, jolloin valunta on suurta ja pohjavedenpinta korkealla. Tällöin voidaan herkemmin osoittaa mahdollinen veden laadun heikkeneminen.

Indikaattoribakteerien määrittämenetelmät on standardisoitu kansainvälisesti ja eräät menetelmät vain kansallisesti. Näiden lisäksi on kaupallisia menetelmiä, joilla on mahdollista määrittää esim. *Escherichia coli* -bakteerien ja koliformisten bakteerien kokonaismäärä suoraan samalla määrittäyksellä 18 tunnin kuluessa ja jopa lyhyemmässäkin ajassa. Näitä voidaan käyttää muissa kuin viranomaisten valvontatutkimuk-



Kuva 4.3.7. Ylikuormitettu lantala on melko tavallinen syy taudinaiheuttajamikrobien esiintymiseen talousvesikaivossa.
Kuva T. Hatva.

sisä varsinkin tilanteissa, joissa halutaan nopeasti selvittää veden laatu.

4.3.8 Kirjallisuutta

Pohjaveden likaantumisen selvittäminen

- Nystén, T. 1994. Mathematical modelling of groundwater pollution in a small heterogeneous aquifer at Kärkölä, southern Finland. Helsinki, National Board of Waters and Environment. 72 p., 3 appendixes. Publications of The Water and Environment Research Institute 15. ISBN 951-47-8961X, SSN 0783-9472.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys (VVY) 1999. Pohjaveden suojelu erityisesti vedenhankintaa silmällä pitäen. Helsinki. Vesi- viemärlaitosyhdistys. 134 s. ISBN 952-5000-20-6.

Liuoittimet

- Kakabadse, G. (ed.). 1984. Solvent problems in industry. London, Elsevier Applied Science Publishers 253s.
- Malm, J. (toim.) 1993. Kemikaalien ympäristövaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 471. 70 s.
- Mroueh, U.-M. 1993. Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A: 156. 37 s.
- Raatikainen, M. 1992. Tekstiilien hoito kemiallisessa pesulassa. Raportti 39/1992. Tampereen teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, tekstiiliteknikka. 36 s.

Raskasmetallit

- Assmuth, T. 1991. Concentrations of toxic chemicals in waste deposit runoff. Aqua Fennica 21, no. 2:183-194.
- Ettala, M., Rahkonen, P., Kitunen, V., Valo, O. & Salkinnoja-Salonen, M. 1988. Quality of refuse,

gas and water at a sanitary landfill. Aqua Fennica 18, no.1:15-28.

- Heikkinen, P. M., Korkka-Niemi, K. & Salonen, V-P. 2001. Hituran nikkelikaivoksen rikastushiekka-alueen ympäristön pohja- ja pintavesien geokemialliset ominaisuudet. Sivut 265 - 280 teoksessa Kirjoituksia Pohjavedestä. Toim. V-P. Salonen ja K. Korkka-Niemi. Turun yliopisto, Geologian laitos. 297 s.
- Kalliokoski, P., Etula, A., Pärjälä, E., Mälkki, E. & Suokko, T. 1986. Kaatopaikoilta liukenevat haitalliset yhdisteet ja niiden vaikutus pohjavesiin. Ympäristöministeriö. Sarja A 53/1986.
- Lehto, M. & Pelkonen, M. 1996. Nurmijärven mallikaatopaikan suotovedet ja niiden käsittely. Vesitalous 1:21-26.
- Lehto, O., Järvinen, H-L., Breilin, O., Dahlbo, K., Nevalainen, J. & Dahlbo, H. 1998. Mallisuunnitelma suolakyllästämisalueen maaperän tutkimiseen ja kunnostamiseen. Suomen ympäristökeskus. Suomen Ympäristö 245. 180 s.
- Salkinoja-Salonen, M. 1989. Kaatopaikan ympäristövaikutukset. Vesitalous 4:6-9.
- Sipilä, P. 1996. Aijalan kaivoksen rikastamon jätealueen kunnostussuunnitelma. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti KA 61/97/2. 24 s., 5 liitettä. Lahermo et al. 2002. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 155. 92s.
- Mikrobiologinen likauminen**
- Anon. 2001. Artificial recharge of groundwater. EC project ENV4-CT95-0071. Final report. EUR 19400. Luxembourg. 342 p.
- Hänninen, M.-L. 2002. Juomaveden mikrobiologiset riskit: alkueläimet Giardia ja Cryptosporidium. Teoksessa Finnish Research Programme on Environmental Health 1998-2001. Results (toim. Juuti, S. & Leinonen, H.). s. 246-252.
- Lahti, K. & Hiisvirta, L. 1995. Causes of water-borne outbreaks in community water systems in Finland:1980-1992. Wat. Sci. Tech. 31: 33-36.
- Miettinen, I., Zacheus, O. & Vartiainen, T. 2001. Vesi-epidemioiden ehkäisy. Vesitalous 5:9-11.
- Korkka-Niemi, K., Sipilä, A., Hatva, T., Hiisvirta, L., Lahti K. & Alftan G. 1993. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - Sarja A Nro 146, Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2/93. 228 s. Helsinki.
- Stenström, T., Boisen, A., Georgsson, F., Lahti, K., Lund, V., Andersson, Y. & Ormerod, K. 1994. Vattenburna infektioner i Norden. TemaNord 1994: 585. 91 p.
- Vartiainen, T & Zacheus, O. 2001. Vesiepidemiat ja niiden syyt. Vesitalous 5:6-8.
- von Bonsdorff, C.-H. 2002. Vesivälitteiset virusinfektio. Teoksessa: Finnish Research Programme on

pohjaveden alentamisesta mahdollisesti koituvat haitta- ja vaaratekijät.

Suunnittelukohteen pohjatutkimusten yhteydessä täytyy tehdä riittävästi laaja-alaisia ja pitkäaikaisia pohjavesihavaintoja alueella. Tähän liittyen joudutaan asentamaan pohjavesiputkia, joiden avulla selvitetään pohjavedenpintojen tasot ja vaihtelut sekä pohjaveden virtaus-suunnat. Putket täytyy asentaa siten, että niiden avulla voidaan tehdä pohjavesihavaintoja sekä suunnittelun että rakentamisen aikana. Jos alueella esiintyy orsivettä, on myös sen taso selvitettävä. Maaperän vedenläpäisevyys- ja rakeisuusmääritykset tehdään maanäytteiden avulla laboratoriossa. Lisäksi tehdään usein myös maaperätutkimuksia kairausten ja sähköisen luotausmittauksen avulla. Jos edellä mainittujen tutkimusten avulla ei saada selville pohjaveden ominaisuuksia, joudutaan suorittamaan pitkäaikaisia koepumppauksia.

Pohjaveden alentamisen suunnitelman on oltava kaikissa suunnitteluvaiheissa niin yksityiskohtainen, että hankkeen toteuttamiskelpoisuus voidaan arvioida. Suunnitelmassa tulee erikseen ottaa huomioon tilapäisen pohjaveden alentamisen edellytykset (= työaikainen pohjaveden alentaminen) ja pysyvän pohjaveden alentamisen edellytykset. Koska ratkaisun kustannusvaikutukset ovat huomattavat ja ratkaisu saattaa vaikuttaa merkittävästi koko suunniteltavaan kohteeseen, on usein tarkoituksenmukaista tehdä muuta suunnittelua yksityiskohtaisemmat selvitykset pohjaveden alentamisesta ja sen vaikutuksista. Tutkimuksissa tulee selvittää rakennusten painumat ja niiden rakenteiden kestävyys. Lisäksi tulee selvittää alimman pohjaveden pinnan taso, jos kohteessa on puuperusteisia rakenteita (alimman pohjavedenpinnan tason on oltava vähintään 0,5 metriä rakenteiden yläpuolella).

4.4.2 Työaikainen pohjaveden alentaminen

Pohjavettä joudutaan usein alentamaan ennen kaivutyön aloittamista, jos kaivannon lopullinen pohja on selvästi pohjavedenpinnan alapuolella tai on olemassa hydraulisen murtuman vaara. Pohjavesi alennetaan kaivannon ulko- tai sisä-

puolelle asennettavien siiviläputkien tai suodatinputkikaivojen avulla.

Lyhytaikainen pohjaveden alentaminen ei yleensä aiheuta merkittäviä ympäristöriskejä, mutta lähialueen kaivot saattavat kuitenkin kuivua väliaikaisesti. Jos työaikainen pohjaveden alentaminen kestää kuukausia, se voi aiheuttaa vaurioita kasvillisuudelle sekä maavaraisten ja joskus myös paaluille perustettujen rakennusten ja rakenteiden painumista. Rakennusten painumista aiheutuu herkemmin, jos maaperä on koostumukseltaan hienorakeista tai eloperäistä. Kertaluonteinen, lyhytaikainen pohjaveden alentaminen ei yleensä aiheuta puupaalujen lahoamista.

Geotekniseen suunnitteluun kuuluu arvion laatiminen työaikaisen pohjaveden alentamisen vaikutuksista sekä suunnitelman laatiminen tilaajan päättämistä toimenpiteistä. Pohjaveden alentamisen suhteen vaihtoehtoina voi olla, että pohjaveden työaikainen aleneminen estetään tai rajataan työkohteeseen, pohjaveden alentamisen haittoja vähennetään varautumalla veden toimituksiin, kasteluun ja imeyttämiseen, tai haitat ja vahingot korvataan. Pohjaveden alentamisesta tai sen rajaamisesta laaditaan vähintään suunnitelma suunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella.

4.4.3 Pysyvä pohjaveden alentaminen

Pohjavedenpinnan alapuolelle rakennettavat vesitiiviit kaukalarakenteet (esim. tien alikulkukäytävä) ovat yleensä hyvin kalliita ratkaisuja. Tämän vuoksi voidaan päätyä pohjavedenpinnan alapuolelle ulottuvien rakenteiden osalta pysyvään pohjavedenpinnan alentamiseen. Kun pohjavedenpinnan tasoa alennetaan pysyvästi, on vaikutusalueen laajuus selvitettävä tarkoin ennakkotutkimusten avulla. Tämä voidaan tehdä luotettavasti vain pitkäaikaisten koepumppausten avulla. Maanäytteiden laboratoriotutkimusten ja kairausten sekä geofysikaalisten tutkimusten avulla voidaan yleensä vain karkeasti määrittää pohjaveden alentamisesta muodostuvan vaikutusalueen laajuus.

Pohjaveden alentamiseen tarvitaan lupa, jos toimenpiteestä aiheutuu toisen kiinteistöllä ta-

lousveden saannin vaikeutuminen tai pumpattava vesimäärä on suurempi kuin 250 m³ vuorokaudessa. Lupa tarvitaan yleensä myös silloin, jos pohjavettä alennetaan pysyvästi, vaikka pumpattava vesimäärä olisikin pienempi. Lupa haetaan aina ympäristölupavirastolta.

Pysyvä pohjaveden alentaminen saattaa aiheuttaa vaurioita kasvillisuudelle, vesihuollolle ja rakennuksille. Varsinkin paljon vettä kuluttavat puut kärsivät, kaivot kuivuvat, rakennukset ja rakenteet painuvat ja paalut lahoavat.

Geotekniseen suunnitteluun kuuluu arvion laatiminen pysyvän pohjaveden alentamisen vaikutuksista sekä suunnitelma haittojen vähentämiseksi ja korvaamiseksi. Jos pohjaveden alentamisesta aiheutuvat haitat ovat suuria, pohjaveden pysyvä aleneminen estetään tai se rajataan.

4.4.4 Louhintatyöt

Louhintatyöt saattavat muuttaa pohjaveden virtaussuuntaa. Kalliokynnykset toimivat usein pohjaveden virtauksen vedenjakajina. Niiden poistaminen kriittisestä paikasta voi aiheuttaa pohjaveden virtaamisen alkuperäisestä poikkeavaan suuntaan. Työmaalla tämä saattaa näkyä pohjaveden virtaamisena rakennusalueella. Työmaan ulkopuolella se voi näkyä vedenottamon tai kaivon antoisuuden vähenemisenä tai pahimmillaan kuivumisena. Louhinta- ja räjäytystyöt saattavat myös avata kallioperään uusia rakoja ja halkeamia, joita pitkin voi virrata heikompilea- tuista pohjavettä alueella oleviin porakaivoihin.

Ennen louhintatöiden aloittamista tulee aina selvittää lähistöllä olevien pintavesikaivojen veden pinnankorkeudet ja laatu sekä porakaivojen veden laatu.

4.4.5 Arteesinen eli paineellinen pohjavesi

Arteesinen pohjavesi esiintyy alueilla, joilla hyvin vettä johtava pohjavesikerros sijaitsee esimerkiksi vettä pidättävän savikerroksen alla ja pohjaveden muodostumisalueen pohjavedenpinta on korkeammalla kuin peitteisellä alueella. Jos pohjavettä suojaava savikerros rikkoon- tuu, muodostuu ns. arteesinen lähde, jossa poh-

javeden pinta pyrkii vapaata aluetta vastaavalle tasolle.

Tällaisessa tilanteessa hydraulinen murtuma on voimakas ja tilanteen korjaaminen on lähes mahdotonta. Pahimmassa tapauksessa murtuma- paikalle muodostuu uusi lähde, joka vähitellen alentaa pohjaveden pintaa koko pohjavesialueella. Lisäksi rakennuskohteella voidaan joutua mittavaan veden pois pumpaamiseen, ja rakennussuunnitelmaa joudutaan jopa muuttamaan uusia olosuhteita vastaavaksi. Rakentamisen lisäksi paineellinen pohjavesi saattaa tulla ongelmaksi myös pohjavesiputkien asentamisen yhteydessä. Joissakin tapauksissa hydraulinen murtuma on onnistuttu korjaamaan suodattinkankaan ja moreeniaineksen avulla, puupaalujen avulla tai laittamalla reikään putki, joka ulottuu riittävän korkealle maanpinnan yläpuolelle estäen pohjaveden purkautumisen.

4.4.6 Kirjallisuutta

- Suomen geoteknillinen yhdistys, 1987. Kairausopas IV: Pohjavedenpinnan ja huokosveden paineen mittaaminen. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. ja Rakentajain Kustannus Oy, 62 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 2000. Talonrakennuksen maarakenteet - yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset, RIL 132-2000, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (email: ril@ril.fi), 123 s.
- Tielaitos, 1995. Tieleikkausten pohjatutkimukset. Geotekniikan informaatiojulkaisuja, Tielaitoksen selvityksiä 79, ISBN 951-726-155-1, TIEL 3200354, 50 s.
- Tielaitos, 1998. Teiden pehmeikkötutkimukset. Geotekniikan informaatiojulkaisuja, Tielaitoksen selvityksiä 28, ISBN 951-726-447-X, TIEL 3200520, 90 s.
- Tiehallinto, 2001. Teiden pohjarakenteiden suunnittelu- perusteet. Suunnitteluvaiheen ohjaus. ISBN 951-726-743-6, TIEH 2100002-01, 61 s. + 7 liitettä.
- Ympäristöministeriö, Suunnittelu- konsulttitoimistojen liitto SKOL ry, Suomen geoteknillinen yhdistys ry, Innogeo Oy, 2001. Rakennuspohjien ja pihajal- alueiden maarakenne- ja kuivatusopas, MaKu 2001, Rakennustieto O (www.rakennustieto.fi), 92 s.

5. TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Pohjavesiesiintymän rakenne- selvitys ja sedimentologinen tulkinta

5.1.1 Yleistä

Suomen tärkeimmät pohjavesialueet sijaitsevat mannerjäätikön sulamisvesien muodostamien jäätikköjokisysteemien kerrostamissa harjumuodostumissa. Maa-aineksen laadun vaihtelu muodostumissa vaikuttaa ratkaisevasti pohjaveden esiintymiseen ja hyödynnettävyyteen. Vaihtelu johtuu eroista muodostumien synnyn aikaisissa kerrostumisolosuhteissa. Pinnanmuodoiltaan samanlaisissa harjumuodostumissa voi olla hyvin erilainen sisäinen rakenne ja aineksen koostumus. Harjukerrostumien kerrostumisolosuhteiden määrittämisellä (primääri-/sekundäärikerrostumat) saadaan merkittävää lisätietoa kerrostumien ulottuvuuksille, vedenjohtavuuksille ja muille hydrogeologisille tekijöille sekä niiden sisältämän pohjaveden pilaantumisherkkyydelle ja vedenhankintamahdollisuuksille. Sekä harjujen että reunamuodostumien syntyolosuhteet ja rakenteet vaihtelevat niin paljon, että jokainen muodostuma on tutkittava erikseen.

Monipuoliseen geologiseen tutkimusaineistoon perustuva rakennetulkinta auttaa ymmärtämään, miten kerrostumien syntyolosuhteet ovat vaikuttaneet pohjavesiesiintymän hydraulisten ominaisuuksien vaihteluun. Erityisesti pohjavesimallinnuksen ja haitta-aineiden kulkeutumismallien kannalta on välttämätöntä luokitella pohjavesiesiintymä vedenjohtavuudeltaan erilaisiin vyöhykkeisiin ja arvioida hyvin vettäjohtavien kerrosten ulottuvuuksia. Suurissa ja syntyolosuhteiltaan monivaiheisissa muodostumissa, kuten Salpausselkien reunamuodostumissa, voidaan sedimentologisen tutkimuksen avulla selvittää ja selittää muodostumien eri kerrosten ulottuvuuksia, ainesvaihtelua ja hydrogeologisia olosuhteissa tapahtuvia muutoksia.

Geologisen, geomorfologisen ja sedimentologisen aineiston tulkinta yhdessä kairaustietojen, geofysikaalisten tutkimustulosten sekä saa-

tavilla olevan pohjavesitiedon kanssa tarjoaa luotettavan ja myös taloudellisen menetelmäkokoaisuuden pohjaveden suojeluun ja hyödyntämiseen liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi.

5.1.2 Rakenneselvityksen toteutus

Rakennetulkinnan perustan muodostaa laaja deglasiaatiohistorian tuntemus, eli mannerjäätikön reuna-aseman vetäytymisen aikaisten olosuhteiden ja tapahtumien tunteminen. Deglasiaatiohistorian tärkein työvaihe on geomorfologinen tulkinta, eli muodostumien synnyn tulkinta pinnanmuotojen ja maa-aineksen yleispiirteiden perusteella.

Varsinainen rakennetulkinta aloitetaan pohjavesiesiintymän maaperägeologisella tulkinnalla, joka sisältää maaston pinnanmuotojen tulkinnan, aiempien selvitysten yhteenvedon laatimisen, kairausten ja geofysikaalisten mittauksen alustavan tulkinnan sekä maastokäynnin. Maastokäynnin yhteydessä arvioidaan maaperäleikkausten käyttökelpoisuus sekä jatkotöiden tarve. Syvätutkimustiedon tulisi antaa riittävän tarkka kuva paitsi aineksen vaihtelun yleispiirteistä myös kallioperän pinnan vaihtelusta, sillä se ohjaa suurelta osin eri kerrostumisvaiheiden ja niihin liittyvien kerrostumien suurrakenteiden sijoittumista.

Tutkimusmenetelmiä ovat geofysikaaliset luotaukset ja mittaukset, kairaukset sekä leikkaushavainnointi. Geofysikaalisilla menetelmillä saadaan pohjavesiesiintymän rakenteesta profiilitietoa, joka on oleellisen tärkeää arvioitaessa muodostuman eri rakenneyksikköjen keskinäisiä suhteita ja hydraulisia yhteyksiä.

Rakenneselvityksen tärkein osa on kalliopinnan korkokuvan määrittäminen painovoimamittausten, kairausten sekä räjäytysseismisten luotauksen ja maatutkaluotauksen avulla. Pohjaveden pinnan ja -virtaussuuntien määrittäminen pohjavesiputki- ja luotaustietojen sekä talousvesikaivotietojen avulla antaa lisätietoa mahdollisten kalliokynnysten sijainnista ja hyvin tai heikosti johtavien kerrosyksikköjen sijainnista. Hyvän tai huonon hydraulisen johtavuuden omaavien kerrostumien ulottuvuudet paikannetaan mm. maatutkaluotauksen ja sähköisen to-

mografian avulla. Glasifluviaalisten muodostumien syntyolosuhteiden selvittämisessä on monessa hankkeessa edulliseksi yhdistelmäksi osoittautunut maatutkaluotaus ja kairaus.

Eri maaperän rakenneyksiköistä on erotettava ainakin varsinainen muodostuman aines (primääriosa), tämän päälle kerrostuneet hienosedimentit (muinainen Itämeri tai jääjärvet) ja hienosedimenttien päälle kerrostuneet rantakerrostumat (sekundääriosa). Rantakerrostumien aines voi vaihdella siltistä karkeaan soraan riippuen kerrostuman syntyolosuhteiden aikaisesta veden syvyydestä. Myös muodostuman primääriosan eri yksiköjä voidaan kuvata, mikäli niiden välillä on hydrogeologisesti merkittäviä eroja.

5.1.3 Sedimentologisen tutkimuksen toteutus

Suurien ja syntyolosuhteiltaan monivaiheisten muodostumien rakennetulkinnassa erittäin tärkeä vaihe on sedimentologinen tutkimus, joka keskittyy maaperäleikkauksissa näkyvien rakenteiden ja aineksen ominaisuuksien systemaattiseen kuvaamiseen ja luokitteluun. Varsinaiset kenttätutkimukset muodostuvat leikkausten sijainnin ja absoluuttisten korkeuksien kartoituksesta sekä leikkausten pääarakenteiden ja -kerrosten kuvaamisesta piirtämällä ja valokuvaamalla. Lisäksi arvioidaan kerrosten geometria, kontaktit ja jatkuvuudet sekä suunnitellaan yksityiskohtaisten havainnointipaikkojen sijainti. Yksityiskohtaisiin tutkimuksiin kuuluu pääkerrosten sisältämien sedimenttirakenteiden ja maa-aineksen tarkempi kuvaus, muinaisia veden virtaussuuntia osoittavien sedimenttirakenteiden mittaaminen sekä maaperänäytteiden ottaminen (kuva 5.1). Kenttätöiden tekemiseen kuuluu leikkauksen luonteesta riippuen yleensä 1 - 3 päivää. Kenttätöihin kuuluu myös käytössä olevien maa-aineksen ottoalueiden jatkuva havainnointi, jotta kerrostumissa ilmenevät muutokset saadaan kuvatuiksi. Sedimenttologisten kenttätutkimusten tekeminen vaatii kokemusta, ja havaintojen tulkinta edellyttää huomattavaa erikoisosaamista.

Tutkimus jatkuu kulutus-, kuljetus-, kerrostumis- ja häiriörakenteita aiheuttavien prosessien ja kerrostumisympäristöjen tulkinnalla. Tul-

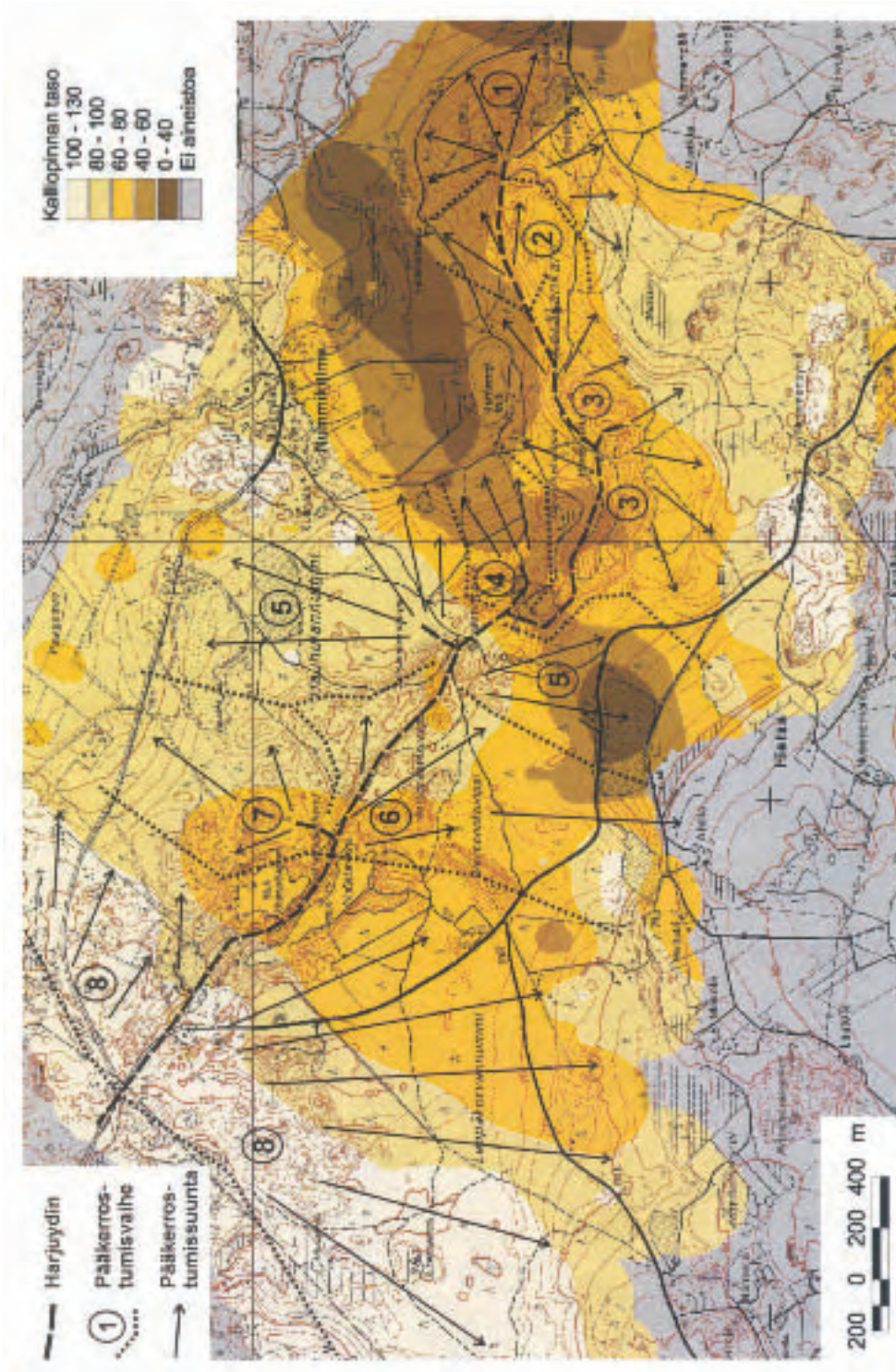
kinta tuo usein esiin tarpeen täydentävien kenttätöiden tekoon. Kerrostumisprosessien ja ympäristöjen tulkintaan perustuva kokonaiskäsitys muodostuman synnystä ja rakenteesta selittää muodostuman pinnanmuotojen vaihtelua ja tarjoaa ”kehikon”, johon voidaan sitoa muilla tutkimusmenetelmillä hankittua tietoa, jonka käyttö syntyolosuhteiden tulkinnassa olisi muuten vaikeaa. Tämä kokonaiskäsitys ohjaa muita tutkimuksia ja on avainasemassa suunniteltaessa usein kalliiden ja aikaavievien jatkotutkimusten kohdistamista ”oikeille alueille”.

Maaperäleikkaukset ovat pohjavesitutkimuksen kannalta erittäin arvokkaita luonnon tietovarastoja, ja sen vuoksi niiden maisemointi tulisi toteuttaa vasta sedimenttologisten tutkimusten jälkeen. Lisäksi vanhojen maa-ainesten ottoalueiden leikkauksia pitäisi tarpeen mukaan avata uudelleen tutkimuksia varten, minkä jälkeen ne voitaisiin maisemoida. Sedimenttologisen tutkimuksen käyttömahdollisuudet rakennetulkinnassa riippuvat sora- ja hiekkakuoppien määrästä, laadusta, mittasuhteista sekä sijainnista suhteessa tutkittavan muodostuman kokoon, rakenteeseen ja muuhun saatavilla olevaan tutkimusaineistoon. Sedimenttologisessa kartoitustyössä tuoreiden leikkausten lisäksi myös vanhat tutkimusaineistot ovat tärkeitä tietolähteitä nykyisin taajaan asutuilla tai vanhoilla sora- ja hiekkakuoppialueilla.

Kuoppien vähäinen määrä tai soveltumattomuus kerrostumien tutkimukseen korostavat muiden tutkimusmenetelmien merkitystä. Tällöin ainoa mahdollisuus saada tietoja pohjavesiesiintymän ainesvaihtelusta ja rakenteista on kairaus- ja näytetietoihin yhdistetty maatutka-aineistojen ja maastogeofysikaalisten profiilimittausten aineistojen tulkinta.

5.1.4 Tutkimustulosten raportointi ja visualisointi

Pohjavesitutkimusten raportointia on käsitelty kappaleessa 8. Tutkimusaineistojen raportoinnissa visualisointi on tärkeä työvaihe. Visualisointi voidaan tehdä esimerkiksi Surfer, ArcGis ja Surpac -ohjelmistoilla, ja siinä voidaan käyttää myös varsinaisia 3D-ohjelmia, kuten EarthVision. Vi-



Kuva 5.1. Tulkinta Nummi-Pusulan Keräkkärean pääkerrrostumisasiheista. Vaiheet perustuvat pinnanmuotojen, leikkaushavaintojen, kairauksen, maatulokautusten, pohjavesitietojen sekä kallio-pinnan tasoa kuvaavan mallin yhteistulkintaan. Muodostuman synnyn eri osissa vaikuttaneet kerrrostumisprosessit, kerrrostusvaiheiden jatkuvuudet ja aineksen laatu määrittävät yleensä pitkälti kerrrostumisasiheiden suuntaa. Tällaisten vaihtelutietojen avulla on mahdollista suunnitella ja kohdistaa jatkotutkimuksia keskeisille alueille. Kerrrostumisasiheisiin perustuva rakenneselvitys muodostaa hyvän perustan mm. pohjajäden virtauskuvan mallintamiselle.

sualisoinnissa tuotetaan numeerisesta tutkimustiedosta muun muassa korkokuvakartat maan-, kallion- ja pohjavedenpinnasta sekä visualisointikuva pohjavedellä kyllästyneen maapeitteen paksuudesta. Eri menetelmillä tuotettu, tulkittu tai todettu pintatieto (esim. kallionpinta) on syytä tallentaa ainakin ASCII- ja Excel-formaateissa. Kustakin pisteestä on tallennettava x-, y- ja z-koordinaatit, jossa z - koordinaatti ilmoittaa kulloisenkin pinnan korkeuden. Näiden lisäksi on syytä tallentaa tutkimusmenetelmä ja tarkkuusluokka. Kaikki numeerinen tutkimusaineisto on tallennettava esimerkiksi CD-levylle ja liitettävä tutkimusraporttiin.

5.1.5. Kirjallisuutta

- Artimo, A. 2003: Three-dimensional geologic modeling and numerical groundwater modeling of Finnish aquifers : a new approach for characterization and visualization. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja A. II. Biologica-Geographica-Geologica 168. 62 s.
- Mäkinen, J. 2003: The development of depositional environments within the interlobate Säskylänharju-Virtaankangas glaciofluvial complex in SW Finland. Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Geologica - Geographica 165. 65 s.
- Palmu, J-P. 1999: Sedimentary environment of the Second Salpausselkä ice marginal deposits in the Karkkila-Loppi area in southwestern Finland. Tiivistelmä: Jäätikön reunan kerrostumisympäristö Toisella Salpausselällä Karkkila-Lopen alueella. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 148. 91 s.

5.2 Pohjavesiesiintymän maaperä-kerrostumien, antoisuuden ja virtauskuvan tutkiminen

Pohjavesiesiintymän eri ominaisuuksien tutkiminen muodostaa moniulotteisen kokonaisuuden. Tutkimukset aloitetaan tavallisesti karttojen, ilmakuvien sekä mahdollisten aikaisempien tutkimustulosten tarkastelulla. Näitä yleispiirteisiä tulkintoja täydennetään aluksi maastokäynneillä tehtävillä havainnoilla ja myöhemmin geofysikaalisilla tutkimuksilla, virtaamaselvityksillä, kairauksilla, maanäytteiden otolla sekä havain-

toputkista ja koepumppauksista saatavilla tiedoilla. Valittavissa olevien tutkimusmenetelmien kirjo on varsin suuri ja melkein jokaisessa tutkimusmenetelmässä on omat hyvät ja huonot puolensa. Sen vuoksi seuraavissa kappaleissa on pohjavesitutkimusten teettäjiä ajatellen kuvattu lyhyesti eri tutkimusvaiheita ja tutkimusmenetelmiä sekä niiden mahdollisimman oikeita toteuttamistapoja.

5.2.1 Maastotarkastelu

Pohjavesiesiintymän tutkimusten alkuvaiheessa tehdään maastotarkastelu. Yleensä se on järkevintä tehdä siinä vaiheessa, kun tutkimusalueelta käytettävissä oleva aikaisempi tutkimusaineisto on koottu ja käyty läpi. Maastotarkastelu on parasta tehdä kuivana ajanjaksona, esimerkiksi kesällä pitkän sateettoman kauden aikana tai talvella ennen lumien sulamista. Tällöin maastossa virtaavien pintavesien määrä on pieni ja jäljellä olevat virtaavat vedet ovat todennäköisimmin pohjavettä. Maastotarkastelun aikana selvitetään alueen sen hetkinen maankäyttö ja edellytykset eri tyyppisille tutkimusmenetelmille. Paikan päällä tehty tarkastelu on jatkovaiheiden kannalta tärkeää, sillä uusia rakennuksia, teitä, sorakuoppia, sähkölinjoja ja muita ihmisen toiminnan tuloksia on saattanut ilmestyä alueelle runsaasti viimeisen peruskartoituksen jälkeen varsinkin Etelä-Suomessa.

Pohjavesiesiintymän rakenteen ja pohjavesiolosuhteiden määrittämisen kannalta on tärkeää selvittää pohjaveden purkautumispaikat ja kalliopaljastumat, joita ei ole merkitty karttaan. Lisäksi on huomioitava alueella sijaitsevat kaivot ja rakennelmat, joiden käyttöön tai toimintaan pohjavesiolojen muuttumisella voi olla merkitystä. Alueen sorakuopat on tärkeää käydä läpi ja kiinnittää huomiota maa-aineksen laatuun, kerrosrakenteisiin sekä mahdollisten orsivettä rajaavien siltti- ja savikerrosten esiintymiseen. Maaston muotoja tulkittaessa on pyrittävä erottamaan pohjavesiesiintymään kuuluvat rakenteet (harjun ydinselänne, deltan proksimaali- ja distaaliosat) esiintymän kerrostumisen jälkeen muodostuneista rakenteista (rantavallit ja -kerrostumat, dyynit, tekemuodot).

Maastokäynnillä on hyvä kulkea alueen polkuverkosto, ajourat ja metsäautotiet läpi sekä arvioida niiden kulkukelpoisuus. Samalla kannattaa kiinnittää huomiota myös maaston kulkukelpoisuuteen, lohkareisuuteen, arkojen jäkälikköjen ja kosteikkojen sekä taimikoiden esiintymiseen. Maastotarkasteluissa ei kannata säästää, vaan maastossa on käytävä aina, kun jotain tarkistettavaa ilmenee. Huolellinen maasto-olosuhteisiin tutustuminen vähentää myöhemmissä tutkimusvaiheissa esiintuvia ikäviä yllätyksiä. Valokuvia ja videoita kannattaa ottaa runsaasti, sillä käytäntö on osoittanut, että tutkimuskohteista ei ole koskaan liikaa kuvamateriaalia.

5.2.2 Kartta- ja ilmakuvatulkinta

Kartta- ja ilmakuvatulkinnalla tarkoitetaan kartan tai ilmakuvan systemaattista tutkimista maan- ja kallioperän rakenteen, maaperän kerrosjärjestyksen sekä maaperämuodostumien syntytyypin ja jatkuvuutensa toteamiseksi. Karttatulkinta perustuu eri tyyppisten geologisten muodostumien tunnistamiseen kartan korkeuskäyrästä kuvaamien muotojen ja muiden karttamerkintöjen perusteella. Tulkitsija kiinnittää huomiota kalliopaljastumien esiintymiseen, sorakuoppien sijoittumiseen ja muotoon, lähdepurkaumien, soistumien ja ojikoiden sijaintiin, kartasta saataviin kasvillisuustietoihin, lohkareikkojen esiintymiseen sekä jokien ja ojien polveiluun. Taitava tulkitsija pystyy näiden kartasta luettavissa olevien seikkojen perusteella tekemään johtopäätöksiä maaperän laadusta, maakerrosten paksuudesta, muodostuman laajuudesta, pohjaveden purkautumispaikoista ja -tasosta sekä vedenhankinnan kannalta merkityksellistä muodostumista. Näiden tietojen perusteella hän luo kuvan esiintymän pohjavesiolosuhteista ja soveltuvuudesta vedenhankintaan.

Ilmakuvatulkinnassa on käytössä kaikki samat tulkintaelementit kuin karttatulkinnassa varsinkin silloin, kun käytettävissä on stereoilmakuvia, joissa myös maaston kolmiulotteinen tarkastelu on mahdollista. Ilmakuvissa lisäinformaatiota tarjoavat harmaan eri sävyt tai värisävyt, joiden perusteella voidaan arvioida esimerkiksi maaperän kosteussuhteita. Karttoituskuvaussissa ja metsien käytön suunnittelussa käytetään



Kuva 5.2.2. Ilmakuvatulkintaa väärävärikuvilta maastohavainnoinnin yhteydessä. Kuva E. Suokko.

melko yleisesti väärävärikuvia, joista saadaan tiettyjen näkyvän valon aallonpituuksien lisäksi tietoa myös lähi-infrapunasäteilyn esiintymisestä. Lähi-infrapunasäteily korostaa maaperän kosteuseroja. Eri kasvilajit käyttävät valikoidusti hyväkseen lähi-infrapuna-alueen säteilyä ja heijastavat niitä aallonpituuksia, joita eivät käytä. Tästä seuraa, että lähi-infrapunasäteilyn avulla on muita ilmakuvia helpompaa tunnistaa maaperän kosteusvaihteluita ja ympäristöstään poikkeavia kasvillisuusesiintymiä. Väärävärikuvia onkin käytetty menestyksellisesti muun muassa lähteikköjen tunnistamisessa ja rajaamisessa.

Suomesta on varsinkin asutuskeskusten lähistöltä käytettävissä useita painoksia peruskar-

toista ja ilmakuvauksmateriaalia eri vuosikymmeniltä. Näiden avulla on mahdollista nähdä, millainen pohjavesiesiintymä on ollut ennen kuin asutus, tiestö tai soranotto ovat pysyvästi muuttaneet aluetta.

5.2.3 Pohjaveden muodostumis- ja virtaamaselvitykset

Suomessa pohjavesi muodostuu pääasiassa sateesta ja lumen sulamisvesistä. Muodostuvan pohjaveden määrä riippuu sadannan, haihdunnan ja pintavalunnan välisistä suhteista. Maaperään imeytyvän vajoveden määrä vaihtelee sääolojen, maaperän raakoostumuksen, pinnanmuotojen ja kasvillisuuden mukaan. Vajoveden imeytyminen on suurinta karkearakeisilla, aukeilla, tasaisilla alueilla ja pienintä hienorakeisilla, tiheäkasvuisilla alueilla. Talvella maan ollessa roudassa imeytyminen lakkaa lähes kokonaan. Muodostuvan pohjaveden määrää voivat lisätä ympäröivistä vesistöistä tai suoalueilta imeytyvät pintavedet. Pintavesistöt ja suot ovat kuitenkin pääasiassa pohjaveden purkautumispaikkoja.

Veden viipymä pohjavesimuodostumassa riippuu vajoveden suotautumisnopeudesta ja pohjavedenvirtausnopeudesta pohjavesivyöhykkeessä. Vajoveden suotautumisnopeuteen vaikuttavat vajovesikerroksen paksuus ja rakenne sekä raakoostumus ja huokosomaisuudet. Vastaavat ominaisuudet vaikuttavat myös pohjavesikerroksen vedenjohtavuuteen (K) ja pohjaveden tehokkaaseen virtausnopeuteen ($V_e = K \cdot I / n_e$, missä I = -hydraulinen gradientti ja n_e = tehokas huokoisuus). Pohjavesikerroksen vedenjohtavuus vaikuttaa myös pohjaveden pinnan kaltevuuteen eli hydrauliseen gradienttiin (I). Se on sitä pienempi, mitä parempi väliaineen vedenläpäisevyys on olettaen, että virtaama pysyy samana.

Pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee maassamme vuodenaikojen ja maantieteellisen sijainnin mukaan. Pohjavedenpinta on yleensä korkeimmillaan keväällä lumen sulamisen jälkeen ja syksyllä syyssateiden täytettyä pohjavesivarastot.

Sadanta

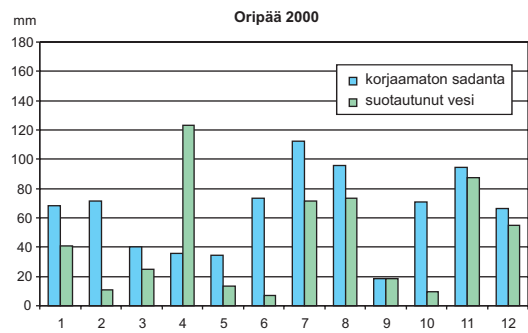
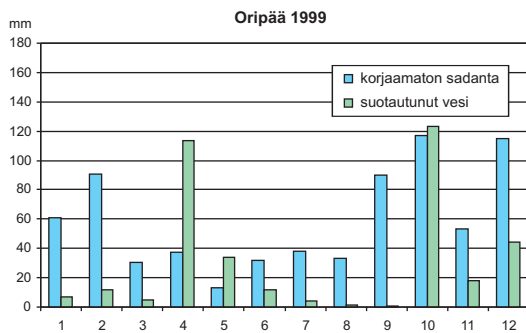
Sateen määrää mitataan tavallisesti tasapohjaisen sadeastian avulla. Haihtumisen vähentämiseksi astian avoimeen yläpään voidaan sijoittaa suppilo, jonka pienestä reiästä vesi valuu säiliön pohjalle. Sadehavaintojen teossa on huolehdittava astian säännöllisestä tarkistuksesta ja tyhjennyksestä. Tyhjennyksessä astian sisältö kaadetaan mittalasiin ja lukema merkitään muistiin. Mikäli sade ei ole nestemäisessä olomuodossa, sen annetaan ensin sulaa sisätiloissa. Varsinkin talvella on hyvä käyttää kahta sadeastiaa, jotka vaihdetaan havainnoinnin yhteydessä.

Sademäärän yksikkö on millimetri (mm). Yhden millimetrin sademäärä edustaa neliömetrin alueelle kertynyttä yhden litran sadantaa. Ilmatieteen laitos seuraa sademääriä järjestelmällisesti maassamme. Sadantatietoja tulisi saada myös itse tutkimusalueelta. Jos alue on suuri, on syytä suunnitella usean sademittarin asentamista. Sadeastiasta mitattu sademäärä on niin sanottu korjaamaton arvo. Jos halutaan saada todellista sademäärää vastaava arvo, sateen määrä tulee korjata kertoimien avulla.

Imeytyminen ja suotautuminen

Suomessa suuri osa sateena tulevasta vedestä ja sulamisvesistä imeytyy maaperään. Osa vedestä haihtuu takaisin ilmakehään suoraan tai kasvillisuuden kautta ja osa kulkeutuu pintavaluntana vesistöihin. Maavesivyöhykkeen syvyys riippuu pohjaveden pinnan korkeudesta, ja sen vesipitoisuus riippuu sademäärän ajallisista vaihteiluista, sulannasta sekä maan fysikaalisista ominaisuuksista, kuten rakeisuudesta ja huokoisuudesta.

Lumen sulamisen tai pitkäaikaisen sateen seurauksena maavesivyöhyke saavuttaa kyllästyneen tilan ja ylimääräinen vesi valuu pohjavesivarastoon tai kulkeutuu pintavaluntana vesistöön. Kesällä haihdunta ja kasvien vedenotto kuivattavat maata. Talvella maavesi jäätyy maan pinnan tuntumassa ja muodostuu routaa. Maan vesipitoisuus säätelee ilman ja kaasujen vaihtumista maassa ja vaikuttaa siten kasvien juurten hengitykseen, mikrobin toimintaan sekä maan kemialliseen tilaan. Sateen ja lämpötilan vuodenaikaisvaihtelut vaikuttavat merkittävästi maan vesisuhteisiin.



Kuva 5.2.3a. Oripään pohjavesiaseman lysimetrimittaukset.

Suotautuvan veden määrää voidaan mitata lysimetrillä. Se on maahan kaivettu suuri astia, josta maa-aineksen läpi suotautunut vesi johdetaan alakautta keräilyastiaan. Kuvassa 5.2.3a on esitetty sateen korjaamattomia kuukausisummia ja lysimetrin läpi suotautuneita vesimääriä Oripään pohjavesiasemalta vuosilta 1999 ja 2000.

Purkautuvien pohjavesien mittaus

Muodostuvan pohjaveden määrän arviointiin tarvitaan sadanta- ja maaperäolosuhteita kuvaavien tietojen lisäksi käsitys muodostumisalueen laajuudesta. Alueella olevat lähteet ja muut pohjaveden purkautumispaikat, kaivot ja pohjavesilammet paikannetaan ja niiden pohjaveden pinnankorkeudet mitataan. Tietoja on usein tarpeellista täydentää asentamalla alueelle pohjaveden havaintoputkia sopiviksi arvioituihin maastonkohtiin. Vedenpinnan mitta-asteikot asennetaan jatkuvaa tarkkailua varten paikkoihin, joissa pohjaveden pinta on näkyvässä.

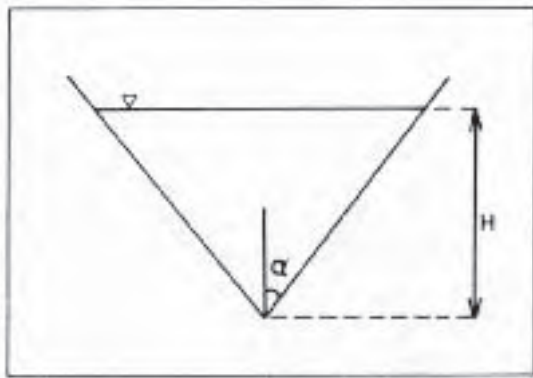
Kartoittamalla ja mittaamalla lähteiden kautta tapahtuva ylivuoto pyritään määrittämään akviferin vesitase. Jos arvioitu muodostuvan pohjaveden määrä on huomattavasti suurempi kuin mitattu lähteiden ylivuoto, on erotuksen aiheuttavat syyt selvitettävä. Usein pohjavesi purkautuu vesistöön, soille tai alavaan laaja-alaiseen maastoon tihkumalla. Tätä purkautumista on vaikea mitata. Lähteiden esiintyminen ja niistä purkautuvat vesimäärät kertovat vesitaseen lisäksi muodostuman olosuhteista. Esimerkiksi jos pieniä purkautumia on muodostuman reunoil-

la paljon, kertoo se, että pohjavesiyhteydet eivät muodostuman sisällä ole kovin hyvät, maa-aines on mahdollisesti hienohkoa tai kallio jakaa alueen pienempiin erillisiin altaisiin. Vastaavasti jos lähteitä on vähän ja niiden pohjavesipurkaumat ovat huomattavia, ovat hydrauliset yhteydet todennäköisesti hyvät ja laaja-alaiset ja maa-aines on ainakin ydinosaassa kohtalaisen karkeaa.

Purkautuvien pohjavesien vesimäärän mittaus tulee tehdä eri vuodenaikoina tai mahdollisuuksien mukaan jatkuvalla mittauksella. Mittapatojen ja mittauspisteiden paikat merkitään kartalle tai tallennetaan paikkatietoaineistoksi, mittaustulokset tallennetaan tiedostoihin.

Lähteiden virtaamamittauksissa käytetään yleisesti kolmioaukkopatoa (Thomson), joka voi olla pysyvä rakennelma tai helposti siirreltävä (kuvat 5.2.3b ja c). Myös siivikkomittausta ja purkautumiskäyrää voidaan käyttää vähän suurempien virtaamien mittaukseen. Suurilla virtaamilla ($Q > 100$ l/s) voidaan käyttää laakeammankin muotoisia patoaukkoja. Mittapatoja asennettaessa tulee kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

- ylisyyksy on vapaa ja aukossa on riittävä putous, alaveden pinta ei saisi nousta kynnystason yli
- veden lähestymisnopeus on mahdollisimman pieni (< 30 m/s), mikä voi vaatia vaimennusaltaan
- vettä ei virtaa padon ohi
- pintavettä ei virtaa padon kautta



5.2.3b. Kolmiopato (Lähde: Hyvärinen & al. 1984)



Kuva 5.2.3c. Kolmioaukkopato eli Thomson -pato koe-pumppauspaikan purkuojassa, Myrskylä. Kuva J. Hellgren.

Virtaama määritetään mitta-asteikolta saadun ylisyoösyn paksuutta osoittavan lukeman (H) mukaan tai taulukosta 5.2.3. Kolmiopadon virtaama voidaan laskea kaavalla

$$Q = \mu \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan a^\circ H^{5/2} \quad \text{tai} \quad Q = \mu 0,0236 \tan a^\circ H^{5/2}, \text{ kun } Q \text{ (l/s), } H \text{ (cm)}$$

Taulukko 5.2.3. Suorakulmaisen eli ns. Thomsonin mittakolmion purkautumistaulukko ($\mu=0,63-0,60$, kun $H=1-7$ cm; $\mu=0,60$, kun $H>7$ cm).

Hcm	Ql/s	Hcm	Ql/s	Hcm	Ql/s	Hcm	Ql/s
1	0,015	21	28,6	41	152	61	412
2	0,084	22	32,1	42	162	62	428
3	0,228	23	35,9	43	172	63	446
4	0,463	24	40,0	44	182	64	464
5	0,803	25	44,2	45	192	65	482
6	1,26	26	48,8	46	203	66	501
7	1,84	27	53,6	47	214	67	520
8	2,56	28	58,7	48	226	68	540
9	3,44	29	64,1	49	238	69	560
10	4,48	30	69,8	50	250	70	580
11	5,68	31	75,8	51	263	71	601
12	7,06	32	82,0	52	276	72	623
13	8,63	33	88,6	53	290	73	645
14	10,4	34	95,4	54	303	74	667
15	12,3	35	103	55	318	75	690
16	14,5	36	110	56	332	76	713
17	16,9	37	118	57	347	77	737
18	19,5	38	126	58	363	78	761
19	22,3	39	134	59	379	79	785
20	25,3	40	143	60	395	80	810

On tärkeää, että veden korkeus luetaan tähtäämällä vaakasuoraan vedenpintaan. Suoraan mittapoikkileikkauksen päältä arvioitu vedenkorkeus antaa liian pienen tuloksen

5.2.4 Geofysikaaliset menetelmät

Geofysikaalisten menetelmien käyttö pohjavesialueen rakenteen tutkimisessa lisääntyi voimakkaasti 1990-luvulla. Aiemmin käytettyjen refraktioseismisen menetelmän, maatutkan ja vastusluotauksen lisäksi otettiin käyttöön geofysikaalisten matalalentomittausten aineistot ja painovoimamittaukset. Geofysikaalisia menetelmiä käytetään usein esitutkimusmenetelmänä, kun halutaan saada yleiskuva pohjavesialueesta, maapeitteen paksuudesta ja kalliopinnan topografiasta. Mittauksilla saadun pohjatiedon avulla kalliimmat ja yksityiskohtaisemmat tutkimukset, kuten kairaukset on helpompi sijoittaa tarkoituksenmukaisiin paikkoihin. Parhaaseen lopputulokseen päästään yhdistämällä useita menetelmiä. Alueellisista menetelmistä aloittamalla voidaan tarkempien tutkimusten määrää vähentää, jolloin säästetään kustannuksissa. Menetelmien valinnassa tulee aina ottaa huomioon myös niiden rajoitukset.

Geofysikaaliset matalalentomittaukset

Geologian tutkimuskeskus (GTK) käynnisti järjestelmällisen matalalentomittausohjelman vuonna 1972. GTK:n magneettiset, sähkömagneettiset (EM) ja radiometriset mittaukset tehdään lentokoneesta 35 - 40 metrin korkeudelta yleensä 200 metrin linjaväliä käyttäen. Suomen maapinta-alasta on tällä hetkellä kartoitettu yli 90 prosenttia, ja koko Suomen pitäisi olla mitattuna lähivuosina. Pohjavesitutkimuksissa lento- eli aerogeofysikaalisia tuloksia käytetään pääasiassa alueellisessa tulkinnessa ohjaamaan maan pinnalta tehtäviä, yksityiskohtaisempia mittauksia.

Aeromagneettisessa mittauksessa mitataan Maan magneettivuon tiheyden kokonaisarvoa. Mittaus antaa tietoa magneettisten mineraalien jakautumisesta kallioperässä ja edelleen kallioperän rakenteista ja ominaisuuksista. Magnetotuneen kallioperän alueella ruhevyöhykkeet

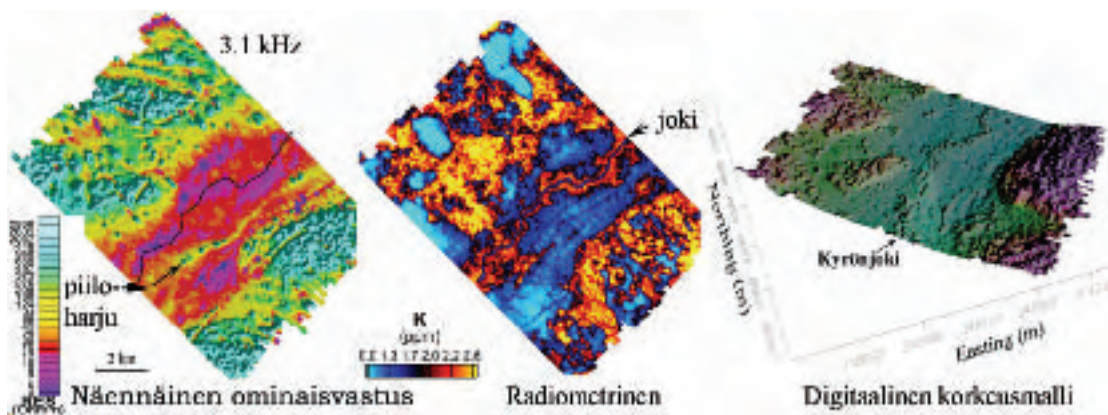
näkyvät suoraviivaisina magneettisina minimeinä, koska magnetiitin määrä on vähentynyt ruheiden hapettavissa oloissa. Ruheiden sijainti ja ominaisuudet pitää tarkistaa aina muillakin menetelmillä (ks. kuva 5.2.4f).

Aerosähkömagneettisilla (AEM) mittauksilla voidaan paikantaa hyvin sähköä johtavia maa- ja kivilajeja sekä ruhevyöhykkeitä. Kuivat, paksumat maapeitteet eivät aiheuta sähkömagneettisia anomaliaita, eli ne näkyvät tyhjinä, anomaliatominat alueina. Aineistoa voidaan käyttää myös ruhetulkintaan, jos ruhteet ovat täyttyneet esimerkiksi savella, joka johtaa hyvin sähköä. Samoin voidaan laskea savikon paksuus, jos saven sähköjohtavuudesta on tietoja. Myös kosteusvaihtelut näkyvät aerosähkömagneettisessa aineistossa. Uusimpana sovelluksena on kehitetty savenalaisten harjujen ja reunamuodostumien paikantamista aerosähkömagneettisen aineiston pohjalta (kuva 5.2.4a). Aerosähkömagneettisen aineiston käyttö pohjavesitutkimuksissa on lisääntynyt nopeasti mittaus- ja tulkintatekniikoiden kehityksen myötä.

Aeroradiometrisessä mittauksessa mitataan maan luonnollisen radioaktiivisuuden vaihtelua. Mittauksessa rekisteröidään uraanin, toriumin ja kaliumin pitoisuuksia sekä totaalisäteilyä. Aineistoa voidaan käyttää kalliopaljastumien ja ohuen maapeitteen omaavien alueiden kartoitukseen. Kallioperästä johtuva säteily vaihtelee käytännössä kokonaan jo 0,5 metrin paksuisen vesipeitteen (tai vastaavan määrän huokosvettä) vaikutuksesta (kuva 5.2.4a).

Painovoimamittaukset

Painovoimamittaus on yksi käytetyimmistä geofysiikan menetelmistä pohjavesitutkimuksissa. Koska maapeitteen tiheys on huomattavasti pienempi kuin kallioperän tiheys, voidaan maapeitteen paksuutta tutkia painovoimamittausten eli gravimetristen mittausten avulla. Painovoimaa mitataan gravimetriellä, joka on erittäin tarkka vaaka. Lisäksi jokaiselta mittauspisteeltä määritetään korkeus. Näistä tiedoista lasketaan mittauspisteille ns. Bouguer-anomalia, jota käytetään maapeitteen paksuuden tulkinnessa.



Kuva 5.2.4a. Aerogeofysikaalisia karttoja; näennäinen ominaisvastus, radiometrinen (K) ja digitaalinen korkeusmalli. Näennäistä ominaisvastusta kuvaavassa kartassa erottuu mm. hyvin sähköä johtava savikko (punaiset sävyt) ja saven alainen ”piiloharju” pitkänomaisena resistiivisenä anomaliana.

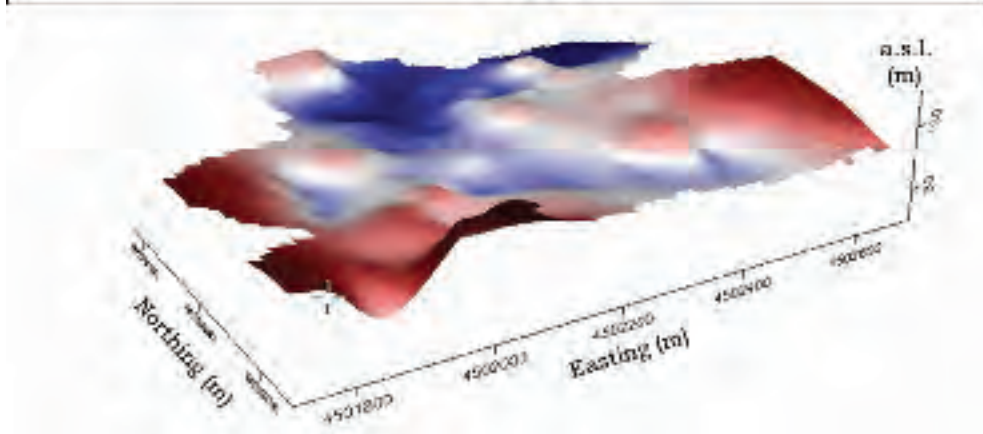
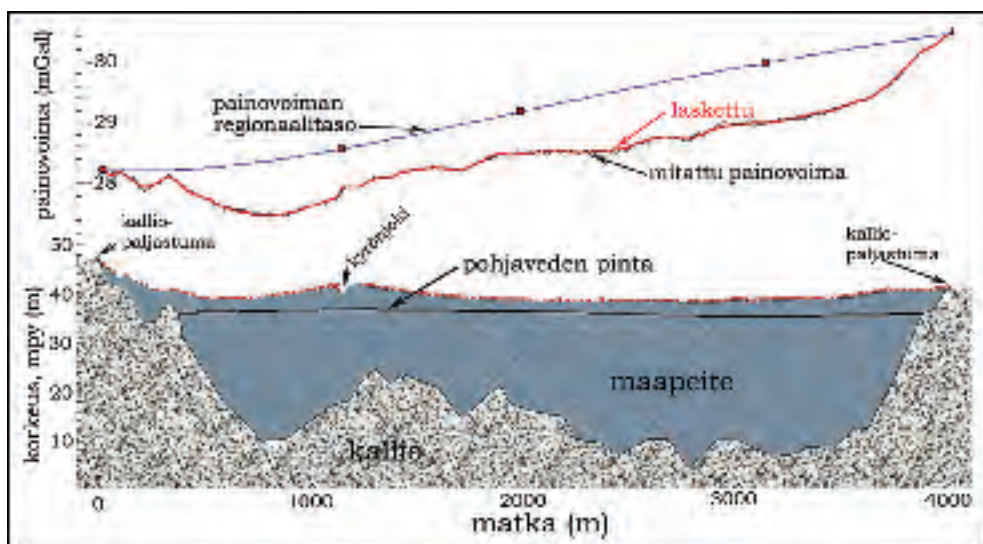
Painovoimaprofiilit pyritään sijoittamaan maastoon siten, että niiden alku- ja loppupäät ovat kalliolla, kuten kuvassa 5.2.4b, tai paikassa jossa maapeitteen paksuus tunnetaan. Profiilien on hyvä kulkea tunnettujen pisteiden kautta ja leikata toisiaan. Näin voidaan arvioida taustavaihtelua (regionaalianomaliaa), joka on perustasona maapeitteen paksuustulkinnalle. Kun maapeitteen ja kallion tiheysero tunnetaan, voidaan painovoima-anomaliasta laskea maapeitteen paksuus. Maapeitteen todellinen paksuus on kuitenkin hyvä selvittää paikkapaikoin muilla menetelmillä mahdollisimman tarkan tuloksen varmistamiseksi, koska sekä taustavaihtelu että muodostuman tiheys voivat vaihdella. Paksuuden voi selvittää esimerkiksi seismisillä luotauksilla tai kairauksilla. Esimerkiksi kuvan 5.2.4b profiililla tehtiin seisminen luotaus kolmella pisteellä.

Tulosten tulkinta etenee siten, että muodostetaan tulkintamalli, jonka aiheuttama anomalia vastaa profiililla mitattua. Mitatuista topografian arvoista muodostuu mallin yläpinta. Maapeitteelle ja kalliolle annetaan tiheysero, jonka oletetaan pysyvän vakiona. Mallin parametreja muuntelemalla päädytään lopulta tilanteeseen, jossa laskettu ja mitattu anomalia vastaavat toisiinsa (kuva 5.2.4b).

Painovoimamittauksella ei pystytä erottelemaan maaperän eri kerroksia eikä pohjaveden pinnan tasoa. Näitä tietoja voidaan kuitenkin hyödyntää tulkinnassa. Painovoimamittaukset kannattaa aina tulkita uudelleen, kun saadaan lisää tietoa. Vaikka tulkitun maapeitteen paksuudessa saattaa referenssitietojen puuttuessa olla paikallisia virheitä, tulos kuvaa alueen kalliopinnan topografian vaihtelua yleensä hyvin. Painovoimamittaus on alueellinen tutkimusmenetelmä, jota kannattaa käyttää erityisesti tutkimusten alkuvaiheessa. Mittaukset tekee yleensä kolmihenkinen mittausryhmä, joka mittaa päivässä noin kolmen kilometrin pituisen linjan 20 metrin pistevälillä.

Maatutkaluotaus

Maatutkaluotaus antaa onnistuessaan jatkuvaa profiilitietoa kalliopinnan topografiasta, pohjaveden pinnan tasosta, maalajeista, maaperän rakenteesta, kallioperän ruhjeista sekä kallion rakoilusta. Maatutkaluotaus on tutkimusten ensimmäisen vaiheen menetelmä, jolla saadaan nopeasti alueellista tietoa. Luotaus soveltuu toisaalta myös yksityiskohtaiseen tutkimukseen, kun mittausaineisto sidotaan tarkasti paikkaan. Parhaiten maatutkaluotaus toimii laajittuneissa karkeissa maalajeissa, joissa syvyysulottuvuus voi olla jopa 30 metriä. Sähköä hyvin johtavissa



Kuva 5.2.4b. Tulkittu painovoimaprofiili, Kyrönjokilaakso, Ilmajoki (yläosa) ja painovoimamittauksiin perustuva kalliopinnan topografiaa kuvaava malli, Hammaslahti (alaosa).

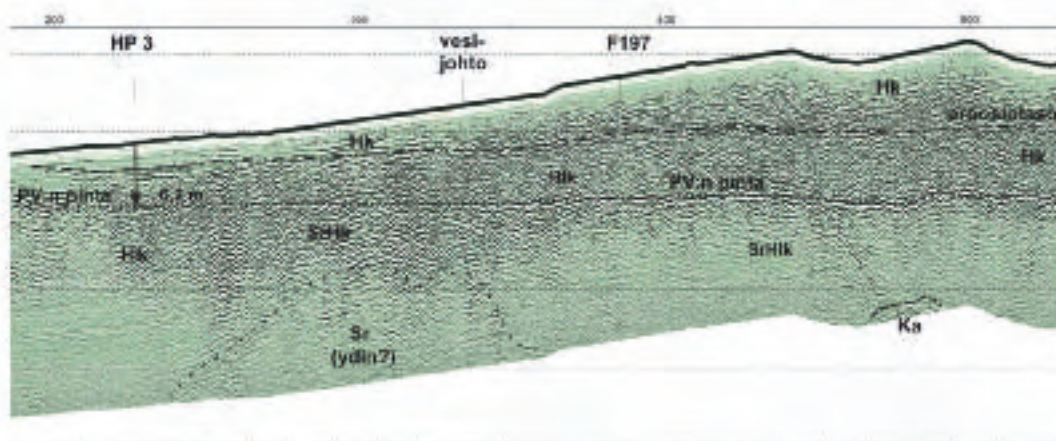
maalajeissa, kuten savessa, tunkeutumissyvyys on pieni tai olematon. Tulkinnan tukena on tarpeen käyttää muilla menetelmillä, kuten kairauksilla ja seismisillä luotauksilla saatuja tietoja kallion pinnasta ja maalajeista. Tulkinta vaatii geologista kokemusta.

Maatutkaluotauksessa maankamaraan lähetetään radiotaajuisia sähkömagneettisia pulsseja. Antenni vastaanottaa heijastuvat pulssit rajapinnoilta, joissa maaperän kosteuspitoisuus muuttuu. Kosteusmuutokset aiheutuvat yleensä maalajimuutoksista. Mittauksessa rekisteröidään heijastuspulssin kulkuaika ja amplitudi.

Kuvassa 5.2.4c on esitetty maatutkaluotauksen mittaajärjestely. Pohjavesitutkimuksissa käytetään yleisimmin 80 ja 100 MHz:n antennia, joiden syvyysulottuvuus on suuri. Kun käytetään suuremman taajuuden antennia (esim. 200 MHz), syvyysulottuvuus pienenee, mutta rakenteiden erotelukyky paranee huomattavasti. Luotaus voidaan tehdä jatkuvana profilimittauksena autolla, mönkijällä, moottorikelkalla tai jalkaisin laitteita kantaen. Mittauslinjat paikannetaan GPS:llä ja tutkimuksen tarkkuustasosta riippuen kerätään myös maanpinnan korkeustieto. Kuvassa 5.2.4d on tulkittu maatutkaluotauslinja.



Kuva 5.2.4c. Mönkijään asennettu maatutkaluotauskalusto. Keskusyksikkö sijaitsee mittajaan edessä ja antenni mönkijän perässä. GPS antenni on sijoitettu antennin päälle reaaliaikaista xyz-paikannusta varten.
Kuva O. Breilin.



Kuva 5.2.4d. Reaaliaikaisen GPS-paikannuksen avulla voidaan maatutkalinja sitoa koordinaatistoon jo mittausvaiheessa. Korkeuskorjauksen avulla pohjavedenpinta voidaan esittää todellisuutta vastaavana pintana.
Kuva J. Leino ja O. Breilin.

Seisminen refraktioluotaus

Seismisessä luotauksessa maankamaraan aiheutetaan keinotekoinen täryaalto, jonka kulkuaika mitataan. Seismisten aaltojen etenemisnopeus maaperässä riippuu maalajista sekä maalajin tiivyydestä ja kosteudesta. Kalliossa täryaallon nopeuden määrää kivilaji ja varsinkin kallion rikkonaisuus. Täryaallon kulkuaika räjäytys- tai lyöntipisteeltä maahan kiinnitetyille tuntoelimille, geofoneille, mitataan seismografin avulla. Mittausprofiili koostuu useista peräkkäisistä suo-

rista luotauksista. Yksittäisen luotauksen pituuden pitää olla vähintään kolminkertainen verrattuna maapeitteen paksuuteen. Tuloksen esitetään maaperän vertikaalileikkauksena, johon on merkitty maapeitteen paksuus, maalajit, pohjaveden pinta ja kallion rikkonaisuus.

Kun luotausta suunnitellaan käytettäväksi pohjavesitutkimuksissa, on huomioitava menetelmän käyttökelpoisuutta rajoittava ns. piilokerrosongelma. Tämä tarkoittaa, että tiettyä paksuutta ohuempia välikerroksia ei havaita luota-

uksessa. Tyypillinen ”piilokerros” lajittuneissa muodostumissa on pohjavesikerros. Sen paksuuden on oltava vähintään puolet maapeitteen kokonaispaksuudesta, jotta pohjavesi näkyisi tuloksissa. Jos tulkinta tehdään virheellisesti ilman pohjavesikerrosta, saatetaan maapeitteen kokonaispaksuus laskea kymmeniä prosentteja liian pieneksi. Tunnettu pohjaveden korkeus voidaan huomioida laskennassa, jolloin tulos paranee. Tavanomaisissa olosuhteissa seismisen luotauksen tarkkuusvirhe on +/- yksi metri, kun maapeitteen paksuus on alle 10 metriä. Muulloin virhe on +/- 10 prosenttia. Päivässä voidaan luodata 400-1500 metrin matka geofonivälistä (2,5-10 m) ja mittausryhmän koosta (2-4 henkilöä) riippuen.

Sähköiset menetelmät

Sähköisiin menetelmiin kuuluvat galvaaniset mittausten menetelmät kuten vastusluotaus, IP (indusoitu polarisaatio) ja omapotentiaali sekä sähkömagneettiset eli EM-menetelmät kuten taajuus- ja aika-alueen luotausmenetelmät Sampo ja TEM, Slingram ja VLF. Vastusluotaus on parhaimmillaan tutkittaessa maankamaran pintaosien sähköjohtavuuden vaihtelua muutaman kymmenen metrin syvyyteen. EM-luotausmenetelmillä saadaan tietoa parhaimmillaan usean sadan metrin syvyyteen asti.

Sähköisillä menetelmillä kartoitetaan maankamaran sähköjohtokyvyn muutoksia. Sähköjohtavuusjakauman tulkinta ja menetelmien käyttö pohjavesitutkimuksissa perustuvat siihen, että maaperän sähköjohtokyky riippuu ensisijaisesti maaperän vesipitoisuudesta ja veden sähköjohtokyvystä. Maa-aineksen vesipitoisuus riippuu myös materiaalin raekoosta siten, että hienorakeisen aineksen vesipitoisuus on suurempi kuin karkean aineksen. Raekoosta aiheutuva vesipitoisuuden ero näkyy sähköjohtavuuseroina sekä pohjaveden kyllästämässä kerroksessa että etenkin pohjavedenpinnan yläpuolisissa kerroksissa.

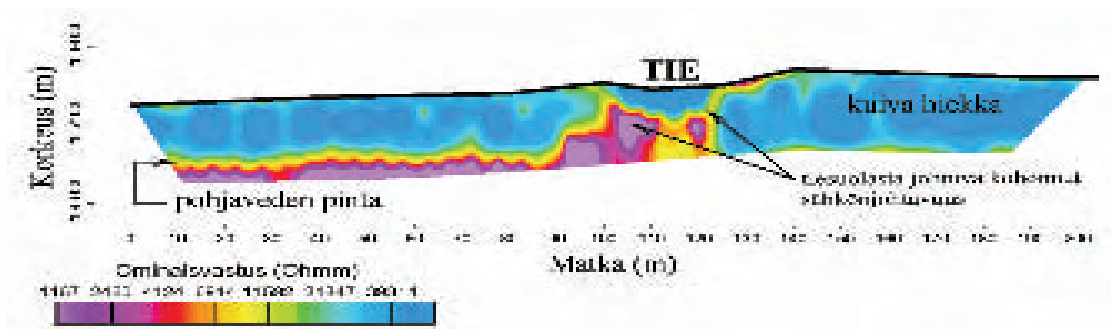
Veden sähköjohtavuus riippuu lähinnä siihen liuenneiden suolojen määrästä. Lämpötilan nousu ja pH:n lasku parantavat sähköjohtavuutta hieman, mutta useimmissa tapauksissa niillä ei ole geofysiikan sovellusten kannalta oleellista merkitystä. Sen sijaan esimerkiksi liuk-

kauden torjunnassa käytetty maantiesuola voi parantaa maaperän ja pohjaveden sähköjohtavuutta niin, että esim. vastusluotauksella pystytään tutkimaan suolalla kontaminoitunutta aluetta (kuva 5.2.4e). Samoin kaatopaikoilta ja jätealueilta valuvat suotovedet voivat parantaa pohjaveden sähköjohtavuutta, jolloin haitta-aineiden levinneisyys ja kulkureitit pystytään havaitsemaan.

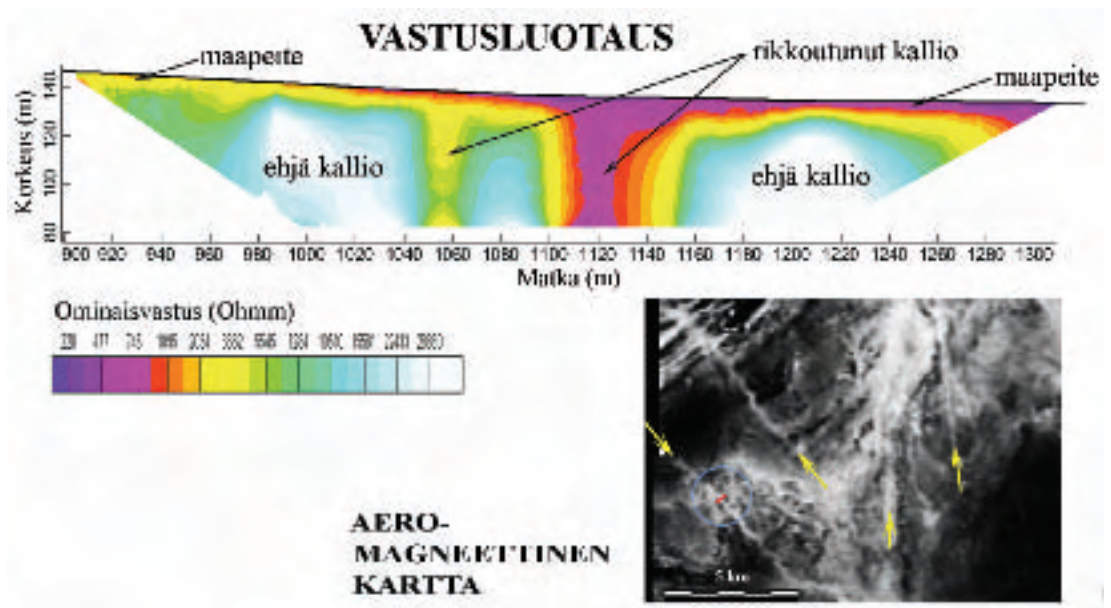
Ehjä kallio johtaa huonosti sähköä ja erottuu näin ollen vastusluotauksessa veden kyllästämästä irtomaakerroksesta. Samoin rikkoutunut kallio ja kallioruhjeet erottuvat ehjästä kallioista (kuva 5.2.4f)

Vastusluotausta tehdään nykyään pääasiassa automaattisilla monielektrodilaitteistoilla, joissa joukko elektrodeja (esimerkiksi 50 kpl) maadoitetaan suoraan linjaan tasavälein. Elektrodiin välimatka valitaan tarpeen mukaan. Jos tarvitaan tarkkaa tietoa pintakerroksista, voidaan käyttää lyhyttä, esimerkiksi yhden metrin elektrodiväliä. Jos kaivataan tietoa mahdollisimman syvältä, käytetään suurempaa, esimerkiksi viiden metrin elektrodiväliä. Vastusluotauksen syvyys ulottuvuus on noin 1/5 elektrodileivityksen pituudesta. Esimerkiksi maadoitettaessa 56 elektrodia viiden metrin välein, saadaan linjan pituudeksi 275 metriä ja syvyysulottuvuudeksi noin 50 metriä. Periaatteessa elektrodiväli voi olla suurempikin, jolloin myös syvyysulottuvuus kasvaa.

Vastusluotauksen etuna esimerkiksi maatutkaan verrattuna on, että sitä voidaan käyttää myös alueilla, joilla pintakerros on hyvin sähköjohtavaa maa-ainesta kuten savea. Vastusluotaus ei myöskään ole herkkä maan pinnalla oleville metallisille rakenteille ja sähkölinjoille. Ongelmia syntyy yleisimmin tilanteissa joissa pintamaa on hyvin kuivaa tai talviaikaan roudassa. Menetelmän suurin rajoitus ja virheellisen tulokinnan mahdollisuus liittyy maankamaran 3D-rakenteisiin. Vastusluotausprofiilin tulokinnassa oletetaan, että mittauslinjalla (linjan suuntaisessa leikkauksessa) tavattavat rakenteet jatkuvat muuttumattomina kaikissa linjaa vastaan kohtisuorissa leikkauksissa (= 2D rakenne/malli). Jos näin ei ole, laskettu malli ei vastaa maan rakennetta. Käytäntö on osoittanut, että kun mittaus-



Kuva 5.2.4e. Ominaisvastusleikkaus, joka on mitattu kohtisuoraan maantien yli Karstulan Miekkamäessä. Leikkauksessa erottuu kuivan hiekan ja pohjaveden raja sekä maantiesuolan aiheuttama sähkönjohtavuuden nousu tien kohdalla.



Kuva 5.2.4f. Ominaisvastusleikkaus. Rikkoutunut kallio erottuu ympäristöään paremmin sähköä johtavana. Aeromagneettisella kartalla kallioruhjeet näkyvät vaaleina pitkänomaisina anomaliaina (keltaiset nuolet). Vastusluotauslinjan sijainti on merkitty punaisella viivalla.

profiili asetetaan kohtisuoraan geologisia rakenteita vastaan, oletus 2D-rakenteesta täytty useimmiten riittävällä tarkkuudella. Vastusluotaus ete-

nee nykyisillä automaattisilla laitteistoilla, viiden metrin elektrodivälillä ja kahden hengen mittaryhmällä 500 - 1000 metriä päivässä.

5.2.5 Kairaukset

Kairauksen avulla voidaan tutkia vettä johtavien maakerrosten syvyyttä, paksuutta ja koostumusta. Kairauksen yhteydessä otettavien maanäytteiden avulla voidaan tarkentaa maaperän koostumusta koskevia tietoja ja selvittää maakerrosten vedenläpäisevyyttä. Kairauksilla voidaan selvittää myös irtomaakerrosten alapuolella sijaitsevan kallion pinnan korkeusasema sekä tutkia kallioperän vedenjohtavuuteen vaikuttavia laatuominaisuuksia.

Kairauksia voidaan käyttää ensimmäisessä maastotutkimusvaiheessa maastotarkastelun perusteella valituissa tutkimuskohteissa. Kairauksen avulla voidaan tarkentaa alustavien, suunta-antavien tutkimusmenetelmien, kuten geofysikaalisten tutkimusten tuloksia. Pohjavesitutkimuksissa yleisimmin käytettävät kairausmenetelmät voidaan jakaa kevyisiin kairauksiin ja paineilmakirauksiin tai hydraulitoimisilla, keskiskilla tai raskailla porakonekairausyksiköillä tehtäviin kairauksiin.

Kevyet kairaukset

Lyöntikairaus on yksinkertainen kairausmenetelmä, jossa kairatankoja maaperään painamalla ja lyömällä tehdään havaintoja maakerrosten paksuudesta, tiivyydestä ja koostumuksesta. Kairauskalusto koostuu kairatangoista, kärkikappaleesta, vääntövarresta, puu- tai muovinuijasta ja nostolaitteesta. Kairaa kiertämällä voidaan tehdä ääni- ja tuntohavaintoja, joiden perusteella kairaja arvioi maalajikerrosten laatua. Maaperän tiivyyttä voidaan arvioida mittaamalla kärjen painumaa. Lyöntikairauksen käyttökelpoisuutta rajoittaa heikko tunkeutuvuus kiviin maakerroksiin.

Tärykairaus on kevyellä porauskalustolla suoritettava menetelmä, jossa voimanlähteenä käytetään yleensä polttomoottorikäyttöistä iskuporakoneetta (kuva 5.2.5a). Porakoneen lisäksi kairauskalustoon kuuluu kairatangot, kärkikappale ja nostolaitte. Tärykairauksella voidaan määrittää maakerrosten paksuutta. Kärjen painumaa mittaamalla voidaan myös tehdä hyvin karkeita arvioita maakerrosten laadusta ja tiivyydestä. Kairausha-



Kuva 5.2.5a. Tärykairaus kevyellä porakoneella.
Kuva E. Mälkki.

vainnointoja voidaan tarkentaa kiertämällä kairatankoja jatkamisen yhteydessä. Tärykairauksella saadaan otettua maanäytteitä eri kerroksista kairatankoon kiinnitettävän näytteenottimen avulla. Näin maanäytteiden avulla voidaan tarkentaa kairauksilla tehtäviä maalajimäärytyksiä.

Tärykairaus on lyöntikairaus nopeampi tutkimusmenetelmä. Lyöntikairauksen tavoin menetelmän käyttökelpoisuutta rajoittaa heikko tunkeutuvuus kiviin maakerroksiin. Porakoneen aiheuttama melu puolestaan estää äänihavaintoihin perustuvien maakerrosten laatuarvioiden tekemisen. Tärykairaus soveltuu erityisesti määräsyvyyteen ulottuviin kairauksiin silloin, kun halutaan varmistua, ettei kallio ole jotain tiettyä tasoa, kuten pohjavedenpintaa ylempänä. Tärykairauksia voidaan tehdä käsikäyttöisen, kevyen kairauskaluston lisäksi myös tela-alustaista monitoimikairausyksikköä käyttäen.

Porakonekairauskalustolla tehtävät kairaukset

Porakonekairauskalustoon kuuluu paineilma- tai hydraulitoiminen keskiraskas tai raskas kairausyksikkö tela-, kuorma-auto- tai traktorialustalla, kompressorin sekä tanko- ja maaputkikalustolla (kuva 5.2.5b). Kairauksessa käytetään joko ilma- tai vesihuuhtelua. Vesihuuhtelua käytettäessä tutkimuskohteessa tarvitaan runsaasti puhdasta vettä.

Porakonekairaus tehdään kairatankoja ja porakruunua käyttäen. Porakonekairauksen avulla voidaan määrittää maakerrosten paksuus ja kalliopinnan korkeus. Porakruunun tunkeumaa seuraamalla voidaan tehdä arvioita maakerrosten laadusta, kerrosrajoista sekä poraamalla lävistetyistä kivistä ja lohkarista. Porakonekairaus on tehokas ja nopea kairausmenetelmä, jonka etuna on hyvä tunkeutuvuus myös kiviin maakerrokseen. Maakerrosten koostumuksesta voidaan kuitenkin tehdä vain likimääräisiä arvioita. Parhaiten menetelmä soveltuu maakerrosten paksuuden ja kallion pinnan korkeusaseman määrittämiseen.

Porakonekairaus voidaan myös ulottaa irtomaakerrosten alapuoliseen kallioperään. Tällöin tunkeumamittausten ja poraushavaintojen perusteella voidaan arvioida kallioperän vedenjohdavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia kuten rikkonaisia vyöhykkeitä ja merkittäviä rakoja tai halkeamia. Kallion vedenjohtavuutta voidaan arvioida ylöstulevan huuhteluveden määrän perusteella.

Maaputkikairaus tehdään eri kokoisia maaputkia ja putkiin liitettävää kovametalliterää käyttäen. Maaputkikairausa käytetään pohjavesitutkimuksissa lähinnä pohjaveden havaintoputkien asentamiseen ja maaperänäytteiden ottamiseen. Maaputkikairaus voidaan yleensä ulottaa maakerrosten läpi kallion pintaan saakka. Maanäytteet otetaan maaputken sisältä kairatankoon kiinnitettävän, liuskasulkimella tai muulla vastaavalla mekanismilla varustetun näytteenottimen avulla. Maanäytteitä voidaan ottaa myös ilma- tai vesihuuhtelun avulla, jolloin niiden edustavuus kuitenkin heikkenee. Huuhtelun seurauksena maanpinnalle tulevan maa-ainek-

sen laadun ja ylöstulevan huuhteluveden määrän perusteella voidaan kuitenkin tehdä päätelmiä maakerrosten koostumuksesta ja kerrosrajojen sijainnista. Maanäytteiden ja huuhteluvesihavaintojen perusteella voidaan luotettavasti määrittää maakerrosten paksuus, laatu ja kerrosjärjestys.

Kairaustulosten esittäminen ja taltiointi

Kairaustulokset esitetään joko tutkimuspisteittäin eriteltynä, maakerrosten koostumusta, syvyyttä ja kairauksen päättymissyötä kuvaavina tulosteina tai tutkimuslinjoja noudattelevina leikkauksina. Tutkimusleikkauksiin voidaan maalaajitietojen lisäksi merkitä havainnot kallion pinnan ja pohjavedenpinnan korkeusasemista. Kairaustulosten perusteella tutkimusalueesta voidaan laatia erilaisia tasotarkasteluja, esimerkiksi pintamaalajikartta, maalajikartta pohjavedenpinnan tasolta tai kallionpinnan korkeustasokäyrästä. Havainnollisimmin kairaustulokset esitetään tallentamalla maa- ja kallioperästä saadut tiedot pohjavesiesiintymästä laadittuun kolmiulotteiseen maastomalliin. Kairaustietojen esittämisessä ja taltioinnissa on suositeltavaa käyttää Suomen geoteknillisen yhdistyksen ohjeita ja merkintöjä.

5.2.6 Pohjaveden havaintoputket

Pohjavesiesiintymään asennettavien havaintoputkien avulla voidaan selvittää pohjavedenpinnan korkeusasemaa ja tarkkailla siinä tapahtuvia muutoksia toistuvien mittausten avulla. Eri pisteisiin sijoitetuista havaintoputkista saatavien korkeustasotietojen perusteella voidaan määrittää pohjaveden virtaussuunnat. Havaintoputkista otettavien vesinäytteiden avulla voidaan tutkia pohjaveden laatuominaisuuksia. Putkiin asennettavien mittalaitteiden avulla voidaan jatkuvatoimisesti mitata pohjaveden virtauksia sekä seurata pohjaveden laatua.

Putkityypit ja rakenne

Pohjaveden havaintoputki koostuu maanpinnan yläpuolisesta putkiosuudesta ja siihen liittyvästä kansirakenteesta sekä maanpinnan alapuolisesta umpiputkiosuudesta ja putken siiviläosas-



Kuva 5.2.5b. Esimerkkejä porakonekairauksiin käytettävästä kalustosta. Ylhäällä vasemmalla hydraulitoiminen keskiraskas tela-alustainen porakone, oikealla paineilmatoiminen raskas porakone ja alhaalla täyshydraulinen, tela-alustainen raskasporakone. Kuvat J. Arjas, Suunnittelukeskus Oy & T. Kinnunen.

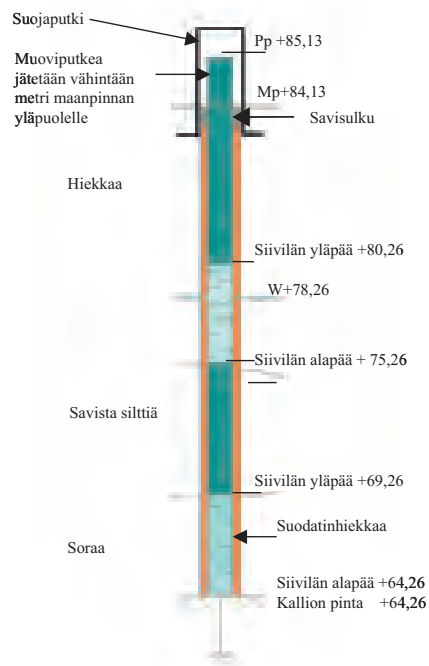
ta. Käyttötarkoituksesta riippuen valittavissa on useita läpimitaltaan, materiaaliltaan ja rakenteeltaan toisistaan poikkeavia putkityyppejä. Nykyisin suositellaan käytettäväksi pääasiassa muoviputkia ellei niiden käyttöön ole teknisiä esteitä.

Teräsputkia käytetään enimmäkseen pohjavedenpinnan korkeusaseman määrittämiseen ja tutkimuksen aikaiseen pinnankorkeuden seurantaan. Ruostumisen takia teräsputket soveltuvat huonosti edustavien pohjavesinäytteiden ottamiseen.

Teräsputket ovat yleensä sisähalkaisijaltaan 32 mm ja 50 mm. Havaintoputki koostuu umpiputkiosuudesta ja rei'itetystä siiviläputkesta. Siiviläputken reikien läpimitta on yleensä 3 mm. Rei'itetyn siiviläputken asemesta voidaan käyttää myös erikoisvalmisteista rakosiiviläputkea. Jatkoputket, joiden pituus on 1 - 2 metriä liitetään toisiinsa kierteillä. Putken yläpää suojataan joko lukittavalla tai kierteillä varustetulla kannella.

Muoviputket on tavallisimmin valmistettu PVC- tai PEH-muovista. Ne soveltuvat käytettäväksi pohjaveden pinnan korkeuden mittauksen lisäksi pohjavesinäytteiden ottoon sekä eri tyyppisten mittalaitteiden asennukseen.

Yleisimmin käytetään muoviputkia, joiden sisähalkaisija on 32 mm tai 52 mm. Erikoiskalustolla on asennettavissa myös suuriläpimittaisia muoviputkia, joiden halkaisija on 100 mm. Mikäli havaintoputki asennetaan pohjavesinäytteenottoa varten, tulisi putken olla sisäläpimitaltaan vähintään 52 mm. Muovirakenteinen havaintoputki koostuu umpiputkiosuudesta ja rakosiiviläputkesta (raot 0,1 - 0,5 mm). Siiviläosan rakoläpimitta valitaan asennuskohteen maakerrosten koostumuksen mukaan. Yhden tai kahden metrin pituiset umpi- ja siiviläputket liitetään toisiinsa kierteillä. Putken yläpää suojataan galvanoidusta teräksestä valmistetulla suojaputkella, joka tuetaan maahan maa-ankkuria käyttäen. Suojaputkeen kuuluu myös lukittava kan-sirakenne (kuva 5.2.6).



Kuva 5.2.6. Havainnepiirros maaperään asennetusta muovi-rakenteisesta havaintoputkesta. Kuva T. Kinnunen.

Putkien asentaminen

Havaintoputket asennetaan haluttuun syvyyteen maaputkikairauskalustoa käyttäen. Putki asennetaan määräsyvyyteen kairatun maaputken sisään, jonka jälkeen maaputki nostetaan ylös. Putken asennussyvyys ja siiviläosan pituus määritetään kairautulosten perusteella siten, että siiviläosuus sijoitetaan yleensä karkeimpaan ja parhaiten vettäjohtavaan maakerrokseen. Siiviläosan pituus ja asennustaso voivat määräytyä myös putken käyttötarkoituksen perusteella. Mikäli havaintoputkesta halutaan ottaa vesinäytteitä eri tasoilta, tai siinä halutaan suorittaa virtausmittauksia eri kerroksissa, siiviläosan tulee ulottua koko pohjavedenpinnan alapuolisen vettäjohtavan maakerroksen alueelle. Jos maaperässä on erittäin hienoaineksisia välikerroksia, voidaan niiden kohdalle joutua asentamaan umpiputkea, jotta hienoaines ei valu putkeen ja tuki sitä.

Putkista voidaan ottaa näytteitä eri korkeuksilta. Aina ei kuitenkaan voida olla varmoja, että näyte tulee juuri halutusta kerroksesta. Jos halutaan varmistaa, että näyte saadaan otettua juuri

tietyllä korkeudella olevasta kerroksesta, pitää siiviläputki asentaa vain tähän korkeuteen tai ottaa vesinäyte esimerkiksi mansettimenetelmällä (luku 6.2.7).

Selvitettäessä vettä kevyempien liuottimien (esimerkiksi bensiini, polttoöljy) esiintymistä pohjavedessä, pohjavesiputket tulee asentaa niin, että putken siiviläosuus ulottuu 1 - 2 metriä pohjaveden pinnan yläpuolelle. Vettä kevyemmät liuottimet liukenevat heikosti veteen. Ne liikkuvat maaperässä pääasiassa pohjaveden pinnassa ja pidättyvät pohjaveden pinnan yläpuoliseen kapillaarikerrokseen. Tämän vuoksi näytteenottoakin tehdään tästä kerroksesta (ks. luvut 4.3.2 ja 4.3.3).

Veteen liukenevien yhdisteiden kulkeutuminen selvitetessä näytteenotto kohdistetaan koko pohjavesikerrokseen. Tämän vuoksi pohjavesiputket tulee asentaa kallionpintaan asti siten, että putken siiviläosuus kattaa koko pohjavesikerroksen.

Vettä raskaampia, pohjaveteen heikosti liukenevia yhdisteitä etsittäessä pohjavesiputket asennetaan kallioon asti. Jos kallion tiedetään tai oletetaan olevan erittäin rapautunutta, tulee putket asentaa osittain kallioon. Siiviläosuuden pitää sijoittua pohjavesikerroksen alaosaan ja kallioon.

Pieniläpimittaiset teräspuutket voidaan usein asentaa myös ilman maaputkia, esimerkiksi tärykairaus- tai porakonekairauskalustoa käyttäen. Teräspuutkia käytetään lähinnä pohjaveden pinnan mittaamiseen, jolloin metrin pituinen siiviläosa yleensä riittää. Siiviläosa pyritään asentamaan parhaiten vettäjohtavaan maakerrokseen. Putken asennusta voidaan helpottaa käyttämällä teleskooppisiivilää, joka alas painettaessa on umpiputken sisällä ja aukaistaan asennustason saavuttamisen jälkeen joko alaspäin lyömällä tai vaihtoehtoisesti nostamalla umpiputkea ylös.

Asennuksen jälkeen havaintoputket huuhdotaan työntämällä pumppuun liitetty vesiletku putken alaosaan saakka. Huuhtelua jatketaan kunnes ylöstuleva vesi on kirkasta. Havaintoputkista voidaan tehdä putkimittauksia (ks. luku 5.2.7) sekä ottaa vesinäytteitä (ks. luku 6.2)

Havaintoputkitietojen esittäminen ja taltiointi

Havaintoputkitiedot kerätään yleensä putkikohdista laadittaville havaintoputkikorteille (liite

8.5.10/3). Korttiin merkitään putken sijainti (x- ja y- koordinaatit ja käytetty koordinaattijärjestelmä), putkimateriaali, putken läpimitta, putkenpään korkeus (z-koordinaatti ja korkeusjärjestelmä), maanpinnan korkeus, siiviläosan asennustaso sekä pohjavedenpinnan korkeusasema ja mittausajankohta. Pohjavesiputken pään korkeus ja vesipinta mitataan muoviputken päästä, ei suoja-putken päästä.

5.2.7 Putkimittaukset

Pohjavedenpinnan mittaus havaintoputkista voidaan tehdä putkeen laskettavaa sähköistä mittalaitetta käyttäen. Tällöin mittalaitte antaa äänijälkeen tai valosignaalin saavutettuaan pohjavedenpinnan. Havaintoputkeen voidaan myös asentaa jatkuvatoiminen, rekisteröintilaitteella varustettu pinnankorkeusmittari, joka määrävälein automaattisesti mittaa pinnan korkeuden. Laitteen rekisteröimät pinnankorkeustiedot puretaan säännöllisesti rekisteröintilaitteesta tietojenpurkukykysäköön, josta tiedot voidaan siirtää tietokoneelle.

Laajamittaisissa pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimuksissa tai toiminnassa olevan pohjavesi- tai tekopohjavesilaitoksen käyttötarkkailussa pohjavedenpintaa voidaan seurata havaintoputkista reaaliaikaisesti monitorointijärjestelmällä. Tällöin pinnankorkeustiedot välittyvät putkiin asennettavista mitta-antureista suoraan vedenottamon tai vesilaitoksen valvomoon. Valvomossa mittaustulokset voidaan esittää havainnollisesti graafisessa muodossa tietokoneohjelmiston avulla.

Havaintoputkista voidaan tehdä myös hydraulisia putkimittauksia. Ns. putkivirtausmittauksella selvitetään eri kerrosten hydraulista johtavuutta ja niiden eroja sekä putken ominaisantoisuutta. Tämä tapahtuu johtamalla havaintoputkeen tai pumppaamalla siitä kerroksittain vettä, ja mittaamalla painetason ja vesimäärän muutoksia.

Havaintoputkista voidaan lisäksi tehdä kerroksittain pohjaveden virtausnopeuden ja -suunnan mittauksia. Nämä mittaukset antavat tietoa paitsi itse virtausnopeuksista ja -suunnista sekä hydraulisesta johtavuudesta mittauskohdissa, myös kyseisten kerrosten jatkuvuuksista.

Hydraulisiin putkimittauksiin soveltuva havaintoputki on yleensä halkaisijaltaan vähintään 50 mm ja mieluiten muovia. Vedenlaatumittauksia voidaan tehdä myös ohuemmista putkista. Havaintoputkista tavallisimmin tehtäviä vedenlaatumittauksia ovat lämpötilan, pH:n, sähköjohtavuuden ja happipitoisuuden mittaukset. Ne voidaan suorittaa kannettavilla mittareilla. On myös mahdollista asentaa havaintoputkeen erilaisia antureita, jotka rekisteröivät yhtä tai useampaa vedenlaatuominaisuutta jatkuvasti. Vedenlaadun tutkimisesta kerrotaan enemmän luvussa 6.

5.2.8 Ominaisantoisuuspumppaus

Ominaisantoisuuspumppaus on kaivonpaikkatutkimuksissa käytettävä menetelmä, jonka avulla voidaan tietyssä, esimerkiksi kairautulosten perusteella valitussa tutkimuspisteessä selvittää maakerrosten vedenantoisuus ja pohjaveden kerroksittaiset laatuvaihtelut. Ominaisantoisuuspumppauksen tulosten perusteella voidaan alustavasti määrittää siiviläputkikaivon siiviläosan asennustaso. Mikäli tutkimuskohteessa on ennen kaivon rakentamista tarpeellista suorittaa koepumppaus, voidaan ominaisantoisuuspumppauksen avulla määrittää edullisin koepumppauksen suorituspaikka sekä koepumppaukseen käytettävien imuputkien asennustaso.

Ominaisantoisuuspumppaukseen käytetään yleensä liitoskohdistaan tiivistettyä, metrin pituisella rei'itetyllä siiviläosalla varustettua teräsputkea, jonka halkaisija on 32 mm tai 50 mm. Putki asennetaan tavallisesti maaputkikairauskalustolla haluttuun syvyyteen vettäjohtavan maakerroksen pohjaosaan. Hienojakoisissa hiekkakerroksissa rei'itetyn siiviläputken asemesta voidaan käyttää tarkoitukseen paremmin soveltuvaa rakosiiviläputkea.

Määrysyydyden saavuttamisen jälkeen maaputket nostetaan ylös ja maaperään asennettuun putkeen liitetään polttomootorikäyttöinen imupumppu. Putkesta suoritetaan lyhytaikainen pumppaus, jonka aikana mitataan pumppauksen tuotto (l/min/m), tehdään havainnot pumpattavan veden kirkastumisesta sekä otetaan tar-

vittaessa vesinäyte. Pumppausta pyritään yleensä jatkamaan kunnes pumpattava vesi on kirkastunut. Imuputkea nostetaan tämän jälkeen ylöspäin metri kerrallaan ja vettä pumpataan pohjavedenpinnan alapuoliselta maaperäosuudelta metrin tasovälein. Pumppauksen yhteydessä voidaan pohjaveden kerroksittaisia laatuvaihteluita seurata maastossa tehtävillä kenttämäärittäyksillä. Pumppaustulosten ja kenttämäärittysten perusteella valitaan laboratorioon analysoitaviksi lähetettävät vesinäytteet. Suotuisissa maaperä- ja pohjavesiolosuhteissa ominaisantoisuuspumppaus voidaan tehdä myös ilman maaputkikairauskalustoa (esim. tärykairauskalustolla). Tasopumppaus voidaan tällöin tehdä kerroksittain ylhäältä alaspäin.

Maanpinnalle sijoitettavaa imupumppua käytettäessä pumppauspaikaksi tulee valita sellainen maaston kohta, jossa imukorkeus ei muodostu liian suureksi. Pumppauksen onnistumisen edellytyksenä on, että pohjavedenpinta on korkeintaan 5 - 6 metrin syvyydessä maanpinnasta. Ominaisantoisuuspumppausta voidaan näin ollen käyttää tutkimusmenetelmänä vain pohjavesiesiintymien alavimmissa osissa.

5.2.9 Kirjallisuutta

Pohjavesien muodostumis- ja virtaamaselvitykset

Hyvärinen, V., Laasanen, O., Perälä, J., Järvinen, J., Reuna, M., Sarkkula, J., Seuna, P., Soveri, J., Tirronen, T. ja Sucksdorff, Y. 1984: Hydrologiset havainto- ja mittausmenetelmät. Vesihallituksen julkaisuja n:o 47. Vesihallitus, Helsinki 1984. ISBN 951-46-7491-X, ISSN 0355-9297. Valtion painatuskeskus.

Kairaukset

Rakennustieto Oy ja Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1993: Pohjatutkimusmerkinnät SGY 201. Helsinki, Rakennustieto Oy.

Suomen geoteknillinen yhdistys ry. 1980. Kairausopas I. Painokairaus, tärykairaus ja heijarikairaus.

Suomen geoteknillinen yhdistys. 1987. Kairausopas IV: Pohjavedenpinnan ja huokosvedenpaineen mittaaminen. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain Kustannus Oy, 62 s.

Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 1975. Kairausopas V. Porakonekairaus.

Tie- ja vesirakennushallitus. 1970. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa I maaperä ja sen tutkimismenetelmät.

Putkimittaukset

- Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A.-J., Miettinen, I., Pääkkönen J. & Reijonen, R. 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. TEMU-tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 902, 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.
- Ikäheimo, J. 1999. Vedenhankinnan pohjavesitutkimukset, luentomoniste, Turun yliopisto.
- Reijonen, R. 1991. Uuden tekniikan hyväksikäyttö pohjavesitutkimuksissa Osa 1: Kaivonpaikka-tutkimukset. Kunnalliselämä 15 (5):43-44. ISSN 0357-7953.
- Reijonen, R. 1991. Uuden tekniikan hyväksikäyttö pohjavesitutkimuksissa Osa 2: Koepumppaukset ja saadun tiedon hyödyntäminen. Kunnalliselämä 15 (6-7):56-57. ISSN 0357-7953.

5.3. Merkkiainekokeet

5.3.1 Merkkiaineiden käyttö

Merkkiaineita käytetään pohjavesitutkimuksissa pohjaveden virtausnopeuden ja -suunnan määrittämisessä. Ensimmäiset tutkimukset tehtiin karstialueilla Saksassa 1800-luvun loppupuolella ja 1900-luvun alussa käyttäen merkkiaineina suoloja ja väriaineita. 1900-luvun puolivälin jälkeen erilaiset radioaktiiviset aineet tulivat käyttöön. Radioaktiivisten aineiden hyvänä puoleena pidettiin niiden määritysrajojen alhaisuutta, mutta huono puoli taas oli radioaktiivisen säteilyn haittavaikutukset. Nykyään radioaktiivisia merkkiaineita käytetään erittäin harvoin pohjavesitutkimuksissa. 1970-luvulla kiinnostus stabiileihin isotooppeihin lisääntyi voimakkaasti. Erityisesti happi-18 ja deuterium ovat olleet kiinnostuksen kohteena, koska ne ovat veden aineosia. Muita pohjavesitutkimuksissa käytettyjä stabiileja isotooppeja ovat kloridi-36, hiili-14, rikki-34 ja typpi-15. Myös useita keinotekoisia aineita voidaan käyttää merkkiaineina. Tällaisia ovat pesuaineissa käytettävät tensidit, boori ja freonit. Ensimmäiset kokeet bakteerien käytöstä merkkiaineina tehtiin jo sata vuotta sitten. Itiöiden (*Lycopodium*) käyttö aloitettiin 1950-luvulla. Bakteerifageja alettiin käyttää merkkiaineina 1970-luvulla. Bakteerifagien avulla voitiin tutkia

erityisesti virusten leviämistä huokoisissa akvifereissa. 1980-luvulla kokeiltiin ensimmäistä kertaa fluoresoivien mikrokuulien käyttöä merkkiaineena. Mikrokuulat ovat pieniä partikkeleita (0,05 - 90 μm), jotka värjätään jollakin fluoresoivalla aineella. Niitä on käytetty erityisesti arvioitaessa bakteerien leviämisen riskiä.

Merkkiaineen valinnan kriteerit

Pohjavesitutkimuksissa käytettäville merkkiaineille asetetaan monenlaisia vaatimuksia. Niiden tulee seurata pohjaveden virtausta adsorboitumatta maaperään. Merkkiaine ei saa reagoida maaperän tai pohjaveden kanssa eikä muuttaa niiden kemiallisia tai fysikaalisia ominaisuuksia. Merkkiaineen on oltava terveydelle vaaratonta pieninäkin pitoisuuksina, mutta se tulee kuitenkin voida määrittää myös hyvin pieninä pitoisuuksina. Merkkiaine ei saa aiheuttaa haittaa tai vaaraa kasveille tai eläimille. Laboratoriomääritysten helpouden ja kustannusten ohella saatavuus ja hinta ovat erittäin tärkeitä tekijöitä merkkiaineen valinnassa.

Käytetyt merkkiaineet

Merkkiaineet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: keinotekoiset merkkiaineet ja pohjavedessä luonnollisesti esiintyvät aineet (taulukko 5.3.1a).

Pohjavesitutkista tehdyissä merkkiainekokeissa on erityisen tärkeää, että merkkiaine on helposti veteen liukenevaa. Tekopohjavesitutkimuksissa merkkiaineille lisävaatimuksia asettaa se, että aine lisätään imeytysaltaaseen eikä pohjavesiputkeen. Tällöin aine ei saa olla haihtuvaa eikä auringon valo saa vaikuttaa sen ominaisuuksiin.

Mittauksissa tulisi pyrkiä käyttämään mahdollisuuksien mukaan kentällä tehtäviä in-situ-mittauksia. Jos näytteet joudutaan analysoimaan laboratoriossa, on erittäin tärkeää suunnitella tarkasti koko näytteenottokeiju analyysin tekoon asti, jotta näytteet eivät joutuisi missään vaiheessa kauan odottelemaan jatkotoimenpiteitä. Merkkiaineeksi kannattaa valita edullinen ja helposti saatavissa oleva aine, joka pystytään määrittämään helposti. Myös analyysikustannuksiin kannattaa kiinnittää huomiota merkkiainetta valittaessa.

Kloridi

Kloridi on ehkä yleisimmin käytetty merkkiaine pohjavesitutkimuksissa. Se on tunnettu, helposti saatavissa oleva, helppo analysoida kenttäolosuhteissa ja kohtuullisissa määrissä käytettynä se ei aiheuta ympäristö- tai terveyshaittoja. Useimmat kloridisuolat ovat helppoliukoisia. Kloridit eivät kiinnity maapartikkeleihin, sillä ne ovat maapartikkeleiden tavoin varauksiltaan negatiivisia.

Kun pohjaveden luonnollinen kloridipitoisuus on korkea ja vaihteleva, voidaan joutua käyttämään suuriakin määriä kloridia, jotta merkkiaine erottuisi luonnollista taustastaan. Tällaiset tilanteet ovat yleisimpiä rannikkoseuduilla, joilla kloridipitoisuus voi olla luonnostaan kohonnut reliktilisen suolapitoisuuden takia, ja suolaa voi olla jäljellä myös sedimenteissä ja kallioperässä.

Huomiota tulee kuitenkin kiinnittää merkkiaineen konsentraatioon, koska konsentroitunut suolavesi saattaa painua akviferin pohjalle kulkeutumatta pohjaveden virtauksen mukana. Pohjaveteen syötettävän merkkiaineliuoksen kloridikonsentraation määrittelyssä on otettava huomioon akviferin ominaisuudet ja merkkiaineen syöttönopeus. Näin pohjaveden kloridipitoisuus saadaan nousemaan sellaiselle tasolle, että se voidaan mitata, ja se erottuu selvästi luonnontilaisesta kloridipitoisuudesta alueella. Kloriditutkimuksissa on otettava myös huomioon pohjaveden suolapitoisuuden enimmäisrajat talousvedelle.

Kloridien samoin kuin monien muiden anionien haittana on niiden taipumus kulkeutua nopeimmin virtaavan veden mukana. Jos syötetään merkkiaineina yhtä aikaa tritiumia ($^3\text{H}_2\text{O}$) ja kloridia, voi kloridihuippu tulla ennen tritiumhuippua.

Bromidi

Bromidin luonnolliset pitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin kloridin pitoisuudet. Suomessa pintavesien bromidipitoisuus on keskimäärin $60\text{ }\mu\text{g/l}$. Pohjavesissä pitoisuus on tätä alempi. Bromidia voi kulkeutua veteen luonnollisista lähteistä sekä ihmisen toiminnan seurauksena. Bromidi on kloridin tavoin peräisin merestä. Reliktisissä pohjavesissä bromidipitoisuus voi kohota useisiin milligrammoihin litrassa. Meriveden bromidipitoisuus on riippuvainen veden kloridipitoisuudesta. Joissakin maataloudessa käytettävissä lannoitteissa ja peittäusaineissa on bromideja, jotka voivat kulkeutua suotovesien mukana pohjaveteen. Myös liukkauden torjuntaan käytettävässä maantiesuolassa ja lyijyillisessä bensiinissä on bromidia, joka voi joutua pohjaveteen.

Bromidia tarvitaan merkkiainekokeissa vain hyvin pieniä määriä. Bromidit kiinnittyvät klorideja helpommin maaperään (erityisesti rikastumiskerrokseen). Bromidia ei saa käyttää merkkiaineena, jos vesi kloorataan, koska silloin saattaa muodostua myrkyllisiä aineita. Otsonoitaessa bromidipitoista vettä saattaa muodostua bromaattia. Bromidipitoisen veden otsonoinnissa ja kloorauksessa voi syntyä myös orgaanisia bromiyhdisteitä, joiden terveysvaikutukset eivät kuitenkaan ole yhtä vaarallisia kuin bromaatin. Orgaanisten bromiyhdisteiden muodostuminen on huomioitava varsinkin otsonoitaessa happamia vesiä.

Jodidi

Jodidia ei käytetä merkkiaineena yhtä laajasti kuin kloridia ja bromidia. Useita tutkimuksia on kuitenkin tehty radioaktiivisilla jodi-isotoopeilla. Kulkeutumis- ja kiinnittymismekanismi on

Taulukko 5.3.1a. Pohjoismaisissa hydrogeologisissa tutkimuksissa käytettyjä merkkiaineita.

Keinotekoinen	Orgaaninen Epäorgaaninen Radioaktiivinen	Rhodamine-B Fluorescin Cl , I , Br , Li , NH_4SCN ^3H , ^{24}Na , ^{36}Cl , ^{51}Cr -EDTA, $^{60}\text{Co}(\text{CN})_6^-$
Luonnollinen	Stabiilit isotoopit Radioaktiivinen Kemiallinen	^2H , ^{18}O ^3H , ^{14}C pääionit (esim. Cl) ja sähkönjohtokyky.

tutkittu tiedon lisäämiseksi radioaktiivisesta levämisestä. Parantuneet analyysimenetelmät antavat nykyään mahdollisuuden käyttää myös ei-radioaktiivista jodidia merkkiaineena. Jodidi on helposti ja halvalla analysoitavissa yksittäisten $\mu\text{g/l}$ tasolla. Jodidin luonnollinen pitoisuus on usein pienempi kuin $10 \mu\text{g/l}$. Reliktisten pohjavesien alueella jodidipitoisuus voi olla huomattavasti suurempi.

Jodidin käytössä on otettava huomioon, että se kiinnittyy helposti orgaaniseen ainekseen sekä rauta- ja alumiinihydroksideihin. Kiinnittymistä lisää jälkimmäisessä tapauksessa laskeva pH, kiinnittyminen on suurinta pH-alueella 6,5 - 7. Kyllästyneessä vyöhykkeessä jodidi on hyvä merkkiaine, mutta ei sovi kovin hyvin käytettäväksi kyllästymättömässä vyöhykkeessä. Jos sitä kuitenkin käytetään tällaisissa olosuhteissa, se on injektoitava B-horisontin alapuolelle.

Ruotsissa on käytetty merkkiaineena imeytystutkimuksissa kaliumjodidia ja natriumjodidia. Merkkiaineena voidaan käyttää pieniä jodidimääriä, koska jodidilla on alhainen luonnontilainen pitoisuus ja matala määritysraja. Verrattuna kloridiin tarvitaan vain noin 0,1 - 0,5 % vastaavasta merkkiainemäärästä. Jodidin haittana on se, että se muodostaa kloorattavassa vedessä helposti myrkyllisiä aineita. Jodidi voi hapettua vapaaksi jodiksi, joka antaa makua pitoisuuden ollessa $0,1 \text{ mg/l}$. Jos klooraus tapahtuu kloraminmetodilla voi muodostua jodoformia (CHI_3), jonka maku tuntuu jo pitoisuudessa $5 \mu\text{g/l}$. Jodidilla ei ole terveydellisiä vaikutuksia yleensä käytetyissä merkkiainepitoisuuksissa ($< 0,5 \text{ mg/l}$). Kloorauksessa syntyvien trihalometaanien terveysvaikutuksista on vain vähän tietoa.

Fluoridi, molybdaatti ja litium

Fluoridia, molybdaattia ja litiumia on käytetty laajassa akviferitutkimuksessa yhdessä bromidin kanssa USA:ssa. Merkkiaineet injektoitiin suoraan akviferiin. Vaikka fluoridi hyvin nopeasti kiinnittyi akviferin materiaaliin (hiekkajaj sora), se tuli kuitenkin näkyviin myöhemmin otetuissa näytteissä. Myös molybdaatin ja litiumin kiinnittyminen oli merkittävää. Nämä merkkiaineet liikkuivat noin 50 % hitaammin kuin bromidi. Litiumin haittavaikutuksena voidaan pitää sen

adsorboitumista maaperään, mutta sillä ei ole kovin suurta merkitystä lyhyillä etäisyyksillä.

Ruotsalaisissa pohjavesissä luonnontilainen fluoridipitoisuus on tavallisesti $0,1\text{--}1,0 \text{ mg/l}$. Fluoridia ei voida käyttää merkkiaineena vedenhankintaan käytettävillä alueilla, koska sillä on vahingollisia vaikutuksia erityisesti lasten hampaisiin pitoisuuden noustessa yli $1,5 \text{ mg/l}$.

Nitraatti

Nitraattia liukenee pelloilta pohjavesiin, joissa sen kulkua voidaan seurata. Nitraatin käyttö varsinaisesti merkkiaineena on melko vähäistä. Se ei kiinnity maahiukkasiin, vaan kulkeutuu helposti veden liikkeiden mukana. Se voi pelkistyä typpikaasuksi akvifereissä, joissa on kaksiarvoista rautaa tai orgaanista ainesta. Merkkiaineena käytettynä nitraatin etuja ovat sen tunnettavuus, helppo saatavuus ja analyysin helpous.

Fluoratut bensoaterit

Useita fluorattuja bensoatereita voidaan käyttää merkkiaineina. Analyysit tehdään kromatografialla. Kokeiden yhteydessä on todettu, että aineiden toksisuus on tutkittava ennen kuin niitä käytetään alueilla, joista saadaan juomavettä. Muuten yhdisteet toimivat hyvin merkkiaineina. Eri yhdisteet voivat esiintyä anioni-muodossa pH-arvon ollessa yli 5. Tulokset osoittavat, että yhdisteet liikkuvat maaperässä samalla tavalla kuin bromidi. Tosin tietyissä maalajeissa voi esiintyä anioni-adsorptiota. Matalilla pH-arvoilla voi tapahtua absorptiota orgaaniseen ainekseen.

Väriaineet

Väriaineita on käytetty kauan merkkiaineina erityisesti karstialueilla pohjavesitutkimuksissa ja erityisesti pintavesitutkimuksissa (taulukko 5.3.1b). Tärkeimmät merkkiaineina käytettävät väriaineet ovat fluoresoivia, ja ne voidaan määrittää hyvin alhaisina pitoisuuksina. Mitattuun fluoresenssiin vaikuttavat pH ja lämpötila, jotka on huomioitava mittauksissa. Kaikki aineet eivät kuitenkaan ole yhtä herkkiä pH:lle ja lämpötilalle. Joihinkin aineisiin vaikuttaa auringonvalo. Uraniinia on käytetty 1800-luvun lopusta alkaen. Koska siihen vaikutti voimakkaasti au-

ringonvalo, otettiin käyttöön 1960 - luvun alussa Rhodamin B pintavesitutkimuksiin. Koska Rhodamin B näytti helposti adsorboituvan se korvattiin Sulpho Rhodamin B:llä, joka ei yhtä helposti adsorboituva. Se oli kuitenkin melko kallista ja korvattiin myöhemmin Rhodamin WT:llä. Pyranin ja Lissamin FF adsorboituvat myös melko vähän, mutta niitä ei kuitenkaan suuressa mitassa käytettynä voi suositella käytettäväksi huokosissa akvifereissä.

Stabiilit isotoopit

Luontaisesti esiintyviä hapen (¹⁸O, ¹⁶O)ja vedyn (D₁H) stabiileja isotoopeja voidaan myös käyttää merkkiaineina, jos imeytysveden ja pohjaveden isotooppikoostumusero on riittävä.

Rikkiheksafluoridi

Rikkiheksafluoridia (SF₆) on kokeiltu 1990 - luvulla pohjavesitutkimuksissa merkkiaineena. Rikkiheksafluoridi ei kiinnity helposti maa-ainekseen. Aine on huoneenlämmössä kaasumainen, mutta liukenee helposti veteen (35 mg/l, 25°C:ssa). Lisäksi sen määritysraja on matala. Aine on myös mauton, hajuton ja myrkytön. Tutkimuksia suunniteltaessa on otettava huomioon merkkiaineen helppo kaasuntuminen. Rikkiheksafluoridia ei voida käyttää esimerkiksi imeytysaltaissa.

Kolloidit partikkelit ja organismit

Mikrokuulia, bakteerifageja, bakteereja ja itiöitä on myös käytetty merkkiaineina. Erityisesti näi-

Taulukko 5.3.1b. Fluoresoivia väriaineita ja niiden ominaisuuksia.

	Määritysraja µg/g	Lämpötila- riippuvai- suus	pH- riippuvai- suus pH 6-8 välillä	Foto- kemialli- nen muun- tuminen	Adsorptio humuk- seen	Adsorptio kaoliiniin	Hinta
SININEN							
Amino G Acid	0,51	vähäinen	vähäinen	kohtuulli- nen	suuri	pienehkö	korkea
Photine CU	0,36	vähäinen	on	suuri	hyvin suuri	pienehkö	korkea
VIHREÄ							
Uranine	0,29	kohtuulli- nen	on	suuri	hyvin suuri	melko suuri	korkea
Lissamine FF	0,29	pieni	ei	vähäinen	suuri	melko suuri	hyvin korkea
Pyramine	0,087	pieni	on	suuri	suuri	hyvin pieni	korkea
ORANSSI							
Rhodamine B	0,010	suuri	ei	pieni	hyvin suuri	hyvin suuri	matala
Rhodamine WT	0,013	suuri	ei	pieni	hyvin suuri	suuri	melko korkea
Sulpho Rhodamine B	0,061	suuri	ei	pieni	suuri	hyvin suuri	melko suuri
SINI-VIHREÄ							
Na- Naphionate			ei	suuri			

den käyttö sopii silloin, kun on tutkittava veden likaantumista ja likaantumisen leviämistä. Usein nämä merkkiaineet liikkuvat nopeammin akviferin läpi kuin suurin osa vedestä tai vesiliukoista merkkiaineista. Akviferin rakenteella on suuri merkitys näiden aineiden kulkeutumiseen.

Virusten ja bakteerien kulkeutumista pohjaveteen tutkittiin lysimetrikentän avulla ”Soranoton vaikutus pohjaveteen” -projektin yhteydessä Tuusulassa (Kuusinen, 1993). Tutkimuksessa käytettiin Järvenpään jätevedenpuhdistamoon tulevaa jätevettä, joka levitettiin lysimetreihin (50 l jätevettä neliometriä kohti). Tutkimuksessa havaittiin, että luonnontilainen ja uudelleen rakennettu maannoskerros pidättää hyvin indikaattoribakteereja. Paljaalta sorapinnalta indikaattoribakteerit kulkeutuivat syvemmälle. Virusten indikaattorifagi kulkeutui nopeasti neljän metrin syvyydelle. Hyvin vettä läpäisevässä maaperässä virukset kulkeutuivat samalla nopeudella kuin pohjavesikin.

5.3.2. Hapen ja vedyn pysyvät isotoopit merkkiaineina

Luonnon vedet poikkeavat toisistaan hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen suhteen. Erityisesti pohja- ja pintavesien välillä isotooppikoostumusero on usein niin huomattava, että tätä luonnollista merkkiaineominaisuutta voidaan käyttää hyväksi pohjavesitutkimuksissa. Pohjavesisysteemiin imeytyvää pintavettä voidaan siis suoraan käyttää merkkiaineena ja seurata sen sekoittumista pohjaveteen. Menetelmä on konservatiivinen, koska veden happi ja vety eivät reagoi maa- ja kallioperän alhaisissa lämpötiloissa. Tällöin akviferiin imeytyttyään pohjaveden ja pintaveden alkuperäinen isotooppikoostumus muuttuu vain sekoittumisen kautta.

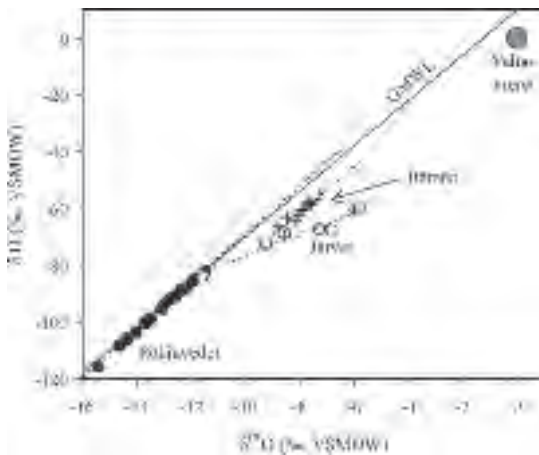
Isotooppimenetelmän teoriaa

Isotoopilla tarkoitetaan saman alkuaineen eri atomeja, joiden molekyyllipaino vaihtelee riippuen atomin ytimessä olevien varauksettomien hiukasten lukumäärästä. Veden (H_2O) rakenneosasten, hapen ja vedyn, luonnossa hajoamattomien eli stabiilien isotooppien määrä on vakio, mutta niiden suhteelliset osuudet eri yhdisteissä vaih-

televat. Isotooppitutkimuksissa mitataan näytteesä esiintyvien isotooppien suhteellisia osuuksia (raskaamman isotoopin suhde kevyempään isotooppiin), ei niiden absoluuttisia määriä. Hapen kohdalla tutkittava suhde on happi-18/happi-16 ($^{18}O/^{16}O$) ja vedyllä vety-2/vety-1 (δ/H). Mitattu suhdeluku on erittäin pieni, ja siksi isotooppikoostumukset esitetään delta-arvoina ($\delta^{18}O, \delta D$), jotka kuvaavat mitatun näytteen isotooppisuhteen poikkeamaa kansainvälisestä merivesistandardista (VSMOW). δ -arvon mittayksikkö on promille (‰).

Alkuaineen isotooppien välisestä massaerosta johtuen luonnon erilaiset kemialliset ja fysiikkaaliset prosessit suosivat joko alkuaineen kevyempää tai raskaampaa isotooppia. Tätä kutsutaan isotooppien väliseksi fraktioitumiseksi. Merkittävimmät luonnon vesien hapen ja vedyn isotooppeja fraktioivat tekijät ovat vesihöyryn tiivistyminen sateeksi ja veden haihtuminen. Fraktioituminen tuottaa veden kiertokulussa hapen ja vedyn pysyvien isotooppien koostumuksiin systemaattisia eroja. Tämä on kuin veden ”sormenjälki”, jonka avulla voidaan päätellä eri vesien alkuperä. Kuvassa 5.3.2a on esitetty, kuinka Suomen pohjavesistä, järvivesistä, Itämerestä ja valtameristä mitatut hapen ja vedyn isotooppikoostumukset poikkeavat toisistaan. Pohjavesien $\delta^{18}O$ ja δD -arvot vaihtelevat järjestelmällisesti maan eteläosan maksimiarvosta pohjoisen minimiin. Tämä jakauma on riippuvainen valitsevastaa ilmastosta ja kuvastaa sadeveden keskimääräistä isotooppikoostumusta. Pohjavesien hapen ja vedyn $\delta^{18}O$ ja δD -arvot asettuvat nk. globaalin meteoristen vesien suoran (kuva 5.3.2a, GMWL) tuntumaan, mikä kuvaa hapen ja vedyn isotooppiarvojen riippuvuutta sadannassa maailmanlaajuisesti. Suomessa vuoden keskilämpötila on merkittävin sadeveden ja siten pohjavesien isotooppikoostumusta säätelevä tekijä.

Tilanne on toinen pintavesissä, joissa tapahtuu jatkuvaa haihtumista. Haihtuessaan pintavesi rikastuu hapen ja vedyn raskaamman isotoopin suhteen, mikä tuottaa pinta- ja pohjavesien välille huomattavan isotooppikoostumuseron. Tällöin pintavesien, kuten järvi- ja meriveden (kuva 5.3.2a), isotooppisuhdetta kuvaavat delta-arvot muuttuvat positiiviseen suuntaan verrattuna pohjavesien vastaaviin arvoihin.



Kuva 5.3.2a. Matalien pohjavesien isotooppitulosten keskiarvoja δD - $\delta^{18}O$ -diagrammilla. Tuloksia on verrattu joidenkin Etelä-Suomen järvien ja Itämeren vesinäytteiden isotooppikoostumuksiin. Referenssisuora GMWL (global meteoric water line) kuvaa vedyn ja hapen isotooppien riippuvuutta sadannassa maailmanlaajuisesti. Kuva J. Karhu.

Isotooppimenetelmän käyttö pohjavesitutkimuksissa

Vesien luonnollisen "sormenjäljen" avulla voidaan isotooppimenetelmän avulla tunnistaa pintaveden imeytyminen pohjavesimuodostumaan tai tutkia veden viipymää pohjavesisysteemeissä, määrittää hydrologisen systeemin vaikutusala, ja täten tarkastella esimerkiksi tekopohjavesilaitoksen imeytyksen tehokkuutta. Kun tutkittavien vesien hapen ja vedyn isotooppikoostumusero on riittävän suuri, voidaan massatasapainosta laskea eri vesien sekoitussuhteet esimerkiksi kahden veden systeemeissä. Isotooppimenetelmän onnistunut käyttö imeytymistutkimuksissa edellyttää, että

- 1) sekoittuvien vesien eli päätejäsenvesien (usein kaksi, mutta voi olla enemmän) isotooppikoostumus tunnetaan
- 2) päätejäsenvesien välinen isotooppikoostumusero on riittävän suuri
- 3) päätejäsenvesien vuodenaikaiset vaihtelut tunnetaan
- 4) tutkittavaan akviferiin liittyvät ja siihen mahdollisesti yhteydessä olevat muut

hydrologiset systeemit kuten järvet ja joet tunnetaan

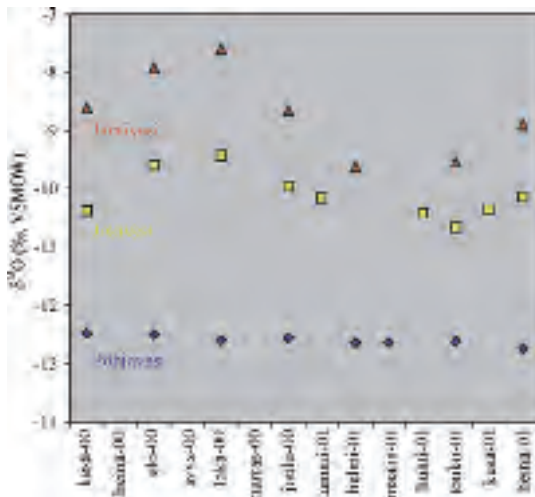
- 5) tunnetaan mahdollisuuksien mukaan akviferin hydrogeologiset pääpiirteet kuten harjuytimen kulku ja mahdollisten orsivesien sijainti.

Suunniteltaessa isotooppimenetelmän käyttöä tutkimuskohteessa tulee aluksi selvittää, että kohdat 1) ja 2) täyttyvät. Seuraavaksi tulisi miettiä isotooppisovelluksen käyttötarkoitusta, eli onko kyse kertaluontoisesta tutkimuksesta vai halutaanko vesien sekoittumista seurata pidemmällä aikajaksolla ja millä tarkkuudella sekoitussuhteet halutaan selvittää. Seossuhteiden tarkkuuden määrittämiseen liittyy kiinteästi vesien hapen ja vedyn isotooppikoostumuksissa mahdollisesti havaittavat vuodenaikaisvaihtelut. Mitä enemmän vuodenaikaisvaihtelua sekoittuvissa vesissä on, sitä suurempi on seossuhteessa havaittava kokonaisvirhe. Pohjavesissä hapen ja vedyn vuodenaikainen isotooppikoostumusvaihtelu on yleensä vähäistä, mikä on havaittu erityisesti eteläisen Suomen maaperäakvifereissa. Pintavesissä on yleensä selvästi mitattavaa vuodenaikaisvaihtelua. Kuvassa 5.3.2b on esitetty Virtaankankaan (Alastaro) pohjaveden ja kahden samalla alueella sijaitsevan pintavesisysteemin hapen $\delta^{18}O$ -arvoissa nähtävä vuodenaikainen vaihtelu, mikä pohjavedessä on olematonta, mutta haihtumisen leimaamissa pintavesissä selvää.

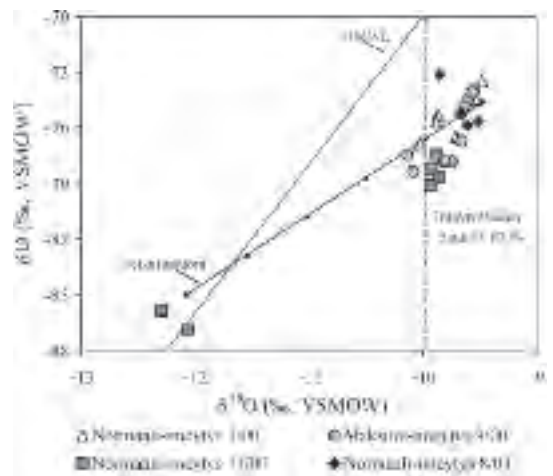
Esimerkkitapaus: Tuusula

Isotooppimenetelmän käyttökelpoisuutta testattiin ensimmäisen kerran Suomessa Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymän tekopohjavesilaitoksilla Rusutjärvellä ja Jäniksenlinnassa. Imeytettävän pääjanneveden ja paikallisen pohjaveden isotooppikoostumusero oli Tuusulassa riittävä, hapen kohdalla noin 2,5 ‰ ja vedyllä vastaavasti noin 10 ‰. Myös vuodenaikainen vaihtelu on molemmissa päätejäsenvesissä vähäistä, mikä parantaa seossuhteiden tarkkuutta.

Erityisesti Rusutjärven sadetusimeytyslaitoksella saatiin uutta tietoa imeytettävän pintaveden liikkeistä pohjavesimuodostumassa. Isotooppitutkimuksilla voitiin osoittaa pohjaveden



Kuva 5.3.2b. Pinta- ja pohjavesien hapen isotooppikoostumuksissa on selvä ero. Kuvan pohjavesi ja järvivesi ovat Virttaankankaalta. Jokivesi edustaa Kokemäenjoen vettä, jota Virttaalla suunnitellaan käytettäväksi tekopohjavesilaitoksen imeytysvetenä. Pintavesissä vuodenaikainen vaihtelu on selvää, mutta pohjavedessä sitä ei juurikaan havaita. Kuva N. Kortelainen.



Kuva 5.3.2c. Eri näytesarjojen hapen ja vedyn isotooppikoostumus Rusutjärven tekopohjavesilaitoksen alueella. Sekoitussuoran päät osoittavat paikallisen pohjaveden ja imeytettävän pääjanneveden keskimääräisiä isotooppikoostumuksia. Suurin osa vesinäytteistä asettuu sekoitussuoran Pääjanneveden päähän siten, että imeytysveden osuus on yli 80%. Paikallisen pohjaveden koostumusta edustavat kaivot 1 ja 2, diagrammissa vasemmalla (harmaat neliöt), eli kaivot, joihin ei imeytysvettä kulkeudu. Kuva N. Kortelainen.

virtausmallista poiketen, että muodostuman laidoilla sijaitsevilla kahdessa tuotantokaivossa ei havaittu imeytysvettä. Toisaalta muissa tuotantokaivoissa imeytysveden osuus oli 80-95 %, mikä osoittaa korkeaa imeytyksen ja talteen pumpattavan veden hyötysuhdetta. Kuvan 5.3.2c δD - $\delta^{18}O$ -diagrammissa on esitetty laitoksen alueelta eri ajankohtina mitattujen seosvesien hapen ja vedyn isotooppikoostumukset.

Isotooppitutkimuksilla Tuusulassa vahvistui toinenkin ilmiö. Imeytyskentän vieressä sijaitsevasta järvestä on yhteys pohjavesisysteemiin. Vesilaitoksen lähtökohtana on pitää pohjaveden pinta imeytysjärjestelyillä niin korkealla, ettei järveden rantaimeytymistä pohjavesisysteemiin pääse tapahtumaan. Poikkeustilanteet imeytysolosuhteissa kuitenkin saavat aikaan muutoksia pohjaveden virtauksessa. Pohjaveden pinnan korkeus voi laskea järvenpinnan tason alapuolelle ja tällöin järvivettä imeytyy harjuun. Tuusulan isotooppitutkimuksissa voitiin pohjavesimuodostumaan imeytystauon aikana tullut

ei-toivottu vesikomponentti eli paikallinen järvivesi helposti tunnistaa. Kyseinen imeytystauko rekisteröitiin myös imeytysveden suhteellisen osuuden laskuna tuotantokaivoissa.

Näytteet ja niiden analysointi

Näyteastianäytetään 50 ml HDPE -muovipulloa (tai muuta kovamuovista pulloa), joka täytetään aina aivan täyteen. Korkki suljetaan huolellisesti ja kiristetään. Isotooppinäytteenotossa on tärkeää, että näyte edustaa pohjavesimuodostumasta tulevaa vettä. Edustava näyte saadaan noudattamalla edellä luvussa 6.2 esitettyjä pohjavesinäytteenotto-ohjeita. Vesinäytteen hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen säilymisen kannalta on erityisen tärkeää, ettei näytteessä tapahdu missään vaiheessa haihtumista. Vesinäyte säilytetään kylmässä valolta suojattuna. Näyte säilyy pitkään (kuukausia, jopa vuosia) oikein käsiteltynä.

Hapen isotooppikoostumuksen määrittystä varten vesinäyte tasapainotetaan automaattisessa laitteistossa CO_2 -kaasun kanssa, minkä jälkeen

hopen isotooppikoostumus määritetään käyttäen CO₂:a. Vetykaasu tuotetaan vesinäytteestä Zn-metallilla pelkistämällä. Näytteet mitataan kaasusyöttöisellä massaspektrometrilla.

5.3.3 Natriumjodidi (NaI) merkkiaineena tekopohjavesilaitoksella

Turun Seudun Vesi Oy:n tekopohjavesihankkeen (kapasiteetti noin 100 000 m³/d) tutkimusten yhteydessä tehtiin noin 10 kuukautta kestänyt merkkiainekoe alkaen lokakuussa 2002 ja lopuen elokuussa 2003. Koe tehtiin käyttäen merkkiaineena natriumjodidia (NaI). Merkkiainevallinnan lähtökohtana oli muun muassa, ettei kokeella aiheuteta haittaa pohjaveden virtaussuunnassa sijaitsevan Virtaan kylän yksityiskaivojen veden laadulle. Kuten luvussa 5.3.1 todettiin, natriumjodidia esiintyy luonnontilaisessa pohjavedessä vain hyvin pieninä pitoisuuksina (Virtaankankaan pohjavedessä 1,85 - 3,49 µg/l). Natriumjodidi on hyvin vesiliukoinen ja huonosti maahan pidätyvä suola. Sillä on lisäksi alhainen määritysraja, ja se on melko suurinakin pitoisuuksina haitaton ihmisille ja eläimille. Alhaiset taustapitoisuudet antavat mahdollisuuden tehdä koe suhteellisen pienellä natriumjodidisyötöllä. Kuten luvussa 5.3.1 todettiin, olisi esimerkiksi natriumkloridin syöttötarve vastaavan kokeen toteuttamiseksi ollut noin tuhatkertainen.

Merkkiainekokeen tarkoitus ja valmistelu

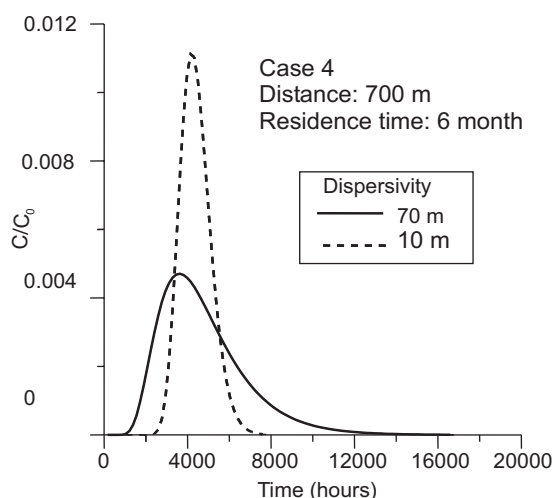
Merkkiainekokeen tyypillinen tavoite on selvittää pohjaveden virtaussuuntia ja -yhteyksiä sekä virtausaikoja. Saatavaa tietoa sovelletaan laitossuunnittelussa, imeytys- ja kaivoalueiden sijoittelussa sekä niiden kapasiteettisuunnittelussa. Erityisesti tekopohjavesihankkeissa tuloksia voidaan soveltaa laadittaessa vedenlaatuennusteita. Veden viipymällä on suora yhteys raakaveden humuksen poistumiseen tekopohjavesiprosessissa. Kulkureitin ja viipymän lisäksi voidaan tarkastella, kuinka suuri osuus imeytettävästä vedestä saavuttaa minkäkin laitoksen useista vedenottoalueista. Tulosten avulla tarkennetaan alueelle laadittua pohjavesimallia.

Ennen koetta laadittiin projektisuunnitelma, jossa esitettiin ennakkolaskelmat eli ennusteet seurantapisteidien NaI-pitoisuuksille erilaisia pohjavesiviyöhykkeen dispersiokertoimia ja virtausnopeuksia käyttäen (kuva 5.3.3a). Alueelle laaditun pohjavesimallin avulla "ajettiin" koe ennakkoon suunnitelluilla imeytys- ja pumpaustuotoilla. Kokeen luvallisuus varmistettiin laatimalla hakemussuunnitelma ympäristölupavirastolle, joka kuitenkin katsoi, ettei sen lupaa kokeelle tarvita. Lopulta pyydettiin lausunto sosiaali- ja terveystieteiden ministeriöltä (STM). STM:n lausunnon mukaan suunnitellun koejärjestelyn mukaan toimimalla ei natriumjodidin käytölle merkkiaineena ole estettä.

Kokeen kulku ja tulokset

Ennen natriumjodidin syöttöä varmistettiin kokeen alkutilanteen tasaiset olosuhteet ja kyllästymättömän vajovesiviyöhykkeen täydellinen kastuminen imeytämällä pelkkää pohjavettä noin 12 vuorokauden ajan. Imeytettävä vesi otettiin paikan päältä pohjavesikaivosta, imeytyskapasiteetin ollessa 6000 m³/d. Merkkiaineinjektio toteutettiin kymmenestä imeytysalueelle maannoksen rikastumishorisontin alapuolelle sijoitetusta putkesta (kuva 5.3.3b). Merkkiainemäärä oli noin 40 kg natriumjodidia sekoitettuna 500 litraan pohjavettä.

Merkkiainepilven etureuna saavutti tässä esimerkkinä olevan 520 metrin päässä sijainneen havaintopisteen MV25 noin 4 kuukauden päästä merkkiainesyötöstä, keskimääräisen viipymän ollessa noin 5,5 kuukautta ja keskimääräisen virtausnopeuden ollessa noin 3,2 metriä vuorokaudessa (kuva 5.3.3c). Kuvasta näkyy myös, miten imeytyksen vaikutus pohjaveden pintaa kohottavana alkaa näkyä jo noin 2 vuorokauden kuluessa imeytyksen aloituksesta, vaikka välimatka imeytyspaikkaan on yli 500 metriä. Pohjaveden pinnan käyttäytyminen (reagointi imeytykseen) kertoo pohjavesiyhteydestä imeytyspaikan ja tarkkailupisteen välillä. Reagointiajalla ei kuitenkaan ole tekemistä veden viipymän kanssa. Kokeen yhteydessä seurattiin vedenpintoja useista kymmenistä pisteistä sekä manuaalisesti että reaaliaikaisin mittarein. Satoja vesinäytteitä otettiin noin 20 pisteestä eri menetelmillä eri syvyyksistä. Kuvassa 5.3.3d on esitetty merkkiaine



Kuva 5.3.3a. Esimerkki etukäteen tehdystä merkkiainepitoisuuden ennusteesta tarkkailupisteessä (vedenottoaivo, sijainti noin 700 metriä imeytyskohteesta). Kuva Geosigma Ab.



Kuva 5.3.3b. Merkkiaineen syöttöputkisto (vaaleat putket) sadetusimeytysalueella Alastaron Virttaankankaalla. Kuva J. Kääriä

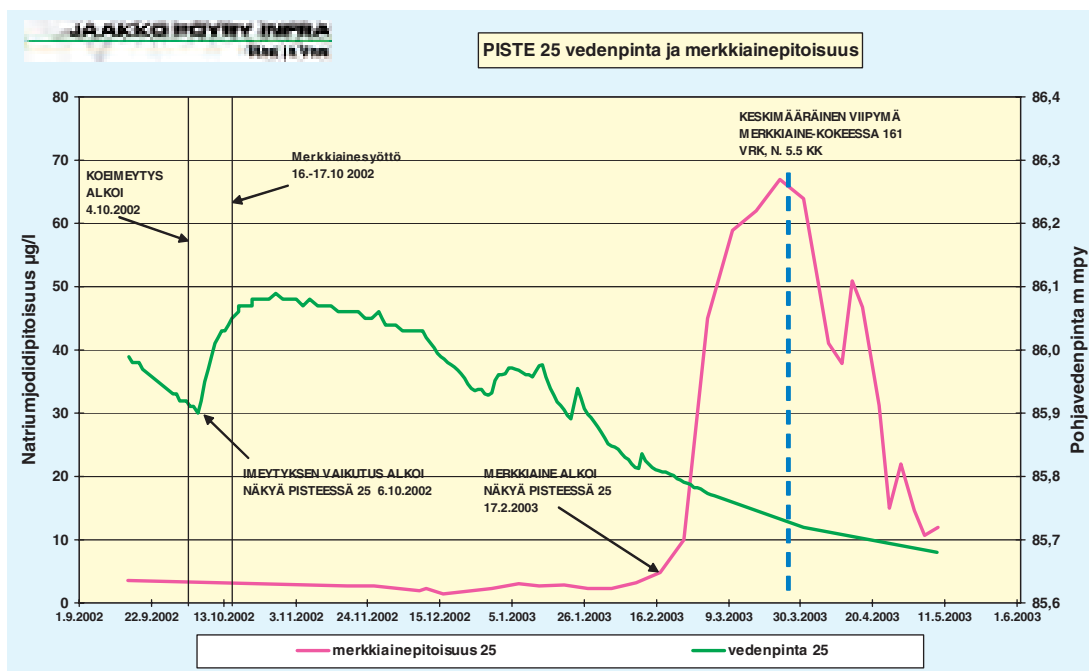
kokeen tuloksista mallin avulla laskettu merkkiainepitoisuuskäyrä (breakthrough curve) pisteelle 25.

5.3.4 Merkkiainekokeen suunnittelu

Merkkiainekokeella voidaan saada huomattavasti lisätietoa tutkittavan alueen pohjavesiyhteyksistä, veden kulkureiteistä ja veden viipymistä. Veden viipymällä on suuri merkitys erityisesti tekopohjavesilaitoksen toiminnassa. Sillä on selkeä yhteys muun muassa raakavedessä olevan humuksen poistumiseen veden virratessa pohjavesivyöhykkeessä. Viipymiä voidaan kuitenkin vain harvoin suoraan käyttää lopullisina "laitosviipyminä", sillä kokeita ei useinkaan voida toteuttaa lopullisilla imeytys- ja vedenottokapasiteeteilla. Lopulliset tuotantokapasiteetit poikkeavat kokeiden kapasiteeteista, mikä vaikuttaa muun muassa pohjaveden pinnan kaltevuuksiin ja siten veden keskimääräisiin virtausnopeuksiin. Yhdistämällä ja soveltamalla merkkiainekokeen tuloksia muiden tutkimuksen tuloksiin ja pohjavesimalliin saavutetaan parhaat lopputulokset. Pohjavesimallin avulla voidaan simuloida tuotantoajat lopullisilla kapasiteeteilla.

Merkkiainekoe on vaativa hydraulinen koe, jolla tietyissä tapauksissa saattaa olla jopa haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Merkkiaine saattaa kokeen aikana myös vain kadota jonnekin. Seuraavat seikat on hyvä ottaa huomioon ennen merkkiainekokeeseen ryhtymistä:

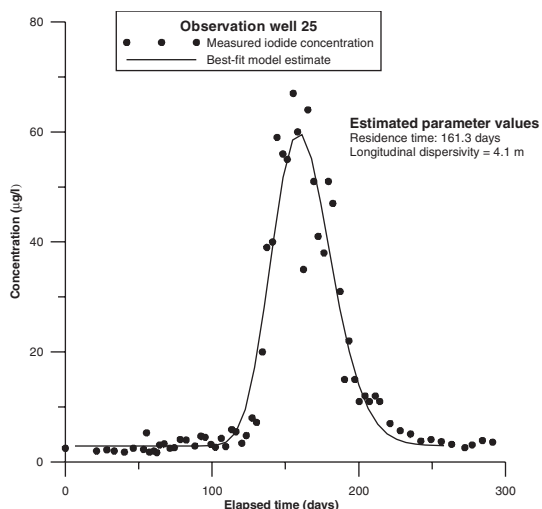
- Käytä merkkiainetutkimuksessa asiantuntijoita, joilla on kokemusta merkkiainekokeista.
- Selvitä hyvissä ajoin etukäteen tarvittavat luvat ja pyydä tarvittavat lausunnot.
- Alueen hydrauliset olot on tunnettava hyvin jo ennen koetta, eli merkkiainekoetta käytetään vain yhtenä tutkimuksen osana.
- Merkkiaineen valinta, syöttömäärä ja merkkiaineen laimennus on valittava olosuhteiden mukaan.
- Suunnittele koe huolella: älä syötä merkkiainetta heti kokeen alussa, vaan vasta koeolosuhteiden tasaannuttua.
- Käytä apuna erilaisia mallitarkasteluja tapahtumien etukäteen ennustamiseksi.
- Varmista, että havaintopisteverkko on riittävä ja laadi näytteenotto-ohjelma ennusteiden mukaan (verkoston laajuus ja näytepistekohtainen näytteenottoaika-aula)



Kuva 5.3.3c. Esimerkki merkkiainekokeen tuloksista.

- Ota riittävästi näytteitä eri menetelmillä ja eri syvyyksistä (eri kestoiset ja -tuottoiset näytteenottopumppaukset, erilaiset näytteenottimet)
- Selvitä näytteenottokeijun toimivuus (näytteiden ottoon kuluva aika, näytteiden säilytys, säilyvyys, kuljetus, analyysiajat ja soveltuvat laboratoriot)
- Muista tiedottaa alueen asukkaille ja muille sidosryhmille ennen koetta, kokeen aikana ja sen jälkeen (tulokset).

Johtopäätöksiä tehdessä on muistettava ottaa huomioon koeolosuhteiden mahdollinen poikkeaminen lopullisesta tilanteesta (poikkeavat kapasiteetit johtavat poikkeaviin vedenpintoihin ja poikkeaviin viipymiin).



Kuva 5.3.3d. Mallisovitus merkkiainepitoisuudelle havaintopisteessä 25. Kuva Geosigma Ab.

5.3.5 Kirjallisuutta

- Aastrup, M. Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A. 1995. Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket rapport 441551.
- Benson, C.F. & Bowman R.S. 1994 Tri- and tetrafluorobenzoates as nonreactive tracers in soil and groundwater. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1123-1129.
- Bowman, R. S. & Gibbens J. F. 1992. Difluorobenzoates as nonreactive tracers in soil and groundwater. *Groundwater* 30:1 p. 8-14.
- Bryan, P.E., Kuzminski, L.N., Sawyer, F.M. & Feng, T.H. 1973. Taste thresholds of halogens in water. *J. of American Water Works Ass.*, May Issue, p. 363-367.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436 - 468.
- Gat, J. R. 1996. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrological cycle. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 24, 225 - 262.
- Geosigma AB, Project Plan. Investigation of residence times and retrieval of infiltration water by tracer tests at Virttaankangas, Finland. January 2002
- Geosigma AB, Investigation of residence times and retrieval of infiltration water by tracer tests at Virttaankangas, Finland. January 2004.
- Hansson, R. C., Jacks, G., Johansson, P.-O. & Lander, K., 1994. Konstgjord grundvattenbildning – Processstudier vid inducerad infiltration och basänginfiltration. VA-Forsk, Rapport 1994-08.
- Johansson, P.-O. 1988. Spårämnesförsök för bestämning av strömningsförhållandena i samband med lokalisering av eventuell anläggning för avloppsinfiltration för Åre. Opublicerad rapport. Inst. För kulturteknik, Kungliga Tekniska , Stockholm.
- Karhu, J. 2001. Hapen ja vedyn isotooppivaihtelut meteorisissa vesissä: Suomen pintavedet ja matalat pohjavedet. Teoksessa: Salonen, V.-P. & Korkka-Niemi, K. (toim.) Kirjoituksia pohjavedestä: 3. Ympäristögeologian päivät, Turku, 13.-14.3.2000. Turku: Turun yliopiston geologian laitos, 35 - 41.
- Kortelainen, N. & Karhu, J. 2001. Stabiilien isotooppien hyödyntäminen tekopohjaveden muodostamisessa ja rantaimeytymisessä: Tuusulan ja Forssan pohjavesialueet. Teoksessa: Salonen, V.-P. & Korkka-Niemi, K. (toim.) Kirjoituksia pohjavedestä: 3. Ympäristögeologian päivät, Turku, 13.-14.3.2000. Turku: Turun yliopiston geologian laitos, 95 - 106.
- Kortelainen, N. M. & Karhu J. A. Regional and seasonal trends in the oxygen and hydrogen isotope ratios of Finnish groundwaters: a key for mean annual precipitation. *Journal of Hydrology* (painossa).
- Kortelainen, N. 2002. Hapen, vedyn ja hiilen isotoop-

pikoostumusvaihtelut Jäniksenlinnan ja Rusutjärven tekopohjavesilaitoksilla Tuusulassa. 19s., 2 liites. Geologian tutkimuskeskus, arkistoportti, P 32.4.016.

- Kuusinen Kimmo, 1993. Soranoton vaikutus pohjaveeseen. Tutkimusraportti IV. Mikrobin kulkeutuminen maaperässä ja pohjavedessä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 331. 73 s. ISBN 951-47-4694, ISSN 0783-3288.
- Palomäki, J. ja Sallanko J. 1998. Bromaatien muodostuminen otsonoitaessa bromidipitoista vettä. Oulun yliopiston Vesiteknikan laboratorio. Sarja A, Julkaisu 75. 36 s. ISBN 951-42-4921-6, ISSN 0781-934X.
- Rohde Allan and Saxena Rajinder, 1990. Trace studies in Nordic till soils. In *Hydrogeological properties of Nordic tills* ed. Sylvi Haldorsen NHP Report No 25 pp. 233-250.
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L. & Gonfiantini, R. 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. Teoksessa: *Climate change in continental isotopic records*, Geophys.
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. & Uschida, S., 1992. Studies on the sorption of I⁻ and IO₃⁻ onto andosols. *Water, Air and Soil Pollution* 63 p. 321-329.

6. POHJAVEDEN LAADUN TUTKIMINEN

Pohjaveden laadun luotettavan tutkimisen tärkein edellytys on hyvälaatuisen ja edustavan näytteen saaminen pohjavedestä. Onnistuneen pohjavesinäytteenoton edellytyksenä on, että näytteenottopaikka soveltuu pohjavesinäytteenottoon, näyte otetaan oikeilla välineillä ja menetelmillä, saatu vesinäyte käsitellään haluttujen analyysien vaatimalla tavalla sekä säilytetään oikein kuljetuksen aikana. Pohjavesinäytteenotossa on siis varsin monia osatekijöitä, jotka voivat mennä väärin ja joiden vaikutus analyysituloksen luotettavuuteen voi olla erittäin merkittävä. Pohjavesinäytteenoton välineitä, menetelmiä, oikeita näytteenottotekniikoita, kenttämäärittäisiä, näytteiden käsittelyä ja kuljetusta sekä näytteenoton laadunvalvontaa käsitellään luvuissa 6.1 - 6.5.

Pohjavesitutkimusten tavoitteet liittyvät usein tavalla tai toisella juomavedeksi kelpaavien pohjavesivarojen etsimiseen, turvaamiseen tai puhdistamiseen. Juoma- ja talousvetenä käytettävien pohjavesivarojen etsimiseen, turvaamiseen tai puhdistamiseen.

tettävä pohjavesi ei saa aiheuttaa terveydellisiä haittoja ja sen tulee olla maultaan, hajultaan ja ulkonäöltään miellyttävää eikä se saa vahingoittaa vesihuoltolaitteita tai putkistoja. Juomaveden laatua säädellään maassamme EU:n neuvoston antamalla direktiivillä ihmisten käyttöön tarkoitettun veden laadusta, jonka perusteella sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetukset juomaja talousvetenä käytettävän veden laadusta. Asetuksissa määrättyjen laatuvaatimusten selvittämiseksi ja seuraamiseksi tehtäviä tutkimuksia selostetaan luvussa 6.6.

Vesilaitosten ja terveysviranomaisten suorittamien valvontatutkimusten lisäksi pohjaveden laatua tutkivat myös muun muassa ympäristöhallinto (luonnontilaisen pohjaveden laatuominaisuudet, kaivovedet, likaantumistapaukset), Säteilyturvakeskus (pohjaveden uraani- ja radonpitoisuudet, radioaktiivisuus) sekä Geologian tutkimuskeskus (geokemialliset kartoitukset, kaivovedet, kalliopohjavedet). Maassamme suoritettavaa pohjaveden laadun seurantaa käsitellään luvussa 6.6.2.

6.1 Näytteenoton laadunvalvonta

Näytteenoton laadunvalvonta on oleellinen osa määritystulosten luotettavuutta. Näytteenoton laadunvalvonnalla pyritään varmistamaan, että kestäväntikemikaalit, näyteasiat, näytteenottimet ja muut näytteenotossa käytettävät välineet ovat puhtaita. Lisäksi pyritään varmistamaan, ettei systemaattisia virheitä tai satunnaisvirheitä aiheuttavia tekijöitä esiinny näytteenoton ja analysoinnin välisenä aikana. Laadunvalvonnan välineitä kenttätöskentelyssä ovat nollanäytteet, rinnakkaiset osanäytteet ja rinnakkaisnäytteet, joiden ottaminen tulisi kuvata jo tutkimusohjelmassa.

Näytteenottajalla on merkittävä asema tutkimusketjussa, sillä hänellä on vastuu näytteiden edustavuudesta ja siten koko tutkimuksen onnistumisesta. Näytteenottaja toimii yhteistyössä tutkimuksen suunnittelijan ja laboratorion kanssa. Näytteenoton aikataulua suunniteltaessa pitää olla hyvissä ajoin yhteydessä laboratorioon. Näin voidaan sopia siitä, milloin näytteet voidaan tuoda, jotta ne sopivat laboratorion ohjel-

maan. Myös näyteasiat on tilattava laboratorioista hyvissä ajoin ennen näytteenottoa. Erityismääritysten vaatimat pullot eivät välttämättä ole valmiina ja niiden käsittelyyn on varattava aikaa. Laboratorio huolehtii yleensä astioiden pesusta, mutta myös näytteenottajan on hyvä tietää, mitkä määritykset vaativat astioilta erityispuhdistusta.

Laboratorioissa on käytössä laadunvarmistusjärjestelmät toiminnan laadun turvaamiseksi, ja monet laboratoriot ovat akkreditoituneet. Myös näytteenottoon liittyvät toiminnot tulisi sisällyttää laatujärjestelmään, jolloin koko tutkimusketjun laatu voitaisiin varmentaa. Eräs tapa näytteenoton laadun varmennukseen ja dokumentoinnin selkeyttämiseen on näytteenottajien henkilösertifiointijärjestelmä. Myös laboratoriot voivat akkreditoida näytteenottoja eri tyyppisistä ympäristöistä kuten pohjavesistä.

6.2 Näytteenottovälineet ja -menetelmät

Pohjavesinäytteitä voidaan ottaa tutkimuksesta riippuen lähteistä, havaintoputkista, maakaivoista, kallioporakaivoista, koekuopista ja vesijoh-toverkostosta. Tavallisimpia näytteenottovälineitä ovat toimiva ja puhdas pumppu, noudin tai näytteenotin, vedenpinnan korkeusmitta, lämpömittari, kello, tilavuudeltaan tarkistettu astia sekä näytteenottopullot. Näytteenottovälineistöön saattaa kuulua lisäksi erilaisia kenttämitta-reita, näytteiden kestäväntiini tarvittavia kemikaaleja, kenttämäärityksissä tarvittavia kemikaaleja ja välineitä sekä akku tai aggregaatti ja polttoainetta. Näytteenottovälineet ja -menetelmät poikkeavat jossain määrin toisistaan eri laboratorioden osalta. Oleellista on toimia kyseessä olevan laboratorion ohjeistuksen mukaan.

Näytteenottovälineiden ja -astioiden, niin kertakäyttöisten kuin toistuvasti käytettävienkin, puhtaus tulee varmistaa ennen näytteenottoa. Astioissa ja välineissä käytetyt materiaalit eivät saa liueta tai reagoida millään tavalla tutkittavien haitta-aineiden kanssa. Tärkeimpiä asioita pohjavesinäytteenotossa on välttää näytteenotopisteiden ristiinkontaminaatiota sekä näytteen säilytyksen ja kuljetuksen aikaista kontaminaatiota (ks. luku 6.5).

Näytteenotossa tulee aina kulkea puhtaimmalta pisteeltä kohti likaisinta pistettä. Järjestys on helppo suunnitella silloin, kun pisteistä on aiempaa analyysitietoa tai likaantumislähteen sijainti tiedetään. Muulloin tilanne pitää arvioida esimerkiksi pohjaveden virtaussuuntatulkinnasta ja mahdollisten likaavien kohteiden sijaintitiedoista. Kontaminaation välttämiseksi näytteenottopisteistä tulee pumpata riittävästi vettä ennen näytteen ottamista. Tavanomainen kontaminaation syy on likaantuneiden tai huonosti puhdistettujen näytteenottovälineiden käyttö. Näytteenottovälineet on puhdistettava tai vaihdettava puhtaisiin näytenpisteiden välillä. Pumpuihin liitettävien letkujen tulisi olla mahdollisuuksien mukaan näytteenottopistekohtaisia, koska pitkän letkun puhdistaminen kentällä saattaa olla vaikeata ja talviolosuhteissa jopa mahdotonta. Putkikohtaisten, havaintoputkiin pysyvästi sijoitettujen pumppujen ja letkujen käyttö poistaa näytteenottovälineiden puhdistustarpeen eri näytteenottopisteiden välillä lähes kokonaan. Toisaalta on kuitenkin hyvä muistaa, että myös havaintoputkiin pysyvästi sijoitettuihin letkuihin voi ajan mittaan kertyä likaa, joka voi satunnaisesti irrotessaan aiheuttaa kontaminaatiota näytteeseen. Letkut tulisikin ottaa pois havaintoputkista ja puhdistaa tai vaihtaa säännöllisin väliajoin, esimerkiksi vuosittain.

Ilmastumisen mahdolliset vaikutukset vesinäytteiden edustavuuteen on syytä huomioida. Näyteveden altistuminen ulkoilmaille voi aiheuttaa esimerkiksi helposti hapettuvien metallien saostumista ja tiettyjen orgaanisten kemikaalien haihtumista. Ilmastumisen haitallisia vaikutuksia voidaan vähentää pohjavesiputkiin kiinteästi asennetuilla näytteenottovälineillä tai hyvin pienitehoisella pumppauksella.

Näytteiden kestäväntiini käytettävien kemikaalien kautta tapahtuvaa kontaminaatiota pitää varoa. Ennen näytteenottokierrokselle lähtöä on varmistettava, että kestäväntiiniaineet ovat riittävän tuoreita ja puhtaita.

Toistuvassa seurantanäytteenotossa on tulosten vertailukelpoisuuden kannalta tärkeää, että näytteenotto toteutetaan aina samalla menetelmällä ja samalla tavalla. Näytteenoton yhteydessä pitäisi ottaa aina varsinaisten näytteiden

lisäksi nollanäyte. Nollanäyte otetaan kentälle tuodusta puhtaasta ionivaihdetusta vedestä samoilla menetelmillä ja välineillä kuin varsinaisen näytekin. Nollanäyte kuljetetaan ja analysoidaan kuten varsinaiset näytteet. Mahdollinen kontaminaatio on pääteltävissä puhtaan näytteen analyysituloksista. Mikäli nollanäytteen kontaminaation syy ei selviä eikä muiden näytteiden mahdollista kontaminaatiota voida sulkea pois, tulokset ovat käyttökelvottomia ja näytteenotto on uusittava.

Näytteenoton yhteydessä tehdään näytteenottopöytäkirja, johon merkitään näytteenottaja, näytteenottopäivämäärä vuosilukuineen, pumppaustiedot (esim. käytetty pumppu, pumppaus-tehot ja -ajat, veden kirkastuminen, vedenpinnan korkeus ennen pumppausta ja sen jälkeen), näytteenottosyvyys sekä muita näytteenottoon tai näytteeseen liittyviä huomioita. Näytteenottopöytäkirja tulee täyttää huolellisesti siten, että seuraavalla näytteenottokerralla sen avulla on mahdollista toistaa näytteenotto samalla tavalla kuin edellisellä kerralla. Pöytäkirja saattaa olla myöhemmin ainoa dokumentti, jonka avulla voidaan arvioida esimerkiksi poikkeavien analyysitulosten syitä ja saatujen tulosten luotettavuutta. Esimerkki näytteenottopöytäkirjalomakkeesta on liitteenä 8.5.10/12.

6.2.1 Näytteenottovälineet

Näytteenottoon ja pohjavesiputkien huuhteluun käytettävien välineiden valinta riippuu pohjavesiputken rakenteesta ja antoisuudesta, näytteenottosyvyydestä ja tutkittavista haitta-aineista. Tärkein työväline pohjavesinäytteenotossa on toimiva, puhdas pumppu. Pohjavesinäytteenotossa voidaan käyttää esimerkiksi käsi- ja moottorikäyttöisiä imupumppuja, peristalttisia pumppuja, uppopumppuja, syrjäytyspumppuja sekä inertiapumppuja. Mikäli näytteenotossa käytetään sähkökäyttöistä pumppua, varusteisiin kuuluu lisäksi akku tai aggregaatti sekä polttoainetta.

Uppopumppu sopii hyvin sekä havaintoputkista että kaivoista tehtävään näytteenottoon. Saatavilla on pumppuja, jotka sopivat halkaisijaltaan 50 mm putkeen. Uppopumpun moottori on pumpun rungossa ja pumppu voidaan laskea näytteenottosyvyyteen. Uppopumput toimi-

vat yleensä sähköllä, joka saadaan akusta tai tuotetaan mukana kuljetettavalla aggregaatilla.

Näytteitä otetaan yleisesti myös ns. itseimevällä pumpulla. Sen toiminta perustuu maanpinnalla olevaan pumppuun, joka alipaineen avulla nostaa vettä maan pinnalle. Veden pinta ei saa olla yli kuuden metrin syvyydessä pumppun toimintatavasta johtuen. Itseimevät näytteenottopumput ovat yleensä polttomoottori-käyttöisiä.

Noutimien käyttö pohjavesinäytteenotossa on yleensä suositeltavaa vain silloin, kun näytteenottoa on käytettävissä oleville pumppuille liian syvällä, putken antoisuus on erittäin heikko tai vesinäytteen saantia tietyltä syvyys-tasolta ei voida muuten varmistaa. Tämä johtuu siitä, että noutimien käyttö aiheuttaa lähes aina poikkeamia vesinäytteen laadulle. Noutimella otetun näytteen tulosta onkin syytä pitää suuntaa antavana. Teflonista valmistetut noutimet on helppo pitää puhtaana.

Muita näytteenotossa tarvittavia välineitä ovat vedenpinnan korkeusmitta, lämpömittari sekä mahdolliset muut kenttämittarit. Näytteenottopumppauksen tuottoa mitataan usein astiamittauksella, jonka tekemiseen tarvitaan kello ja tilavuudeltaan tarkistettu astia. Näytteenottovälineisiin saattaa kuulua myös näytteiden kestäväntiini tarvittavia kemikaaleja sekä kenttämäärityksissä tarvittavia kemikaaleja ja välineitä.

Näyteasiat valitaan tutkimuksessa tehtävien määritysten, arvioitujen pitoisuuksien sekä tutkimukselta vaadittavan tarkkuuden mukaan. Samasta näytepisteestä joudutaan lähes aina otamaan näytteitä moniin eri näyteastioihin. Useimpiin fysikaalis-kemiallisiin epäorgaanisten aineiden määrittämiin soveltuvat polyeteeni-muovista valmistetut, värittömällä kierretulpalla varustetut muovipullot. Lasiset, hiostulpaalliset pullot sopivat orgaanisten yhdisteiden analysointia varten otettaville näytteille, kaasumaisten yhdisteiden (hiilidioksidi, happi, sulfidi) näytteille, alkaliniteettinäytteille sekä pH:n ja sähkönjohtavuuden määrittämiseen käytettävillä näytteillä. Tulevaisuudessa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteet otettaneen yhä useammin suoraan näyteampulleihin, joita ei kentällä sulkemisen jälkeen enää tarvitse avata ennen

varsinaista analysointia. Yleensä analyysit tekevä laboratorio luovuttaa oikeanlaiset pullot näytteenottajalle. Erilaisia määrittämiä varten tarvittavien näytepullojen materiaali ja puhdistusohjeet sekä ohjeelliset näytetilavuudet ja säilöntäohjeet on esitetty julkaisussa "Vesitutkimusten näytteenottomenetelmät" (Mäkelä, A&al.1992).

6.2.2 Näytteenotto lähteestä

Lähteestä voidaan ottaa näyte suoraan näytepulloon tai juoksuttamalla vesi letkun avulla pulloon esim. lapolla. Näytteenotossa voidaan käyttää myös pullonoudinta, jolloin on varottava sekoittamasta lähteen vettä. Näyte otetaan suurimmasta purkaumasta, mikäli lähdealueella on useampia purkautumiskohtia. Tällöin näyte edustaa parhaiten lähteen yläpuolista pohjavesialuetta, jolla lähteen vesi muodostuu.

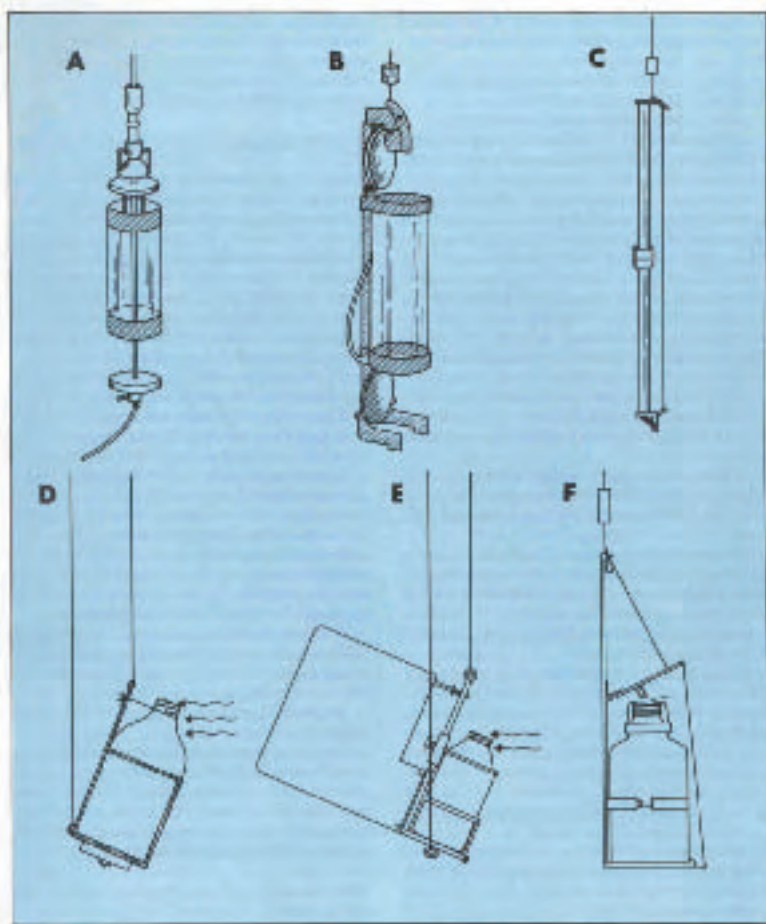
6.2.3 Näytteenotto havaintoputkesta

Havaintoputken materiaali vaikuttaa merkittävästi vesinäytteen veden laatuun sekä näytteenottotapaan. Metalliputket soveltuvat huonosti näytteenottoputkiksi varsinkin pitkäaikaisessa pohjaveden laadun tarkkailussa. Parhaita näytteenottoputkia ovat muoviputket. Havaintoputkista ja niiden asentamisesta kerrotaan kohdassa 5.2.6. Pohjavesinäyte otetaan pääsääntöisesti havaintoputkesta aina pumppaamalla tai huotoimisten, vähäntoisten putkien osalta pumppauksen jälkeen noutimella. Veden pumppaaminen ennen näytteenottoa on tärkeää, jotta näyte edustaisi pohjavesivyöhykkeen veden laatua eikä havaintoputkessa seisseen tai näytteenottoletkuihin edelliseltä näytteenottopaikalta jääneen veden laatua.

Aluksi mitataan pohjavedenpinnan korkeus havaintoputkessa. Näytteenottopumppu asennetaan ennalta sovittuun näytteenottosyvyyteen ja aloitetaan pumppaus. Mikäli näytteenotossa käytetään polttomoottorikäyttöistä pumppua tai polttomoottoriaggregaattia, on laite sijoitettava niin, että pakokaasut eivät pääse näytteenottopaikalle. Laite sijoitetaan esimerkiksi näytteenottoa kohden tuulen alapuolelle. Näytteenottopumppaus aloitetaan varovasti teholla



Kuva 6.2.1a Erilaisia näytteenottopumppuja. Ylhäällä vasemmalla itseimevä, bensiinikäyttöinen keskipakopumppu, maksiminäytteenottosyvyys 6 m. Alhaalla vasemmalla: Akkukäyttöinen uppopumppu, maksiminäytteenottosyvyys 30 m. Ylhäällä oikealla: Sähkökäyttöinen (220V/50Hz) uppopumppu, maksiminäytteenottosyvyys 50 m. Alhaalla oikealla: Sähkökäyttöinen inertia-pumppu, jota käytetään pohjavesiputkien puhdistamiseen. Kuvat T. Kinnunen ja GWM-Engineering Oy.



Kuva 6.2.1b. Erilaisia vesinoutimia. A) Ruttner -tyyppinen noudin, B) Limnos -tyyppinen noudin, malli Isotalo, C) Putkinoudin, D) Avoin pullonoudin, E) Ohjaussiivekkeellä varustettu avoin pullonoudin, F) Suljettu pullonoudin. Kuva Mäkelä, A. & al. 1992.

2 - 10 l/min. Vettä pumpataan vähintään viisi minuuttia ja samalla seurataan veden sameutta ja esimerkiksi astiamittauksella pumppauksen tuottoa. Veden kirkastuessa vedentuottoa voidaan varovasti lisätä. Vettä pumpataan vähintään 15 minuuttia veden kirkastumisen jälkeen. Kokonaispumppausaika on siis vähintään 20 minuuttia. Tällöin vettä on pumpattu tuotosta riippuen 100 - 300 litraa, ja vesi havaintoputkessa on vaihtunut useampaan kertaan.

Tarvittavaa pumppausaikaa voidaan arvioida laskemalla, kuinka paljon havaintoputkessa

on vettä, eli paljonko vettä on vähintään pumpattava. Ennen pumppauksen aloittamista tehdyn pohjavedenpintamittauksen ja havaintoputken syvyystiedon perusteella saadaan selville, kuinka paksu vesipatja putkessa on. Halkaisijaltaan 50 mm havaintoputkessa vettä on noin 2 litraa metriä kohden ja 32 mm havaintoputkessa noin 0,8 litraa. Kertomalla tämä vesipatjan paksuudella saadaan selville pumpattava vesimäärä, ja vertaamalla sitä pumppauksen tuottoon voidaan arvioida tarvittava aika, jonka kuluttua laskennallisesti kaikki putkessa oleva vesi on vaihtunut. Pumppausaika on sitä pidempi, mitä paksumpi vesipatja havaintoputkessa on. Pumppauksen jälkeen otetaan ensin tarvittavat näytteet ja sen jälkeen suoritetaan muut mittaukset. Näytteenoton jälkeen mitataan putken

vedenpinnan korkeus ja putken kokonaissyvyys. Näiden tietojen avulla saadaan kuva maaperän vedenjohtavuudesta ja putken toimivuudesta. Jos putken pohjalle on kertynyt paljon hie-noainesta, putki on syytä huuhdella ennen seuraava näytteenottoa. Huuhtelu pitää tehdä puhtaalla vedellä vähintään viikkoa ennen näytteenottoa, jotta huuhteluvesi ei vaikuta tuloksiin.

Näytteenotto huonosti tai hitaasti toimivasta havaintoputkesta voidaan tehdä kolmessa vaiheessa. Noin viikkoa ennen näytteenottoa käydään huuhtomassa havaintoputki ja tyhjennetään se huolellisesti huuhteluvedestä. Päivää ennen näytteenottoa putki tyhjennetään noutimella tai pumppaamalla. Seuraavana päivänä otetaan näytteet varovasti pumppaamalla tai näytteenottimella.



Kuva 6.2.1 c. Vähääntoisten ja matalien havaintoputkien tyhjentämisessä käytetään yleisesti bailer-tyyppistä putkinoudinta. Sillä voidaan nopeasti poistaa muutamia (kymmeniä) litroja vettä putkesta ilman monimutkaisia pumppausjärjestelyjä. Bailer on yleensä muovista valmistettu putki, jonka pohjassa on kuula- tai läppäventtiili. Bailer lasketaan narulla putkeen, jossa se painuu vedenpinnan alapuolelle. Kun vedellä täytynyt bailer nostetaan ylös vedestä, sulkeutuu pohjassa oleva venttiili ja estää bailerin tyhjentymisen, kun se nostetaan ylös putkesta. Kuvassa havaintoputkesta nostettua noudinta tyhjenetään näytepulloon. Kuva T. Penttinen.

Huonosti tai hitaasti toimivan pohjavesiputken tyhjennykseen ja näytteenottoon on mm. USA:ssa kehitetty ns. pienvirtausmenetelmiä (low flow/minimal draw-down sampling), joissa pumppaus tapahtuu erittäin alhaisella ($<0,5 \text{ l/min}$) teholla. Alhaisella teholla tapahtuvan pumppauksen ansiosta pohjavesipinnan alenema ja painevaihtelut havaintoputkessa jäävät pieniksi. Tällöin maa-aines ei irtoa siiviläosaa ympäröivistä maakerroksista siinä määrin kuin suurella teholla tapahtuvassa pumppauksessa.

Lisäksi vettä saadaan huonosti vettä johtavista kerroksista paremmin kuin perinteisillä menetelmillä. Ainakaan toistaiseksi pienvirtausmenetelmiä ei ole kovin yleisesti käytetty maassamme.

Arteesisesta (paineellisesta) pohjavedestä saadaan näyte ilman pumppausta. Tällöin vesi nousee omalla paineellaan maanpinnan yläpuolelle ja valuu havaintoputken reunan yli maastoon. Näyte otetaan havaintoputkesta letkun kautta suoraan näytepulloon.



Kuva 6.2.3. Näytteenottopumppausta havaintoputkesta sähkökäyttöisellä uppopumpulla Nurmijärven Kiljavalla. Pumppauksen tuottoa mitataan astiamittauksella, samalla tarkkaillaan veden kirkastumista. Veden sameutta on helppoa arvioida vain, jos käytetty mitta-astia on vaalea. Suosittelavaa olisi käyttää kenttäkäyttöistä sameusmittaria. Pumpun tarvitsema sähköenergia tuotetaan bensiinikäyttöisellä aggregaatilla, joka pakokaasujen vaikutusten välttämiseksi on sijoitettu kauas varsinaisesta näytteenottopisteestä (auton vieressä takavasemmalla). Kuva T. Kinnunen.

6.2.4 Näytteenotto kaivosta

Otettaessa vesinäytettä kaivosta on ensin mietittävä, halutaanko vesinäytteen edustavan vesijohtoverkostossa seisonutta vettä vai kaivosta saatavaa pohjavettä. Mikäli tavoitteena on selvittää vesijohtoputkiston korroosion vaikutuksia juomaveteen, analysoitava ns. verkostonäyte otetaan hanasta noin kymmenen sekunnin juoksutuksen jälkeen. Pohjavesimuodostuman

vettä edustavaa näytettä eli raakavesinäytettä otettaessa toimitaan seuraavasti: vesihanana suutinosaa poistetaan ennen juoksutusta ja hanan suu puhdistetaan kuumentamalla sitä esim. palavalla tulitikulla mahdollisten bakteerien tuhoamiseksi. Vettä juoksutetaan samalla lämpötilaa mitaten niin kauan kunnes lämpötila on vakiintunut, jonka jälkeen otetaan näyte. Paras paikka raakavesinäytteen ottamiseksi kaivosta on heti kaivopumpun jälkeen oleva hana, jos sellainen kaivos-
sa on.

Vaihtoehtoisesti tai jos kaivossa ei ole pumppua, raakavesinäyte voidaan ottaa uppopumpulla tai itseimevällä pumpulla suoraan kaivosta. Näytteenoton tavoitteesta riippuen näyte voidaan ottaa myös noutimella tai ämpärillä.

Siiviläputkikaivoista ja kallioporakai-voista on yleensä hankalaa ottaa näytettä näytteenottopumpuilla. Kaivopumppujen vaatimat sähköjohdot ja nousuputki vievät niin paljon tilaa, että näytteenottopumppua ei saa laskettua kaivoon. Lisäksi vaarana on pumpun sotkeutuminen sähköjohtoihin ja juuttuminen kai-
voon.

Näistä kaivoista luotettavin tapa ottaa raakavesinäyte on ottaa se erillisestä näytteenottohanasta, joka on sijoitettu putkistoon ennen käsittelylaitteistoja ja painesäiliötä. Ellei tällaista hanaa ole, otetaan näyte käyttövesihanasta edellä kuvatulla tavalla.

6.2.5 Näytteenotto koekuopista

Saastuneiden maiden tutkimuksissa kaivetaan usein koekuoppia lika-aineen paikallistamiseksi. Kuoppiin kertyy vettä, jos maaperä on hyvin vettä johtavaa ja pohjaveden tai orsiveden pinta on lähellä maanpintaa. Kuoppiin kertynyt pohjavesi voi kertoa lika-aineen kulkeutumisesta. Vesinäyte joudutaan yleensä ottamaan kuopista noutimella, sillä vettä on usein liian vähän pumppausta varten ja kuopat sortuvat helposti. Kuopista otetut vesinäytteet ovat yleensä sameita ja ne soveltuvat pelkästään lika-aineiden alustavaan tutkimiseen.



Kuva 6.2.4. Näytteenottoa kaivosta talviolosuhteissa. Kuva H. Yli-Tolppa.

6.2.6 Passiiviset näytteenottotekniikat

Pilaantuneiden alueiden tutkimuksissa on muun muassa USA:ssa selvitetty varsin paljon passiivisten näytteenottotekniikoiden käyttöä. Eräs suhteellisen paljon tutkittu passiivinen menetelmä perustuu haitta-aineiden kulkeutumiseen pohjavedestä näytteenottimeen diffuusion avulla (diffusion bag sampling). Menetelmässä molemmista päistä suljettu, vedellä täytetty polyeteeninäytteenotin lasketaan halutulle syvyydelle pohjavesiputkessa. Pohjaveden haitta-aineet diffundoituvat näytteenottimeen pienten huokosten läpi ja saavuttavat vähitellen tasapainotilan. Tämän jälkeen näytteenotin poistetaan putkesta ja sen sisältämä vesi analysoidaan. Tasapainotilan saavuttaminen riippuu kohteen olosuhteista ja kestää tavallisesti pari viikkoa. Tähän mennessä tekniikkaa on sovellettu erityisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenotossa. Passiivisten näytteenottotekni-

koiden etuna on, että huuhtelupumppausta ei tarvita lainkaan. Passiiviset näytteenottotekniikat eivät ainakaan toistaiseksi ole yleistyneet Suomessa.

6.2.7 Monitasonäytteenotto

Normaalit havaintoputket soveltuvat varsin huonosti tavallisilla pohjavesinäytteenottokalustoilla tehtävään monitasonäytteenottoon, vaikka niissä olisikin pitkä siiviläosa. Tällaiseen pohjavesiputken vesi kertyy todennäköisesti siiviläosan parhaiten vettä johtavista kerroksista riippumatta näytteenottopumpun syvyydestä. Näin ollen ei siis voida olla varmoja, edustaako otettu näyte näytteenottosyvyydellä esiintyvää pohjavettä. Monitasonäytteenottoa varten asennetaan usein kuhunkin haluttuun näytteenottotason oma, esimerkiksi 1 metrin siiviläosalla varustettu havaintoputki. Jokaisesta putkesta otetaan erilliset näytteet. Menetelmä soveltuu par-

haiten ohuen orsivesipatjan ja ohuen pohjavesipatjan tilanteeseen.

Monitasonäytteenottoa voidaan tehdä itseimevän pumpun avulla kerroksittain taso-pumppauksena ominaisantoisuuspumppauksen yhteydessä. Tällaisen pumppauksen tekemistä on kuvattu luvussa 5.2.8.

Havaintoputkikohtaiseen monitasonäytteenottoon lupaava on ns. tulppausmenetelmä (man-setti- ja packermenetelmä). Tässä menetelmässä havaintoputken siiviläosa suljetaan halutun näytteenottosyvyyden ylä- ja alapuolelta esimerkiksi paineilmalla laajentuvien tulppien avulla, ja vesinäyte otetaan pumppaamalla tulppien väliseltä osalta. Tulppien sulkema näytteenottoväli voi olla esimerkiksi yksi metri.

Monitasonäytteenottoon on kehitetty menetelmiä, joissa putket asennetaan yhteen, sisähal-kaisijaltaan suureen (esim. 250 mm) kairausreikään, jossa putkien eri tasossa olevat siivilät erotetaan toisistaan bentoniittieristyksillä ja tarvittaessa suodatinkerroksilla (kuva 4.3.1d). Yhteen kairausreikään voidaan asentaa myös ns. putkiryhmä, jossa paksumman keskusputken ympärille on liitetty useita kapeita, lyhyillä siiviläosilla varustettuja putkia. Monet uudet monitasomenetelmät perustuvat puolestaan pohjavesiputkessa eri syvyytasoilla olevien näytteenottoporttien käyttöön (mm. CMT Multilevel System ja Waterloo Multilevel System). Niissä näytteenottoportit on erotettu toisistaan eristystulpilla ja jokaiseen porttiin on liitetty erillinen näytteenottoletku. Mainitut monitasonäytteenottojärjestelmät kootaan kohteen erityispiirteet huomioon ottaen paikan päällä ja asennetaan valmiiseen kairausreikään.

Tiettyihin kairauskalustoihin voidaan liittää näytteenottovälineitä (drive-point profilers), joilla vesinäytteitä saadaan usealta eri syvyytasolta yhden kairausajon aikana. Kyseisissä laitteissa näytteenottimen huuhtelu kairauksen aikana tislattulla vedellä estää eri kerroksista otettujen näytteiden kontaminoitumisen keskenään.

6.2.8 Maavesitutkimusten näytteenotto

Maanpinnan ja pohjaveden pinnan välisessä vyöhykkeessä oleva vesi on maavettä. Maavesi-

vyöhykkeessä tapahtuu pääosa sateen, haihtumisen ja valunnan välisestä vuorovaikutuksesta. Maavesimääryksiä voidaan käyttää hyväksi muun muassa arvioitaessa ihmistoimintojen vaikutuksia pohjaveteen. Maavesitutkimuksia on käytetty esimerkiksi golfradoilla, maa-ainestenottoalueilla ja metsähakkuualueilla sekä teko-pohjavesitutkimuksissa.

Maavesitutkimuksissa näytteet otetaan yleensä lysimetreistä, joita on kahta päätyyppiä: vajovesilysimetrit ja imulysimetrit (alipainelysimetrit). Eri lysimetrityypeistä saadut tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia, joten samassa tutkimuksessa tai yleensäkin saman tekijän vaikutusta selvitetessä on mielekästä käyttää samantyyppisiä lysimetrejä.

Vajovesilysimetrit

Vajovesilysimetrienvä vesi kerääntyy maaperässä alaspäin vajoavasta vedestä. Lysimetrien sisällä veden liikkumiseen vaikuttavat painovoima ja vettä maarakeisiin sitovat voimat kuten adsorptio ja pintajännitys. Painovoiman vaikutuksesta vesi liikkuu alaspäin, maarakeisiin sitovat voimat pitävät vettä paikoillaan tai nostavat sitä ylöspäin. Lysimetriastiassa vajovesi nostaa vesipitoisuutta astian sisällä. Toisaalta ympäristön pienempi vesikylläisyys pyrkii tasoittamaan potentiaalieroja eli nostamaan vettä astiasta ylöspäin. Veden liikettä alaspäin vastustaa myös adsorptio ja pintajännitys poistoletkun suulla.

Vajovesilysimetri koostuu maan sisään asennetusta lysimetriastiasta ja lysimetriastian pohjalta lähtevistä poistoletkuista, joista maavesi virtaa näytteenkeräilykaivoon. Lysimetriastiat ovat usein muovisia tai lasikuituisia, jotka eivät vaikuta maaveden laatuun. Lysimetriastia voidaan asentaa halutulle syvyydellä, ja niitä on hyvin eri mallisia ja kokoisia. Tärkeää kuitenkin on, että lysimetriastian reunat ovat tarpeeksi korkeat, jotta vesi virtaa poistoletkujen kautta näytepulloon eikä pääse reunojen ylitse lysimetriastian ulkopuolelle.

Imulysimetrit

Imulysimetreissä vesi imetään ympäröivästä maa-aineksesta ja veden tarkkaa alkuperää on vaikea määrittää. Osa imulysimetreistä saadusta

vedestä voi olla vettä, josta ei olisi pohjavettä koskaan muodostunutta.

Imulysimetreissä maahan asennetaan eri syvyysiksi pieniä keraamisia kuppeja, joista imeetään alipaineella vesinäyte näyteastian. Imulysimetrien käyttöä maastossa hankaloittaa se, että ne tarvitsevat sähkövirtaa, ja lisäksi niissä tarvitaan paljon letkuja. Imulysimetrien asennus heterogeeniseen maaperään voi olla ongelmallista, sillä maaperän makrohuokosissa virtaava vesi voi ohittaa imulysimetrit ja lisäksi veden laatu voi olla mikrohuokosissa erilaista. Imulysimetrien imuteholla on myös vaikutusta näytteiden ainepitoisuuksiin. Imulysimetrien asentaminen maastoon ei häiritse merkittävästi maakerroksen rakennetta toisin kuin vajovesilysimetrien asentaminen, jossa maaperän kerrosrakenne häiriintyy usein hyvinkin paljon.

Maavesitutkimuksiin olosuhteissa, jossa vajovesikerros on paksu, on TEMU-projektissa käytetty uusia tutkimusmenetelmiä. Projektissa tutkittiin tekopohjaveden imeytyksen aiheuttamia laatu-muutoksia vajovedessä projektissa kehitettyjen syväimu- ja vaakalysimetrien avulla Näitä on tarkemmin kuvattu tutkimushankkeen loppuraportissa (ks. 6.8).

Lysimetrienäytteiden säilytys ja varastointi

Maavesinäytteiden säilytyksessä ja varastointiajoissa noudatetaan samoja ohjeita kuin pohjavesinäytteille. Erityisesti tulee huolehtia, että näytteiden keräysastia on viileässä paikassa ja ettei näytteiden varastointiaika muodostu liian pitkäksi.

6.3 Näytteenotto eri analyysija varten

Useimmilla laboratorioilla on omiin analyysimenetelmiinsä ja laitteistoihinsa liittyviä omia näytteenotto-ohjeita, joita näytteenottajan tulee ensisijaisesti noudattaa, mikäli tässä luvussa annetut ohjeet poikkeavat laboratoriokohtaisista ohjeista.

Pohjavesitutkimuksissa otetaan ensin näytteet bakteeritutkimuksia varten. Sen jälkeen otetaan alkaliniteetti- ja hiilidioksidinäytteet, muiden kaasumaisten aineiden näytteet sekä näytteet pH:n ja sähkönjohtavuuden mittaamista varten. Näiden jälkeen otetaan muut näytteet. Kemiallisia määrittämiä varten pullot huuhdellaan

yleensä näytevedellä ennen täyttämistä. Jos pullot on erikoiskäsitelty joltain tiettyä määrittämiä varten, tai niihin on jo etukäteen laboratoriossa lisätty säilöntäkemikaaleja, niitä ei saa huuhdella ennen näytteenottoa.

Tarvittava näytemäärä riippuu määrittämissä menetelmästä ja voi vaihdella laboratoriokohtaisesti. Näytemääristä pitää sopia laboratorion kanssa ennen näytteenottoa. Näytettä on hyvä ottaa enemmän kuin vähimmäismäärä edellyttää, jotta analyysi voidaan tarvittaessa uusaa. Suuremman näytemäärän etuna on myös, että mahdollinen tutkittavan aineen adsorptio näyteastian seinämiin pienenee, kun nestettä on enemmän. Lisäksi kuljetuksen aikaiset lämpötilan muutokset ovat suurella näytemäärällä vähäisempiä kuin pienessä astiassa.

Mikrobiologiset näytteet otetaan steriileihin astioihin ja suojataan valolta. Näyteastiaa ei huuhdella näytevedellä. Yleensä viidesosa astian tilavuudesta jätetään täyttämättä, jotta siihen jää ilmatilaa. Näytteen tilavuus riippuu tutkittavista mikrobiologisista ominaisuuksista. Näytteet kuljetetaan jäädytettynä (2 - 8 °C) laboratorioon analysoitavaksi mieluummin alle 8 tunnin kuluessa näytteenotosta. Virus- ja alkueläin-näytteiden säilyvyys on parempi, jopa 48 tuntia. Ulosteperäistä likaantumista epäiltäessä on tarpeen ottaa tilavuudeltaan suurempia vesinäytteitä analysoitavaksi kuin normaalissa talousvesien valvontatutkimuksissa. Näytetilavuuden suurentaminen on tarpeen paitsi varsinaisten taudinaiheuttajien osoittamiseksi, myös indikaattoribakteerimäärittämissä.

Kaliki- ja astrovirusten osoittamiseen riittää litran vesinäyte, joka laboratoriossa väkevöidään 0,1 ml:ksi. Rinnakkaisnäytteiden otto on suositeltavaa. Virusmäärittämiä tehdään mm. Haartman Instituutissa Helsingissä. Enterovirusia voidaan molekyylibiologisten menetelmien ohella määrittää myös viljelemällä, jolloin käytetään useamman litran vesinäytteitä. Valmius viljelymäärittämiin on Kansanterveyslaitoksella Helsingissä.

Kampylo- ja salmonellabakteerimäärittämiin suositellaan 1 - 10 litran vesinäytteitä, joista bakteerit suodatetaan kalvoille, jotka siirretään rikastusliemiin. Suodatettavan veden määrä riip-

puu sameudesta. Rinnakkaisilla näytteillä lisätään tulosten luotettavuutta. Kampylobakteerit ovat erityisen herkkiä hapelle, joten näytepullot on syytä ottaa täyteen vettä ja toimittaa nopeasti laboratorioon tutkittavaksi. Yleisimpien taudinaiheuttajabakteerien määrittämisä tekevät kunnalliset elintarvike- ja ympäristölaboratoriot.

Alkueläinten aiheuttamia vesiepidemioita ei ole Suomessa vielä raportoitu, mutta sekä *Giardia*-että *Cryptosporidium*-alkueläinten kestonuotoja esiintyy mm. yhdyskuntajätevesissä. Alkueläinten osoittamiseen pohjavedestä tarvitaan useiden kymmenien litrojen vesinäytteitä, jotka väkevöidään käyttäen erityisiä patruunoita tai vaihtoehtoisesti suuria suodatinkalvoja. Valmius alkueläinten tutkimiseen on Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisessä tiedekunnassa. Kaikissa vesiepidemiaepäilyissä on aina otettava yhteyttä Kansanterveyslaitokseen, josta saa myös näytteenotto-ohjeita.

Happinäyte otetaan näytteenottimella lasiseen noin 130 ml hiostulpalliseen näytepulloon siten, ettei näytteeseen pääse ilmaa. Näytteenottoletkun pää viedään näytepullon pohjalle. Letkua voidaan tarpeen mukaan jatkaa silikoniletkulla, jotta se ylettyy pohjaan saakka. Pullo täytetään hitaasti niin, että veden annetaan valua hiljalleen reunojen yli vähintään kaksi kertaa pullon tilavuuden verran. Tarkistetaan, ettei pullossa ole ilmakuplia. Letku vedetään varovasti pullosta pois niin, että nestepinta pullon suulla jää ylöspäin koholle. Pullo suljetaan tämän jälkeen, mikäli happipitoisuus mitataan elektrodilla. Jos happipitoisuus määritetään titraamalla, lisätään saostusreagenssit (2 kpl) välittömästi pullon pohjalle pipetin avulla. Pullo suljetaan niin, ettei siihen jää ilmakuplia. Näytepulloa käännettäessä rauhallisesti useita kertoja ylösalaisin, jotta reagenssit sekoittuisivat ja happi reagoisi kemikaalien kanssa. Näytepullot suojataan valolta ja kuljetetaan kylmässä. Happimäärittäystä varten otetaan usein kaksi rinnakkaisnäytettä siltä varalta, että toiseen pulloon ilmaantuisi ilmakupla esimerkiksi kuljetuksen aikana. Happinäytteet, joissa on selvästi havaittavissa ilmakupla, tulee hylätä. Näytteenotinta tai noudinta käytettäessä happinäyte otetaan ensimmäisenä. Usein happi määritetään happimittarilla heti paikan päällä.

Alkaliniteetti- ja hiilidioksidimäärittäystä varten näyte otetaan noin 500 ml hiostulpalliseen lasipulloon. Korkiksi käy myös tiivis kierrekorkki, joka on kuljetuksen kannalta usein parempi kuin hioskorkki. Näyte otetaan samalla tavalla kuin happinäyte. Näytteenoton jälkeen on muistettava vielä tarkistaa, että pulloon ei ole jäänyt ilmakuplia. Sen voi tehdä esimerkiksi kääntämällä pullon ylösalaisin.

Öljynäytteiden analysoinnista on aina sovittava laboratorion kanssa erikseen, jotta näytteet saadaan analysoitua mahdollisimman nopeasti. Tutkimuksen tarkoituksesta riippuu, millaiseen astiaan öljynäyte otetaan. Mikäli halutaan määrittää kokonaishiilivetyjen, öljyjen ja rasvojen kokonaispitoisuus IR-menetelmällä (SFS 3010), näytettä otetaan 2,5 litraa hiilitetrakloridilla pestyyn lasipulloon. Viidesosa pullon tilavuudesta jätetään täyttämättä. Kun vedessä on runsaasti öljyä, voidaan käyttää litran pulloa.

Jos öljyjen määrittämiseen käytetään kaasukromatografisia menetelmiä, näyte otetaan hiostulpalliseen näytepulloon niin, ettei pulloon jää ilmatilaa. Näytepullon täyttö tapahtuu samalla tavoin kuin happinäytettä otettaessa, tarvittava vesimäärä eli näytepullo on yleensä suurempi. Joskus on suositeltavaa kuumentaa hyvin pesty ja huuhdeltu näytepullo korkkeineen noin 300 °C lämpötilaan lämpökaapissa, jotta siinä mahdollisesti olevat, analyysia häiritsevät aineet häviäisivät. Suositeltavinta olisi ottaa näyte mahdollisuuksien mukaan suoraan analyysilaitteistoon sopivaan näyteampulliin. Punnittuihin ampulleihin voidaan lisätä etukäteen analyysissa mahdollisesti tarvittavat lisäaineet kuten suola. Näin näyteastiaa ei enää tarvitse avata laboratoriossa. Tällä tavoin varmistetaan, ettei näytteestä pääse haihtumaan helposti haihtuvia ainesosia ennen analysointia. Käytettävissä pullotyypeissä ja näytevesimäärissä voi olla laboratorio-kohtaisia eroja.

Polttoaineilla ja liuottimilla likaantuneesta pohjavedestä otetaan näytteet samalla tavalla kuin muihin kaasukromatografisilla menetelmillä tehtäviin tutkimuksiin, eli hiostulpallisiin lasipulloihin tai ampulleihin. Näytepullon täyttö tapahtuu samalla tavoin kuin happinäytettä otettaessa, tarvittava vesimäärä eli näytepullo on



Kuva 6.3. Happinäytteen otto. Näytteenottoletku työnnetään pullon pohjalle ja veden annetaan valua pullon reunojen yli vähintään kaksi kertaa pullon tilavuuden verran (yläkuva). Näytteenottoletku vedetään varovasti pois niin, että nestepinta pullon suulla jää ylöspäin koholle (vasen alakuva). Jos happipitoisuus määritetään elektrodilla, suljetaan pullo tämän jälkeen niin, ettei siihen jää ilmakuplia. Jos happipitoisuus määritetään titraamalla, lisätään saostusreakenssit (oikea alakuva). Näytepullot täytetään samalla periaatteella otettaessa pohjavesinäytettä mm. alkaliniteetti- ja hiilidioksidimäärytyksiä sekä polttoainehiilivetyjen ja liuotimien määrytyksiä varten. Kuvat T. Kinnunen.

yleensä suurempi. Käytettävissä pullotyypeissä ja näytevesimäärissä voi olla laboratoriokohtaisia eroja.

Radon on radioaktiivinen alkuaine, joka poikkeaa muista radionuklideista kemiallisesti. Radonin liukoisuus 10 asteiseen veteen on yli 60 kertaa suurempi kuin hapen. Radonin näytteenotto onkin tehtävä erityisen huolellisesti, jotta

siinä ei menetetä radonia. Näyte tulee toimittaa mittaukseen mielellään heti näytteenottopäivänä, koska radonin puoliintumisaika on vain vajaa neljä päivää. Tarkka näytteenottoaika kellon-aikoiheen tarvitaan tuloksen laskemista varten.

Muut radioaktiiviset aineet pohjavedessä ovat pysyviä, puoliintumisajaltaan pitkiä ja muodostavat erilaisia yhdisteitä. Kemiallisten yhdisteiden

den muoto riippuu vallitsevista olosuhteista, kuten muista vedessä esiintyvistä ioneista. Radioaktiivisille aineille on tyypillistä voimakas adsorptio näyteastioiden seinämiin. Tämän vuoksi näytteet tulee kestävöidä määrittymenestelmästä riippuen joko suola- tai typpihapolla. Hapon lisäys on hyvä tehdä mahdollisimman nopeasti näytteenoton jälkeen.

Veden radonpitoisuus sekä muiden radioaktiivisten aineiden pitoisuudet voidaan määrittää lasipulloon otetusta näytteestä. Näytteenottoon soveltuu kierrekorkillinen, puhdas lasipullo, jonka tilavuus on puolesta litrasta litraan. Muovipullo ei sovellu tarkoitukseen. Pullon korkissa tulee olla hyvä tiiviste. Otettaessa näytettä talousvedestä vetä juoksutetaan reippaasti ennen näytteenottoa niin, että vesi saadaan vaihtumaan. Juoksutusta jatketaan kunnes veden lämpötila muuttuu vakioksi. Lopuksi veden annetaan valua vähän aikaa pienellä paineella ennen näytteenottoa. Pullo otetaan aivan täyteen, mikäli se pystytään kuljettamaan laboratorioon kylmänä. Jos näyte lähetetään postitse, pullon kaulaan on jätettävä tyhjää tilaa noin 1–2 cm, jotta pullo ei rikkoudu lämpölaajenemisen takia. Pullo suljetaan tiukasti välittömästi näytteenoton jälkeen.

Radonnäyte voidaan ottaa myös nestetuikepulloon, mutta silloin näytteestä ei voida analysoida muita radioaktiivisia aineita. Nestetuikepullo on kirkas lasipullo, joka on esitäytetty geelimäisellä tukeaineella. Aine sitoo radonin itseensä, joten sitä ei saa kaataa pois. Jos nestetuikepullon korkkiin on kiinnitetty tunnus, sitä ei saa ottaa pois. Pullon kylkiin ei myöskään saa kirjoittaa merkintöjä. Vettä valutetaan pullon kaulaan saakka kohtaan, jossa pullo alkaa kaventua. Näytteenoton jälkeen nestetuikepullon korkki suljetaan huolellisesti ja pulloa ravistellaan niin, että seoksesta tulee yhtenäisen näköinen.

6.4 Kenttämääritykset

Pohjavesitutkimusten yhteydessä tehdään usein myös kenttämittauksia. Tavallisimmin kentällä in situ mitataan pohjaveden lämpötila ja happipitoisuus sekä toisinaan myös hapetus-pelkistys-potentiaali (Eh-potentiaali). Näytteenoton yhteydessä saatetaan mitata myös veden pH, säh-

könjohtavuus ja rautapitoisuus sekä harvemmin hiilidioksidipitoisuus. Pohjaveden lämpötila ja Eh-potentiaali voidaan määrittää ainoastaan kentällä. Kaikkien mittarien osalta on oleellista toimia mittarin oman käyttöohjeen mukaan. Myös monet muut mitattavat ominaisuudet muuttuvat herkästi heti näytteenoton jälkeen. Sen vuoksi näytteet joko esikäsitellään kentällä tai säilötään heti näytteenoton jälkeen. Herkimmin muuttuvat veden pH, sähkönjohtavuus, alkaliniteetti, mikrobiologiset ominaisuudet, liukoisten metallien pitoisuudet, hiilidioksidipitoisuus sekä muiden kaasumaisten aineiden, kuten rikkivedyn, pitoisuudet. Myös helposti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet muuttuvat hyvin nopeasti. Näytteet on aina toimitettava nopeasti tutkimuslaboratorioon, jotta analyysit voidaan tehdä mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen.

Tavallisessa pohjavesitutkimuksessa kaikki havaintoputkista tehtävät kenttämittaukset tulee tehdä vasta, kun putkista on pumpattu riittävästi vettä, ja vesi on vaihtunut tehokkaasti. Putkista kauan seissyt vesi antaa virheellisen tuloksen. Kenttämääritykset samoin kuin näytteiden mahdollinen kestävöinti laboratorioanalyysijä varten tehdään aina viimeisinä varsinaisen näytteenoton jälkeen.

Vesinäytteen suodattaminen heti kentällä on suositeltavaa etenkin silloin, kun näyte on samaa. Erityisesti rauta- ja mangaanimääritysten luotettavuuden parantamiseksi suodattaminen on usein suositeltavaa. Kentällä suoritettavissa suodatuksissa ja muissa toimenpiteissä näytteen kontaminaatoriski on kuitenkin suuri. Näytteen likaantuminen vaikuttaa virheellisesti tuloksiin. Sen vuoksi pitää aina harkita, onko kentällä suodattaminen välttämätöntä, vai voiko näytteen suodattaa välittömästi laboratoriossa. Sameaa näytettä ei pidä kestävöidä.

Veden happamuutta kuvaava pH-arvo on tärkeä pohjaveden laatuominaisuus, joka kertoo pohjaveden mahdollisesta kerroksellisuudesta sekä antaa viitteitä veden kemiallisesta koostumuksesta. Veden pH on mitattava välittömästi, koska pH-arvo muuttuu hyvin nopeasti. Veden pH mitataan sähköisesti. Mittarit ovat erilaisia ja aina on toimittava mittarin oman käyttöohjeen

mukaan. Periaatteena on kahden elektrodin välisen potentiaalieron mittaaminen. Toinen elektrodi on vertailuelektrodi, jonka potentiaali tunnetaan vetyelektronin suhteen, toisen elektrodin potentiaali on riippuvainen mitattavan liuoksen happamuudesta. pH-mittauksessa elektrodeina voivat olla joko erilliset pH- ja vertailuelektrodit tai ns. yhdistelmäelektrodi, jossa kumpikin elektrodi on yhdistetty samaan elektrodiin. Mikäli kyseessä on vähän liuenneita suoloja sisältävä näyte, pidetään erillisiä elektrodeja usein tarkempana vaihtoehtona kuin yhdistelmäelektrodia. Laitteessa on mukana lämpötilaa mittaava elementti, joka huomioi lämpötilan vaikutuksen mittaustulokseen. Mikäli näin ei ole, tulee lämpötila mitata erikseen. Myös Eh-potentiaali mitataan käyttämällä pH-mittaria.

Mittari kalibroidaan aina ennen mittausta tunnetuilla puskuriliuoksilla. Kalibrointi tehdään aina mittarin oman ohjeen mukaisesti. Kalibrointiin käytetään yleensä vähintään kahta puskuriliuosta, joista toinen on lähellä isopotentiaalipistettä (pH 7) ja toisen pH on sellainen, että mitattavat näytteet jäävät pH:ltaan puskuriliuosten väliin. Mittarin kalibroinnissa käytettävät puskuriliuokset hävitetään aina käytön jälkeen, sillä vanhentuneet tai likaantuneet puskuriliuokset ovat yleisiä pH-mittauksen virhelähteitä. Liuosten kulutuksen minimoimiseksi kannattaa puskuriliuoksille hankkia mahdollisimman pienet astiat. Elektrodit tulee huuhdella mittausten välillä. Niitä ei saa hangata paperilla, sillä tällä tavoin mahdollisesti tapahtuva polaroituminen voi aiheuttaa mittausrvirheen. Myös lämpötila saattaa aiheuttaa virheellisen mittaustuloksen. Elektrodi ei saa kuivua (säilytetään nesteessä), eikä suolaa saa muodostua membraanin ja vertailuelektrodin päälle. Siinä ei myöskään saa olla naarmuja tai säröjä.

Veden sähkönjohtavuus kuvaa veteen liuenneiden, ionisoituneiden aineiden kokonaispitoisuutta eli veden suolaisuutta. Sekin on riippuvainen veden lämpötilasta, joten lämpötila on huomioitava mittaauksessa. Sähkönjohtavuudet mitataan usein laboratoriossa, jossa näyte temperoidaan aina samaan mittaustempötilaan. Mittari kalibroidaan tunnettujen suolapitoisuuksien avulla ennen mittausta.



Kuva 6.4. Pohjaveden lämpötilan mittaus näytteenoton yhteydessä. Kuva T. Kinnunen

Pohjaveden happipitoisuudella on veden laadun kannalta tärkeä merkitys. Pohjaveden happipitoisuuden mittaus on korvannut lähes täysin hankalan Eh-potentiaalimittauksen. Eh-potentiaali tulisi mitata itse pohjavesivyyhykkeestä, eikä maan pinnalle nostetusta näytteestä. Molempien mittausten antaman tiedon avulla voidaan arvioida esimerkiksi raudan ja mangaanin liukenemista tutkittavassa pohjavesiesiintymässä.

Happimittareissa on yleensä automaattinen lämpötilakompensointi sekä käsin säädettävä karkea suolapitoisuuden kompensointi suolaisia vesiä varten. Happelektrodissa on polarografinen tuntoelementti, jota peittää teflonkalvo. Mittari kalibroidaan joko Winkler-titrauksella laboratoriossa, ilmalla kyllästetyllä vedellä tai ilmassa. Virheellinen kalibrointi aiheuttaa virheen mittaustuloksiin. Happimittauksessa eräs tavallisimmista virhelähteistä on teflonkalvon alle syntynyt ilmakupla. Kylmissä

olosuhteissa lämpötilan kompensointi vaatii tavallista pidemmän ajan tasaantuakseen. Mikäli kokonaismittausaika pitenee muusta syystä, anturi on syytä huoltaa. Kalvo pitää vaihtaa aina, kun elektrodi on päässyt kuivumaan tai siinä on reikiä tai ryppyjä.

Lämpötila mitataan aina pohjavesitutkimuksen yhteydessä. Se täydentää muita mittauksia ja voi antaa viitteitä esimerkiksi pohjaveden kerrostuneisuudesta. Pohjaveden lämpötila voidaan mitata sähkönjohtokyvyn mittaukseen käytetyn laitteiston avulla tai pumppauksen yhteydessä virtaavasta vedestä lämpömittarin avulla. Lähteistä tai kaivosta lämpötila voidaan mitata myös noutimeen asennetulla lämpömittarilla. Lämpömittareiden näyttämät tulee tarkistaa jäljitettävästi kalibroitua vertailumittaria vasten, ja mittarin virhe on otettava huomioon mittaustuloksessa. Tavalliset lämpömittarit voivat näyttää parikin astetta väärin, mikä vaikuttaa merkittävästi muun muassa hapen kyllästysarvoon. On myös huomioitava, että vesi lämpenee hieman pumpattaessa.

Mittareiden laadussapito ja kalibrointi ovat tärkeitä tehtäviä, joista tulee huolehtia hyvin niin kenttälaitteiden kuin laboratoriolaitteidenkin osalta. Kalibrointi tulee tehdä jäljitettävästi kansallisiin mittanormaaleihin. Mittareille tulee laatia kalibrointiohjelma ja ohjeistus, joista käy ilmi, miten ja kuinka usein kalibrointi tapahtuu, sekä kenen vastuulla työ on. Kalibroinnista pitää olla dokumentti laitekansiossa tai muussa helposti löydettävissä olevassa paikassa. Mittariin on hyvä liittää tarra, jossa kerrotaan, milloin se on kalibroitu ja koska se tulee kalibroida uudelleen. Laitteiden kalibrointitiheys riippuu mittarista, käyttötarkoituksesta ja halutusta tarkkuudesta.

Kentällä tehtäviin toimenpiteisiin kuuluvat myös näytteiden säilöntä analyysien vaatimalla tavalla sekä kenttämuistion tai näytteenotto-pöytäkirjan täyttäminen. Tarkempia ohjeita näytteiden kestäväöinnistä saa tutkivasta laboratorion tai ”Vesitutkimusten näytteenottomenetelmät” -julkaisusta.

6.5 Vesinäytteiden käsittely, kuljetus ja säilytys

Näytteet pitää toimittaa laboratorioon mahdollisimman pian tutkimuksen sisällöstä riippumatta. Näytteen ominaisuudet voivat muuttua monien sisäisten ja ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Tavoitteena tulisi olla, että kaikki näytteet olisivat laboratoriossa näytteenottopäivänä, mikrobiologiset näytteet jo hyvissä ajoin ennen työpäivän päättymistä. Varsinkin bakteerinäytteiden ja haihtuvien hiilivetyjen tutkiminen tulisi aloittaa pikaisesti näytteenoton jälkeen. Sama koskee hiilidioksidi-, alkaliniteetti-, sulfidi- ja syanidimäärytyksiä. Taulukossa 6.5 kerrotaan pohjavesitutkimuksissa yleisimmin esiintyvien yhdisteiden säilyvyys.

Vesinäytteet säilytetään ja kuljetetaan laboratorioon kylmässä ja pimeässä. Kesällä kuljetuslaatikoissa käytetään kylmävaraajia, jotta näytteet säilyvät viileinä. Talvella näytteet tulee eristää pakkaselta, sillä ne eivät saa jäätymä. Minimi-maksimilämpömittarin käyttö on varsinkin kesällä suositeltavaa. Näytteiden mukaan liitetään lähete, josta käy ilmi työn tilaaja, vastuullinen näytteenottaja, näytteenottoaika ja -aika sekä selvitys, mitä näytteistä halutaan tutkittavan ja muita mahdollisesti tutkimukseen vaikuttavia tekijöitä.

Laboratorion antamia kestäväointiohjeita tulee noudattaa tarkoin. Useat laboratoriot toimittavat pyydetessä analysoitavien laatu-tekijöiden ja käytettävien analyysimenetelmien kannalta tarkoituksenmukaiset näyteasiat sekä kestäväointiohjeet ja kestäväointiin tarvittavat välineet ja aineet.

Likaantuneita näytteitä ei saa kuljettaa samassa kuljetuslaatikossa ”puhtaiden” näytteiden kanssa, sillä huolellisestikin suljetuista näytteistä voi aiheutua ristiinkontaminaatiota ”puhtaisiin” näytteisiin.

6.6 Vesinäytteistä tehtävät analyysit

Ennen pohjavedestä otetun näytteen tutkimista on tiedettävä, mitä tarkoitusta tehdyt tutkimukset ja saadut tulokset palvelevat. Yksityisten kaivovesien, pienten vedenottamoiden ja toisaalta eri tarkoituksia palvelevien pohjavesinäytteiden tutkimukset voivat sisällöltään olla varsin eri laajuisia.

Kattavaa listaa siitä, mitä milloinkin pitää tutkia, on mahdotonta antaa. Seuraavassa on esitetty joitakin näkemyksiä tutkimuksen sisällöstä tulosten käyttötarkoituksen perusteella pohdittuna.

Kaivovesinäytteiden laadun tutkimukseen laboratorioilla on usein sekä mikrobiologisia paketteja että suppeita ja laajoja tutkimuspaketteja. Tutkimusten sisältö voi hieman vaihdella laboratoriosta riippuen, mutta yleensä jo näillä tutkimuksilla saadaan hyvä kuva kaivoveden mikrobiologisesta ja fysikaalis-kemiallisesta laadusta. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan yleensä tule ilmi esimerkiksi orgaanisten yhdisteiden esiintyminen vedessä. Jos epäillään, että liuottimia tai bensiinihiilivetyjä on joutunut kaivoveteen, tulee niiden tutkimista pyytää erikseen. Orgaanisten, helposti haihtuvien yhdisteiden hajukynnykset ovat yleensä varsin matalia, joten usein näytteen hajusta voidaan päätellä sen

sisältävän orgaanisia yhdisteitä. Erityisesti on mainittava, että varsinkin kallioporakaivoista on syytä tutkia mahdollisen radonin, uraanin, fluoridin ja arseenin esiintyminen, mikäli on syytä olettaa niitä esiintyvän kallioperässä. Nämä eivät yleensä kuulu ”rutiinipaketteihin”.

Taulukossa 6.6 on esimerkki, millaisia parametreja eri tyyppisissä kaivovesien (tai verkostovesien) tutkimuksissa voidaan tutkia.

Kaivovesitutkimusten ohella myös muista pohjavesinäytteistä tutkitaan usein edellä mainittuja laatutekijöitä. Pohjavesitutkimusten tarkoitus määrää sen, mitä yhdisteitä näytteistä tulee tutkia. Tutkimuksen syynä voi olla kaivon paikan selvitys, raakaveden käsittelytarpeen selvittäminen, korroosioon liittyvät tutkimukset tai eri syistä pohjaveden laatuun liittyvät tutkimukset.

Kun kyseessä on raakavesilähteenä käytettävän pohjaveden laatu, tulee näytteestä tutkia

Taulukko 6.5 Pohjavesitutkimuksissa yleisimmin esiintyvien yhdisteiden tai ominaisuuksien ohjeellinen säilyvyys näytteenottohetkestä laskettuna.

Säilyvyys alle 1 vrk	Säilyvyys noin 1 vrk	Säilyvyys 1 - 7 vrk	Säilyvät pitkään
Alkaliniteetti	Mineraaliöljyt	Arseeni (7vrk)	Natrium
Ammonium			
Fenolit	Monet orgaaniset yhdisteet	Bromidi (7vrk)	Kalium
(kestäväitynä)			
Fosfaatti	Sameus	Elohopea (7vrk)	Kalsium
Hiilidioksidi	Sulfidi	Fluoridi (7vrk)	Magnesium
Kiintoaine	Sähkönjohtavuus	Happi	Metallit
		(3 vrk saostettuna)	
Kokonaisfosfori	Väriluku	Kaliumpermanganaattiluku (7 vrk kestäväitynä)	Boori
(ei kestäväitö)			
Kokonaistyyppi		Kokonaisfosfori	Fluoridi (neutraali näyte useita kk)
(ei kestäväitö)		(7 vrk kestäväitynä)	
Kromi (VI)		Kokonaisrikki	Kloridi
		(7 vrk kestäväitynä)	
Nitraatti		Kokonaistyyppi	Silikaatti
(ei kestäväitö)		(7 vrk kestäväitynä)	
Nitriitti		Kuiva-aine (7 vrk)	
pH		Nitraatti	
		(7 vrk kestäväitynä)	
		Sulfaatti (7 vrk)	
		Sulfidi	
		(2 vrk kestäväitynä)	

STM:n asetuksen n:o 461/2000 mukaan varsin laaja valikoima parametreja ennen kuin vesi voidaan ottaa käyttöön. Kun taas raakavettä tutkitaan käsittelyn kannalta, tutkitaan niitä parametreja, joihin käsittelyllä halutaan vaikuttaa. Usein esimerkiksi alkalioinnin kemikaalimäärän arviointiin tarvitaan tietoa raakaveden laadusta. Tällöin määritetään muun muassa hiilidioksidin määrä ja alkaliniteetti. Veden lämpötila mitataan aina näytteenoton yhteydessä, koska sillä on merkitystä tulosten tulkinnan kannalta (näytteen edustavuus, korroosio-ominaisuudet).

Veden korroosio-ominaisuuksien selvittämiseksi tutkitaan tapauksesta riippuen ainakin kaivoveden sähkönjohtavuus, alkaliniteetti, vapaan hiilihapon määrä, sulfaatti- ja kloridipitoisuus sekä kokonais- ja kalsiumkovuus. Näiden lisäksi tulee selvittää myös veden käyttölämpötila. Kun kyseessä on kiinteistön vedenjakelulaitteissa esiintyvät korroosiohaitat, pitäisi näytteet ot-

taa sekä putkistossa yön yli seisseestä vedestä että juoksutetusta vedestä.

6.6.1 Juoma- ja talousvesianalyysit

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut ohjeet talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (Suomen säädöskokoelma 461/2000). Asetus perustuu EU:n neuvoston antamaan direktiiviin ihmisten käyttöön tarkoitettun veden laadusta. Se sisältää direktiivin mukaiset talousveden laatuvaatimukset sekä määräykset talousveden valvontatutkimuksista. Asetus koskee vettä, jota toimitetaan talousvetenä käytettäväksi vähintään 10 m³ päivässä tai yli 50 henkilön tarpeisiin tai elintarvikkeiden tuotannossa käytettyä vettä tietyin rajoituksin. Pienempien talousvettä toimittavien laitosten ja yksittäisten kaivojen talousvesien tutkimuksissa noudatetaan STM:n asetusta pienten yksiköiden talousveden

Taulukko 6.6 Vesinäytteistä tutkittavia laatutekijöitä.

Laatutekijä	Mikrobiologinen tutkimus	Suppea analyysi	Laaja analyysi
Koliformiset bakteerit 36°C	X	X	X
E. coli	X	X	X
Aistinvarainen arviointi (haju, maku, ulkonäkö)	X	X	X
pH		X	X
Sähkönjohtavuus		X	X
Permanganaattiluku (hapettavuus) tai TOC		X	X
Nitriitti		X	X
Nitraatti		X	X
Ammonium		X	X
Rauta		X	X
Kloridi		X	X
Väriluku		X	X
Mangaani		X	X
Fluoridi			X
Kokonaiskovuus			X
Sameus			X
Arseeni			porakaivot
Radon (uraani)			porakaivot
Alkaliniteetti, CO ₂ , O ₂			tarvittaessa

laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (Suomen säädöskokoelma 401/2001), jos kyseessä ei ole julkinen tai kaupallinen toiminta.

Talousveden valvonnassa säännöllisesti tarkasteltavat suuret on jaettu jatkuvaan valvontaan ja jaksottaiseen seurantaan. Jatkuvan valvonnan tavoitteena on saada säännöllistä tietoa talousveden aistinvaraisesta ja mikrobiologisesta laadusta sekä talousveden käsittelyn, erityisesti desinfioinnin, tehokkuudesta ja laatuvaatimusten täyttymisestä. Jaksottaisessa seurannassa selvitetään, täyttääkö talousvesi asetuksen liitteen I mukaiset vaatimukset. Jokaisen vesilaitoksen on laadittava oma laitoskohtainen valvontaohjelmansa, jossa otetaan huomioon paikalliset olosuhteet. Vesilaitosta perustettaessa vedenlaatu tulee tutkia asetuksen mukaisesti.

Yksityiskaivojen vedenlaadun seuranta on yleensä keskittynyt veden mikrobiologisen käytökelpoisuuden varmistamiseen sekä mahdollisten terveydelle haitallisten aineiden selvittämiseen. Veden mikrobiologista laatua ilmentävien indikaattoribakteereiden (*Escherichia coli*, suolistoperäiset enterokokit) lisäksi voidaan tutkia kaivoveden kemiallista laatua. Tällöin vesinäytteistä analysoidaan pH, sähkönjohtavuus, terveydelle haitalliset typpiyhdisteet (nitriitti, nitraatti), ammonium, veden orgaanisen aineksen määrää kuvaava permanganaattiluku, hapettuvuus tai TOC sekä raudan ja mangaanin pitoisuudet. Lisäksi määritetään aistinvarainen laatu eli veden maku ja haju. Laajemmassa tutkimuksessa selvitetään edellisten lisäksi veden kovuus, sameus sekä kloridin ja sulfaatin pitoisuudet. Myös fluoridimääritys on hyvä tehdä rapakivialueilla. Arseenin ja radonin sekä uraanin pitoisuudet on hyvä selvittää erityisesti porakaivoista alueille, joiden kallioperässä niitä on runsaasti.

6.6.2 Pohjaveden laadun seuranta

Tällä hetkellä on toiminnassa valtakunnallinen pohjaveden seurantaverkosto, johon on yhdistetty ympäristöhallinnon (alueellisten ympäristökeskusten hoitama ja SYKEN koordinoima) pohjavesiasemaverkko ja Geologian tutkimuskeskuksen pohjavesiseurantaverkko. Kyseinen

yhteinen verkosto seuraa sekä pohjaveden pinnankorkeutta että pohjaveden laatua.

Vesipuidedirektiivi lisää pohjaveden seurannan velvoitetta. Kaikkien pohjavesimuodostumien (I ja II luokan luokitellut pohjavesialueet) ominaispiirteet tullaan arvioimaan. Arvioinnin yhteydessä selvitetään myös, minkä laatuista vettä ko. muodostumassa esiintyy.

Seurantavelvoitteet jaetaan perusseurantaan ja tätä täydentävään toiminnalliseen seurantaan. Perusseurannan tavoitteina on luontaisten ja ihmistoiminnan vaikutusten seuraaminen pitkällä aikavälillä. Pohjaveden pinnan korkeutta tulee seurata siten, että mahdollinen liiallinen vedenkorkeuden alenema tulee havaituksi. Lisäksi kannattaa seurata luonnontilaisia pohjaveden pinnan korkeuksia, jotta pystytään osoittamaan, mikä on vedenotosta johtuvaa pinnankorkeuden vaihtelua ja mikä luontaista. Perusseurannassa määritettäviä suureita ovat happipitoisuus, pH, sähkönjohtavuus, nitraatti, ammonium. Näitä tulee seurata kaikissa ko. pohjavesimuodostumissa tai niiden ryhmissä. Ympäristöpainneiden vaikutuksia osoittavia lisämuuttujia seurataan siellä, missä niitä esiintyy. Tätä toiminnallista seurantaa jouduttaneen tekemään tiheämmin kuin varsinaista perusseurantaa. Toiminnallinen seuranta painottuu alueille, joilla on eri tyyppisiä ihmisen toimintoja. Toiminnan harjoittajalla tulee olemaan suuri vastuu seurannan järjestämisestä.

Kemiallinen seuranta

Pohjaveden laatua seurataan systemaattisesti ympäristöhallinnon ja Geologian tutkimuskeskuksen seurantakohteissa. Pääsääntöisesti näytteitä otetaan neljä kertaa vuodessa. Kohteet edustavat erilaisia ilmasto-, maasto-, kallioperä- ja maaperäoloja Suomessa. Ympäristöhallinnon kohteet on aikoinaan perustettu alueille, joilla ihmisen toiminnan vaikutukset ovat olleet mahdollisimman vähäisiä. Ne ovat hydrogeologisesti yhtenäisiä pohjaveden muodostumisalueita tai niiden pienempiä rajattuja alueita, joiden koot vaihtelevat 0,2 ja 3,0 km² välillä. Pohjaveden muodostumista ja pohjaveden laadun muutoksia voidaan arvioida vesi- ja ainetaseiden avulla. Pohjaveden näytesarjat kerätään pohjavesiasese-

man muodostumisalueella tai lähistöllä olevista lähteistä. Näytteistä on määritetty sähkönjohtavuus, alkaliniteetti, pH, N_{tot} , $N\text{-NO}_3$, $N\text{-NH}_4$, P_{tot} , $P\text{-PO}_4$, Cl, Fe, Mn, SO_4 , Na, K, Ca, Mg, SiO_2 , F, Al, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Hg ja TOC. Vuodesta 2003 lähtien on määritetty näiden lisäksi Sb, As, Ba, Be, B, O_2 , Ag, Co, Cr, Li, Mo, Rb, Se, Sr, Tl, Th, U, V ja Bi. Vesianalyysimenetelmien kehittymisen seurauksena määrittystarkkuudet ovat seurantajakson aikana saattaneet muuttua huomattavastikin.

Geologian tutkimuskeskus on seurannut 1960-luvulta lähtien pohjaveden ominaisuuksia erilaisissa geologisissa kerrostumissa eri puolilla Suomea. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää geologisten ja geokemiallisten tekijöiden sekä ihmisen vaikutusta pohjaveden laatuun ja määrään. Täysin luonnontilaisia alueita on mukana vain muutamia. Näytteenoton yhteydessä mitataan pohjaveden pinnanasema ja lähteiden virtaamat. Näytteenotto suoritetaan 1 - 4 kertaa vuodessa. Vedestä mitataan kentällä pH, sähkönjohtavuus, lämpötila sekä happi- ja hiilidioksidipitoisuus.

Laboratoriossa määritetään pH, sähkönjohtavuus, väri- ja KMnO_4 -luku, alkaliteetti, SO_4^{2-} , Cl, F, Br, NO_3^- , PO_4^{3-} , Ca, Mg, Sr, Ba, Be, Na, K, Li, Rb, SiO_2 , kokonaiskovuus, Al, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Cd, V, Mo, Se, Ag, Tl, As, Sb, Bi, Rn, U, Th, δD ja $\delta^{18}\text{O}$.

Määrällinen seuranta

Pohjaveden pinnankorkeutta seurataan pohjavesiasemilla pohjavesikentistä siten, että kullakin asemalla on 10 pohjavesiputkea, joita havainnoidaan kahden viikon välein. Osa putkista on varustettu piirturilla tai automaattisella mittalaitteella. Putkien pinnankorkeuksista lasketaan kenttäkeskiarvo, jota vertaamalla saadaan tietoa kulloisestakin pohjavesitilanteesta verrattuna aikaisempiin vuosiin ja keskimääräisiin ajankohdan pinnankorkeuksiin. Näin saadaan selville kulloinenkin pohjavesitilanne. Kulloistakin pohjavesitilannetta aikasarjoihin vertaamalla saadaan tietoa pohjaveden määrän vaihteluista.

Velvoitetarkkailut

Velvoitetarkkailut perustuvat yleensä aikaisemmin vesioikeuden, nykyisin ympäristölupavirastojen vedenotto- ja ympäristölupien lupamääräyksiin, joissa luvansaaaja määrätään tarkkailemaan luvan saaneen hankkeen ympäristövaikutuksia. Vedenottamoiden velvoitetarkkailuissa tarkkaillaan yleensä vedenottamolta otettuja vesimääriä sekä pohjavedenpinnan korkeutta vedenottamopaikan ympäristössä. Uusimmissa luvissa saattaa olla velvoitteita seurata myös pohjaveden laatua.

EUROWATERNET-seuranta

EUROWATERNET on koko Euroopan kattava veden määrän ja laadun seurantaverkko, joka koostuu jäsenvaltioiden omista, EU:n ohjeiden mukaan laadituista seurantaverkoista. Jäsenvaltiot toimittavat tiedot Euroopan ympäristökeskukseen, joka kokoaa ja raportoi ne. Tietojen avulla laaditaan koko Eurooppaa koskevia vedenlaatuselvityksiä. Suomen EUROWATERNET seurantaverkko sisältää noin 250 järvihavaintopaikkaa, 200 jokihavaintopaikkaa ja 200 pohjavesihavaintopaikkaa, joista noin 50 sijaitsee luonnontilaisilla alueilla ja loput vesilaitosten ja muiden toiminnanharjoittajien toiminta-alueilla. Näillä seurataan sekä pohjaveden laatua että pinnankorkeutta.

Hankkeisiin liittyvät valtakunnalliset ja alueelliset seurannat

Erilaisiin suurempiin hankkeisiin liittyy tietyn aikavälin seurantoja. Nämä ovat usein määräaikaisia ja loppuvat tietyn ajan kuluttua. Jos kyseisillä seurannoilla katsotaan olevan pidempiaikaista hyödyllistä käyttöä joko valtakunnallisesti tai alueellisesti, tulisi selvittää mahdollisuudet jatkaa kyseistä seurantaa hankkeen päättämisenkin jälkeen.

6.7 POHJAVEDEN KÄSITTELY- TUTKIMUKSET

6.7.1 Luonnontilaisen pohjaveden käsittely

Pohjaveden käyttö talousvetenä vaatii melkein poikkeuksetta jonkinlaista käsittelyä. Tavallisin pohjaveden laatuun liittyvä haitta on veden syövyttävyys. Syövyttävyys johtuu pohjaveden happamuudesta ja veteen liuenneesta hiilidioksidista. Muita veden laatua heikentäviä tekijöitä ovat rauta, mangaani ja orgaaninen aines (humus). Nämä haitat ovat yleisimpiä Pohjanmaalla, mutta niitä esiintyy muuallakin Suomessa. Pohjaveden käyttö voi edellyttää myös hajun, maun tai ammoniakkin poistoa sekä kovuuden lisäämistä tai vähentämistä. Myös fluoridin, arseenin tai radonin poistoa voidaan tarvita erityisesti kallioporakairoissa.

Pohjavettä voidaan käsitellä sekä kemiallisesti että biologisilla menetelmillä. Tässä luvussa käsitellään sellaisia tutkimusmenetelmiä, jotka on helppo toteuttaa tarvittaessa pohjavedenottopaikan tai tekopohjavedenottopaikan tutkimusten yhteydessä. Lisäksi käsitellään ainoastaan sellaisia menetelmiä, joissa luonnontilaisen pohjaveden käsittely perustuu luonnonmukaisiin prosesseihin ja tapahtuu ilman kemikaaleja. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa veden syövyttävyyden vähentäminen kalkkikivisuodatuksella sekä raudan ja mangaanin poistaminen biosuodatusmenetelmillä. Radonia voidaan poistaa kallioporakairovedestä ilmastamalla. Käsittelymenetelmä tulee valita niin, että käsitelty vesi täyttää sosiaali- ja terveysministeriön hyvälle talousvedelle asettamat laatuvaatimukset ja -tavoitteet sekä muut, erityisesti veden syövyttävyyttä koskevat suositukset.

Pohjaveden käsittelytutkimukset on tarkoituksenmukaista tehdä muiden pohjavesitutkimusten yhteydessä. Tutkimustarve ja -menetelmät arvioidaan alustavien vesianalyysien perusteella. Käsittelykokeiden avulla selvitetään muun muassa:

- sopiva puhdistusmenetelmä
- puhdistusprosessi ja sen eri vaiheet
- puhdistumistulos
- käsittely-yksiköiden mitoitusperusteet

Käsittelykokeet tehdään yleensä pienoismallimittakaavassa kentällä. Näin saadaan mahdollisimman hyvä kuva menetelmien soveltuvuudesta ja tulevan laitoksen mitoitusperusteista. Tarvittavat vesianalyysit on hyvä tehdä laboratoriossa. Tutkimuksia voidaan täydentää kentällä tehtävien analyysien, kuten rautamääritysten avulla. Mangaanin analysointi kentällä on osoittautunut vaikeaksi.

Seuraavassa on kuvattu erilaisten luonnontilaisen pohjaveden käsittelymenetelmien periaatteet, puhdistusprosessit ja niiden soveltuvuus erilaisille pohjavesille sekä menetelmien hyvät ja huonot puolet.

Pohjaveden alkalointi kalkkikivellä

Pohjavesi on Suomessa yleensä lievästi hapanta, pehmeää ja sisältää hiilidioksidia, jolloin se on metalliputkistoja syövyttävää. Pohjavettä alkaloidaan tämän vuoksi tavallisesti lipeää tai kalkkia käyttäen. Hyväksi osoittautunut uusi menetelmä on kalkkikivisuodatus. Sitä voidaan käyttää sellaisenaan puhtaiden pohjavesien alkalointiin. Menetelmää voidaan käyttää myös raudan ja mangaanin poistoon käytettävän biosuodatuksen viimeisenä vaiheena.

Kalkkikivisuodatus soveltuu hyvin pehmeille pohjavesille. Suodatus nostaa pohjaveden pH-arvoa, alkaliniteettia ja lisää kovuutta sekä pienentää hiilidioksidipitoisuutta. Jos raakavedessä on liian paljon hiilidioksidia, voidaan sen määrää vähentää esi-ilmastuksen avulla. Kaikkea hiilidioksidia ei saa kuitenkaan poistaa, sillä muuten veden raikkaus häviää. Alkalointikokeet on syytä tehdä kentällä aina pohjavesitutkimusten yhteydessä. Koejärjestelyt ovat kustannuksiltaan alhaisia ja helppoja järjestää (kuva 6.7.1a).

Raudan ja mangaanin poisto hidassuodatuksella tai hiekkapikasuodatuksella

Rautaa ja mangaania on pohjavedessä paikoitellen koko Suomessa. Niiden määrä riippuu pohjavesiesiintymän rakenteesta ja virtausolosuhteista. Ennen kaikkea raudan ja mangaanin esiintyminen riippuu kuitenkin esiintymän happitasapainosta, joka vaihtelee suuresti erilaisissa pohjavesiesiintymisissä pohjaveden virtauskuvasta riippuen. Esiintymän rakenne ja pohjaveden virtausolosuhteet tuleekin ottaa huomioon



Kuva 6.7.1a. Kalkkikivisuodatuksen käsittelykokeissa käytetty pilot-laitos kentällä. Suodatin on täytetty kalsiittisella kalkkikivellä, jonka raekoko on 4 - 8 mm. Koe kannattaa tehdä pohjavesitutkimusten yhteydessä, mutta se on helppo tehdä myös käytössä olevilla laitoksilla. Kuvat M. Rontu ja E. Santala.

tutkimuksia suunniteltaessa. Koepumppauspaikka sekä veden käsittelytarve ja -menetelmä valitaan alustavien vedenlaatututkimusten perusteella.

Yleisin raudan ja mangaanin poistoon käytetty biosuodatusmenetelmä on hidassuodatus, jossa puhdistumisprosessi perustuu rauta- ja mangaanibakteerien toimintaan. Myös hiekkapikasuodatuksen käyttö on lisääntynyt. Käsittelykokeet tehdään yleensä pilot-laitteistolla. Käsittelyprosessi koostuu kahdesta päävaiheesta, jotka ovat:

- esikäsittely: ilmastus, märkäsuodatus tai/ja kuivasepelisuodatus
- jälkikäsittely: hidassuodatus

Esikäsittelyn tarkoituksena on vähentää veden rauta- ja mangaanipitoisuutta varsinaisen imetysaltaan tukkeutumisen ehkäisemiseksi ja hidastamiseksi. Kuiva- ja märkäsuodatusta tarvitaan, kun raakaveden rautapitoisuus on yli 2 - 3 mg/l.

Pohjaveden alkalointi tehdään yleensä raudan ja mangaanin poiston jälkeen. Jos pohjavesi on liian hapanta (pH alle 6), voidaan mangaanin poistoa varten tarvita etualkalointia. Jos etualkaloinnilla ei saavuteta riittävän hyvää tulosta veden korroosion poistamiseksi, voidaan kokeilla alkalointia hidassuodattimen pohjalle asennettavan suodattimen tai erillisen suodattimen avulla. Käsittelykokeet on helppo toteuttaa ken-

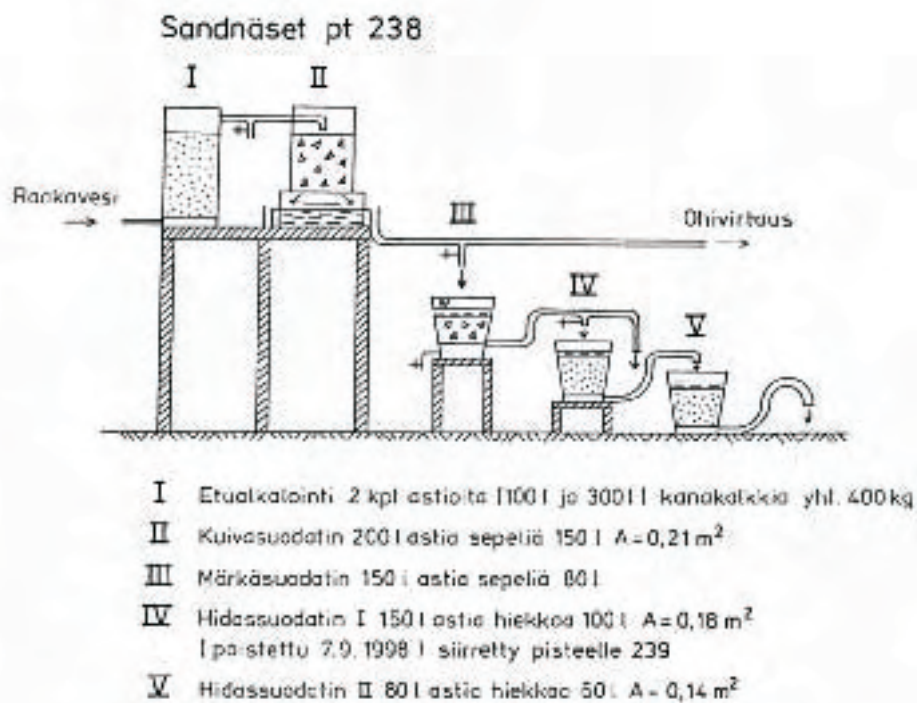
tällä raudan poistokokeen yhteydessä (kuvat 6.7.1b ja 6.7.1c).

Kokemusten perusteella raakaveden rautapitoisuus laskee eniten kuiva- ja hidassuodatusvaiheissa. Rauta poistuu hyvin jo ensimmäisessä hidassuodatusvaiheessa. Mangaanin poistaminen sen sijaan vaatii toisen hidassuodatusvaiheen. Mangaanin poistamiseen vaadittavan bakteerikannan kehittyminen vaatii usein jopa kuu-kausia. Prosessia voidaan tehostaa tuomalla *Metalligenium*-mangaanibakteereja käsittely-yksiköihin jo toiminnassa olevalta laitoksesta, jolloin toista hidassuodatinta ei tarvita. Kaksi esikäsittely-yksikköä tarvitaan, jos raakaveden rautapitoisuus on yli 5 mg/l. Syynä on hidassuodattimien liian nopea tukkeutuminen, jos suodattimelle tulevan veden rautapitoisuus on yli 1,5 mg/l.

Orgaaninen aines voi vaikeuttaa raudan poistoa, sillä se muodostaa raudan kanssa kolloidisia kompleksiyhdisteitä. Näillä yhdisteillä on negatiivinen varaus, jolloin ne eivät pidäty negatiivisesti varautuneen suodatinhiekan pinnalle. Sen vuoksi käsittelyssä voidaan tarvita kaksi hidassuodatusta. Tutkimuksissa on todettu, että toisella hidassuodatuksella voidaan poistaa rautaa, joka ei ole orgaanisen aineksen takia poistunut ensimmäisessä hidassuodatuksessa. Jälkikäsittelynä on kokeiltu myös nano-suodatusta, joka on toiminut hyvin. Nano-suodatusta voidaan myös kokeilla pilot-mittakaavassa. Orgaaninen aines ei vaikuta mangaanin poistoon.



Kuva 6.7.1b. Raudan ja mangaanin poisto hidassuodatuksella. Sandnäsetin koelaitos Pedersöressä. Kuva J. Palomäki.



Kuva 6.7.1c. Raudan ja mangaanin poisto hidassuodatuksella. Sandnäsetin koelaitoksen rakenne ja käytetyt materiaalit. Kuva Länsi-Suomen ympäristökeskus.



Kuva 6.7. I d. Paippisten pohjavesilaitos. Käsittelynä ilmastus, hiekkapikasuodatus ja UV-desinfiointi. Kuva U. Tantt.

Raudan ja mangaanin poisto hiekkapikasuodatuksella

Raudan ja mangaanin poisto voi tapahtua biologisesti myös perinteisessä hiekkapikasuodatuksessa. Edellytyksenä on, että suodatusnopeus on riittävän alhainen, luokkaa 4 - 5 m/h. Reaktiot ovat pitkälti samat kuin edellä kuvatussa hidassuodatuksessa. Pikasuodatuksen etuna on huomattavasti pienempi allaskoko, jolloin esim. laitoshygienia on helpompi hallita. Hidassuodatuksessa laajojen altaiden kattaminen ja suojaaminen aiheuttavat suuria kustannuksia, jotka pikasuodatuksessa tulevat halvemmiksi. Toisaalta pikasuodatuksen haittapuolia ovat monimutkaisempi automaatio ja koneistuksen suurempi määrä. Myös koejärjestelyt hiekkapikasuodatuksen tutkimiseksi ovat vaikeammin hallittavia ja toteutettavia kuin hidassuodatuksessa.

Raudan ja mangaanin poisto jälleenimeytyksellä

Jälleenimeytyksessä raakaveden esikäsittely on periaatteessa samanlainen kuin hidassuodatuksessa ja voidaan tehdä pilot-mittakaavassa. Menetelmä poikkeaa hidassuodatuksesta suodatusvaiheessa, jossa esikäsitelty vesi jälleenimeytetään maaperään. Erilaisia jälleenimeytysmenetelmän sovellutuksia ovat:

A. Raakaveden otto ja jälleenimeytys maaperään tehdään saman pohjavesi-esiintymän alueella. Pohjavesi on imeytysalueella rautapitoista.

B. Raakaveden otto ja jälleenimeytys maaperään tehdään saman pohjavesi-esiintymän alueella. Pohjavesi on imeytysalueella raudatonta.

C. Raakaveden otto ja jälleenimeytys maaperään tehdään eri pohjavesialueilla. Pohjavesi on imeytysalueella rautapitoista.

D. Raakaveden otto ja jälleenimeytys maaperään tehdään eri pohjavesialueilla. Pohjavesi on imeytysalueella raudatonta.

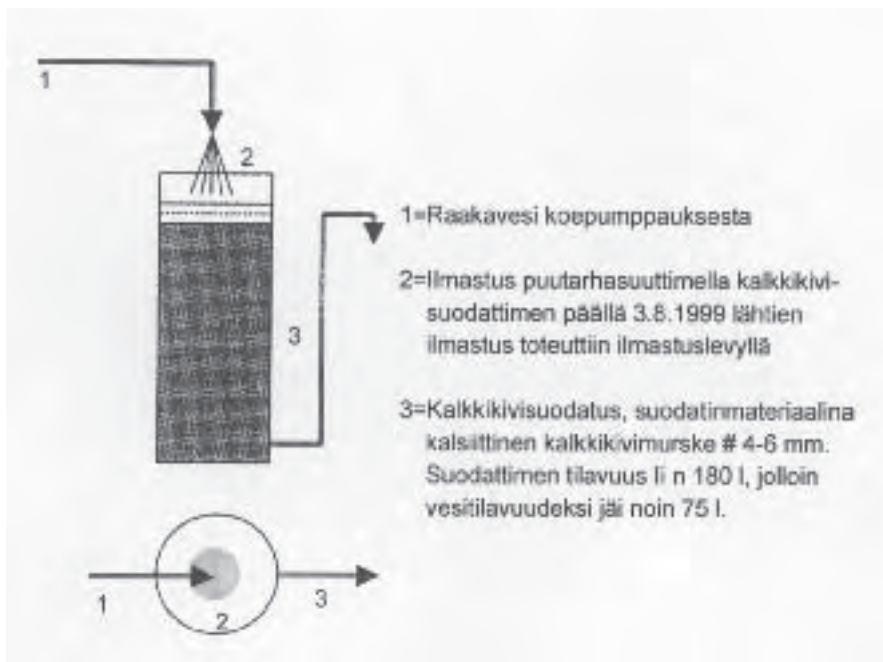
Sovellutuksissa B, C ja D käsittelykokeet tehdään pilot- mittakaavassa samalla tavalla kuin hidassuodatuksessa. Sovellutuksessa A käsittelykoe tehdään laitosmittakaavassa oikean imeytyspaikan ja puhtaan veden ottokaivojen sijoituspaikkojen selvittämiseksi. Raudan poistoon soveltuu parhaiten sovellutus D. Orgaaninen aines voi vaikeuttaa raudan poistoa samalla tavalla kuin hidassuodatuksessa.

Raudan poisto kalkkikivisuodatuksella

Viime vuosina tehtyjen käsittelykokeiden ja laitosten käytön yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella kalkkikivisuodatuksen on todettu soveltuvan hyvin myös raudan poistoon, jos raakaveden rautapitoisuus on pieni (alle 1 - 2 mg/l). Helposti käsiteltäviä ovat pohjavedet, joissa orgaanisen aineksen määrä KMnO_4 -lukuna ilmoitettuna on alle 6 mg/l. Tutkimusten mukaan kalkkikivisuodattimet ovat helposti huuhdeltavissa, eivätkä passivoidu ajan mittaan. Kuvassa 6.7.1e on esitetty tehtyjen kalkkikivisuodatuskokeiden koejärjestelyt pilot-mittakaavassa.

Raudan ja mangaanin poisto VYR-menetelmällä

VYR-menetelmässä raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä perustuu hapetukseen maaperässä in situ. Puhdistuminen perustuu rauta- ja mangaanibakteerien toimintaan. Hapetus tehdään johtamalla ilmastettua, raudatonta pohjavettä kaivojen ja havaintoputkien kautta maaperässä olevaan pohjaveteen. Keinotekoisien hapetuksen avulla maaperään muodostetaan rajapinta, jonka hapettuneella puolella pohjavesi on raudatonta ja mangaanitonta ja pelkistyneellä,



Kuva 6.7.1.e. Kalkkikivisuodatus. Saukonkylän koelaitoksen rakenne ja käytetyt materiaalit. Kuva Länsi-Suomen ympäristökeskus 2000.

hapettomalla puolella rautapitoista. Vettä pumpataan käyttöön hapetusalueen puolelta, jolloin rautapitoinen, hapeton vesi suodattuu keinotekoisesti muodostetun rautasakkakerroksen läpi. Liukoinen rauta ja mangaani pidättyvät vedestä rautasakkakerrokseen. Käsittelykokeet tulee tehdä mahdollisuuksien mukaan laitosmittakaavassa.

Eritasopumppausmenetelmä

Menetelmä perustuu siihen, että huonolaatuisia, esimerkiksi runsaasti rautaa ja mangaania sisältävää pohjavettä pumpataan esiintymästä eri tasolta kuin miltä varsinainen pumppaus tapahtuu. Pumppaus voidaan tehdä koepumppauksen yhteydessä erillisistä imuputkista tai kaivos-ta eri tasolta kuin varsinainen vedenotto.

Huonolaatuisen veden pumppaus tehdään usein varsinaisen vedenottotason alapuolelta. Eritasopumpatun veden määrä on yleensä pieni varsinaiseen pumppaukseen tai vedenottoon verrattuna. Menetelmää kokeillaan tavallisesti jo käytössä olevilla vedenottoamoilla, joilla rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat ajan mittaan nousseet.

Eri käsittelymenetelmien edut ja haitat

Luonnonmukaisilla pohjaveden käsittelymenetelmillä on monia etuja esimerkiksi kemialliseen käsittelyyn verrattuna (taulukko 6.7.1). Ne perustuvat luonnollisiin prosesseihin, jolloin kemikaaleja ei tarvita. Menetelmistä valtaosa on helppo tutkia pohjavesitutkimusten yhteydessä. Varsinaiset laitokset ovat helppoja käyttää ja käyttökustannukset ovat pieniä. Tilantarve on pieni hidassuodatusta ja jälleenimeytystä lukuun ottamatta.

Menetelmien haittapuolia on muun muassa se, että ne eivät sovellu yleisesti kaikille laadultaan erilaisille pohjavesille. Esimerkiksi kalkkikivialkalointi ei sovellu koviille pohjavesille, ja biologinen raudanpoisto ei sovi runsaasti orgaanista ainesta sisältäville pohjavesille. Nämä seikat tulisi ottaa huomioon käsittelykokeita suunniteltaessa. Kenttätutkimuksia voi vaikeuttaa koelaitteiden jäätyminen talvella. Käsittelykokeet tulisivatkin pyrkiä tekemään kesällä tai syksyllä.

Taulukko 6.7.1 Luonnonmukaisiin puhdistumisprosesseihin perustuvien pohjaveden käsittelymenetelmien etuja.

Käsittelymenetelmä	Helppo tutkia kentällä	Helppo-hoitoinen	Soveltuu eri kokoisille laitoksille	Ei kemikaaleja	Pieni tilantarve
Kalkkikivialkalointi	x	x	x	x	x
Hidassuodatus	x	x	x	x	
Hiekkapikasuodatus		x	x	x	
Jälleenimeytys		x	x	x	
Raudan poisto kalkkikivellä	x	x	x	x	x
VYR-menetelmä		x	x	x	
Eritasopumppaus	x		x	x	x

6.7.2 Likaantuneen pohjaveden kunnostus

Pohjavesialueella tapahtuva pohjaveden laajamittainen kemiallinen pilaantuminen aiheuttaa usein mittavia taloudellisia vahinkoja. Pohjaveden käyttö voidaan joutua lopettamaan pitkiksin ajoiksi jopa vuosikymmeniksi ja joudutaan tekemään korvaavia vedenottojärjestelyjä. Pohjaveden puhdistus on myös yleensä pitkäaikainen ja kallis toimenpide.

Pohjaveden pilaantuminen liittyy yleensä vajovesivyyhykkeen maaperän pilaantumiseen, jolloin likaantuneesta maaperästä suotautuu jatkuvasti haitta-aineita pohjaveteen. Siksi maaperän puhdistus tulee toteuttaa ensimmäisessä vaiheessa, kun pilaantunutta aluetta aletaan kunnostaa. Pilaantuneen maaperän tutkimusten yhteydessä on usein tarpeen tehdä riskitarkastelu, jossa arvioidaan mm. maaperän olosuhteista sekä haitta-aineiden laadusta ja ominaisuuksista pohjaveden pilaantumiselle aiheutuvaa kohdekohtaista riskiä.

Pohjavesialueita on kunnostettu lähinnä silloin, kun haitta-aineen pitoisuus pohjavedessä on ylittänyt talousveden laatuvaatimusten (STM 461/2000) mukaisen puhtaustason. Ihmisten terveysriskin lisäksi tulee huomioida ne ekologiset riskit, joita purkautuva pilaantunut pohjavesi voi aiheuttaa vastaanottavassa vesistössä. Vesiekosysteemin eliöille (esim. kalat, levät) haitalli-

nen pitoisuus on usein alhaisempi kuin ihmisten terveydelle haitallinen pitoisuus. Pohjaveden pilaantumista aiheuttaneista kemikaaleista merkittävimpiä ovat olleet seuraavat orgaaniset yhdisteet:

- klooratut rasvaliuottimet, tetra- ja trikloorieteenit
- bensiinin komponentit, BTEX ja MTBE
- muut polttoainehiilivedyt
- klooratut fenolit (tri-, tetra- ja pentakloorifenolit)

Raskasmetallit ovat tyypillisiä maaperää pilaavia kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa yleensä paikallista pohjaveden pilaantumista (lyijy, arseeni), mutta eivät laajoja likaantumisia.

Likaantuneen pohjaveden puhdistamiseen soveltuvat reaktorit ja prosessit ovat pitkälti samoja kuin tavanomaisessa talousvesien käsittelyssä, mutta mitoitus ja käsittelyolosuhteet ovat erilaisia. Yhdyskuntien ja teollisuuden vesiä käsitellään tutuissa olosuhteissa, joissa prosessiveden ominaisuudet tunnetaan. Pilaantunutta pohjavettä puhdistettaessa ei aina tiedetä päästölähdettä, puhdistettavia aineita saattaa olla useita ja niiden olomuodot voivat vaihdella. Myös käsittelyolosuhteet ja käsittelyyn tulevan veden haitta-ainepitoisuudet saattavat vaihdella huomattavasti.

Kunnostusmenetelmät

Pohjaveden puhdistukseen on kehitetty erilaisia menetelmiä, joiden soveltuvuus on usein tarpeen selvittää kohdekohtaisesti tehtävillä laboratorio- tai pilot- mitan kokeilla.

Menetelmät voidaan jakaa ns. käsittelypaikaluokituksen mukaisesti seuraavasti (kuva 6.7.2 a):

- In situ menetelmät, joissa kunnostus tapahtuu pohjavesiympäristössä ja perustuu joko biologisiin hajoamisprosesseihin tai haitta-aineiden poistamiseen vedestä fysikaaliskemiallisilla reaktioilla
- On site/ ex situ menetelmät, jolloin pohjavesi pumpataan maan päälle käsittelyä varten (pump and treat). Käsittely vesi voidaan johtaa joko takaisin pohjaveteen, pintavesiin tai jäteveden puhdistamolle loppupitoisuudesta riippuen.
- Off site/ ex situ menetelmät, joissa vesi voidaan pumpata käsiteltäväksi puhdistettavan alueen ulkopuolella, esimerkiksi käsittelylaitoksella.

In situ menetelmät

Luontainen hajoaminen (natural attenuation).

Pohjavesiympäristössä on runsaasti mikrobeja, jotka pystyvät hajottamaan erilaisia yhdisteitä. Eräät näistä pystyvät ajan mittaan kehittämään itselleen kyvyn hajottaa myös haitta-aineita ja samalla puhdistamaan pohjavettä. Kun hajotuskyky on riittävän suuri, pohjaveden haitta-ainepitoisuuden voidaan todeta alenevan. Pohjaveden alhainen lämpötila ja ravinteiden niukkuus hidastavat hajoamisprosesseja.

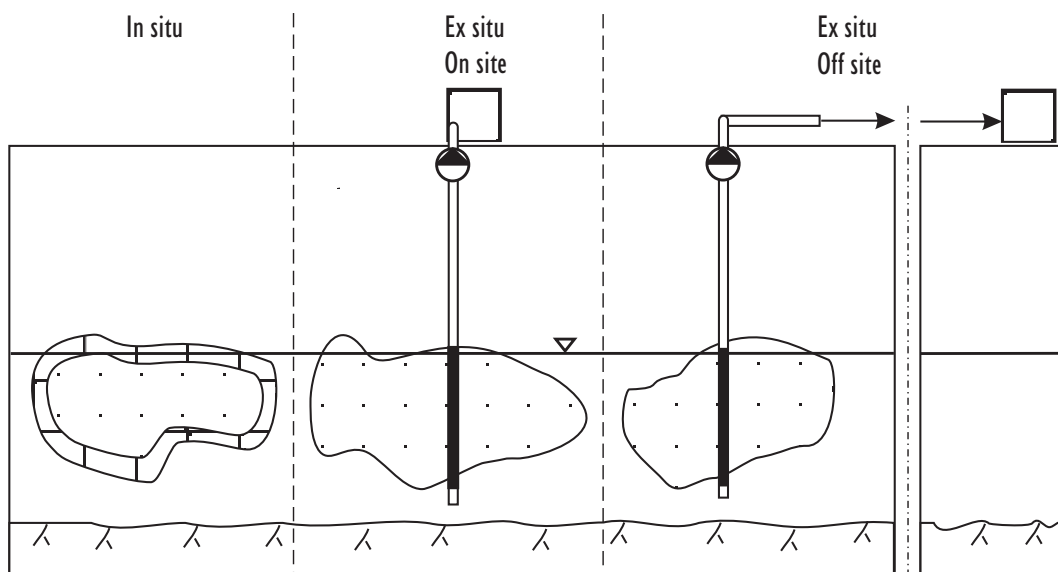
Luontaista hajoamista voidaan usein havaita esim. klooratuilla liuottimilla likaantuneessa pohjavedessä. Pohjaveteen on alun perin joutunut tri- tai tetrakloorieteeniä, mutta pohjavesitutkimuksissa todettava pääkomponentti on dikloorieteeni, ja lisäksi saatetaan löytää myös vinyylikloridia. Nämä molemmat ovat biologisen hajoamisen tuotteita. Klooratut eteenit voivat hajota pohjavedessä, varsinkin hapettomassa ympäristössä täydellisesti, mutta prosessi kestää vähintään kymmeniä vuosia ja on voimakkaasti riippuvainen pohjavesiympäristössä vallitsevista olosuhteista. Luontaisen hajoamisen ennakoii-

minen ja sen nopeuden ja merkityksen arvioiminen on vaikeaa ja edellyttää vähintään hyvin suunniteltua näytteenottoa ja pohjaveden tarkkailua. Luontaisesta hajoamisesta voidaan saada viitteitä myös vertaamalla näytteenotolla todettua likaantumisen laajuutta ja mallinnuksella saatavaa haitta-aineen leviämistä tilanteessa, jossa hajoamisreaktioita ei ole otettu huomioon.

Hajoamisen tehostaminen. Pohjavedessä olosuhteet ovat yleensä hyvin epäsuotuisia tehokkaalle kemikaalien biologiselle hajotustoiminnalle. Alhaisen lämpötilan lisäksi mikrobien määrä, happipitoisuus tai hapettomuus ja ravinteiden määrä rajoittavat hajoamista. Näitä tekijöitä optimoimalla voidaan tehostaa hajoamista.

Monet orgaaniset yhdisteet hajoavat (tehokkaammin) hapellisessa ympäristössä. Voimakkaasti pilaantunut pohjavesi voi olla hapetonta, mikä saattaa olla hajoamista estävä tekijä. Pohjavettä voidaan hapettaa pohjavesiputkien kautta paineilman avulla. Myös muita hapen lähteitä, kuten otsonia, vetyperoksidia tai happea hitaasti luovuttavia peroksidiyhdisteitä on käytetty pohjaveden hapettamisessa. Happipitoisuus on hajoamisessa yleensä minimitekijä ja hapen lisäys pohjaveteen eri muodoissaan on yleensä turvallista. Ravinteiden lisäys (typpi) voi tehostaa hajotusta. Nitraatin lisäyksellä on myös mahdollista tehostaa aerobista hajoamista, koska nitraatti kelpaa useiden aerobisten mikrobien hapenlähteeksi. Nitraatin lisäystä harkittaessa tulee ottaa huomioon sen eri vaikutukset.

Reaktiiviset seinämät. Näillä tarkoitetaan rakenteita, joiden läpi pohjavesi luonnollisessa kulkusuunnassa virtaa. Reaktiivinen seinämä on eräänlainen maan sisällä oleva reaktori, jossa pohjavesi puhdistuu kulkiessaan passiivisesti sen läpi. Rakenne suunnitellaan niin, että pilaantuneelta alueelta virtaava vesi kulkee mahdollisimman täydellisesti ja sopivalla viipymällä seinämän läpi. Haitta-aineiden poisto voi perustua niiden biologiseen hajoamiseen tai fysikaalis-kemiallisiin reaktioihin (adsorptio, saostus). Seinämä rakennetaan ympäristöä paremmin läpäisevästä aineesta (rauta, sora, hiekka), jolloin vesi saadaan virtaamaan sen läpi mahdollisimman



Kuva 6.7.2a. Pohjaveden käsittelypaikkaluokitus.

hyvin. Seinämän alueella hajotusta voidaan tehostaa monenlaisilla toimenpiteillä, kuten ilmastamalla, syöttämällä seinämään ravinteita sekä lisäämällä kemikaaleja adsorboivia ja mikrobien kiinnitystä tehostavia aineksia.

On site menetelmät

Bioreaktorit. Bioreaktoreja on sovellettu monen tyyppisten haitta-aineiden käsittelyyn. Tehokkaimmissa reaktoreissa on täyteainetta, jonka pinta-ala on mahdollisimman suuri ja joka siksi pystyy sitomaan paljon hajottajamikrobeja. Täyteaine estää myös mikrobien karkaamisen veden mukana sekä toimii haitta-aineita adsorboivana massana. Reaktorissa olevat mikrobit käyttävät kemikaaleja hiilen ja energian lähteenään ja mineralisoivat orgaaniset yhdisteet haitattomiksi epäorgaanisiksi lopputuotteiksi.

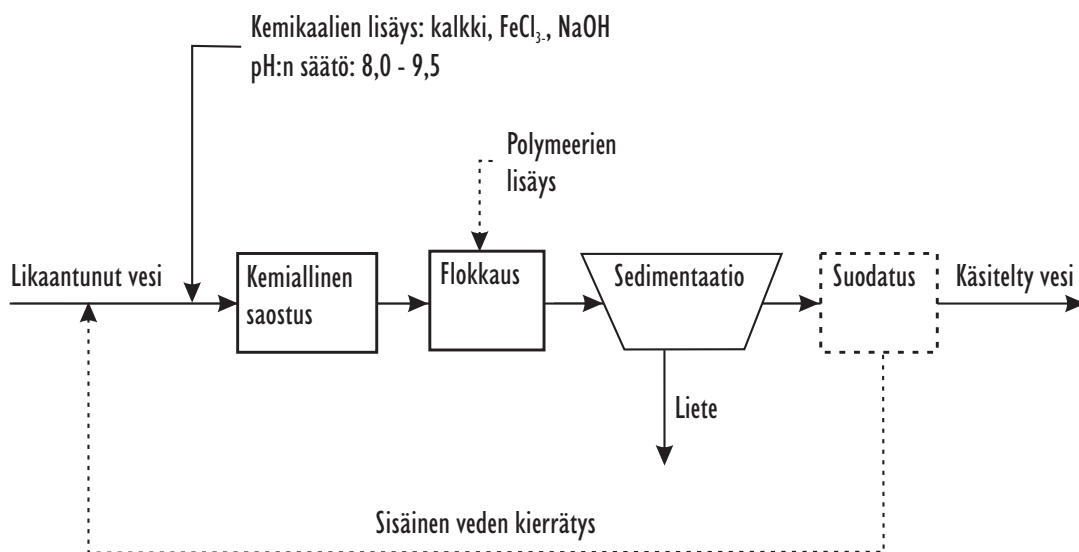
Aktiivihiiლისuodatus. Useimmat orgaaniset aineet saadaan poistettua vedestä aktiivihiiileen tai muuhun adsorboivaan täyteaineeseen suodattamalla. Käsiteltävä vesi suodatetaan aktiivihiiilellä täytetyn reaktorin läpi, jolloin vesi puhdistuu. Aktiivihiiilellä on kullekin haitta-aineelle määriteltävä sidontakapasiteetti, jonka jälkeen suodatin tulee joko regeneroida tai suodattimeen pitää vaih-

taa uusi hiilitäyte. Suodinmateriaalista haitta-aineet hävitetään yleensä termisellä käsittelyllä. Haluttu lopputulos saavutetaan vain harvoin yksittäisellä menetelmällä. Puhdistusprosessi koostuu osaprosesseista. Kunnostussuunnittelun merkittävin vaihe onkin yksikköoperaatioiden valinta ja niiden yhdistäminen taloudelliseksi ja tehokkaaksi "kunnostusjunaksi" (treatment train) (kuva 6.7.2b)

6.8 Kirjallisuutta

Näytteenotto

- Barcelona, M., Gibb, J., Helfrich, J. & Garske, E. 1985. Practical guide for ground-water sampling. Illinois State Water Survey. Contract report 374. 94 s.
- Helmisaari, H-S, Illmer, K., Hatva, T, Lindroos, A.-J., Miettinen, I., Pääkkönen J. & Reijonen, R. 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. TEMU-tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 902, 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.
- Ikäheimo, J. 2002. Näytteenotto pohjavesiputkista. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Luentomateriaali laboratoriopäiviltä 16.-17.10. 2002. 12 s.
- Ikäheimo, J. 1999. Näytteenottomenetelmät ympäristötutkimuksissa. Luentomoniste.
- Mäkelä, A. & al. 1992. Vesitutkimusten näytteenotto-



Kuva 6.7.2b. Pohjaveden kunnostusjuna.

menetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, Sarja B no. 10. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki.

- Pitkin, S., Cherry, J., Ingleton, R. & Broholm, M. 1999. Field demonstrations using the Waterloo ground water profiler. *Ground Water Monitoring and Remediation* 19(3): 122-131.
- U.S. EPA. 1998. Permeable reactive barrier technologies for contaminant remediation. Washington, United States Environmental Protection Agency. Report EPA/600/R-98/125. 94 s.
- Vroblesky, D. (toim.). 2001. User's guide for polyethylene-based passive diffusion bag samplers to obtain volatile organic compound concentrations in wells – Part 1: Deployment, recovery, data interpretation, and quality control and assurance. Columbia, U.S. Geological Survey. Water-resources investigations report 01-4060.
- Yeskis, D. & Zavala, B. 2002. Ground-water sampling guidelines for Superfund and RDRA project managers. Washington, U.S. Environmental Protection Agency. Ground water forum issue paper EPA 542-S-02-001. 53 s.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. ja Suomela, P. 2002: Tuhat kaivoa - Suomen kaivo-vesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 155, Espoo 2002. ISBN 951-690-842-X.

Seurannat

- Soveri, J., Mäkinen, R. ja Peltonen, K. 2001: Pohjave-

den korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975-1999 Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 482, 383 s. ISBN 952-11-0746-4.

- Backman, B., Lahermo, P., Väisänen, U., Paukola, T., Juntunen, R., Karhu, J., Pullinen, A., Rainio, H. ja Tanskanen, H. Geologian ja ihmistoiminnan vaikutus pohjaveteen. Seurantatutkimuksen tulokset vuosilta 1969-1996. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti no 147 Espoo 1999. ISBN 951-690-738-5. ISSN 0781-4240.
- Backman, B. 2004: Groundwater quality, acidification and recovery trends between 1969 and 2002 in South Finland. Geological Survey of Finland. Bulletin 401. 110 p + 8 app. Espoo.

Luonnontilaisen pohjaveden käsittely:

- Hatva, T. 1977. Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleenimeytysmenetelmällä. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, YVY tutkimus 37. 102 s.
- Hatva, T. 1978. Pohjaveden käsittely ja tekopohjaveden muodostaminen maaperää hyväksi käyttäen. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, YVY, julkaisu 34 b. 62 s.
- Hatva, T. 1989. Iron and manganese in groundwater in Finland: Occurrence in glaciofluvial aquifers and removal by biofiltration. 97 p. Publications of water and environment research institute 4. ISBN 951-47-3097-6.
- Hatva, T. & Seppänen, H. 1983. Pohjaveden puhdistus hidassuodatusmenetelmällä. SITRA. Sarja A, Nro 75. 109 s. ISBN 951-563-102-5.
- Hatva, T. & Rontu, M. 1993. Pohjaveden alkalointi

- kalkkivisuodatuksella. Kunnalliselämä 1993, Vol 17 nro 1, s. 9 - 12.
- Länsi-Suomen ympäristökeskus. 1999. Sandäsen-Sandnäset pohjavesiselvitys. Vaasa. DN:o 0898V0089-322. 12 s. 14 liitettä.
- Länsi-Suomen ympäristökeskus. 2000. Saukonkylän pohjavesiselvitys. Pohjavesialue 10 005 02, Alajärvi. DN:o 0899V0068-322.
- Rontu, M. 1992. Pohjaveden alkalointi kalkkivisuodatuksella. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. 81 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - Sarja A 107. ISBN 951-47-6357B2.
- Sallanko, J. 2000. Humusta sisältävien pohjavesien käsittely. Oulun yliopisto. Vesihuolto 2000 projekti.
- Likaantuneen pohjaveden käsittely**
- Nikula, V. & Järvinen, K. 1998. Likaantuneen pohjaveden puhdistaminen. Suomen ympäristökeskus. Julkaisematon käsikirjoitus.
- Tuomi, P. & Vaajasalo, K. 2004: Monitoroidun luontaisen puhdistumisen (MLP) käyttö pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa. Helsinki. Suomen ympäristökeskus Suomen ympäristö 681 Ympäristönsuojelu. 60s. Edita Paino Oy. ISBN 952-11-1637-4
- Reinikainen, J. 2003: Reaktiiviset seinämät pilantuneen pohjaveden käsittelyssä. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 628, 85 s. ISBN 952-11-1414-2 (PDF) Julkaisu on saatavissa myös painetussa muodossa ISBN 952-11-1413-4 (nid.).

7. MALLINTAMINEN

7.1 Yleistä

Malli on yksinkertaistettu kuvaus olemassa olevasta fyysisestä systeemistä. Pohjavesien käytön suunnittelussa esiintymän mallintaminen on käytännöllinen keino. Pohjavesiesiintymän (akviferin) perustiedot saadaan selville karttatarkasteluilla, maastokokeilla ja mittauksilla. Malleja tarvitaan pohjaveden virtauksen, laadun, likaineiden ja lämmön kulkeutumisen kuvaamiseen sekä toimenpiteiden vaikutusten arviointiin. Niiden avulla tutkimukset voidaan ohjata ongelman kannalta oleellisiin kohteisiin. Pohjavesimallinnuksen onnistumisen edellytyksenä on, että tunnetaan tutkittavaan ongelmaan liittyvät tieteelliset periaatteet, käytettävät matemaattiset menetelmät ja tutkittavan alueen geo-

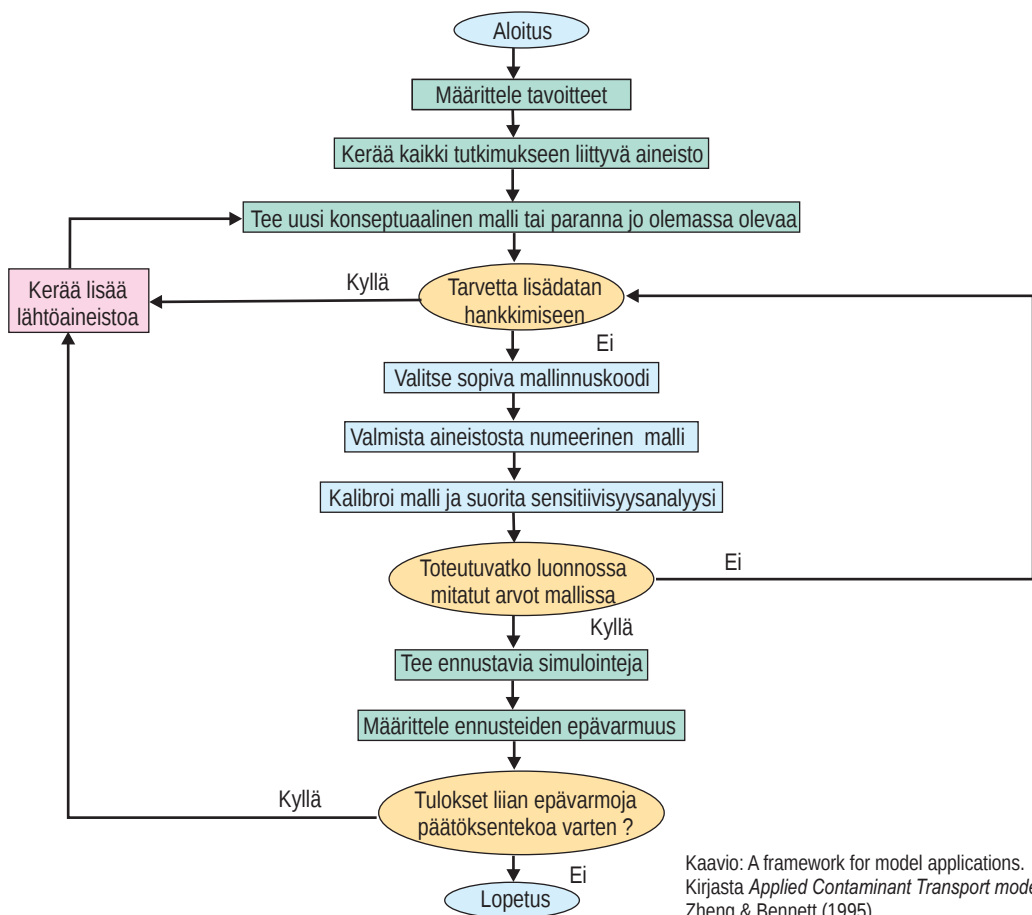
logia. Mallia voidaan pitää luotettavana, jos siihen sisältyvät kuvaukset ovat tieteellisesti perusteltuja ja sitä on testattu kenttäoloissa.

Mallinnettaessa ohjelma ja koodi pysyvät samana ja kustakin mallinnettavasta alueesta tehdään mallisovellus, jossa kuvataan kyseisen alueen geologiaan perustuvat fyysiset olosuhteet. Pohjaveden virtausmalleilla tarkastellaan usein pohjavesiolosuhteiden muutoksia esim. veden pohjavesiolosuhteiden muutoksia esim. veden hankinnan optimointiin ja ympäristövaikutuksiin liittyen. Poikkeusolosuhteiden (esim. lyhytaikainen imeytyksen keskeytyminen) simulointi on myös yleistä. Keskeisiä mallitarkastelujen tuloksia ovat mm. pohjaveden virtauskuvan ja tarkasteltavan alueen vesitaseen muutokset, pohjaveden purkualueiden rajaukset sekä pohjaveden virtausreitit ja virtaukseen kuluva aika.

Suomessa pohjaveden virtausmalleja ja likaineen kulkeutumismalleja ovat tehneet konsulttitoimistot ja pohjavesistä vastaavat viranomaiset sekä yliopistot ja korkeakoulut. Tarjonta on kuitenkin ollut melko vaihtelevaa mallien laadun ja ohjelmien yhteensopivuuden kannalta tarkasteltuna. Ympäristöhallinnon vetämässä VIRMA-projektissa (Pohjaveden virtausmallit vedenhankinnassa ja pohjaveden suojelussa) lisäti pohjaveden virtausmalleihin liittyvää tietoutta alueellisissa ympäristökeskuksissa, alan tutkimuslaitoksissa ja konsulttitoimistoissa, ja siten vaikutettiin koko maassa tehtävien pohjavesitutkimusten laatuun ja vertailukelpoisuuteen.

7.2 Pohjavesimallinnuksen vaiheet

Pohjavesiesiintymän mallintamisen vaiheita ovat ongelman määrittely, aineiston valmistelu, mallin kalibrointi sekä ongelman ratkaisu eli ennustejot (kuva 7.2). Alkuvaiheessa kerätään tutkittavaan pohjavesiesiintymään liittyvät tiedot. Mallinnettavasta esiintymästä muodostetaan konseptuaalinen malli, joka sisältää tietoja alueen hydrogeologiasta sekä veden määrään ja laatuun vaikuttavista tekijöistä. Tässä yhteydessä määritellään myös mallintamisen tavoitteet ja tehdään alustava päätös mallintamisen tasosta. Mitä monimutkaisempi malli on ja mitä useampia prosesseja se kuvaa, sitä enemmän se vaatii lähtötietoja ja tietokoneaikaa.



Kuva 7.2. Mallintamisen vaiheet.

7.3 Mallinnuksessa tarvittavat lähtötiedot

Pohjavesimalli on korkeintaan niin hyvä ja sen antamat tulokset ovat niin oikeita kuin malliin syötetyt lähtötiedotkin. Mallinnustuloksen tarkkuus on yleensä suoraan verrannollinen lähtötietojen tarkkuuteen. Jokainen yksittäinen pohjavedenpinnan havainto vaikuttaa mallinnettavaan virtauskuvaan, ja yksikin virheellinen mitaustulos saattaa vääristää alueen hydrogeologista tulkintaa. Lähtötietojen jäsentely ja tulkinta ovatkin oleellinen osa pohjavesimallin soveltamistyötä. Lähtötietoja hankitaan ja täsmennetään ongelman määrittelyn, aineiston valmistelun ja mallin kalibroinnin yhteydessä. Tutkittavan alu-

een geologia vaikuttaa tarvittavien lähtötietojen määrään. Alueen maa- ja kallioperän vaihtelevuus vaikuttaa mallin tarkkuuteen. Monimutkaisesta geologiasta aiheutuvia epätarkkuuksia voidaan vähentää lisäämällä maastotutkimuksia ja tihentämällä hila- tai elementtiverkkoa. Lähtötietojen määrään vaikuttaa myös se, minkä tasoisesta mallinnuksesta on kyse. Tavoiteltaessa suurta ennusteiden tarkkuutta tarvitaan enemmän lähtötietoja kuin suuntaa-antavan mallin teossa. Vaikka käytettävissä olisi runsaasti lähtötietoja, reunaehtoihin ja akviferin ominaisuuksiin jää aina jonkin verran epävarmuutta, mikä tulee huomioida mallin tuloksia arvioitaessa.

Pohjavesimallin kalibroinnin kannalta lähtötietoja, esimerkiksi pohjaveden havaintoputkista saatavia pohjavedenpinnan havaintoja, on aina liian vähän. Valmiina oleva aineisto on usein kerätty ennen mallintamisen aloittamista ja kohdistunut alueellisesti hyvin pienelle osalle koko pohjavesimuodostuman kuten esim. vedenotamon lähipiiriin. Lähtötietoja tarkennetaan tarvittaessa maastotutkimuksilla, laboratoriomäärittelyksillä ja kirjallisuudesta saatavilla parametreillä. Lähtötietoja joudutaan arvioimaan, jos mitattuja tietoja ei ole tai niitä ei pystytäkään hankkimaan. Niukoilla lähtötiedoilla mallinnettavaa aluetta voidaan tulkita usealla eri tavalla ja silti saavuttaa kohtuullinen vastaavuus mittausten ja mallin antamien tulosten välillä. Tällaisessa subjektiivisessa mallinnuksen vaiheessa on tärkeää, että mallintajalla on hydrogeologista perustietoa. Lähtötietoja voidaan käyttää tehokkaimmin stokastisilla menetelmillä (esim. Monte Carlo -simulointi) ja geostatistisilla menetelmillä (esim. kriging-menetelmä). Kun lähtötietoja on runsaasti, aineistoa voidaan luokitella ja käsitellä tilastollisesti. Tämä työvaihe on merkittävä, jotta virheelinen tieto pystytään tunnistamaan ja korjaamaan. Visualisointi ja erilaiset interpolointimenetelmät ovat keskeisiä työkaluja lähtöaineiston arvioinnissa.

Lähtötietojen laajuus määräytyy ajan, budjetin ja käytettävien mallien asettamien vaatimusten mukaan. Lähtötiedoilla pitäisi selvittää mallintamisessa tarvittavat parametrit, mallintamisen taso ja dimensiot, alueen geometria sekä alku- ja reunaehdot. Taulukossa 7.3 on luettelo lähtötiedoista, joita yleensä tarvitaan pohjaveden virtauksen ja kulkeutumisen mallintamisessa.

7.4 Maastotutkimustiedot

Toimivan ja luotettavan pohjaveden virtaus- ja lika-aineen kulkeutumismallin valmistaminen lähtee olettamuksesta, että tutkittavan pohjavesiesiintymän hydrogeologiset piirteet tunnetaan vähintään kohtalaisella tarkkuudella. Tämä edellyttää tarpeeksi tiheää, koko tutkittavan alueen kattavaa havaintopisteverkkoa. Havainnot voivat koostua mm. pohjaveden pinnan tarkkailutiedoista, kairautuloksista, geofysikaalisten mit-

tausten tuloksista, sedimentologisista havainnoista sekä koepumppausaineistoista. Näiden havaintojen perusteella tehdään tulkinta mallinnettavan geologisen muodostuman rakenteesta ja identifioidaan vedenjohtavuusominaisuuksiltaan yhtenevät geologiset suuryksiköt (hydrogeologiset yksiköt) sekä tulkitaan niiden sijainnit ja suhteet toisiinsa nähden. Yleensä tarvittavaa tutkimusaineistoa ei ole valmiiksi saatavilla ja olemassa olevaakin aineistoa pitää täydentää lisätutkimuksin.

Gravimetriset mittaukset (painovoimamittaukset) antavat yleensä luotettavan tuloksen kallionpinnan asemasta suomalaisissa harjuakvifeireissa. Gravimetrisillä mittauksilla on melko edullista täydentää harvaa kairauspisteverkostoa ja usein kyseiset mittaukset kalibroidaankin kairauspisteistä saadun kallionpintatiedon avulla. Gravimetristen mittausten avulla ei kuitenkaan saada tietoa irtaimen maapeitteen sisäisistä rakenteista. Seismisillä tutkimuksilla saadaan tietoa maa- ja kallioperän ominaisuuksista, kerrosrajojen ja pohjavesipinnan sijainnista. Maatutkaluotauksilla saadaan selville maaperän rakenteeseen ja pohjaveden pinnan tasoon liittyviä yksityiskohtia mm. orsivesialueita. Useimmiten luotauksen syvyysulottuvuus jää kuitenkin alle 20 metriin.

Sedimentologista tutkimusaineistoa voidaan käyttää hyväksi, kun luodaan konseptuaalista mallia pohjavesiesiintymästä. Sedimentologisen kerrostumismallin avulla voidaan sitoa yhteen muilla tutkimusmenetelmillä saadut tulokset. Lisäksi voidaan kartoittaa niitä tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet pohjavettä sisältävän geologisen muodostuman syntyyn ja rakenteeseen.

Koepumppausten ja imeytyskokeiden tuloksista voidaan laskea malliin tarvittavia lähtötietoja kuten vedenjohtavuuksia ja varastokertoimia. Aikaisempien koepumppausten osalta on huomioitava, että niitä ei ole suoritettu mallinusta silmälläpitäen.

7.5 Konseptuaalinen malli

Konseptuaalinen malli kuvaa olemassa olevaa käsitystä mallinnettavan alueen pohjavesioloisista ja geologisesta ympäristöstä. Se toimii pohja-

Taulukko 7.3. Pohjaveden virtauksen ja kulkeutumisen mallintamisessa tarvittavia lähtötietoja (Nystén 1993).

1 VIRTAUSMALLINNUS	2 AINEIDEN KULKEUTUMISEN MALLINNUS
Kyllästynyt vyöhyke: - Tiedot akviferin geometriasta ja geologiasta - Akviferin reunat (luonnolliset ja matemaattiset) - Kallion ja maanpinnan topografia - Kerrospaksuudet, -järjestys, kerrosten jatkuvuus - Orsivesimuodostumien sijainti - Pohjavedenpinta, pohjavedenpinnan korkeuden jakautuminen alueella eri ajanjaksoina - Akvitardeista akviferiin vuotava vesimäärä - Lähteet ja purkaumat - Pintavesistöt - Vedenottamot: sijainti ja pumpattavat vesimäärät - Imeytyminen, haihdunta ja sadanta - Vedenjohtavuuden tai vedenläpäisykyvyn jakautuma alueella - Virtausnopeudet (suunta ja määrä) - Varastokertoimen (paineellinen akviferi) tai ominaisantoisuuden (vapaa akviferi) jakautuma alueella - Huokoisuus ja tehokas huokoisuus Kyllästymätön vyöhyke, edellisten lisäksi: - Kyllästymättömän vyöhykkeen paksuusvaihtelut (ajalliset, paikalliset) - Kyllästymättömän vyöhykkeen maakerrosten geometria ja jatkuvuus - Huokoisuusjakauma - Kapillaaripaineen tai vesipitoisuuden jakautuma poikkileikkauksessa eri ajanjaksoina - Funktionaaliset riippuvuudet - Kapillaaripaine - Suhteellinen vedenjohtavuus vs. kapillaaripaine - Suhteellinen vedenjohtavuus vs. vesipitoisuus	Kuten virtausmallinnuksessa, mutta niiden lisäksi: - Dispersiviteetti jakautuma (pitkittäinen/ poikittainen) - Reaktiokertoimet - Mallinnettavan aineen koostumus ja pitoisuudet eri ajankohtina - Mallinnettavan aineen syöttökohta ja -pitoisuudet

na määritettäessä tietokoneelle tehtävän mallin rakennetta ja reunaehtoja. Konseptuaalista mallia varten on selvitettävä alueen hydrogeologiset perustekijät kuten sadanta, pohjaveden muodostuminen, alustavat vedenjohtavuusarvot ja

k-arvovyöhykkeet, vedenjakajat, purkuolosuhteet sekä pinta- ja pohjavesien yhteys. Keskeistä on myös selvittää nykyinen vedenotto ja pohjavettä mahdollisesti likaavat kohteet.

7.6 Pohjaveden virtausmalli

Virtausmallilla kuvataan yhden tai useamman nesteen virtausta huokoisessa (maaperä) tai rakoil-leessa väliaineessa (kallioperä). Mallinnuksen kohteina voivat olla vesi, veteen liukenemattomat nesteet (öljy) sekä eri tiheyksiset vesikerrokset (makean veden altaaseen tunkeutunut merivesi). Virtausmallien avulla lasketaan hydraulisten korkeuksien tai paineiden muutoksia, virtauksen suuntaa ja suuruutta, kulkeutumisaikoja sekä toisistaan erottuvien nesteiden rajapintoja.

Useimmat pohjavesimallit kuvaavat pohjaveden virtausta maaperässä, jolloin voidaan käyttää jatkuvan huokoisen väliaineen konseptuaalista mallia. Veden virtausta kallioperän raoissa ja ruhjeissa voidaan kuvata kolmella erilaisella konseptuaalisella mallilla: kalliota vastaavan huokoisen väliaineen mallilla, rakomallilla ja kaksoishuokoisuuden mallilla.

Matemaattinen malli on matemaattinen kuvaus pohjavesisysteemissä tapahtuvista prosesseista. Nämä matemaattiset yhtälöt voidaan ratkaista analyttisesti tai numeerisesti. Numeerisessa mallissa ratkaisu saadaan korvaamalla todelliset yhtälöt tarkoitukseen sopivilla yksinkertaisemmilla likiarvoyhtälöillä. Tietokonemallilla tarkoitetaan mallinnuksessa käytettävän tietokoneohjelman ohjelmakoodia. Simulaatiomallilla tarkoitetaan tietokoneohjelman avulla tehtäviä ennusteajoja.

Virtausyhtälöt perustuvat Darcyn lakiin (v. 1856). Darcyn laki voidaan esittää virtausnopeuden avulla:

$$q = KI$$

$$q = \text{virtausnopeus [m s}^{-1}\text{]}$$

$$K = \text{vedenjohtavuus [m s}^{-1}\text{]} \text{ (taulukko 7.6)}$$

$$I = \text{hydraulinen gradientti eli pohjavedenpinnan kaltevuus.}$$

Yleisimmin käytössä olevat pohjaveden virtausmallinnuksessa käytetyt koodit perustuvat joko differenssi- tai elementtimenetelmään. Differenssimenetelmässä tarkasteltava alue jaetaan säännölliseen, suorakulmaiseen differenssi- eli hilapisteverkkoon. Differenssimenetelmään pe-

Taulukko 7.6. Eri maa- ja kivilajien vedenjohta-vuuk-sia. Lähde: Airaksinen 1978.

Maa- tai kivilaji	Vedenjohtavuus K (m s ⁻¹)
Soramoreeni	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁷
Hiekkamoreeni	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸
Hietamoreeni	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
Savimoreeni	< 10 ⁻⁸
Sora	10 ⁻¹ - 10 ⁻³
Karkea hiekka	10 ⁻² - 10 ⁻⁴
Hieno hiekka	10 ⁻³ - 10 ⁻⁵
Karkea hietä	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶
Hieno hietä	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁷
Hiesu	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
Savi	< 10 ⁻⁹
Kalkkikivi, dolomiitti	10 ⁻¹ - 10 ⁻¹⁰
Karkea-keskikarkea hiekkakivi	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁵
Hienorakeinen hiekkakivi	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹
Saviliuske, hietakivi	10 ⁻⁷ - 10 ⁻¹¹
Basaltti	10 ⁻¹ - 10 ⁻¹⁰
Porfyriitti	10 ⁻⁵ - 10 ⁻¹¹
Graniitti, gneissi	10 ⁻⁴ - 10 ⁻¹¹

rustuvia pohjaveden virtausmallinnuskoodeja ovat mm. MOC, MODFLOW ja HST3D. Elementtimenetelmään perustuvista pohjavesimallinnuskoodeista FEMWATER on yleisimmin käytetty.

7.7 Kalibrointi

Mallin kalibroinnilla tarkoitetaan mallin säätämistä yhteneväiseksi tutkittavan fyysisen systeemin kanssa. Pohjavesimallin kalibrointia varten muodostetaan tarvittava lähtötiedosto ja jaetaan alue geologian perusteella mahdollisimman tarkasti hila- tai elementtiverkkoon. Mallinnettava alue rajataan ottaen huomioon pohjavesialtaiden rajat ja valuma-alueen vedenjakajat. Reunaehdot ja laskentaparametrit määritetään. Jokaiselle mallin osalle annetaan lähtötiedot esimerkiksi vedenjohtavuudesta, kerrospaksuuksista ja vesivaraston täydentymisestä. Mallilla lasketaan pohjaveden korkeus sekä verrataan laskettuja ja havaittuja arvoja toisiinsa. Mallialueen kuvaus-

ta ja kertoimia tarkennetaan kunnes mallilla las-
ketut tulokset vastaavat havaittuja arvoja. Tässä
vaiheessa lähtötietoja joudutaan usein ongelma-
kohdissa arvioimaan uudelleen ja tarkentamaan
aikaisempaa näkemystä ja konseptuaalista mallia.

Yleensä kalibrointi aloitetaan tekemällä ny-
kytilaa tai luonnontilaa kuvaavien tilanteen si-
mulointeja. Lisäksi simuloidaan erilaisia maas-
tokokeita, esimerkiksi koepumppauksia ja -imey-
tyksiä. Mallin tulee mahdollisimman hyvin vas-
tata koetoimintaa ennen kuin laitosmittakaavan
ennusteita laaditaan.

Kalibrointi voidaan tehdä joko perinteisellä
yritys-erehdys-tekniikalla, joka on subjektiivin-
en ja hidas, tai tietokoneohjelmalla automaat-
tisesti, mikä vaatii sopivan tietokoneohjelman.
Yritys-erehdys-tekniikkaa voidaan käyttää, kun
pohjavesiolosuhteet ovat yksinkertaiset tai kun
virtausmallissa on voitu tehdä runsaasti yleis-
tyksiä. Estimointiohjelmia on syytä käyttää mm.
silloin, kun halutaan testata erilaisia hypoteese-
ja tai kun halutaan tietää, korreloivatko eri para-
metrit keskenään. Estimointiohjelmista on suurta
hyötyä myös herkkyysanalyysien teossa.

7.8 Automaattikalibrointi

Pohjaveden virtaussysteemejä kuvaavia numee-
risia malleja voidaan kalibroida yritys-erehdys-
tekniikan lisäksi muuttujien (parametrien) esti-
mointiohjelmien avulla. Konseptuaalisen mal-
lin sisältämä tulkinta tutkittavan alueen geolo-
giasta on erityisasemassa mallin automaattisen
kalibroinnin kannalta, koska kalibrointiohjel-
maan tulee kuvata ne geologiset yksiköt, joiden
sisällä malliin syötettyjä parametreja arvioidaan.
Esimerkiksi MODFLOWP-nimisessä ohjelmassa
kalibrointi tapahtuu epälineaarisen regression
avulla, jolloin itse mallia käytetään määrittämään
muutokset muuttujien arvoissa. Ohjelmallisesti
tapahtuvaa kalibrointia kutsutaan myös käänteis-
seksi mallintamiseksi. Yleisimmin käytettyjä para-
metrien estimointiohjelmia ovat UCODE ja PEST
jo mainitun MODFLOWP-ohjelman lisäksi.

7.9 Ennusteajot

Kalibroinnin jälkeen mallilla tehdään varsinai-
set ennusteajot, joiden avulla arvioidaan esimer-
kiksi lisääntyvän vedenoton vaikutusta pohja-
vesiesiintymän virtauskenttään, lika-aineiden
kulkeutumisesta pohjavedessä tai tarvittavia suo-
ja-alueita. Mallinnuksen tulosten tarkasteluun
liitetään aina arvio tulosten luotettavuudesta.
Luotettavuutta voidaan tarkastella esimerkiksi
vertailemalla mallin herkkyyttä eri parametrien
muutoksille. Mallin luotettavuuden arvioinnin
kannalta ohjelmallisesti kalibroidun mallin edut
perinteiseen yritys-erehdys-tekniikkaan perus-
tuvaan malliin verrattuna ovat ilmeiset.

7.10 Lika-aineen kulkeutumismalli

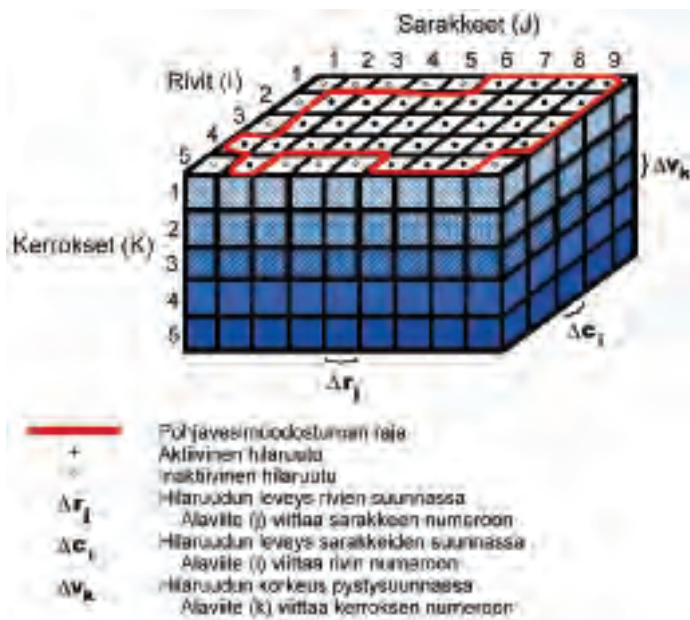
Kulkeutumismallilla ennustetaan vesiliukoisten
aineiden liikkumista ja pitoisuuksia. Lähtötie-
tona tarvitaan virtausmallista saatu pohjaveden
korkeuksien jakauma. Huomioimalla hydrody-
naaminen dispersio eli liuenneiden aineiden
leviäminen virtausta vastaan kohtisuorassa suun-
nassa, voidaan pohjaveden virtausnopeuden
perusteella laskea aineen kulkeutuminen. Mal-
lissa voi olla mukana myös kemiallisia reaktioi-
ta. Lika-aineen kulkeutumiseen liittyvien yhtä-
löiden ratkaisuun on olemassa useita eri koode-
ja, kuten MT3D, MOC3D, MOC, MT3DMS ja
HST3D. Kulkeutumismallin laatiminen on erit-
tään vaativaa ja sen antamiin tuloksiin kannattaa
suhtautua kriittisesti.

7.11 Mallinnuksessa käytettäviä ohjelmia

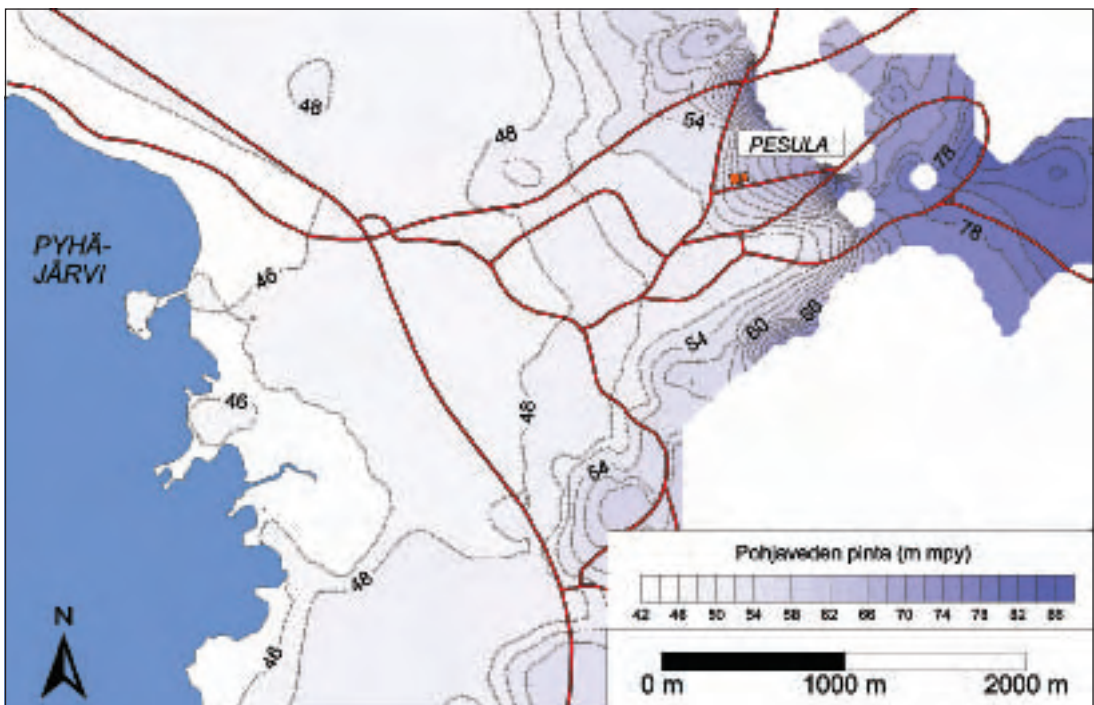
MODFLOW

MODFLOW- koodi on tunnetuin ja käytetyin
pohjaveden virtausyhtälöiden ratkaisukoodi,
joka perustuu vuonna 1975 U. S. Geological
Survey'ssä kehitettyyn 2- ja 3- ulotteiseen finii-
ti-differenssi-malliin. Koodia on myöhemmin
päivitetty vastaamaan nykyajan vaatimuksia,
vaikka perusyhtälöt ovatkin pysyneet muuttu-
mattomina (kuva 7.11a).

MODFLOW- ohjelma on kirjoitettu FORT-
RAN77-ohjelmointikielellä. Ohjelma koostuu
pääohjelmasta ja joukosta itsenäisiä moduule-



Kuva 7.11a. Hypoteettisen pohjavesisysteemin hilaruudukko MODFLOW-koodissa (McDonald & Harbaugh 1988).



Kuva 7.11b. MODFLOW- mallilla laskettu pohjaveden pinnan taso mallialueella.

ja. Jokainen moduuli käsittelee omaa erikois-
aluettaan hydrologisessa systeemissä. Jokaises-
sa mallinnustapauksessa käyttäjä valitsee kysei-
seen tapaukseen tarvittavat moduulit (kuva
7.11b).

MODPATH

Modpath-ohjelma laskee pohjaveden virtausreitit
valituista mallialueen hilaruuduista käyttäen
hyväksi MODFLOW- koodilla aiemmin valmis-
tetun pohjaveden virtausmallin tietoja. Ohjel-
maan voidaan syöttää halutun mittaisia ajanjak-
soja, joiden aikana tapahtuvan pohjaveden vir-
tauksen MODPATH- ohjelma kuvaa graafisesti.
Virtausreitit voidaan tarkastella joko lintupers-
pektiivistä tai poikkileikkauksista (kuva 7.11c).

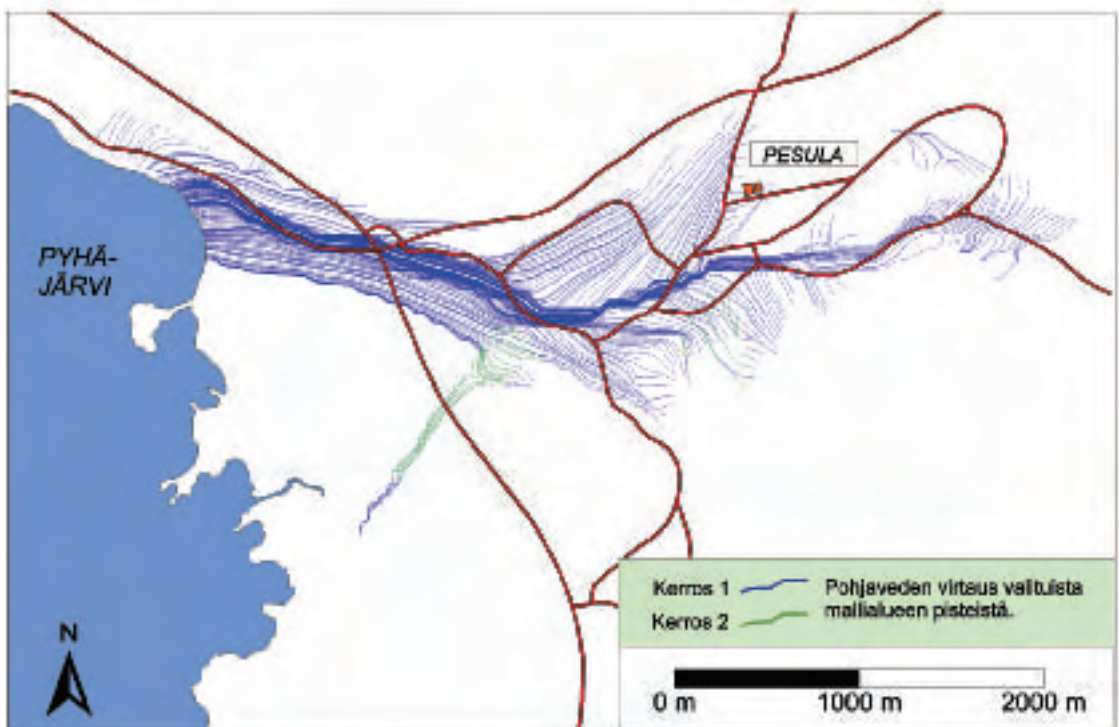
MT3D

MT3D on aineiden kulkeutumista mallintava oh-
jelma. Ohjelma käyttää samanlaista modulaaris-
ta rakennetta kuin MODFLOW- koodikin. Tämä

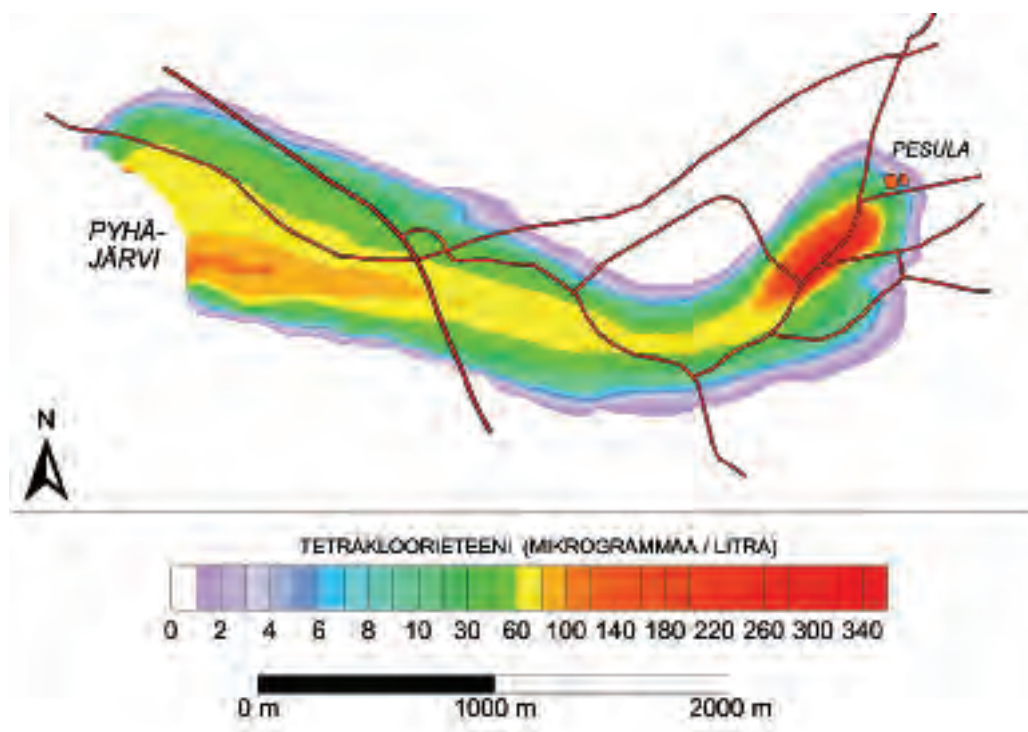
modulaarinen rakenne mahdollistaa aineiden
virtauksen, leviämisen ja kemiallisten reaktioi-
den simuloinnin itsenäisesti siten, ettei tietoko-
neen muistikapasiteettia kulu käyttämättömiin
optioihin. Aineen kulkeutumista kuvaavien yhti-
löiden ratkaisuun MT3D- ohjelmassa on ole-
massa kolme vaihtoehtoista menetelmää: met-
hod of characteristics (MOC), modified method
of characteristics (MMOC) ja näistä kahdesta
edellisestä muodostettu hybridimenetelmä
(HMOC) (kuva 7.11d).

7.12. Mallin raportointi

Mallinnustyön raportoinnin olisi syytä noudat-
taa yhtenäistä kaavaa, jolloin raportista olisi aina
löydettävissä tutkimuksen etenemisen kannalta
oleelliset tiedot. On selvää, että jokainen malli
ja raportti sisältävät erilaisia tavoitteita ja tu-
loksia, mutta seuraavalla sivulla on esitetty yksi
käytännössä hyväksi koettu sisällys raportille:



Kuva 7.11c. MODPATH -ohjelmalla lasketut pohjaveden virtausreitit valituista mallialueen pisteistä.



Kuva 7.1 Id. Kulkeutumissimulaation osoittama tetrakloorieteenin pitoisuusjakauma akviferissa

POHJAVESIMALLINNUSRAPORTTI

Yleistä

Maastotutkimukset (ks. luku 8)

Tutkittavan pohjavesiesiintymän rakenne (ks. luvut 5.1 ja 8)

Pohjavesimallin laatiminen

Käytetty mallikoodi ja muut tietokoneohjelmat
 Lähtötiedot
 Mallialueen raja (Ibound)
 Koordinaatisto
 Aika- ja muut mittayksiköt
 Vettäjohtava kerros (Top of Layer)
 Kalliopinnan taso (Bottom of Layer)
 Vedenjohtavuus (Horizontal Hydraulic Conductivity)
 ja vedenjohtokyky (Transmissivity)
 Tehokas huokoisuus (Effective Porosity)
 Ojitetut alueet ja lähteet (Drain)
 Imeytyminen (Recharge)
 Vedenottamot (Wells)
 Mallin kalibrointi

Pohjavesimallin tuloksia

Pohjaveden pinta
 Pohjavesialueen raja
 Pohjaveden määrä, vesitase
 Pohjaveden virtausreitit
 Pohjaveden virtausnopeus
 Pohjaveden purkautuminen
Virtausmallin edelleen kehittäminen
Kirjallisuus
Liitekartat

7.13 Kirjallisuutta

- Akkanen, H. 1988. Pohjaveden numeeriset mallit ja niiden käyttö Suomessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laitos. 114s.
- Anderson, M. P. & Woessner W. W. 1992. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, San

- Diego. 381 s.
- Artimo, A. 2003. Three-dimensional geologic modeling and numerical groundwater modeling of Finnish aquifers : a new approach for characterization and visualization. Turun yliopiston julkaisu. Sarja A. II. Biologica-Geographica-Geologica 168. 62 p.
- Bear, J. & Verruijt, A. 1987. Modeling Groundwater Flow and Pollution, theory and applications of transport in porous media. Dordrecht, Holland, D. Reidel Publishing Company. 414 s. ISBN 1-55608-015-8.
- Chunmiao Z. & Bennett G. D. 1995. Applied Contaminant Transport Modeling, Theory and Practice. Van Nostrand Reinhold, The United States of America. 440 s.
- Granlund, K. & Nystén, T. 1991. Pohjavesimallit ja niiden soveltaminen. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 286, 30 s. ISBN 951-47-4108-0, ISSN 0783-3288.
- Hill, M.C. 1992. A computer program (MODFLOW) for estimating parameters of a transient, three-dimensional, ground-water flow model using nonlinear regression. U.S. Geological Survey Open-File Report 91 - 484. 358 s.
- Hill, M.C. 1998. Methods and Guidelines for Effective Model Calibration. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98 - 4005, 90 s.
- Laukkanen, R., Saijonmaa, L., Niini, S. 1991. Pohjavesimallitus päätöksenteon pohjana, Osa I: mallin kalibrointi. Vesitalous, n:o 2. s. 19 - 27.
- McDonald, M.G. & Harbaugh, A. W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1. 586 s.
- Nystén, T. 1993. Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 135. 86 s. ISBN 951-47-7164-8. ISSN 0786-9592.
- Nystén, T., K. Granlund, A-L. Kivimäki & Tuominen, S. 1995. Tiesuolan pohja vesi-vaikutusten mallintamistutkimukset Miekkamäen alueella. Tielaitoksen selvityksiä 29/1995. 116 s. + liit. 19. ISBN 951-726-067-9, ISSN 0788-3722, TIEL 3200307.
- Poeter, E.P. & Hill, M.C. 1997. Inverse Models: A Necessary Next Step in Ground-Water Modeling. Ground Water, Vol.35, No. 2, s. 250-260.
- Seppälä, M. ja Tuominen, S. 2004: Pohjavesien virtausmallinnusopas. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Painossa.
- Verruit, A. 1982. Theory of groundwater flow. The Macmillan Press Ltd, Hong Kong, 144 s.

8 TUTKIMUSSELOSTUKSEN LAATIMINEN

Ympäristöhallinto ja konsultit tekevät muiden toimijoiden ohella erilaisia pohjaveden hankintaan liittyviä tutkimuksia, kuten koepumppauksia, suoja-alueiden ja pohjaveden likaantumisen selvityksiä, geofysikaalisia tutkimuksia ja pohjavesialueiden mallinnusta. Pohjavesitutkimukset ovat yksilöllisiä ja yksityiskohtaisuudessaan erilaisia. Tutkimusselostus on laadittava siten, että tutkimuksen tuloksia voidaan tarvittaessa käyttää myöhemmin uudelleen hyväksi. Tutkimusselostuksessa on esitettävä kaikki tiedot, joita tarvitaan tutkimustulosten ymmärtämiseksi. Näitä ovat taustatiedot, kuten tutkimuksen tilaaja ja tavoite, suoritus aika ja selostus aikaisemmin tehdystä tutkimuksesta, sekä itse tutkimuksen tiedot, kuten kenttätutkimusten yksityiskohtainen kuvaus, selitys laboratoriotutkimuksista sekä tulosten tarkastelu ja johtopäätökset. Yksityiskohtaiset tutkimustulokset esitetään tutkimusselostuksen piirroksissa ja liitteissä. Tutkimusselostuksia liitetään myös ympäristölupavirastolle toimitettaviin hakemusasikirjoihin, jolloin vähimmäisvaatimuksena on asiakirjojen tason ja esitystavan samankaltaisuus kulloinkin esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Tässä luvussa esitetään vedenhankinnan pohjavesitutkimusselostuksen laadintaohjeet, joiden periaatteita voi soveltaa muissakin pohjavesitutkimuksissa. Luvun laatimisessa on käytetty pohjana vesihallinnossa vuoden 1980 paikkeilla laadittua sisäistä ohjetta tutkimusselostuksen laadinnasta (Mälkki 1980).

Koska pohjavesitutkimuksia on monenlaisia ja yksityiskohdissaan erilaisia, tutkimukselle pitää antaa asiakirjan sisältöä mahdollisimman hyvin kuvaava nimi kuten ”Kaivon paikatutkimus” tai ”Tekopohjavesitutkimus”. Otsikkoon merkitään myös tutkimuspaikka esimerkiksi ”Soraharju, Tuusula” ja tutkimusraportin valmistumista osoittava päivämäärä. Suuremmissa tutkimuskonaisuuksissa osa tutkimuksista voidaan raportoida erikseen. Esimerkiksi geofysikaalisten luotausten tulokset voidaan kuvata omassa selostuksessaan. Taulukossa 8.1. on esimerkki tavanomaisen tutkimusselostuksen sisällysluettelosta.

Taulukko 8.1. Esimerkki tavanomaisen pohjatutkimusselostuksen sisällysluettelosta

POHJAVESITUTKIMUKSEN SELOSTUS

1	Yleistä		
1.1	Tutkimuksen tarkoitus, tekijät ja suoritusaika		
1.2.	Vedenkäyttötiedot ja maankäyttö	3	2.5.2. Veden käsittelykokeet
1.3	Tutkimuksen taustatiedot ja ohjelmointi		2.5.3. Putkimittaukset
1.3.1	Kartta- ja ilmakuva-aineisto	3.1	2.5.4. Sadantahavainnot
1.3.2	Aikaisempi tutkimusaineisto	3.2	Mallinnustutkimukset
1.3.3	Alueen yleiskuvaus ja tutkimusohjelma	4	Pohjavesialueiden geologiset rakenne-
2	Maastotutkimukset	5	mallit
2.1	Pohjavesialuetta koskevat yleisselvitykset	5.1	Pohjavesimallit
2.1.1.	Maanomistusolojen selvittäminen	5.2	Laboratoriotutkimukset
2.1.2.	Maastotutkimusten aikaiset paikannusmittaukset, kiintopisteet ja kohdekartoitukset/asemapiirrokset	5.3	Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset
2.2	Pohjavesialueen geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset	5.4	Hydrogeologiset olosuhteet
2.2.1.	Maastotarkastelu	5.5	Esiintymän antoisuus
2.2.2.	Geofysikaaliset mittaukset ja luotaukset	5.6	Veden laatu
2.2.3.	Maaperäkairaukset	5.7	Vedenoton järjestely
2.3	Pohjavesialueen hydrogeologiset tutkimukset	5.8	Tekopohjaveden muodostamismahdollisuudet
2.3.1.	Virtaamahavainnot	5.9	Veden käsittelytarve ja -tapa
2.3.2.	Kaivoinventointi	5.10	Ympäristövaikutukset
2.3.3.	Havaintoputkien asennus ja ominaisantoisuuspumppaukset tai hydrauliset putkimittaukset		Pohjaveden suojaaminen
2.3.4.	Pohjavettä likaavien toimintojen kartoitus		Vedenoton oikeudelliset edellytykset
2.4	Yhteenveto pohjavesialuetta koskevistä tutkimuksista		Liitteet:
2.5	Pohjaveden hankintaan tähtäävät maastotutkimukset		1. Yleiskartta
2.5.1.	Koepumppaukset ja tekopohjaveden imeytyskokeet		2. Maaperäkairauksen tulokset
			3. Putkikortit ja antoisuuspumppauksen tulokset
			4. Putkimittauksen tulokset
			5. Vesinäytteiden tutkimustulokset
			6. Sadetahavainnot
			7. Kaivokortit
			8. Koepumppauspiirros
			9. Asemapiirros
			10. Tutkimuskartta
			11. Hydrogeologinen kartta
			12. Leikkauspiirustukset ja muut piirrokset
			13. Luettelo aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista
			14. Cd-levy tai vastaava keskeisimmistä tutkimustuloksista tai raportin pdf-versio

8.1 Yleistä

Tutkimusselostuksen alussa kerrotaan yleisiä tietoja tutkimuksesta ja tausta-aineistosta.

8.1.1 Tutkimuksen tarkoitus, tekijät ja suoritus aika

Selostetaan missä, milloin ja mitä tarkoitusta varten sekä ketkä tutkimuksen tekevät. Lisäksi esitetään tutkimusalueen ja tutkimusmenetelmien valinnan perusteet. Mainitaan myös tutkimuksen mahdollinen tilaaja ja eri tutkimusvaiheiden aikataulu. Tutkimusmenetelmistä riittää yleismaininta, josta ilmenee tutkimusten luonne, kuten ”alustava kaivonpaikka- ja vedenlaatututkimus” tai ”tekopohjavesi- ja imeytystutkimus”.

8.1.2 Vedenkäyttötiedot ja maankäyttö

Selvitetään nykyinen vedenkäyttö sekä arvioidaan mahdollinen kriisiajan vedentarve. Selostetaan, milloin hanke tulisi toteuttaa. Jos esimerkiksi II luokan pohjavesialueita tutkittaessa ei ole tarkkoja tietoja vedentarpeesta, esitellään ainakin ne alueet, joille pohjavesialueiden vettä on tarkoitus tulevaisuudessa johtaa. Arvioita voidaan tehdä esimerkiksi useamman kunnan kriisiajan tai haja-asutusalueiden vedentarpeesta. Vedentarve voi ilmetä myös edellisen kohdan yhteydessä (Tutkimuksen tarkoitus). Lisäksi selvitetään alueen nykyinen maankäyttö ja kaavoitustilanne.

8.1.3 Tutkimuksen taustatiedot ja ohjelmointi

Kartta- ja ilmakuva-aineisto

Luetellaan käytettävissä ollut kartta- ja ilmakuva- sekä paikkatietoaineisto. Ilmakuvia ja kaikkia karttoja ei liitetä raporttiin. Liitteinä esitetään usein tutkimuskartta mittakaavassa 1:10 000, hydrogeologinen kartta mittakaavassa 1:20 000 ja yleiskartta mittakaavassa 1:100 000 tai 1:200 000. Kuvien ja karttojen käyttöoikeuksista on huolehdittava.

Aikaisempi tutkimusaineisto

Selostetaan aiemmin alueella tehty tutkimus ja laaditaan niistä luettelo liitteeksi. Aiempien

tutkimusten tärkeimmät tulokset tulee selostaa siten, että lukija saa tekstin perusteella hyvän kuvan tutkimuksista ja niiden tuloksista. Pelkkä viittaus tutkimuksiin ei riitä.

Alueen yleiskuvaus ja tutkimusohjelma

Tutkimuksista laaditaan selostus, jossa esitetään pohjavesitutkimuksen kannalta oleelliset yleiset tiedot, kuten hydrogeologiset yleispiirteet, pohjaveden esiintyminen ja tutkimusta rajoittavat tekijät, kuten luonnonsuojelualueet, pohjaveden likaantuminen tai likaantumisvaara.

8.2 Maastotutkimukset

Tässä käsitellään ja kuvataan lyhyesti eri työvaiheet sekä luetteloidaan liitteet, joissa on esitetty eri vaiheista saatu tutkimustieto. Yhteenvedoja esitetään niiltä osin, kun niitä ei ole mukana tutkimustulosten tarkastelussa. Varsinaisia tutkimuspäätelmiä ei esitetä tässä yhteydessä.

8.2.1 Pohjavesialuetta koskevat yleisselvitykset

Maanomistusolojen selvittäminen

Tutkimusalueen maanomistusolot ja tutkimusta varten saadut luvat selostetaan tässä kohdassa. Tilojen rekisterinumerot merkitään asemapiirrokseen ja tutkimuskartalle. Maanomistajista laaditaan erillinen luettelo, joka esitetään liitteenä.

Maastotutkimusten aikaiset paikannusmittaukset ja kohdekartoitukset/asemapiirrokset

Tutkimuksen aikana laaditut kartat ja tehdyt vaaitukset luetteloidaan. Vaaituksissa käytetty korkeusjärjestelmä mainitaan. Koepumppauspaikalta laaditaan yleensä yksityiskohtainen kartta. Kiintopisteet esitetään kartoilla. Tulokset esitetään asemapiirrustuksessa ja tutkimuskartalla.

8.2.2 Pohjavesialueen geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset

Maastotarkastelu

Selostetaan maastotarkastelun yhteydessä tehty yleisluonteiset geologiset ja hydrogeologiset havainnot ja arvioidaan pohjaveden likaantumisen riskit. Selvitetään kohteet, joihin koepumppaus

voi vaikuttaa ja arvioidaan pumppauksen mahdolliset haittavaikutukset. Kartoitetaan lähteet ja osoitetaan, mihin asennetaan pysyvät mittapadat virtaamamittauksia varten. Arvioidaan alustavasti koepumppauksen vaikutusalue ja sillä sijaitsevat yksityiset kaivot. Esitetään tutkimusohjelma jatkotutkimuksia varten ja laaditaan tutkimusten aikataulu.

Geofysikaaliset mittaukset ja luotaukset

Selostetaan tehtyjen geofysikaalisten tutkimusten, kuten maatutkaluotausten sekä gravimetristen ja seismisten luotausten määrät ja tulokset. Selostetaan tulosten perusteella tehtävissä olevat johtopäätökset maaperän paksuudesta ja rakenteesta, pohjaveden virtaussuunnista, vedenjakajista, kallionpinnan sijainnista ja pohjaveden pinnasta.

Maaperäkairaukset

Selostetaan kevyet ja raskaat kairaukset, niiden sijainti ja tulokset. Kairausten yksityiskohtaiset tiedot esitetään liitteissä. Kairaustietojen esittämisessä suositellaan käytettäväksi Suomen geoteknillisen yhdistyksen ohjeita ja merkintöjä. Mainitaan, millä menetelmillä ja koneilla kairaukset on tehty. Erityisen tärkeää tämä on silloin, kun on käytetty useita kairausmenetelmiä. Selostetaan kairauksilla saadut tiedot maakerrosten paksuuksista, geologisesta rakenteesta ja maalajeista. Lukijan on saatava selostuksen perusteella hyvä yleiskuva maaperäolosuhteista ja niiden vaihteluista. Pelkkä viittaus tuloksiin ei riitä.

8.2.3 Pohjavesialueen hydrogeologiset tutkimukset

Virtaamahavainnot

Selostetaan missä ja milloin tehtiin virtaamamittauksia. Selostetaan minkälaisilla välineillä mittaukset eri pisteissä tehtiin. Arvioidaan tulosten perusteella tutkimusalueelta purkautuvat vesimäärät mittausajankohtana ja koepumppauksen vaikutukset purkautuviin vesimääriin. Virtaamamittauspisteet esitetään tutkimuskartalla ja pistekohtaiset mittaustulokset liitteenä.

Kaivoinventointi

Inventoiduista kaivoista ja niiden vedenpinnoista laaditaan selostus. Yksityiskohtaiset tiedot esitetään kaivokorteilla. Kerrotaan kaivojen veden laatu ja mahdolliset laatuongelmat. Pohjaveden pinnan havainnointia jatketaan myös koepumppauksen aikana, jolloin otetaan lisää vesinäytteitä. Kaivoinventointi kannattaa tehdä todennäköistä pumppauksen vaikutusalueelta laajemmalla alueella, jotta välttyttäisiin myöhemmin ilmeneviltä epäselvyyksiltä vaikutusten suhteen.

Havaintoputkien asennus ja ominaisantoisuus-pumppaukset tai hydrauliset putkimittaukset

Kerrotaan, millaisia havaintoputkia on asennettu ja minne ne on sijoitettu. Perustellaan erilaisten putkien asennustarve. Tarkemmat tiedot putkista esitetään putkikortilla. Esitetään pohjavedenpintamittausten perusteella selvitetty pohjaveden virtaussuunnat. Selostetaan alustavien koepumppauksen ja/tai hydraulisten putkimittausten tulokset ja laaditaan kuvaus maaperän vedenläpäisevyydestä. Selostetaan alustavien pumppauksen yhteydessä eri tasoilta otettujen vesianalyysien tulokset ja putkista tehtyjen vedenlaatumittausten tulokset, jos niitä on tehty.

Pohjavettä likaavien kohteiden kartoitus

Kartoitetaan alueella sijaitsevat, mahdollisesti pohjavettä likaavat kohteet kuten öljysäiliöt, turkistarhat, kaatopaikat, suolattavat tiet, lannoitetavat pellot ja soranottoapaikat. Lisäksi eritellään kohteet, joissa pohjaveden laadussa on todettavissa merkkejä likaantumisen ja joissa veden laatumuutoksia on jo tapahtunut. Eritellään sellaiset kohteet, jotka aiheuttavat potentiaalisen likaumisriskin, mutta eivät vielä näy vesianalyysissä. Soranottoalueilla määritetään pohjavettä suojaavan maakerroksen paksuus sekä ehdotetaan mahdollisia täyttö- ja jälkihoitotoimenpiteitä

8.2.4 Yhteenveto pohjavesialuetta koskevista tutkimuksista

Koko pohjavesialuetta koskevissa hankkeissa tässä kohdassa selostetaan pohjavesialueen käytävissä olleiden tietojen ja tehtyjen tutkimusten perusteella pohjavesialueen geologinen raken-

ne. Esitetään, minkälaiseen tulokseen alustavissa maastotutkimuksissa on päästy koepumppauspaikan valinnan suhteen. Lisäksi laaditaan yksityiskohtainen jatkotutkimusohjelma. Ohjelmaa laadittaessa on otettava huomioon esiintymän todennäköinen antoisuus, sopiva koepumppaus-teho ja sopiva ajankohta, koepumppauksen mahdolliset vaikutukset lähdevirtaamiin ja yksityisiin kaivoihin sekä mahdollisesta kaivojen kuivumisesta aiheutuvan vesihuollon järjestäminen. Koepumppaus tulisi tehdä kuivana aikana joko talvella tai kesällä. Talvella tehdyn koepumppauksen etuna on, että pohjaveden pinta nousee nopeasti keväällä, jolloin mahdollisesti kuivuneet kaivot täyttyvät nopeasti. Toisaalta tällöin ei saada tietoa vedenpintojen palautumisesta kuivana vuodenaikana mallinnusta ja haittojen arviointia varten. Pumppauspaikan ja -määrien sekä ympäristövaikutusten määrittelyssä voidaan käyttää apuna pohjaveden virtausmallia.

8.2.5 Pohjaveden hankitaan tähtäävät maastotutkimukset

Koepumppaukset ja tekopohjaveden imeytyskokeet

Selostetaan, mihin koepumppauspaikka päätettiin rakentaa ja kerrotaan asennettujen imuputkien tai koekaivon yleispiirteiset tekniset tiedot, kuten halkaisija, syvyys ja siivilätason asema. Tarkat tiedot esitetään liitteissä joko taulukkona tai leikkauspiirroksena ja asemapiirroksessa. Selostetaan koepumppauksen tai tekopohjaveden imeytyskokeiden kulku, imeytetyt vesimäärät ja pumppaus-tehot. Pumppausmäärät ja vedenkorkeushavainnot näkyvät parhaiten pumppausdiagrammissa. Lisäksi esitetään koepumppauksen aikaiset toimenpiteet kuten vedenpinnanhavainnot, vedenlaadun mittaukset, vesinäytteiden otto, veden käsittelykokeet sekä pumppauksen vaikutukset lähdevirtaamiin ja kaivoihin. Esitetään kommentteja pumppauksen vaikutusalueuunnista. Vaikutuksenalaiset kaivot esitetään kaivonumeroittain. Tässä yhteydessä kerrotaan myös kaivoissa tapahtuneista veden laadunmuutoksista, mutta tarkempi erittely tehdään veden laatua koskevassa luvussa.

Veden käsittelykokeet

Selostetaan pohjaveden käsittelykokeiden kuten alkaloinnin sekä raudan ja mangaanin poistokokeiden vaiheet ja tulokset. Koejärjestelyt esitetään piirroksina. Tutkimustulokset kokeen eri vaiheista esitetään tässä yhteydessä.

Putkimittaukset

Tutkimuksen havaintoputkissa tehtyjen lämpötila-, sähkönjohtavuus- ja happimittausten sekä veden virtausnopeuden sekä maaperän läpäisevyysmittausten tulokset esitetään tässä. Kuvataan veden laadun vaihtelut eri tasoilla ja mittauspisteissä. Mittausten tulokset esitetään liitteinä. Todetaan koepumppauksen mahdollisesti aiheuttamat muutokset mittauksissa.

Sadantahavainnot

Esitetään säähavaintoasemilta saadut tai tutkimusten yhteydessä mitatut tutkimuksen aikaiset sadantahavainnot. Kootaan tarvittaessa myös pitkäaikaisten sadantahavaintojen tulokset. Sadantahavainnot esitetään koko tutkimusta edeltäneeltä vuodelta. Sadantahavainnoista esitetään myös mahdollisuuksien mukaan niin sanotut ”korjatut havainnot”, joissa on otettu huomioon havaintopaikan paikalliset olosuhteet kuten sijainti, puusto ja maastonkohta. Korjattuja havaintoja käytetään antoisuusarvioita tehtäessä.

8.3 Mallinnustutkimukset

Laaditaan selostus tutkimusten yhteydessä tehdystä mallinnuksesta. Pohjavesiesiintymän hydrogeologian ominaispiirteet voidaan raportoida geologista rakennemallia apuna käyttäen. Selostetaan pohjaveden virtausmallin antamat tulokset pohjaveden virtausuunnista, vedenjakajista, pohjaveden oton vaikutusalueesta ja veden pinnan arvioidusta laskusta erilaisilla vedenototehoilla, vaikutukset lähteisiin ja niiden virtaamiin sekä kaivoihin. Arvioidaan mahdolliset muutokset pohjaveden virtausuunnissa. Pohjavesimalli voidaan esittää myös erillisenä raportina, jonka päätulokset esitetään tässä yhteydessä. Esitetään arvio mahdollisesta myöhemmästä mallintamistarpeesta esimerkiksi vedenoton yhteydessä.

8.3.1 Pohjavesialueiden geologiset rakennemallit

Harjualueiden rakenneselvityksiä käytetään vesihuollon ja maankäytön suunnittelun tarpeisiin. Tietoja käytetään pohjaveden suojelusuunnitelmien taustatietoina ja ennen kaikkea pohjavedenvirtausmallien lähtötietona. Virtausmallit vaativat onnistuakseen tarkkaa tietoa pohjavesiesiintymien geologisesta rakenteesta. Katso tarkemmin kappale 5.1.

Rakennemallissa on tyypillisesti seuraavat kartat ja kuvat:

- Kalliopinnan korkokuva ja pohjaveden virtausta estävien kalliokynnysten sijainti.
- Pohjavedenpinnan taso, pohjavesivyöhykkeen ja kuivan maapeitteen paksuudet sekä pohjavedenpinnan tason ja virtaussuuntien antama epäsuora tieto geologisesta rakenteesta.
- Harjun rakenne: hyvin ja heikosti vettä johtavien kerrosyksikköjen ulottuvuudet, pohjana sedimentologinen rakennetulkinta, joka perustuu eri havainto- ja mittausaineistoihin.
- Tarvittaessa: Kallioperän ruhjetulkinta ja ruhjeiden vaikutus pohjavesiesiintymän vesitalouteen sekä orsivesikerrosten olemassaolon selvittäminen.
- Raportoinnissa tietojen esittämisessä GIS-pohjaiset kartta-analyysit ja tarvittaessa 3D-visualisointi.

8.3.2 Pohjavesimallit

Tutkimusten yhteydessä tehdyt pohjavesimallit raportoidaan yleensä omana erillisenä raporttinaan. Pohjavesimallien raportointia on käsitelty luvussa 7.12.

8.4. Laboratoriotutkimukset

Esitetään maanäytteistä ja vesinäytteistä laboratoriossa tehdyt määritykset, määritysmenetelmät ja analyysien tulokset yhteenvetoiineen. Myös käytetyt standardit ja laboratoriot kirjataan selostukseen. Selostetaan veden laadunmuutokset tutkimusten aikana sekä laaditaan arvio veden laadun kehittymisestä jatkuvan vedenoton

aikana. Näitä ovat muutokset veteen liuenneen hapen pitoisuudessa sekä rauta- ja mangaanipitoisuuksissa. Esitetään mahdollinen vedenkäsittelytarve. Laaditaan suositus veden käsittelyyn soveltuvista menetelmistä. Useimmin kysymyksen tulevia menetelmiä ovat happamuuden poistaminen esimerkiksi kalkkikivialkaloinnin avulla sekä raudan ja mangaanin poistaminen biologisia tai kemiallisia menetelmiä käyttäen.

8.5. Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämä on pohjavesitutkimusselostuksen tärkein osa. Siinä kerrotaan tutkimuksen tekijän käsitys tutkimustuloksista ja niiden perusteella tehtävistä johtopäätöksistä koskien esiintymän antoisuutta, veden laatua sekä käsittelytarvetta ja -tapaa, vedenoton haittavaikutuksia sekä pohjaveden likaantumiseriskiä ja riskin torjumista. Lopputuloksena voi olla, että esiintymä ei sovellu vedenhankintaan esimerkiksi likaantumisen takia. Selvitys tulee laatia siten, että ulkopuolinenkin saa tutkimuksista selkeän kuvan, eikä johtopäätösten teko jää lukijan vastuulle.

8.5.1 Hydrogeologiset olosuhteet

Selostetaan tutkimusalueen hydrogeologiset olosuhteet. Tulokset esitetään hydrogeologisella kartalla. Tekstinä ja mahdollisina lisäpiirroksina kuvataan maakerrosten laatu, kerrospaksuudet ja -rakenne, alueen pohjaveden virtauskuva ja sen mahdolliset muutokset sekä vaikutukset veden laatuun vedenoton aikana, vedenjakajat, vedenottoaikaan liittyvän varsinaisen pohjaveden muodostumisalueen rajat, lähteiden sijainnit ja muutokset lähteiden virtaamisissa.

8.5.2 Esiintymän antoisuus

Laaditaan arvio esiintymän antoisuudesta. Arvio perustuu koepumppaukseen ja pohjaveden muodostumisalueen laajuuteen ja yhtenäisyyteen, maaperän laatuun, topografiaan, kasvipeitteeseen ja sadantaan. Arvion tukena voidaan käyttää pohjaveden virtausmallia. Arviossa tulee ottaa huomioon myös pintavesistöjen mah-

dollinen vaikutus veden laatuun. Selostuksessa arvioidaan myös pitkäaikaisen vedenoton mahdolliset vaikutukset veden laatuun.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää oikeiden sadantatietojen (”korjatut sadannat”) ja pohjaveden muodostumisprosentin käyttöön. Pohjavettä muodostuu harjualueilla maasto-olosuhteista riippuen noin 50 - 60 % sadannasta. Tämä selostuksen osa tulee laatia erityisen perusteellisesti ja huolellisesti, sillä saatavissa oleva vesimäärä muodostaa perustan, jolla haetaan vesilupaa ympäristölupavirastolta. Arviot on perusteltava siten, että ulkopuolinenkin lukija ymmärtää, mihin ne perustuvat. Tällöin ei riitä lyhyt toteamus, että ”tehtyjen tutkimusten perusteella esiintymän antoisuudeksi arvioidaan...”

8.5.3 Veden laatu

Selostetaan vesianalyysien tutkimustulokset ja veden laatu. Pelkkä viittaus analyysihin ei riitä. Veden laatua voidaan verrata muualta saatuihin tuloksiin virtauskuvaltaan erilaisissa esiintymissä. Tärkeää on arvioida veden laadun muuttumista koepumppauksen aikana. Erityistä huomiota on kiinnitettävä veteen liunneen hapen pitoisuuteen ja pitoisuuden muutoksiin ennen koepumppausta ja sen aikana. Mahdollisuuksien mukaan arvioidaan myös eri vuodenaikojen vaikutus veden laatuun. Laaditaan ennuste veden laadun muutoksista erityisesti rauta- ja mangaanipitoisuuksien osalta. Samalla arvioidaan veden laatua erilaisilla ottotehoilla. Todetaan, miten hyvin pohjavesi täyttää hyvälle juoma- ja talousvedelle asetetut tavoitteet, ja mitkä veden laatuominaisuudet edellyttävät veden käsittelyä.

8.5.4 Vedenoton järjestely

Esitetään ehdotus vedenoton järjestelystä kuten kaivojen lukumääristä ja sijainnista sekä vedenotossyvyyksistä. Lisäksi annetaan suositus kaivotyypistä ottaen huomioon veden laadun vaihtelut eri syvyyksillä. Esitetään arviot, kuinka paljon vettä kustakin kaivosta suositellaan otettavaksi. Usein pelkkä pohjavesitutkimus ei riitä, vaan lisäksi tarvitaan erikseen tehtävä kaivonpaikatutkimus, josta laaditaan tarvittaessa erillinen selostus.

8.5.5 Tekopohjaveden muodostamismahdollisuudet

Selostetaan edellytykset tekopohjaveden muodostamiseen ja tähän tarvittavan raakaveden saantiin siinä laajuudessa kuin se tutkimustulosten perusteella on mahdollista. Laaditaan alustava ehdotus imeytysalueiden sijainnista. Esitetään arvio saatavissa olevan lisäveden määrästä ja laadusta sekä toimenpiteet, joita tekopohjaveden muodostaminen edellyttää. Varsinainen tekopohjavesitutkimus imeytyskokeineen tehdään usein erikseen, ja siitä laaditaan erillinen raportti. Sen laadinnassa voidaan soveltaa tätä ohjetta. Raportissa tulee kiinnittää erityistä huomiota imeytyksen toteuttamiseen ja vaikutuksiin pohjaveden pintoihin. Apuna käytetään yleensä pohjavesimallinnusta, jonka perusteella laaditaan arviot viipymistä ja käyttöön saatavista vesimääristä. Tekopohjaveden laatua arvioitaessa voidaan käyttää hyväksi mm. TEMU-projektin tutkimustuloksia.

Tässä yhteydessä voidaan arvioida myös rantaimetytymisen vaikutusta saatavissa olevan veden määrään ja laatuun. Selostuksessa tulee esittää tiedot rantaimetytävän veden laadusta ja vaikutuksista ottamolta saatavan veden laatuun sekä pohjaveden mahdollinen jälkikäsitteilytarve ja -tapa.

8.5.6 Veden käsittelytarve ja -tapa

Arvioidaan vedenkäsittelytarve ja ehdotetaan siihen soveltuvat käsittelymenetelmät. Kenttätutkimusten ja mahdollisten käsittelykokeiden perusteella laaditaan suositukset käsittelylaitoksen, kuten kalkkikivialkaloinnin tai biologisen raudan ja mangaanin poistolaitoksen mitoitusperusteista.

8.5.7 Ympäristövaikutukset

Koepumppauksesta saatujen tietojen kuten vedenpinta- ja kaivohavaintojen sekä lähteiden virtaamamittausten perusteella arvioidaan vedenoton mahdolliset haittavaikutukset ympäristölle. Ne tulee arvioida erityisesti luonnonsuojelualueilla sekä luonnonsuojelulain ja metsälain tarkoittamilla erityiskohteilla kuten luon-

nonlähteillä ja pienvesistöillä. Tässä yhteydessä laaditaan myös ehdotus lähteiden, pintavesistöjen, kaivojen ja havaintoputkien tarkkailuohjelmaksi, jota tulisi noudattaa vedenottamoa käytettäessä. Vedenpintojen lisäksi voidaan tarkkailla myös kaivojen vedenlaatua. Tarkkailuohjelmaa laadittaessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota sopivaan laajuuteen, koska ympäristölupavirasto asettaa usein vedenottolupapäätöksessään tarkkailuvelvoitteen tutkimusasiakirjojen perusteella. Ohjelmaan ei ole syytä sisällyttää orsivesikaivoja. Yli 2500 m³/d pohjavettä tai tekopohjavettä käyttävät hankkeet vaativat YVA-lain mukaisen arviointimenettelyn.

8.5.8 Pohjaveden suojaaminen

Maastoselvitysten perusteella laaditaan ehdotus pohjaveden suojaamisesta. Esitetään rajoitukset, joita ympäristön käytölle tulisi asettaa ja toimenpiteet, joita jo olemassa olevien kohteiden aiheuttaman saastumisvaaran poistamiseksi olisi tehtävä. Pohjaveden suojelua varten on usein tarpeellista laatia erikseen pohjaveden suojelusuunnitelma, jossa selvitetään tarkemmin riskikohteet ja laaditaan toimenpideohjelma.

8.5.9 Vedenoton oikeudelliset edellytykset

Selostetaan vesilain mukaiset edellytykset vedenottoon ja toimenpiteet, joihin olisi ryhdyttävä luvan saamiseksi.

8.5.10 Liitteet

Tutkimuskartat ja piirustukset joihin tekstissä viitataan liitetään tutkimusselostuksen liitteiksi. Liitteiden ulkoasuun ja selkeyteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Liitteissä tulisi esittää kaikki tutkimustulokset. Jos raportti on laaja, liitteet voidaan esittää omana liitekansionaan. Osa tutkimuksista voidaan esittää erillisenä raporttina. Niistä tulisi kuitenkin esittää yhteenveto pääraportissa. Suurimmat kartat, kuten tutkimuskartta ja hydrogeologinen kartta kannattaa sijoittaa lukemisen helpottamiseksi raportin loppuosaan.

1. Yleiskartta

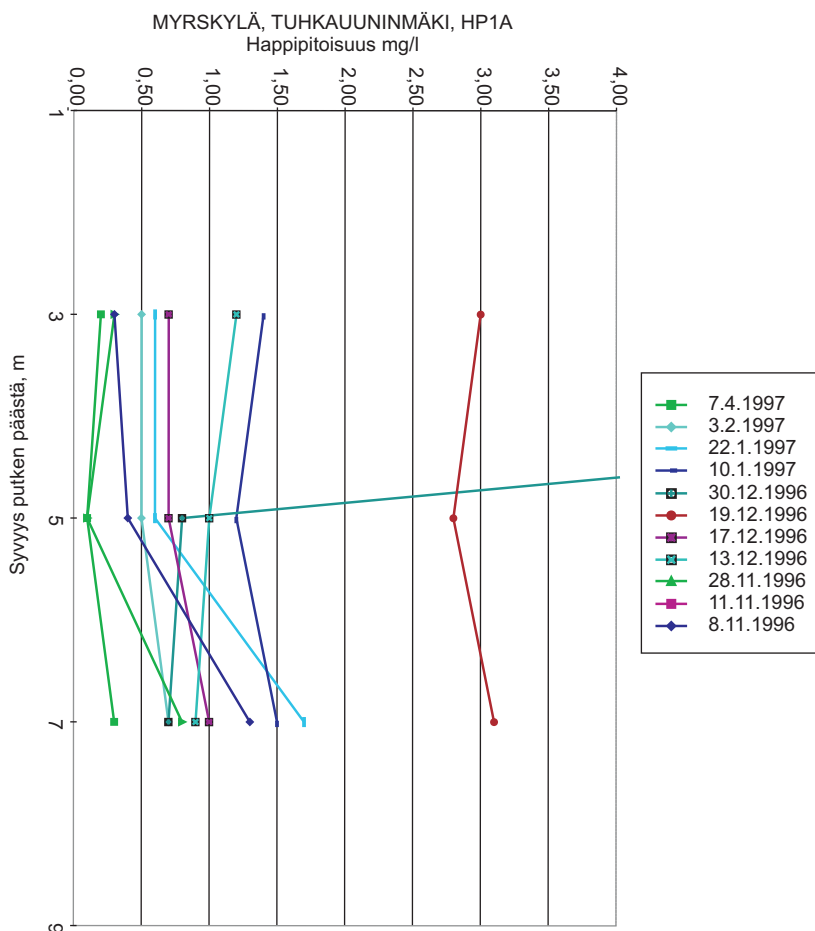
Yleiskartasta ilmenee tutkimusalueen sijainti kuten kunta, jossa tutkimus on tehty. Käyttökelpoisia ovat esimerkiksi 1: 100 000 tai 1: 200 000 mittakaavaiset kartat. Kysymykseen voi tulla myös kartta mittakaavassa 1: 50 000 (liite 8.5.10/1).

2. Maaperäkairauksen tulokset

Kairauksentulokset kootaan kairauspöytäkirjoista. Pöytäkirjoista tulisi käydä ilmi, millä tavalla kairaus on tehty (lyöntikairaus, tärykairaus tai porakonekairaus). Tulokset ovat aina kairajaan tulkintoja maaperän laadusta ja kerroksellisuudesta. Kairauksentulokset esitetään kirjainlyhenteinä geoteknillisten ohjeiden mukaan. Syvyydet esitetään metreinä maanpinnasta. Mikäli tutkimuspisteet vaaitaan ja saadaan havainto pohjavedenpinnasta, tulokset merkitään kairauksentulosten yhteyteen. Liitteeseen voidaan merkitä myös muita kairajaan havaintoja maalajin vedenläpäisevyydestä, kivisyydestä ja hienoaineksen määrästä. Kaikki kairajaan havainnot ovat hyödyllisiä ja ne tulisi kirjata. Kairaukset tulisi tehdä aina kallioon asti. Merkintä ”eks.” ei ole suositeltava. Kairauksen merkitsemisessä kartoille ja leikkauspiirroksiin suositellaan käytettäväksi Suomen geoteknillisen yhdistyksen ohjeita ja merkintöjä.

3. Putkikortit ja antoisuuspumppausten tulokset

Pohjaveden havaintoputkitiedot ja alustavien pumppausten tulokset esitetään luettelomaisesti sitä varten tehdyllä lomakkeella, joka toimii samalla putkikorttina (liite 8.5.10/3). Lomakkeessa esitetään putken numero, materiaali (teräs tai muovi), läpimitta, pituus, siiviläosan ylä- ja alapään korkeudet, siivilän tyyppi, siivilän rakotai reikäkoko, pohjaveden pinnan sijainti, mittauspäivämäärä, pumppausvyvyys, pumppauksen kesto ja tuotto, havainnot veden kirkastumisajasta sekä vesinäytteiden otossyvyydet. Putkikortilla tulisi esittää myös maaperätiedot, putken koordinaatit ja karttalehden numero. Siinä mainitaan myös, onko putki jätetty paikoilleen myöhemmin tapahtuvaa pohjavedenpinnan seuranta varten.



Kuva 8.5.10.1 Happipitoisuuden mittaustuloksia havaintoputkessa.

4. Putkimittausten tulokset

Veden laatuun liittyvät havainnot, kuten happimittausten tulokset voidaan esittää käyrinä syvyyden suhteen (kuva 8.5.10.1). Putkivirtausmittausten tulokset, kuten tiedot veden läpäisevyyden suhteellisesta jakaumasta ja ominaisantisuudesta esitetään erikseen liitteenä. Siinä esitetään myös tiedot putken materiaalista, putken rakojen läpimitoista, pohjaveden pinnasta ja syvyydestä (liite 8.5.10/4).

5. Vesinäytteiden tutkimustulokset

Vesinäytteiden laboratoriotuloksista kootaan taulukko, jossa tulokset esitetään parametreittain aikajärjestyksessä (liite 8.5.10/5). Tällöin tulosten tarkastelu ja kokonaisuuden hahmottaminen

helpottuu. Kaavakkeelle tulee merkitä havaintopisteen numero, pumppaus­syvyydet, pumppauksen tuotto ja ajankohta. Tässä yhteydessä voidaan esittää myös yksittäisten kaivojen ja lähteiden vedenlaatu­tulokset.

6. Sadehavainnot

Sadehavainnot esitetään kuukausittain lähim­mältä sää­havaintoasemalta saatujen tietojen perusteella. Tulokset esitetään tutkimusvuodelta ja kahdelta aikaisemmalta vuodelta taulukon muo­dossa (kuva 8.5.10.2). Lisäksi esitetään myös vuo­sien 1960 - 90 sadehavaintojen keskiarvot, tiedot lumipeitteen tulosta ja sulamiskauden alkami­sesta. Sadantatiedot tulee esittää mahdollisuuk­

sien mukaan niin sanottuina ”korjattuina sadantoina”, joissa on otettu huomioon paikallisten olosuhteiden, kuten havaintoaseman sijainnin vaikutus tuloksiin. Yleensä korjatut sadannat ovat keskiarvoa suurempia.

7. Kaivokortit

Kaivohavainnot esitetään kaivokorteilla (liite 4.1.1/3). Kortin huolellinen täyttäminen on tärkeää, koska tietoja voidaan tarvita myöhemmin esimerkiksi ympäristölupakäsittelyssä ja mahdollisia korvauksia arvioitaessa. Lomakkeelle merkitään tiedot mahdollisista vesinäytteiden ostoista. Veden laatu esitetään yleensä erikseen (liite 8.5.10/5).

8. Koepumppauspiirros

Koepumppauspiirroksessa esitetään pumppaus-tehot ja tehon muutokset sekä pohjavedenpinnan havainnot aika-asteikolla. Piirroksen mittakaava tulee valita siten, että siitä saa hyvän kokonaiskuvan. Toivottavaa olisi, että vedenpinnan korkeudet voitaisiin lukea ainakin kymmenen senttimetrin tarkkuudella. Apuviiivat helpottavat lukemista. Piirros ei saa olla liian iso (sopiva koko on A4 tai A3). Jos havaintokohteita on paljon, vain tärkeimmät kohteet esitetään diagrammissa ja pois jääneet voidaan esittää erillisellä liitteellä. Havaintokohteiden vedenpintakäyrien viivatyytit tulee valita siten, että ne erottuvat hyvin toisistaan.

Koepumppauspiirrokseseen voidaan lisäksi merkitä tiedot pumppauspaikan maaperästä, sadannasta ja lumien sulamisajasta. Myös tiedot mahdollisista vedenlaatumittauksista kuten happipitoisuudesta, sähkönjohtavuudesta ja lämpötilasta voidaan merkitä piirrokseseen. Vedenpinta- ja virtaamahavainnot on syytä kirjata useita kuukausia ennen koepumppauksen aloittamista ja sen päättymisen jälkeen (liite 8.5.10/8).

9. Asemapiirros

Asemapiirrokseseen merkitään koepumppauspaikalla ja sen läheisyydessä sijaitsevien tutkimuspisteiden ja havaintoputkien tarkat paikat. Paikat tulee sitoa maastomerkkeihin kuten rajapyykkeihin siten, että esimerkiksi kaivon paikka on myöhemmin helposti löydettävissä. Piirroksessa on hyvä esittää tutkimusalueen maa-

peräolosuhteet kuten suot, korkeussuhteet ja ilmansuunnat. Imuputkien sijainnista voidaan esittää tarkepiirustus. Piirroksessa esitetään myös ehdotus vedenottamoalueen sijainnista ja laajuudesta. Ottamoalueen pinta-alan tulisi olla noin 0,5 - 1,0 hehtaaria riippuen ottamon koosta ja muista paikallisista olosuhteista. Vedenottamoalueen sijaintia ja kokoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon mahdollisten vedenkäsittelylaitteiden koko ja sijoitus (liite 8.5.10/9).

10. Tutkimuskartta

Tutkimuskartalla esitetään kaikki tutkimuspisteet ja -linjat. Sopiva mittakaava on 1:10 000. Kun kysymys on laajasta alueesta, voidaan käyttää karttoja mittakaavassa 1:20 000. Esimerkkejä tutkimuskartoista on esitetty liitteenä 8.5.10/10. Tutkimuskartalla esitettäviä asioita ovat muun muassa:

- korkeuskiintopisteet
- kairauspisteet
- geofysikaaliset luotauslinjat
- havaintoputkien sijainti, putken pään korkeus ja veden pinnan korkeuden vaihteluvälit päivämäärineen
- kiintopisteet
- koepumppauspaikka
- lähteet ja niiden virtaamat sekä virtaamien vaihtelut päivämäärineen
- pohjaveden virtaussuunnat
- vedenjakajat
- maanomistusolosuhteet
- pohjavettä likaavat kohteet, kuten soranottoalueet, öljysäiliöt, kaatopaikat, turkistarhat ja kyllästämöt

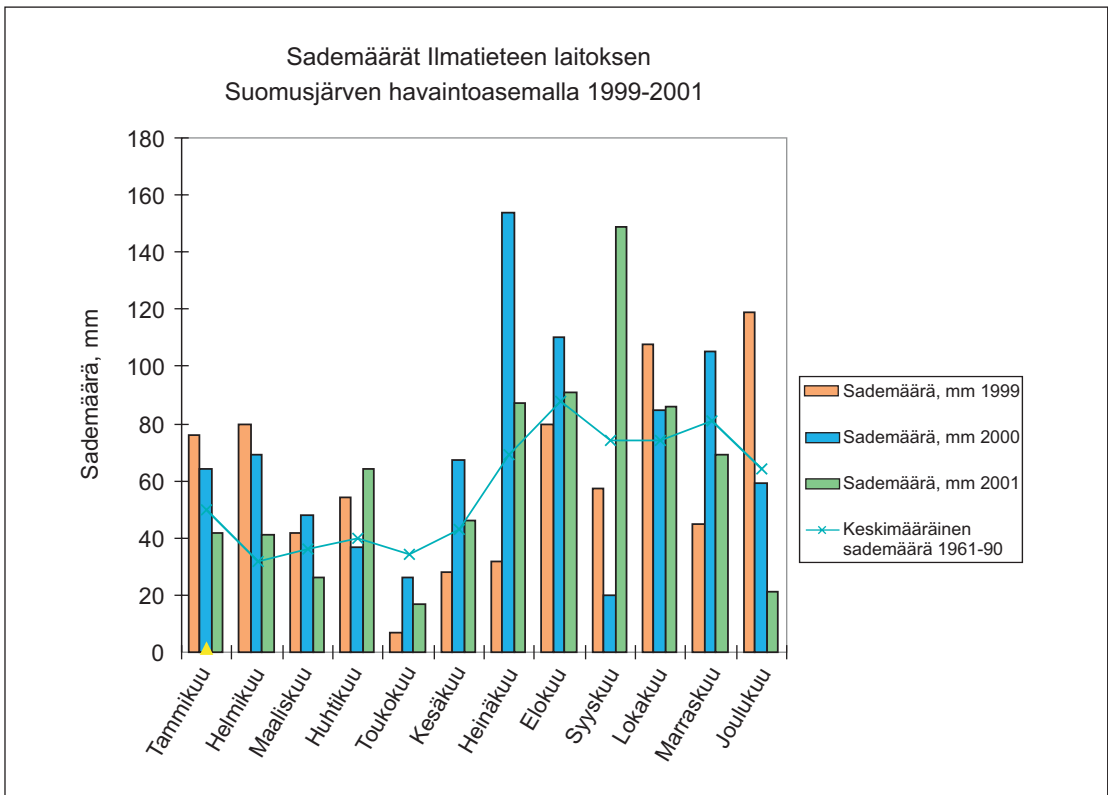
11. Hydrogeologinen kartta

Tutkimusolosuhteiden arviointia helpottaa koko tutkittavan esiintymän käsittävä hydrogeologinen kartta, jolla esitetään keskeiset maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden ominaisuudet (liite 8.5.10/11). Se laaditaan yleensä mittakaavassa 1:20 000. Jokaisesta pohjavesialueesta on alueellisesta ympäristökeskuksesta saatavissa hydrogeologinen kartta, jota voidaan täydentää tutkimustuloksilla. Se on yleispiirteisempi kuin tutkimuskartta ja käsittää laajemman alueen. Kartalla esitetään muun muassa:

Suomusjärvi (Ilmatieteen laitoksen havaintoasema)

Sademäärä, mm				Keskimääräinen sademäärä 1961-90
	1999	2000	2001	
tammikuu	76	64	42	50
helmikuu	80	69	41	32
maaliskuu	42	48	26	36
huhtikuu	54	37	64	40
toukokuu	7	26	17	34
kesäkuu	28	67	46	43
heinäkuu	32	154	87	69
elokuu	80	110	91	88
syyskuu	57	20	149	74
lokakuu	108	85	86	74
marraskuu	45	105	69	81
joulukuu	119	59	21	64

Lähde: Ilmastokatsaus tammikuu 1999-joulukuu 2001: Ilmatieteen laitos



Kuva 8.5.10.2. Esimerkki sadantatietojen esittämisestä taulukkona ja kuvana.

- pohjavesialueen rajat
- varsinaisen muodostumisalueen rajat
- pohjaveden virtaussuunnat
- vedenjakajat
- havaintoputkien sijainti ja vedenpinnat
- lähteet ja niiden virtaamat
- tulevan vedenoton todennäköinen vaikutusalue
- pohjavettä likaavat kohteet
- suojelualueet

12. Leikkauspiirustukset ja muut piirrokset

Tutkimusselostusta voidaan havainnollistaa ja täydentää erilaisilla leikkauspiirustuksilla. Yleensä tämä tulee kysymykseen maaperätutkimusten tuloksia ja vesipintoja esitettäessä. Myös geofysikaalisten tutkimusten tärkeimpiä tuloksia voidaan esittää piirustuksissa muun muassa kallionpinnan ja pohjaveden pinnan osalta. Muita mahdollisia ovat lähteiden virtaamat, vedenlaadun mittaustulokset eri tasoilta ja sadantahavainnot sekä pohjavesimallien ja rakennemallien simulaatiot.

13. Luettelo aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista

Aikaisemmin tehdyt tutkimukset luetteloidaan ja esitetään tekstissä tai erillisenä liitteenä. Liitteessä tulisi esittää muun muassa työn tilaaja, työn suorittaja, paikka ja kunta, tutkimuksen ajankohta, työn nimi ja numero sekä raportin laajuus (raportin sivujen ja liitteiden määrä) ja tutkimusarkiston säilytyspaikka.

14. Cd-levy tai vastaava keskeisimmistä tutkimustuloksista tai raportin pdf-versio

8.6 Kirjallisuutta

- Hatva, T. 2001. Alueellisten ympäristökeskusten tekemien pohjavesiselvitysten laatuarvio. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 224. 26 s. ISSN 952-11-0915-7. ISSN 1455-0792.
- Hatva, T. 2004. Havaintoja pohjaveden laadusta pohjavesialueilla sekä tekopohjavesi- ja rantaimetyslaitoksilla. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 255. Suomen ympäristökeskus.

- Helsinki. 117 s. ISBN 952-11-1186-0.
- Helmisaari, H.-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A.-J., Miettinen, J., Pääkkönen, J. & Reijonen, R. 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. TEMU-tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 902, 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.
- Jaako, M. 1997. Eräitä ohjeellisia näkökohtia liittyen pohjavesitutkimusten suorittamiseen ja tutkimusselostusten laadintaan. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus 2.6.1997. 5 s. Kirje.
- Mälkki, E. 1980. Pohjavesitutkimusasiakirjojen laadinta. Moniste.
- Rakennustieto Oy ja Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1993. Pohjatutkimusmerkinnät SGY 201. Helsinki. Rakennustieto Oy.

GEOLOGISTA JA HYDROGEOLOGISTA SANASTOA

Adsorptiovesi

Vaippavesi. Adsorptio- ja kapillaarivoimien maa- ja kallioperän pintaan ohueksi kalvoksi sitomaa vettä.

Akviferi

Pohjaveden kyllästämä ja vettä hyvin johtava maa- tai kallioperän muodostuma. Se on hydraulisesti yhtenäinen muodostuma, josta voidaan pumpata käyttökelpoisia määriä vettä. Akvifereja sisältyy mm. yhtenäisiin hiekka- ja sorakerostumiin ja ruhjeisiin kalliioalueisiin. Akviferi voi olla vapaa tai paineellinen.

Akviferin vedenjohtokyky

Katso -> Transmissiviteetti

Akvikludi

Maa- tai kallioperän muodostuma, joka varastoi vettä, mutta on käytännössä vettä läpäisemätön, esim. savikerros.

Akvitardi

Maa- tai kallioperän muodostuma, joka varastoi vettä, mutta johtaa sitä huonosti. Akvitardi johtaa vettä kuitenkin siinä määrin, että muodostumasta tiheällä vedellä on merkitystä akviferien vesivarastojen täydentäjänä.

Alenema, pohjaveden

Esimerkiksi koepumppauksen (tai kuivatuksen) aiheuttama pohjavedenpinnan korkeusero alkuperäiseen, ennen pumppausta vallinneeseen vedenpintaan verrattuna. Vastakohta on pohjavedenpinnan nousu, joka saattaa aiheutua mm. luonnollisesta tai keinotekoisesti aikaan saadusta veden imeytymisestä maaperään.

Alenemasuppilo (tai -kartio)

Pohjaveden suppilomainen alenemapinta. Esimerkiksi pohjavettä otettaessa pohjavedenpinta alenee kaivon ympäristössä ja muodostaa kaivoa kohti syvenevän käyräpintaisen alenemasuppilon. Alenemakäyrä kuvaa ajan mukana muuttuvaa pohjavedenpintaa kaivon kautta kulkevan pystytason ja alenemasuppilon leikkauksessa.

Alkaliniteetti

Veteen liuenneiden bikarbonaatti-, karbonaatti- ja hydroksidi-ionien happoja neutraloivan vaikutuksen voimakkuus. Kuvaa veden puskurikapasiteettia ja kykyä pitää pH-arvo tasaisena.

AOX, adsorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet

AOX on summaparametri, jota käytetään veden laadun valvontaan. Se kuvaa orgaanisesti sitoutuneen kloorin, bromin ja jodin (mutta ei fluorin) kokonaismäärää, joka tietyissä olosuhteissa voidaan adsorboida aktiivihilleen. AOX-luku ei anna tietoa siitä, mitä halogenoituja yhdisteitä siihen sisältyy, mutta monet tunnetut talousveden haitalliset epäpuhtaudet (esim. kloorifenolit) kasvattavat veden AOX-lukua, joten sitä voidaan pitää tietynlaisena indikaationa talousveden haitallisten epäpuhtauksien määrästä.

Arteesinen

Pohjavesiesiintymän ominaisuus, joka aiheuttaa salpakerroksen läpi tehdyssä kaivossa vedenpinnan kohoamisen maanpinnan yläpuolelle.

Asiditeetti

Asiditeetilla tarkoitetaan vedenkykyä neutraloida vahva emäs tiettyyn pH-arvoon (pH 8.3).

Happamuus

Katso pH

Bakteerit

Yksisoluisia alkeistumallisia eliöitä, jotka eivät muodosta yhtä taksonomista ryhmää. *Escherichia coli* -bakteerin määrää juomavedessä käytetään hygieenisen laadun arvioinnissa indikaattoribakteerina. *E. coli* -bakteeri on paras ulosteperäisen saastutuksen osoittaja. Hygieenisen laadun arvioinnissa käytetään yleisesti indikaattoribakteereina myös koliformisia bakteereita.

Bottomset

Jokisuiston eteen syntyneet, yleensä suhteellisesti hienommasta aineksestä koostuvat kerrokset.

Delta

Joen tai jäätikköjoen lajittuneesta maa-aineksesta kerrostama suisto. Jäätikköjokien deltoja tavaataan usein harjujen ja reunamuodostumien (esim. Salpausselät) yhteydessä ja jokideltoja jokien suistoissa.

Distaalinen

Maaperämuodostuman tai -kerrostuman osa, joka on muodostuman aiheuttajasta kauimmainen. Esim. jäätikön reunaan nähden muodostumassa uloimpana (vertaa proksimaalinen).

Drumliini

Pääosin moreenista koostuva mannerjäätikön virtauksen suuntainen selänne (venytetyn pisan muotoinen), jolla on usein kallioydin.

Dyyni

Lentohiekkamuodostuma. Aines on tasalaatuisia hietaa (RT) - hienoa hiekkaa (GEO).

Ekvipotentiaalikäyrä

Pohjavedenpinnan sama-arvokäyrä (esimerkiksi pohjavesipinnan korkeuskäyrä).

Elastinen varastoituminen

Vedenpaineen noususta aiheutuva huokostilavuuden ja varastovesimäärän lisääntyminen salpa-akviferissa.

Fekaaliset streptokokit

Tasalämpöisten suolistossa eläviä mikrobeja, joiden esiintyminen pohjavedessä on merkki saas-

tumisesta. Tämän määrittelyn on käytännössä korvannut suolistoperäisten enterokokkien määrittely.

Foreset

Jokideltassa (suistossa) kohti avointa tilaa rakentuvat, veden virtaussuuntaan kerrostuvat viistokerrokset (luiskakerrokset).

Geohydrologia, pohjavesihydrologia

Tutkimushaara, joka käsittelee maanpinnan alaisia vesiä lähinnä hydrologisiin ympäristötekijöihin painottuen ja veden kiertokulkua selvittäen.

Hapen kyllästyspitoisuus, kyllästyskonsentraatio

Liuenneen hapen maksimipitoisuus vedessä valitsemissa lämpötila-, paine- ja suolaisuusolosuhteissa.

Happipitoisuus

Hapen massa vedessä ilmaistuna veden tilavuusyksikköä kohti, veteen liuenneen hapen määrä.

Harju

Hiekka- ja sora muodostuma, joka on syntynyt jäätikön sulamisvesitoiminnan tuloksena jäätikötunneleihin, tunnelien suulle ja railoihin. Yleensä harjuilla tarkoitetaan pitkänomaisia hiekk- ja soraselänteitä.

Hiilidioksidi, hiilihapo

Hiilidioksidi (CO_2) on merkittävä kasvihuonekaasu, jonka pitoisuus ilmakehässä on viime aikoina kasvanut fossiilisten polttoaineiden käytön seurauksena. Veteen liuenut hiilidioksidi muodostaa välivaiheena hiilihappoa, joka pysymättömänä heikkona happona heti dissosioituu bikarbonaatiksi HCO_3^- ja vetyioniksi (H^+). Hiilihapon esiintyminen liittyy oleellisena osana epäorgaanisen hiilen tasapainoon (hiilihapot tasapainoon), joka puolestaan on luonnonvesien tärkein pH:ta ja veden ympäristömuutosten aiheuttamaa happamoitumista vastustavaa puskurikykyä säätelevä tekijä. Hiilihapo on tärkeä komponentti myös kallioperän ja kiviain-

neksen rapautumisreaktioissa. Korkea hiilihapopitoisuus pohjavedessä tekee siitä aggressiivista eli syövyttävää.

Huokoisuus

1. Maalajin maahiukkasten ja -rakeiden väliin jäävän tyhjän tilan, -> huokostilan, suhde maamassan kokonaistilavuuteen = kokonaishuokoisuus. Tehollinen huokoisuus, jossa vedellä kylästyneessä maassa virtaus lähinnä tapahtuu, vastaa -> ominaisantoisuuden S_y edustamaa huokostilavuutta.

2. Kallioperässä edelliseen verrattavissa oleva huokoisuus liittyy rakoiluun. Sedimenttikivissä voi esiintyä molempien tyyppistä huokoisuutta samanaikaisesti (kaksoishuokoisuus).

Huokostila

Veden ja/tai ilman kokonaistilavuus huokoisessa aineessa.

Hydraulinen gradientti

Pohjaveden pinnan kaltevuus kahden pisteen välillä = pisteiden vedenpintojen korkeuseron suhde niiden väliseen etäisyyteen.

Hydraulinen johtavuus

Katso vedenjohtavuus.

Hydraulinen yhteys

Pohjavesialtaan samaan vesivyöhykkeeseen kuuluvien kohtien yhteys veden välityksellä; ilmenee jossain pisteessä aiheutetun vesitasapainon muutoksen heijastumisena muissa pisteissä. Yhteys voi olla hyvä tai hitaammin ilmenevä kerrostumien johtavuudesta riippuen.

Hydrogeologia

Luonnontiede, joka tutkii pohjaveden ja sen geologisen ympäristön vuorovaikutussuhteita ja pohjavesi-ilmiöitä, erityisesti geologisten tekijöiden vaikutusta pohjaveden fysikaaliseen käyttäytymiseen ja kemialliseen koostumukseen.

Imeytyminen (myös imeyntä)

Veden tunkeutuminen maanpinnan läpi maatai kallioperään, vertaa suotautumista; myös imeytynyt vesimäärä pinta-alayksikköä kohden.

Imeytymiskerroin

Dimensioton suhdeluku, joka voidaan ilmoittaa prosentteina; maahan imeytyneen vesimäärän ja sadannan suhde.

Imeytys

Keinotekoinen veden imeyttäminen maaperään.

Imeytysallas

Allas, jonka kautta vettä imeytetään maaperään.

Imeytyskaivo

Kaivo, jonka kautta vettä imeytetään maaperään.

Indikaattoribakteerit

Laboratorioissa yleisesti vedestä määritettävät mikrobit, joita käytetään ulosteperäisen likaantumisen osoittamiseen.

Jatkuva antoisuus

Vesimäärä, joka voidaan ottaa pohjavesiesiintymästä sen saamaan (vuotuiseen) luonnolliseen täydentymiseen perustuen. Myös vesimäärä, jonka otto ei aiheuta ympäristöön haitallisia vaikutuksia (esim. vedenpintoihin, veden laatuun, pitkäaikaiseen antoisuuteen tai rakenteiden perustuksiin).

Jäätikköjokimuodostuma

Mannerjäätikön sulamisvesistä muodostuneiden jäätikköjokien kuljettaman ja kerrostaman lajittuneen aineksen maaperämuodostuma, esim. harju. Jäätikköjoet ovat virranneet jäätikön alaisissa ja jäätikön sisäisissä tunneleissa sekä jäätikön reunaosissa myös avoimissa railoissa.

Kaivo

Pohjavedenpinnan alapuolelle ulottuva maa- tai kallioperään tehty reikä tai kaivantto, joka on varustettu sopivin rakentein ja laittein. Tavallisimmat kaivotyypit ovat: kuilukaivo, putkikaivo ja kallioporakaivo.

Kaliumpermanganaatin kulutus, KMnO_4 -kulutus

Katso permanganaattikulutus.

Kallioperä

Kivilajeista muodostunut kiinteä, Suomessa useimmiten irtainten maalajien alla sijaitseva yhtenäinen maankamaran osa.

Kalliopohjavesi

Kallioperän vedellä kyllästyneissä osissa oleva vesi, Suomen oloissa tällä tarkoitetaan yleensä rakojen ja ruhjeitten pohjavettä.

Kapillaarivesi

Rajapintavoimien sitoma, tavallisesti pohjavedenpinnan yläpuolella enemmän tai vähemmän kyllästytynä esiintyvä vesi

Kapillaarivyöhyke

Pohjavesivyöhykkeen kapillaarinen reunus ulottuu pohjaveden pinnasta kapillaarisen nousun verran ylöspäin.

Kemiallinen hapenkulutus

Veteen liunneen tai sekoittuneen orgaanisen aineksen hapettamiseen tarvittavan hapen määrä. Arvo kuvaa orgaanisen aineksen (humuksen) määrää vedessä.

Kjeldahlin tyyppi

Orgaanisen typen ja ammoniumtypen yhteenlaskettu pitoisuus.

Kloorifenolit

Kloorattuja aromaattisia hiilivetyjä. Ympäristömyrkkyyä. Kloorifenoleja voi joutua raakavesiin ja edelleen talousvesiin puunkyllästysainneiden tai kyllästetyn sahatavaran huolimattoman käytön ja varastoinnin seurauksena. Kloorifenoleja syntyy myös maataloudessa käytettyjen torjunta-aineiden hajoamistuotteina. Suomessa merkittäviä kloorifenolilähteitä ovat metsäteollisuuden valkaisu-jätevedet. Lisäksi kloorifenoleita voi muodostua talousveden kloorauksessa ja jätettä poltettaessa. Haittavaikutukset kohdistuvat maksaan ja munuaisiin, eläinkokeiden perusteella osa kloorifenoleista on myös karsinogeenisiä.

Kokonaiskovuus

Veden tilapäisen ja pysyvän kovuuden summa. Tilapäinen kovuus (karbonaattikovuus) tarkoittaa

liuenneista kalsium- ja magnesiumioneista johtuvaa veden kovuutta, pysyvällä kovuudella tarkoitetaan veden kovuutta, joka ei poistu keittämällä.

Kokonaistyyppi

Kokonaistyyppi tarkoittaa Kjeldahl-tyypen kokonaismäärän (orgaaninen tyyppi ja ammonium-typpi NH_4), nitraattityypen (NO_3) ja nitriittityypen (NO_2) summaa.

Kolibakteeri (*Escherichia coli*, *E. coli*)

Mm. ihmisen ruoansulatuselimistössä elävä, normaalioloissa vaaraton bakteeri, jota kuitenkin on vaarallisia määriä ulosteissa samoin kuin puhdistamattomassa ja huonosti puhdistetussa viemäriverdessä. Pohjavedessä esiintyessään kuvaa veden ulosteperäistä saastumista.

Koliformiset bakteerit, kokonaiskoliformit

Ryhmä ruoansulatuselimistössä eläviä bakteereja (mm. *E. coli*), joiden runsas esiintyminen vedessä on osoitus veden saastumisesta. Koliformiset bakteerit yleensä *E. colia* lukuunottamatta saattavat olla peräisin muualtakin kuin ihmisten ja tasalämpöisten eläinten ulosteista, kuten kasveista, maasta ja teollisuusjätevesistä. Tämän vuoksi koliformisten bakteereiden esiintymistä ei aina voida pitää varmana ulostesaastutuksen osoituksena, mutta kylläkin hyvänä veden yleisen likaantumisen ilmentäjänä, esim. pintavesien joutuessa pohjaveteen.

Konseptuaalinen malli

Konseptuaalinen malli kuvaa olemassa olevaa käsitystä mallinnettavan alueen pohjavesioloista ja geologisesta ympäristöstä. Konseptuaalisen mallin sisältämä tulkinta tutkittavan alueen hydrogeologiasta on erityisasemassa pohjaveden virtausmallin automaattisen kalibroinnin kannalta, koska kalibrointiohjelmaan tulee kuvata ne geologiset yksiköt, joiden sisällä malliin syötetyjä parametrejä estimoidaan.

Korkeusmalli

Esimerkiksi maanpinnan tai kallionpinnan tasavälinen, kolmen koordinaatin (x, y, z) avulla kuvattu verkkopinta, joka on laskettu interpo-

loimalla eri menetelmin mitatusta pinnan korkeustasotiedosta.

Kovuus, veden kovuus

Kova vesi sisältää runsaasti mm. kalsium- ja magnesiumsuoloja, jotka voivat saostua esimerkiksi vesikalusteisiin valkoisiksi läikiksi tai muodostaa lämmityskattiloihin kattilakiveä. Pehmeä vesi sisältää vähän mineraaleja, kuten kalsiumia. Pehmeä vesi aiheuttaa korroosiota.

Kyllästymätön vyöhyke

Pohjavedenpinnan yläpuolella oleva maaperän vesivyöhyke, jossa huokokset ovat osittain ilman ja osittain veden täyttämiä.

Lajittunut maalaji

Tietyä maalajitteesta koostuva, enemmän tai vähemmän tasarakeinen maalaji esim. hiekka tai savi.

Lähde

Purkautuvan pohjaveden silmäkemäinen esiintymä tai laajemmin ymmärrettynä pohjavesivyöhykkeestä maanpintaan tunkeutuvan veden purkautumisalue.

Läpäisevyys (permeabiliteetti)

Kallio- ja maaperän ominaisuus ja kyky johtaa nestettä tai kaasua siten, että väliaineen rakenne pysyy muuttumattomana. Läpäisevyyden määrittäminen voidaan esittää ominaisläpäisevyytenä, joka kuvaa väliaineen ominaisuuksia tai nesteen kulkeutumista kuvaavana johtavuutena, esim. vedenjohtavuus (hydraulinen johtavuus).

Maabakteerit

Maaperässä luonnostaan esiintyviä yleensä ihmiselle harmittomia bakteereita. Niiden esiintyminen esimerkiksi kaivovedessä kuvastaa pintavesien pääsyä kaivoon.

Maalaji

Yhdestä tai useammasta maalajitteesta koostuva kivennäis- tai eloperäinen maakerrostyyppi tai maaperän osa.

(Maa)lajite

Kivennäismaan tiettyä raekokoaluetta oleva fraktio.

Maaperä

Kallioperää verhoava irtaimista maalajeista koostuva maankamaran osa. Maaperään luetaan kuulluvaksi kivennäismaalajien lisäksi muun muassa orgaaniset maalajit kuten turve ja lieju.

Maatiiviste

Hienorakeisella maalajilla kuten savella toteutettu suojarakenne.

Maatutka

Maatutkauksessa lähetetään maahan radiotaajuista (MHz – GHz) sähkömagneettista aaltoa, joka heijastuu takaisin vastaanottimelle rajapinnoilta, joilla kosteus muuttuu. Vastaanottimessa rekisteröidään pulssin kulkuaika ja amplitudi. Kun tunnetaan radioaallon kulkunopeus eri kerroksissa, voidaan kulkuajoista laskea kerrosten paksuudet. Mittaustaajuuden valinnalla säädelään menetelmän syvyysulottuvuutta ja erotuskykyä. Menetelmä toimii hyvin karkeissa lajituneissa maalajeissa, mutta huonosti tai ei ollenkaan hyvin sähköä johtavassa ympäristössä, kuten savikoilla.

Maavesi

Maanpinnan ja pohjavedenpinnan välisessä vyöhykkeessä oleva vesi.

Mangaani (Mn)

Maaperässä yleinen alkuaine, joka esiintyy usein raudan kanssa samoilla alueilla. Liukenee hapetomissa olosuhteissa maaperästä ja huonontaa pohjaveden laatua.

Moreeni

Mannerjäätikön irrottamasta ja kuljettamasta kiviaineksesta syntynyt sekalajitteinen maalaji, joka voi sisältää raekokoja savesta lohkareisiin.

Nitraatti, (NO₃)

Typpiyhdiste, joka syntyy maaperässä ja vesistöissä bakteerien toiminnan tuloksena muista typpiyhdisteistä. Peltojen typpilannoitus voi aiheuttaa pohjaveteen haitallisen suuria nitraattipitoisuuksia.

Nitriitti (NO₂)

Typpiyhdiste, jota syntyy maabakteerien toiminnan tuloksena nitraatista.

Ominaisantoisuus (Sy)

Huokoisen geologisen aineen tilavuusyksiköstä lähtevän vesimäärän suhde kokonaistilavuuteen annettaessa veden valua pois painovoiman vaikutuksesta. Ilmoitetaan myös prosentteina tilavuudesta.

Ominaiskapasiteetti

Esimerkiksi kaivon jatkuva antoisuus l/min yhden metrin pohjavedenpinnan alenemaa kohden.

Ominaisläpäisevyys (k)

Kerroin k, joka kuvaa väliaineen kykyä johtaa nestettä. k:n ja vedenjohtavuuden (hydraulisen johtavuuden) K välillä on yhtälö $k = K/g$. g on nesteen ominaispaino ja m viskositeetti.

Ominaispidättyminen (S_p)

Huokoisen geologisen aineen tilavuusyksikössä huokosiin jäävän veden tilavuuden suhde kokonaistilavuuteen annettaessa veden valua pois painovoiman vaikutuksesta. Ilmoitetaan myös prosentteina tilavuudesta

Ominaisantoisuutta ja ominaispidättymistä vastaavien tilavuuksien summa on sama kuin kokonaishuokoisuus, katso huokoisuus.

Orsivesi

Varsinaisen pohjavedenpinnan yläpuolella vetä huonosti johtavan kerrostuman päällä oleva vesikerros. Tällaisessa esiintyvä akviferi on nimeltään orsivesiakviferi.

PAH-yhdisteet, polysykliset aromaattiset hiilivedyt

Useita aromaattisia renkaita sisältäviä yhdisteitä, joita on esimerkiksi yleisesti puunkyllästysaineena käytetyssä kreosootissa. Tavallisimpia ovat naftaleeni, antraseeni ja bentso(a)pyreeni.

Painovoimamittaus, gravimetrinen menetelmä

Painovoimamittauksilla (gravimetrinen menetelmä) tutkitaan maankamaran rakennetta ja koostumusta Maan vetovoimakentän vaihteluiden avulla. Vetovoimakentän paikalliset vaihtelut johtuvat maa-aineksen ja kallion tiheysvaihteluista. Käytetään laajasti kalliopinnan topo-grafian ja irtomaapeitteen paksuuden määrittämiseen.

PCB-yhdisteet, polyklooratut bifenyyli

Bioakkumuloituvina ympäristömyrkkyinä tunnettu orgaanisten klooriyhdisteiden ryhmä.

Permeabiliteetti

Katso Läpäisevyys.

Permanganaattikulutus

Kaliumpermanganaatin kulutus, kun sitä on lisätty näytteen sisältämän orgaanisen aineen hapettamiseksi. Kuvaa veden sisältämän orgaanisen aineksen määrää (yleensä humus).

Pestisidit

Katso Torjunta-aineet.

pH, pH-arvo

Vetyioniväkevyyden negatiivinen logaritmi, joka ilmaisee happamuutta. Arvo 7 kuvaa neutraalia vettä, alle 7 hapanta ja yli 7 emäksistä vettä.

Pohjaveden hydrologinen virtauskuva

Pohjavesimuodostuman yleispiirteisiä veden virtaussuhteita osoittava esitys tai eri havaintoihin perustuva käsitys.

Pohjaveden jakaja

Pohjaveden virtauksia eri suuntiin jakava vyöhyke. Se voi olla vettä läpäisemätön geologinen kerrostuma eli kova vedenjakaja, esim. kalliokynnys tai pohjaveden itsensä muodostama selänne eli pehmeä, usein siirtyvä vedenjakaja.

Pohjaveden muodostuminen

1. Sade- ja sulamisvesien maahan imeytyminen ja suotautuminen pohjavesivyöhykkeeseen

2. Luonnonolosuhteissa tapahtuva rantaimetyminen tai muunlainen pintavesien maahan imeytyminen. Katso myös Yhteysalue.

Pohjaveden muodostumisalue

Alue, jolla sade- ja sulamisvedet imeytyvät vähintään tyydyttävästi maanpinnan alle ja suotautuvat pohjavesivyöhykkeeseen. Pohjaveden muodostumisalueella maaperän vertikaalinen läpäisevyys maanpinnan ja pohjavedenpinnan välillä on vähintään hienohiekan vedenläpäisevyyttä vastaava. Lisäksi muodostumisalueeseen lasketaan kuuluvaksi sellaiset kyseiseen akiferiin välittömästi liittyvät kallio- ja moreenialueet, jotka olennaisesti lisäävät muodostuvan pohjaveden määrää. Termiä käytetään erityisesti akvifereja käsittävien muodostumien yhteydessä.

Pohjavedenottamon suoja-alue

Pohjavedenottamoa yleensä ympäröivä, eri suojavyöhykkeisiin jaettu alue, joka laaditaan valuma-alue-suhteiden perusteella ja jolle myös voidaan hakea ympäristölupaviraston vahvistus.

Pohjavedenpinta

Pohjavedenpinta on taso, jossa ilmanpaine on yksi.

1. Vapaa pohjavedenpinta: vettä johtavassa huokostilassa oleva, kyllästetyn ja kyllästymättömän vyöhykkeen rajapinta.

2. Salpavedenpinta, paineellinen vedenpinta: se taso, johon vedenpinta esim. putkessa tai kaivossa kohoa, kun ne lävistävät salpaavan kerroksen ja ovat hydraulisessa yhteydessä akviferiin esim. läpäisevän putken välityksellä. Jos vedenpinta kohoa maanpinnan yläpuolelle, puhutaan arteesisesta pohjavedenpinnasta, -esiintymästä ja -kaivosta. Sekä vapaan että salpaveden pintaa voidaan nimittää potentiometriseksi pohjavedenpinnaksi.

Pohjavesi

Vesi, joka kokonaan täyttää maa- ja/tai kallioperän huokostilaa. Sen päävirtaussuunta on lähes vaakasuora. Pohjavettä kutsutaan vapaaksi pohjavedeksi, jos sen yläpuolella on vettä johta-

via maalajeja. Tällöin vastaava vettä sisältävä maatai kalliomuodostuma on nimeltään vapaa akviferi.

Pohjavesiallas

Pohjavettä keräävä ja varastoiva maastonosa, jonka ulkopuolella voi olla muuta valuma-aluetta. Altaan pohjavesikerrostuma voi olla pinnaltaan tasainen, kovera tai kupera hydrogeologisista olosuhteista riippuen. Vedenhankinnan kannalta merkitystä on akvifereja käsittävillä altailla.

Pohjavesialue

Alue, josta todennäköisesti on saatavissa pohjavettä esim. vedenhankintaan. Se käsittää yleensä geologisin perustein määritetyn pohjaveden varsinaisen muodostumisalueen ja sitä kokonaan tai osittain ympäröivän, ulommaksi suojavyöhykkeeksi tarkoitetun reuna-alueen, jonka ulkoraja on pohjavesialueen raja. Tämä raja voi olla havaittu valuma-alueen raja, mutta yleisemmin arviovaraisesti piirretty, helposti tunnistettavia maastokohtia myötäilevä raja. Pohjavesialue-termini esiintyy lainsäädännössä. Katso -> Pohjavesialueuokka.

Pohjavesialueen suojelusuunnitelma

Suoja-aluetta korvaava (suoja)suunnitelma, joka yleensä laaditaan pohjavesialuekohtaisesti. Tavoitteena on, kuten suoja-alue-suunnitelmasakin, suojata pohjavettä muuttamiselta ja likaantumiselta, edistää pohjavesien suojelun huomioon ottavaa maankäytön suunnittelua, valvontaa jne. Suojelusuunnitelma on suoja-alue-suunnitelmaa laajasisältöisempi ja joustavampi.

Pohjavesialueuokka

Ympäristöhallinto on luokitellut pohjavesialueet kolmeen luokkaan käyttökelpoisuuden ja suojelutarpeen perusteella: I = vedenhankintaa varten tärkeä, II = vedenhankintaan soveltuva ja III = muu pohjavesialue.

Pohjavesiesiintymä

Akviferin sisältävä pohjavesiallas, jonka ulkoraja määräytyy akviferin valuma-alueen tai sen osavalueiden perusteella, ja jota voidaan käyttää esimerkiksi vedenhankintaan.

Pohjavesikynnys

Vettä huonosti johtava tai vettä läpäisemätön muodostuma, kuten kallio, joka estää tai padottaa pohjaveden vaakasuoraa virtausta.

Pohjavesimuodostuma

1. Katso -> Akviferi
2. EU-vesipuitelidirektiivin määritelmä: Yhtenäisenä vesimassana akviferiin tai akvifereihin varastoitunut pohjavesi. Koska direktiivi puhuu pohjavesimuodostuma-termin yhteydessä toimenpiteistä, joita on toteutettava pohjavesiesiintymäkokonaisuuden puitteissa, on sen tulkittava tarkoittavan tällaista aluekokonaisuutta.

Pohjavesiputki

Reikä- tai rakosiiviläösalla varustettu, sisähalkaisijaltaan yleensä 50 mm teräs- tai muoviputki. Kansainvälisessä terminologiassa näitä nimitetään myös kaivoiksi (esimerkiksi observation well).

Proksimaalinen

Maaperämuodostuman tai -kerrostuman virtauksen tulosuunnan puoleinen osa (vertaa distaalinen).

Pysyvä vedenantoisuus

Katso -> Jatkuva antoisuus

Rantakerrostuma

Rantavoimien kerrostama maaperän kerrosyksikkö tai yksiköiden kokonaisuus, jonka aines vaihtelee hiekasta kiviin ja lohkarisiin.

Rantavalli

Rantavoimien synnyttämä (muinaisen) rantavii- van suuntainen valli, jonka aines vaihtelee kivistä hiekkaiseen.

Rapautumiskuori

Kallion rapautunut pintaosa. Esiintyy alueilla (Suomessa lähinnä Lapissa), joilla jääkausiajan kulutus on jäänyt vähäiseksi; muualla Suomessa lähinnä vain kulutukselta suojassa olleissa painanteissa. Rapautumiskuoressa on pienen huokostilavuuden omaavia akvifereja.

Raskasmetallit

Metallit, joiden tiheys on yli 5000 kg/m³, esimerkiksi kupari, nikkeli, sinkki, kromi, kadmium, elohopea, lyijy, arseeni ja seleeni. Monet raskasmetallit tunnetaan ympäristömyrkkyyinä.

Rauta (Fe)

Luonnossa yleinen alkuaine, joka on eläville organismeille välttämätön hivenaine. Huonontaa pohjaveden laatua liuetessaan maaperästä hapetomissa olosuhteissa. Liukenee veteen myös rautaisista vesijohtoputkista silloin, kun pohjavesi on hapanta

Refraktioseisminen luotaus

Refraktioseismissä luotauksessa käytetään kerrosten rajapinnoilla taittavia nopeimpia ääniaaltoja maankamaran tutkimuksessa. Aallot ovat helppoja tunnistaa, koska ne saapuvat ensimmäisinä geofoneille. Menetelmää käytetään laajasti geoteknisissä ja maaperätutkimuksissa mm. maapitteen paksuuden määrittämiseen. Katso myös -> Seisminen luotaus.

Reflektioseisminen luotaus

Reflektioseismissä luotauksessa hyödynnetään kerrosten rajapinnoilta heijastuneita täryaaltoja. Aallot eivät saavu ensimmäisinä, joten niiden tunnistaminen aaltorintamasta voi olla vaikeaa. Ylivoimaisesti eniten käytetty geofysiikan menetelmä maailmassa. Käytetään pääasiassa öljyetsinnässä tutkittaessa sedimenttikerrosten rakenteita 100 metristä 10 kilometrin syvyyteen (vertaa maatulka). Katso myös -> Seisminen luotaus.

Reunamoreeni

Jäätikön reunaan syntynyt reunan suuntainen moreenivalli tai -selänne

Reunamuodostuma

Jäätikön reunaan syntynyt, pääosin lajittuneesta aineksesta, mutta usein osin myös moreenaineksesta koostuva reunan suuntainen selänne. Esimerkiksi Salpausselät ovat reunamuodostumia, jotka koostuvat pääosin lajittuneista maalaajikerrostumista (deltat ja sandurdeltat, reunate-rassit) ja paikoin myös kapeasta reunamoreenis-

ta, paikoin useammasta rinnakkaisesta moreeni-selänteestä.

Rikkonaisuusvyöhyke

Liikuntojen aiheuttama, tietyn jatkuvuuden omaava runsaasti rakoileva tai halkeamia sisältävä kallioperän vyöhyke. Muutokset ovat lähinnä fysikaalisia.

Ruhjevyöhyke

Kallioperän liikuntovyöhyke, jossa on runsas vyöhykkeen suuntainen rakoilu. Muutokset ovat sekä fysikaalisia että mineralogis-kemiallisia. Myös termiä ”murrosvyöhyke” käytetään. Rikkonaisuusvyöhykkeen ja ruhjevyöhykkeen eron voidaan tulkita olevan muutoksen aste ”rikkoutumattomaan” kivimassaan nähden. Rikkonaisuusvyöhykkeen mineralogiset muutokset ovat vähäisiä verrattuna ruhjevyöhykkeen usein pitkälle mineralogisesti muuttuneeseen, jopa määttuneeseen kiviainekseen.

Salpaava kerros

Akviferin yläpuolella oleva salpaava, vettä läpäisemätön tai huonosti läpäisevä kerros.

Salpavesi

Akviferin pohjavesi, jota yläpuolella rajoittaa tiivis salpaava kerros. Jos salpaveden paine on niin suuri, että salpaava kerros puhkaistaessa veden painepinta nousee maanpinnan yläpuolelle, kutsutaan salpavettä arteesiseksi. Vastaavaa akviferia nimitetään usein salpa-akviferiksi, arteesiseksi tai paineelliseksi akviferiksi.

Sameus

Veden läpinäkyvyyden heikentyminen, joka johtuu valon kulkuun vaikuttavien hiukkasten runsaudesta.

Sanduri

Jäätiköltä virranneen sulamisveden mukanaan kuljettamasta sorasta ja hiekasta koostuva kuivan maan oloissa kerrostunut, pinnaltaan matalien jokiuomien pirstoma maaperämuodostuma. Sandureja esiintyy vedenkoskemattomilla alueille tai vedenpinnan yläpuolelle ulottuneiden reunamuodostumien deltojen yhteydessä.

Saves

Savilajite, raekoko alle 0,002 mm.

Savimineraalit

Rapautumistuotteena syntyneitä mineraaleja, jotka tehokkaasti ioninvaihtokykynsä ansiosta sitovat tehokkaasti vettä ja kulkeutuvia aineita. Tavallisia paitsi maaperässä, erityisesti savikko-alueilla, myös kallion rakojen täytteissä.

Sedimentaatio

Irtaimen maa-aineksen kerrostuminen tai laskeutuminen.

Sedimentologia

Oppi geologisista prosesseista maaperän kerrostumien (sedimenttien) synnyssä. Sedimentologiaa hyödynnetään tutkittaessa maaperän yksiköiden geologisia ja hydrogeologisia ominaisuuksia, jatkuvuuksia sekä rakennegeologiaa. Sedimentologia on lähestymistapa, jota käytetään luotaessa konseptuaalinen malli pohjavesiesiintymälle.

Sedimenttikivimuodostumat

Mekaanisesti tai kemiallisesti muodostuneita, jo lujittuneita, mutta huokoisia kerroksellisia muodostumia, joissa on usein huomattavia pohjavesivarastoja. Maapallon merkittävin pohjavesiympäristö. Vanhat, esimerkiksi Suomessa suppeilla alueilla olevat sedimenttikivet ovat lähes umpeen kivettyneitä ja verrattavissa kovakivi-muodostumiin.

Seisminen luotaus

Seismissä luotauksessa mitataan täryaaltojen (ääniaaltojen) kulkuaikaa lyönti- tai räjäytyspisteeltä sensoreille eli geofoneille. Aikojen perusteella voidaan laskea materiaalia kuvaava täryaalton kulkunopeus eri kerroksissa ja edelleen kerrosten paksuudet. Katso myös -> Refraktio- ja reflektioseisminen luotaus

Subakvaattinen

Ylimmän rannan (vedenpinnan) alapuolelle syntynyt, siellä sijainnut tai vedenkoskema maankamaran osa. Ylimmän rannan (vedenpin-

nan) tasolla tarkoitetaan viimeisen jääkauden jälkeistä ylintä vedenpinnan tasoa (vertaa supra-akvaattinen).

Suolistoperäiset enterokokit

Tasalämpöisten suolistossa eläviä mikrobeja, joiden esiintyminen pohjavedessä on merkki saastumisesta.

Suotautuminen

Veden eteneminen vettä johtavassa huokoisessa väliaineessa, vrt. imeytyminen.

Supra-akvaattinen

Ylimmän vedenpinnan tason yläpuolelle syntynyt tai siellä sijainnut maankamaran vedenkoskematon osa (vertaa subakvaattinen).

Sähkönjohtavuus

1) Sähkönjohtavuus kuvaa nettosähkövarauksen kykyä liikkua väliaineessa ulkoisen sähkömotorisen voiman ja siitä syntyvän sähkökentän vaikutuksesta. Sähkönjohtavuuden käänteisluku on ominaisvastus.

2) Veden kyky johtaa sähköä. Sähkönjohtavuus kuvaa näytteessä olevien ionisoituvien liuenneiden aineiden pitoisuutta. Puhtaan veden sähkönjohtavuus on pieni.

Tehokas raekoko

Rakeiden seulonnassa läpäisyprosenttia 10 vastaava raekoko d10; merkityksellinen mm. kaivojen mitoitus suoritettaessa.

Tekopohjavesi

Pohjavesiesiintymän luontaista antoisuutta lisätään imeyttämällä pohjavesiesiintymään käsittelemätöntä tai esikäsiteltyä pintavettä.

TOC, orgaanisen hiilen kokonaismäärä

Veteen liuenneen tai suspendoituneen orgaanisen aineksen sisältämän hiilen määrä.

Topset

Jokisuiston pintaosan usein suhteellisen karkean aineksen kerrosyksikkö.

Torjunta-aineet, pestisidit

Yhteisnimitys hyönteismyrkyille, vesakontorjunta-aineille sekä kasvitautien ja rikkaruohojen torjuntaan tarkoitetuille aineille ja niiden hajoamistuotteille.

Transmissiviteetti eli vedenjohtokyky, käytetty myös termiä läpäisykyky (T)

Transmissiviteetti riippuu muodostuman dimensioista ja kerrosten hydraulisesta johtavuudesta. Se tarkoittaa siis kerrosten kykyä kuljettaa vettä, sen symboli on T. Transmissiviteetti voidaan laskea kertomalla hydraulinen johtavuus vettä johtavan patsaan paksuudella b eli $T = Kb$.

Vajovesi

Kyllästymättömässä vyöhykkeessä painovoiman vaikutuksesta liikkuva vesi.

Valuma-alue, pintavesien

Alue, jolta sade- ja sulamisvedet kerääntyvät samaan kohtaan.

Varastokerroin

Sen vesitilavuuden suhde kokonaistilavuuteen, joka tulee varastoon tai poistuu sieltä tietyn painekorkeuden muutoksen myötä. Vapaapintaisten pohjavedenpinnan olosuhteissa tämä määrä on sama kuin ominaisantoisuus (S_y), Suomen maa-akvifereissa tavallisimmin 0,2 - 0,3. Salpaveden varastokerroin on tästä vain murto-osa, erään arvion mukaan 0,005 - 0,00005.

Vastusluotaus

Geofysiikan galvaaninen mittausmenetelmä. Menetelmästä käytetään myös nimityksiä sähköinen tomografia, sähköinen luotaus ja sähköinen kuvaus (electrical imaging). Monielektrodi-mittauksessa joukko elektrodeja (esim. 56 kpl) maadoitetaan tasavälein suoraan linjaan. Tulokseksi saadaan sähkönjohtavuusjakauma mittauslinjalta. Menetelmän syvyysulottuvuus on 1/4 - 1/5 linjan pituudesta.

Vedenjohtavuus (myös hydraulinen johtavuus, vedenläpäisevyys) (K)

Vedenjohtavuus (K) kuvaa huokoisen väliaineen (esim. maa-aineksen) läpi kulkevan veden vir-

tausvastusta. Darcyn kaavan ($Q = K A dh/dl$) määrittelemä vedenläpäisevyys, jonka suuruus riippuu huokoisen väliaineen ja veden ominaisuuksista. Ilmoitetaan matkan yksiköissä aikaa kohti.

Vedenjohtokyky

Katso -> Transmissiviteetti

Vedenläpäisevyys

Katso -> Vedenjohtavuus.

Virtausnopeus, pohjaveden, myös virtaamanopeus, näennäinen virtausnopeus, Darcyn nopeus

$q = Q/A$, jossa A on virtauspoikkileikkauksen kokonaispinta-ala (maarakeet ja huokostila) ja Q on poikkileikkauksen kautta kulkeva virtaama. Virtaamanopeus ilmoittaa vesimäärän suuruuden aikayksikössä eli virtaaman akviferin pinta-alayksikköä kohti.

Virtausnopeus (V), todellinen

Vedenjohtavuuden (hydraulisen johtavuuden) (K) ja hydraulisen gradientin (I) tulo jaettuna tehokkaalla huokoisuudella ne ($V = KI/ne$).

Virtausverkko

Pohjaveden virtausta kuvaava virtaus- ja ekvipotentiaaliviivojen muodostama verkko. Virtausverkko on Laplacen yhtälön graafinen ratkaisu.

VOC (Haihtuvat orgaaniset yhdisteet)

VOC-analyysillä mitataan helposti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää. VOC-analyysi tuo esiin haihtuvia polttoaineiden komponentteja (esim. bentseeni, ksyleeni, tolueeni, MTBE), liuottimia ja rasvanpoistoaineita (esim. tetrakloorieteeni, trikloorieteeni) sekä haihtuvia organoklooriyhdisteitä (esim. trihalometaanit). VOC on luonteeltaan summaparametri, eikä sillä ole olemassa terveysperustaista raja-arvoa.

VOC on erityisen soveltuva muuttuja etenkin pohjaveden laadun tarkkailussa. Koska pohjavedet eivät luontaisesti sisällä VOC-yhdisteitä (pitoisuudet tyypillisesti alle määrittäysrajan), on kohonnut pitoisuus osoitus pohjaveden saastu-

misesta. VOC-tarkkailun tulisiikin perustua menetelmään, jossa määrittäysraja on mahdollisimman alhainen. Kohonneen VOC-pitoisuuden aiheuttaja tulee selvittää ja selvityksen perusteella arvioida tilanteeseen soveltuvat toimenpiteet tapauskohtaisesti saastumisen luonne ja laajuus huomioon ottaen.

Väriluku

Veden värillisyyttä kuvaava lukuarvo.

Yhteysalue

Pohjavesiesiintymän varsinaisen pohjaveden muodostumisalueen ulkopuolella oleva, mutta tähän yhteydessä oleva muodostumisalue tai pohjavesialtaaseen pintavettä keräävä/luovutettava alue. Esimerkiksi harjun yhteydessä oleva kallio-moreenialue.

Sanaston lähteet:

- Haavisto, M. (toim.) 1983: Maaperäkartan käyttöopas 1:20 000, 1:50 000. Geologinen tutkimuslaitos, Opas 10 Espoo. 74 s. + liitteet.
- Alalammi, Pentti (toim.) 1992: Suomen kartasto: vihko 123-126 : geologia. 5s painos, 1990. Helsinki: Maanmittauslaitos : Suomen Maantieteellinen Seura. 58 s. + 3 liitekarttaa.
- Airaksinen J.U. 1978: Maa- ja pohjavesihydrologia. Kustannusosakeyhtiö Pohjoinen, Oulu 1978.ISBN 951-9099-73-5.
- Vesihallitus 1976: Maa- ja pohjavesisanasto, Vesihallituksen julkaisuja 18, Helsinki 1976, 142 s.
- Maastik, A., Heinonen, P., Hyvärinen, V., Karttunen, J., Ots, H. ja Seuna, P., 2000: EnDic2000 Ympäristösanakirja. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2000. ISBN 952-11-0812-6.
- Lapinlampi, T., Sipilä, A., Hatva, T., Kivimäki, I., Kokkonen, P., Kosunen, J., Lammila, J. Lipponen, A., Santala E. ja Rissanen, J., 2001: Kysymyksiä kaivoista - Frågor om brunnar. Ympäristöopas 86, Suomen ympäristökeskus, Edita Helsinki 2001.ISBN 951-37-3485-4.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. ja Suomela, P. 2002: Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 155, Espoo 2002. ISBN 951-690-842X.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, Suomen Kuntaliitto 2000: Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000. Helsinki 2000.

Maastik, A., Kajander, J., Heinonen, P., Hyvärinen, V., Karttunen, K., Kosola, M-L., Ots, H., ja Seuna, P. 2004: EnDic 2004. Ympäristösanakirja. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2004.

POHJAVESIALUEKARTTOJEN MERKINNÄT

Lähde: Britschgi, R., Hatva, T. ja Suomela, T. 1991: Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeet.

Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja, sarja B7. Helsinki. 54s. ISBN 951-47-4280-X, ISSN 0786-96-6



POHJAVESIALUEIDEN KARTTAMERKKIEN SELITYKSET

YLEISKARTAT



Vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet



Vedenhankintaan soveltuvat pohjavesialueet



Muu pohjavesialue

01 224 01

Pohjavesialueen numero



Pohjavesialueen raja

500 m³/d

Pohjavesialueen antoisuus



Kunnan raja



Pohjavedenotto (≥ 10 asuinhuoneistoa liittynyt)

Tilkin, hyvin suojavan maapöytään alueella
oleva vedenotto



Kallio- tai porakaivo (≥ 10 asuinhuoneistoa liittynyt)



Tutkittu pohjavedenottoamont paikka



Alustavasti tutkittu pohjavedenottoamont paikka

ALUEKARTAT

I

Vedenhankintaa varten tärkeät pohjaviesialueet

II

Vedenhankintaan soveltuvat pohjaviesialueet

III

Muu pohjaviesialue

01 224 01

Pohjaviesialueen numero

|||||

Pohjaviesialueen raja

—————

Pohjaviesialueen varsinaisen muodotumiseeun raja

|||||

Pohjaviesialueiden välinen raja

A ——— B

Pohjaviesialueen osa-alueiden välinen raja
ja osa-alueen tunnus

L-SVEO

Vesirakauden määräämä pohjavedenottoaman
suoja-alueen raja

Hery

Vesiviranomaiseen hyyäkäymä pohjavedenottoaman
suoja-alueen raja

==

Tiivis maa-aineksen peittämis, vettä hyvin
johtavia maakerroksia (havaittuja tai arvioituja)

///

Pohjaveden virtauksen vaikuttava kalliio
(havaittu tai arvioitu)

■ ■ ■ ■ ■

Kallioalan röhjävyöhyke tai kallioleakea

~ ~ ~ ~ ~

Vettä läpäisevä rantaviiva

➔

Pohjaveden huomattava virtausaunta

➔

Pohjaveden paikallinen virtausaunta

~ ~ ~ ~ ~

Purkaufuven pohjaveden virtausuoma

7

Pohjavedenottoamo (210 asuinhuoneettoa liittyy)

==

Tiivis, hyvin suojeaven maapeittes alueella
oleva vadenottoamo



Kallio- tai porakaivo (2-10 asuinhuonealuetta liittyvä)



Tutkittu pohjavedenottoaman paikka



Alustavasti tutkittu pohjavedenottoaman paikka



Mahdollinen vedenottoalue



Pohjavesiputki



Pohjavesikaivo



Kalliopohjavesikaivo



Lähde

$100m^3/d/10/17/M$

Lähteen virtaama / havaintokuukausi / vuosi / D=arvio ja 1=mitattu

Pp+58.64

Pohjavesiputken pään korkeus

Kk+57.10

Kaivonkannen korkeus

w+56.47

Pohjavedensinnan korkeus

s+55.17

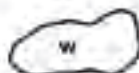
Avovedessä oleva havaintopiste ja vedenpinnan korkeus

4

Pohjavesiputken, lähteen jne. tunnus



Pieni pohjavesilammikko



Pohjavesilammikko



Virtaamahavaintopaikka



Pohjaveden puhtaudella vaaraan aiheuttava lähtö, varasto, ruokittava jms.



Pohjaveden puhtaudella vaaraan aiheuttava teollisuusalue



Suojarakenteinen öljy- tai muu säiliö



Suojarakenteeton öljy- tai muu säiliö



Pohjavesialueeseen liittyvä arviointikohta



Maa-aineseräntäpaikka

MAASTOTUTKIMUSTEN SUORITUSLUPA

..... kunnankylässä sijaitsevan
..... nimisen tilan RN:o omistajana annan suostumukseni
tilalla suoritettavaan pohjavesitutkimukseen, johon sisältyy

- ☐ maaperäkairauksia
- ☐ maanäytteiden ottamisia
- ☐ maatulka- tai seismisiä luotauksia
- ☐ havainto- ja imuputkien asennuksia
- ☐ antoisuuspumppauksia
- ☐ tilapäisen sähkölinjan johtaminen tutkimuspaikalle
- ☐ tilan kaivon kunnon tarkistus
- ☐ vesipintamittauksia ja vesinäytteiden ottoa havaintoputkista ja/tai tilan kaivosta
- ☐ mittapatojen rakentaminen
- ☐ koepumppaus
- ☐ maastomittauksia
- ☐ muut työt:

Lupaehdot:

-tutkimukset hoidetaan siten, että tilalle aiheutetut haitat jäävät vähäisiksi.

-aiheutuneiden vahinkojen korvaamisesta sovitaan ennen tutkimuksen päättymistä, korvaukset suoritetaan pikaisesti.

_____ Paikka	_____/_____ Päivämäärä 20
-----------------	------------------------------

_____ Tilan omistaja	_____ Työntilaajan edustaja
-------------------------	--------------------------------

Nimen selvennys,
osoite ja puhelinnumero

Nimen selvennys,
osoite ja puhelinnumero

LÄHDETIEDUSTELU

_____ :N ASUKKAILLE
(Paikkakunta)

_____ : n haja-asutuksen tulevia vedenhankintatarpeita silmälläpi-

täen _____ suorittaa _____ :n
(Pohjavesiselvityksen tekijä) (Yhteistyökumppani, tilaaja tms)

kanssa yhteistyönä/toimeksiannosta pohjavesivarojen selvittelyä. Tähän kuuluu tärkeänä osana lähteiden kartoitus, mihin paikallistuntemuksesta on suurta apua. Pyydämmekin nyt paikkakuntalaisilta tietoa läpi vuoden virtaavista lähteistä ja lähdepuroista. Lähteiden vesimäärä ja laatu tutkitaan tarkemmin _____ toimesta ja tulokset annetaan paikkakuntalaisten käytettäväksi.

Pyydämme täyttämän lomakkeen alaosassa olevat tiedot ja toimittamaan ne yhteyshenkilölle, joka on:

Yhteyshenkilön nimi: _____

Osoite: _____

Puhelin: _____

Telefax: _____

Sähköposti: _____

(leikkaa irti)

VASTAUS LÄHDETIEDUSTELUUN:

Ilmoittaja: _____

Osoite: _____

Puhelin: _____

Lähteen sijainti

- kylä: _____

- paikka: _____

- tieosoite (jos on): _____

- onko lähteestä ylivuotoa ? _____

VEDENTARVETIEDUSTELU

Kaupunki/kunta: _____ Kylä: _____

Tilan nimi: _____ RN:o: _____

Omistaja: _____

Osoite: _____

Käytössä oleva vesilähde:

☐ rengas-tai muu uppokaivo

☐ kallioporakaivo

☐ lähde

☐ muu

Veden riittävyys

☐ hyvä

☐ heikko

Karjan laatu	Vedentarve litraa eläintä kohti vuorokaudessa
Lypsylehmät	80-120
Hiehot, mullit	30-40
Vasikat	15-20
Hevoset	50
Emakkosiat	20-30
Lihasiat	5-10
Lampaat	10
Siipikarja	0,3
Turkiseläimet	1-3

Milloin vesipulaa esiintyy? _____

Veden laatu

☐ hyvä

☐ heikko

Minkälaisia laatuhaittoja
esiintyy?

Vedentarve Asukasmäärä _____ henkeä

Karjan käyttö yht.* _____ litraa

Muu käyttö _____ litraa

* Arvioidaan ylläolevasta taulukosta

Haluatteko liittyä ☐ kyllä

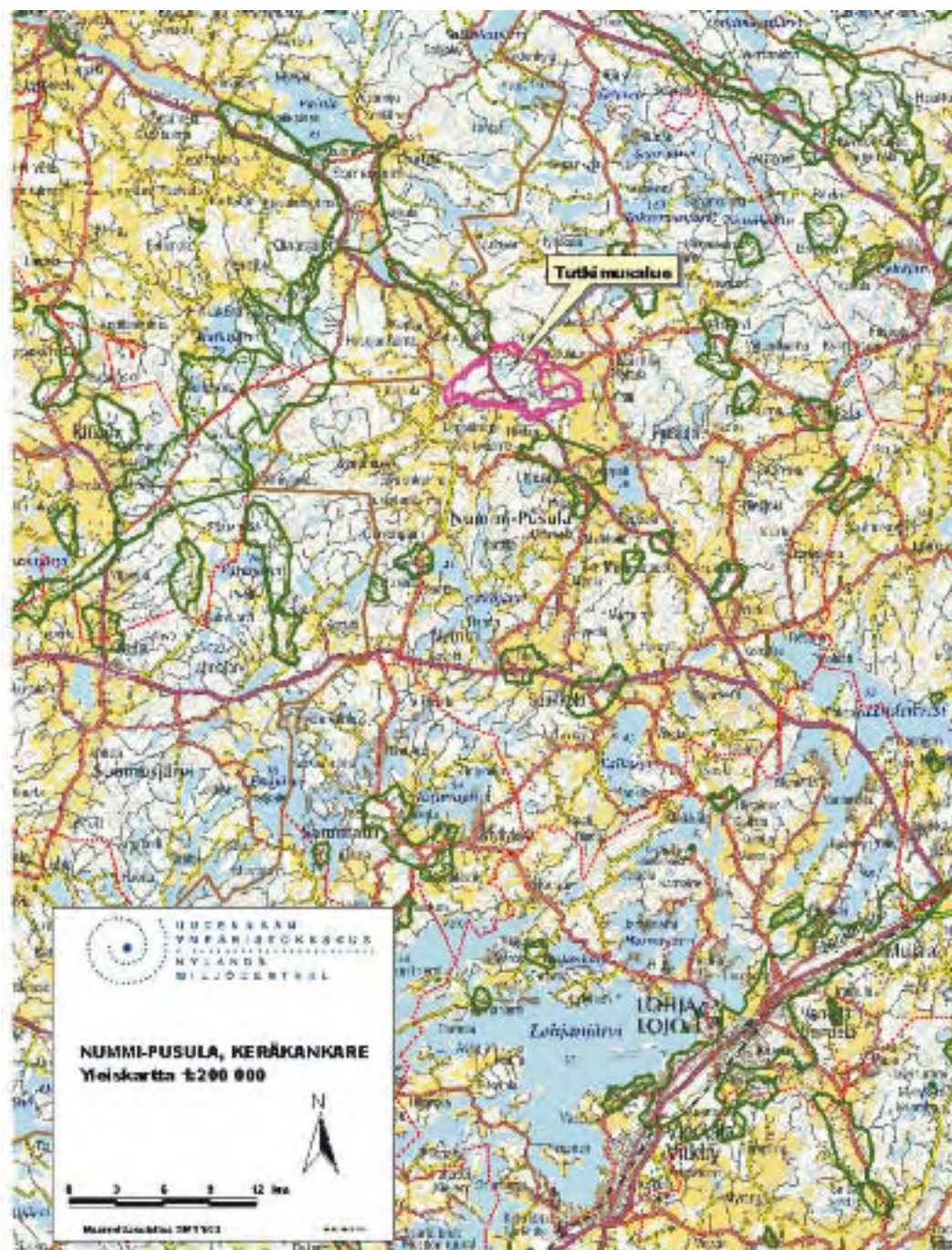
yhteisvedenhankintaan?
(Vastaus ei sitova) ☐ ei

KAIVOKORTTI

LIITE 4.1.1/3

KAIVON SIJAINTI	Kunta		Kylä		
	Pohjavesialue N:o		Nimi		
	Koordinaatit X = Y =				
	Tunnus kartalla				
	Tilan nimi		RN:o		
	Omistajan nimi, osoite ja puh. nro				
	Vedenottoaikka	1 kaivettu kaivo	2 porakaivo	3 avolähde	4 pintavesi
	Omistussuhde	1 yksityistalouden kaivo	2 yksityistalouksien kaivo, käyttäjiä yli 5 perhettä	3 yhteisön kaivo	
	Käyttäjien lukumäärä (henkilöä)				
Näyte otettu	1 suoraan kaivosta	2 nostoastialla	3 pumpulla	4 vesihanasta	
KAIVON RAKENNE	Kaivon rakenne		1 betonirenkaat	2 puukehikko	3 kivirakenne
	Kaivon kansi		1 betonikansi	2 puukansi	3 muu, mikä?
	Sisähalkaisija		Vertailutaso		
	Seinämän laatu ja saumaus				
	Kannen korkeus		Maan pinnan korkeus		
	Veden pinnan korkeus kaivossa		Kaivon pohjan korkeus		
	Maaperän laatu				
	Vedenottotapa		1 nostoastialla	2 pumpppu (ilman säiliötä)	3 säiliön kautta
	Pumpun tyyppi		Imuaukon korkeus kaivon kannesta (m)		
	Vesijohdon materiaali		1 kupari	2 galvanoitu rauta	3 muovi
	KAIVON PYSTY- JA POIKKILEIKKAUS PIIRRETÄÄN KÄÄNTÖPUOLELLE				
	KAIVON IKÄ, KUNTO JA VEDENLAATU	Rakentamisvuosi	Kunnostettu vuonna		Syvennetty vuonna
Kaivon kunto					
Voiko kaivoon päästä pintavettä		1 kyllä	2 ei		
Etäisyys (jos alle 100 m) jokeen m, järveen m, mereen m, suohon m					
Mahdolliset saastutuslähteet kaivon ympäristössä ja etäisyys niihin (jos alle 100 m). viemärijohto tai -oja, lannoitettu maa, navetta, käymälä, sauna, pesula, kaatopaikka, jätevarasto, öljysäiliö, teollisuuslaitos tms.					
OMISTAJIEN HAASTATTELU	Veden riittävyys, veden laatu (haju, maku, väri- yms. ominaisuudet)				
MUITA TIETOJA					

Tiedot antoi	Tutkinta pvm	Tutkija
--------------	--------------	---------



PUTKIKORTTI

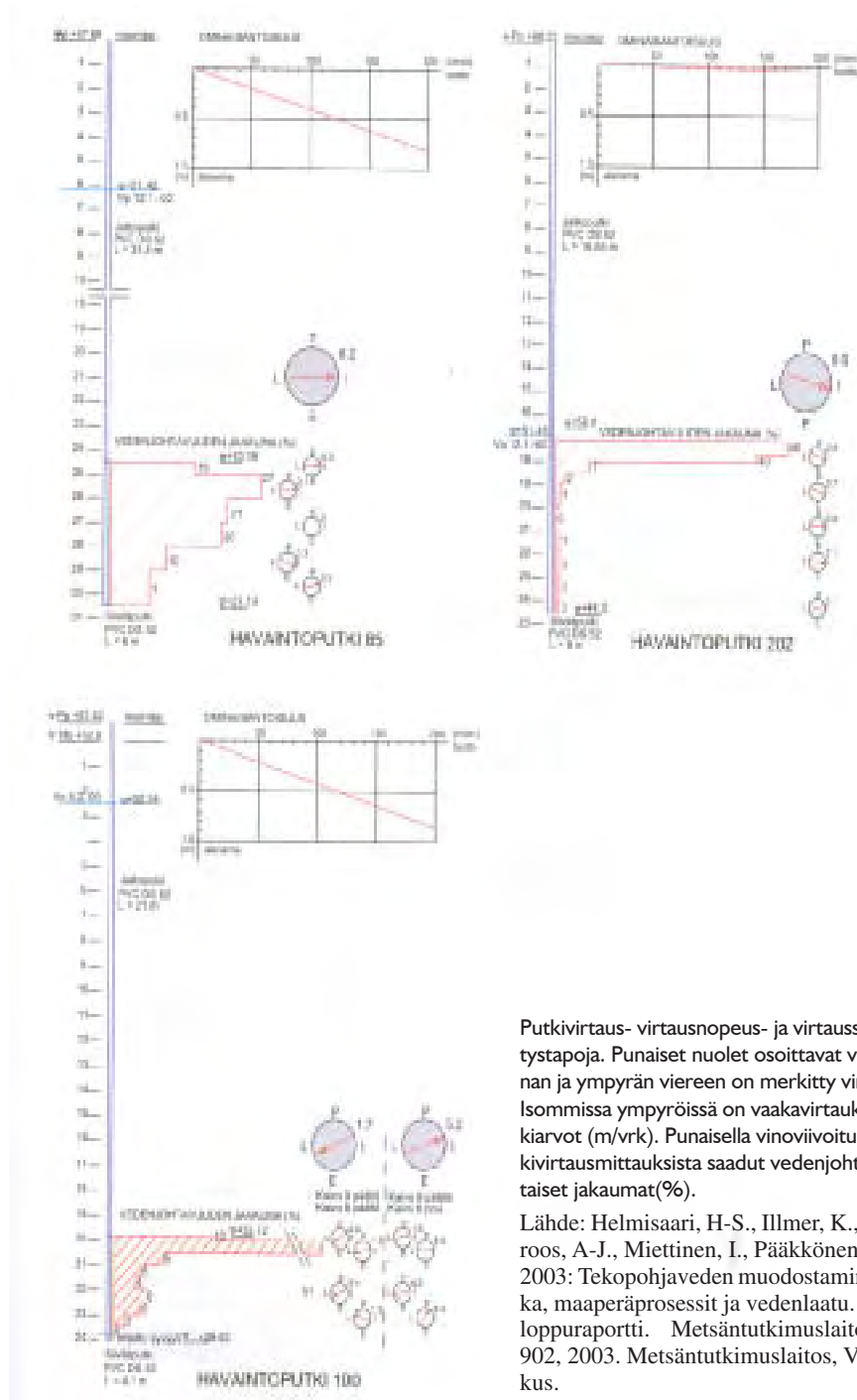
Tutkimuksen nimi/numero

Tutkimuspaikka

Havaintoputken numero

Karttalehti							
X	Y				Havainnot		
Tasotiedot ja rakenne		+ m			Havaintoväli		Huom.
					Syvyys		
NS 50 muovi					Pvm	pp	+
Maanpinnan korkeus							
Putken pään korkeus							
Putken alapään korkeus							
Putken kokonaispituus							
Siivilän pituus							
Siivilän raot							
Kuntotarkastus							
Pvm							
Alkussyvyys							
Syv. 1 min							
3 min							
5 min							
10 min							
					Asen. pvm		Asentanut
Suunnittelija					Kohde		
Piirros putkesta Kairaus Putki					Karttapiirros pisteen sijainnista		

ESIMERKKEJÄ PUTKIMITTAUSTEN TULOKSISTA



Putkivirtaus- virtausnopeus- ja virtaussuuntamittausten esitystapoja. Punaiset nuolet osoittavat vaakavirtauksen suunnan ja ympyrän viereen on merkitty virtausnopeus (m/vrk). Isommissa ympyröissä on vaakavirtauksen ja nopeuden keskiarvot (m/vrk). Punaisella vinoviivituksella on esitetty putkivirtausmittauksista saadut vedenjohtavuuden syvyyskohtaiset jakaumat(%).

Lähde: Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J. ja Reijonen, R. 2003: Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu. TEMU-tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 902, 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

ESIMERKKI VESINÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOSTEN ESITTÄMISESTÄ

NUMMI-PUSULA, KERÄKANKARE

KOOSTE VESIANALYYSISTÄ

MÄÄRITYS	YKSIKKÖ	NÄYTTEENOTTOAJANKOHTA			
Ajankohta		2.11.1998	9.2.1999	22.4.1999	24.5.199
Piste		Hp 5/96	Hp 5/96	Hp 5/96	Koekaiv
Näytteenottaja		UUS	UUS	UUS	UUS
Näytteenottotapa		Imupumppu	Imupumppu	Imupumppu	Hana
Lämpötila, T WM*	C	Ei määritetty	4,8*	6,1*	6,3*
Haju*		Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Hajuton*
Maku*		Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Mauton*
Happi O2 DTB, SFSEN 25813***	mg/l	11,1	11,3	7	11,2
Happi % STB	kyll-%	Ei määritetty	88	56	90
Hiiliidioksidi CO2 (kenttäm.)*	mg/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Sameus TBY SNT, SFS-EN 21027***	FNU	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	0,72
Sähkönjohtavuus CTY 25L, SFSEN 27888***	mS/m	11,7	10,2	9,5	12,5
Alkaliniteetti ALK NP42, SFS 3005:1981***	mmol/l	0,4	0,34	0,32	0,41
pH PH L25, SFS 3021:1979***		7	6,9	6,8	7
Väriluku CNR NC, SFSISO 7887***	PT mg/l	L 5	10	L 5	5
COD-Mn CODMN NT	mg/l	L 0,5	L 1	L 0,5	L 0,5
KMnO4, SFS 3036:1981***	mg/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Kok.typpi NTOT NA	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
NO2+NO3-N NO23 NA	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
NO2-N NO2N NSD, SFS 3029:1976***	ug/l	L 1	L 1	L 1	L 1
NO3-N NO3N NA, SFS 5752:1993***	ug/l	210	170	150	210
NH4-N NH4N NS, SFS 3032:1976***	ug/l	L 2	2	L 2	L 2
KOK-P PTOT NS	ug/l	5	11	L 2	L 2
PO4-P PO4P NS	ug/l	3	4	2	L 2
Fe FE NST, SFS 3028:1976***	ug/l	150	360	15	5
Mn MNASF, SFS 3033:1976***	ug/l	9	28	L 5	L 5
Fek.strept FS35 F2M, SFS 3014:1984	kpl/100	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	0
Kolim. B. 44 CB44F2M, SFS 4088:1988***	kpl/100	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	0
Kolim. B. 35 CB35F2E, SFS 3016:1984***	kpl/100	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	0
Heterotrofinen pesäkeluku 35C HB35 P2Y, SFS 4112***	kpl/ml	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Heterotrofitset pesäkeluku 20C HB20 P3Y, SFS 4112	kpl/ml	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Na NA NF	mg/l	4	3,7	3,5	4,2
K K NF	mg/l	1,3	1,2	1,1	1,4
Ca CA NF, SFS 3001:1974***	mg/l	11,1	9,4	8,4	5,6
Mg MGNF,	mg/l	3,8	3,3	2,9	3,9
SiO2 SIO2 NAA	mg/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
F F FIC, SFS 3027:1976***	ug/l	50	45	50	50
Kok. kovuus CAMG NF, SFS 3003:1987***	mmol/l	0,43	0,37	0,33	0,3
Cl CL FIC, SFS 3006:1982***	mg/l	15,1	13,5	11,5	15,4
SO4 SO4 FIC, SFS 5738***	ug/l	8,7	8,2	7,9	8,6
Hg HG NNC	ug/l	L 0,005	L 0,005	Ei määritetty	Ei määri
TOC COR TIR, SFS-EN 1484:1*****	mg/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Al AL N	ug/l	34	87	14	0,7
As AS N	ug/l	0,64	0,76	0,54	0,61
Cd CD N	ug/l	L 0,03	L 0,03	L 0,03	L 0,03
Cr CR N	ug/l	1,08	1,46	0,62	0,78
Cu CU N	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Pb PB N	ug/l	0,44	0,29	L 0,03	0,17
Ni NI N	ug/l	0,19	0,28	0,12	1,24
Zn ZN N	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Se SE N, ICP-MS*****	ug/l	L 0,40	L 0,40	0,4	L 0,40
B B N	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
AOX OX AST, SFS-EN 1485:1*****	ug/l	L 5,0	5,2	L 5,0	L 5,0
1,1,2,2- Tetrakloorietaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Bromoformi**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Tetrakloorieteeni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Dibromikloorimetaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Trikloorieteeni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Bromidikloorimetaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Hiilitetrakloridi**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
1,1,1-Trikloorietaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Kloroformi**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
1,2-Dikloorieteeni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
1,1-Dikloorietaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Dikloorimetaani**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
1,1-Dikloorieteeni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Tolueni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri
Bentseeni**	ug/l	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määritetty	Ei määri

Koekaivo valmistui maaliskuussa 1999. Tätä ennen näytteet on otettu havaintoputkesta 5/96

Näytteet on ottanut Uudenmaan ympäristökeskus (UUS)

Määrittäykset on tehnyt Suomen ympäristökeskus, paitsi

* = Uudenmaan ympäristökeskus

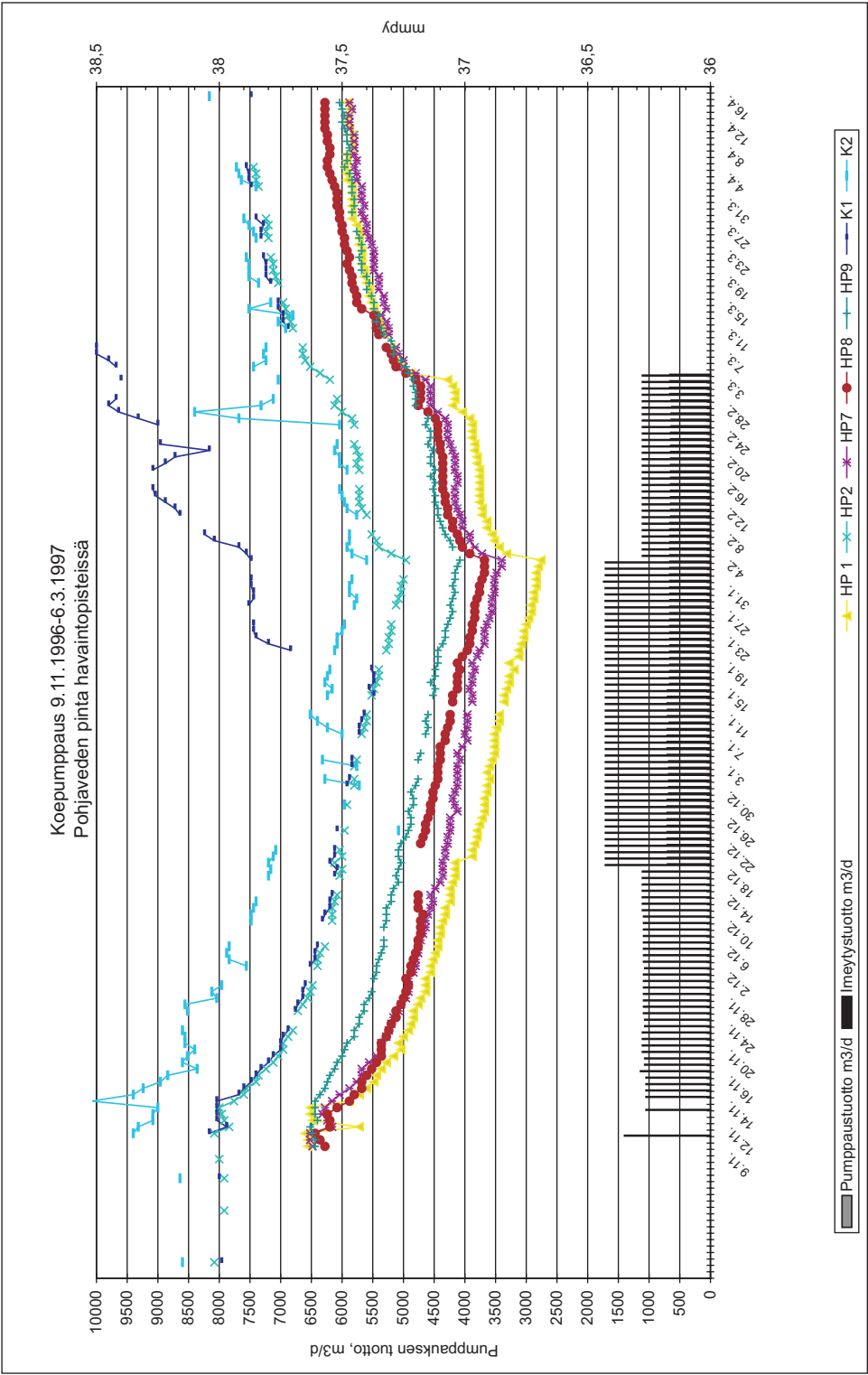
** = VTT Kemiantekniikka

*** = Hyvinkään Elintarvike- ja ympäristölaboratorio

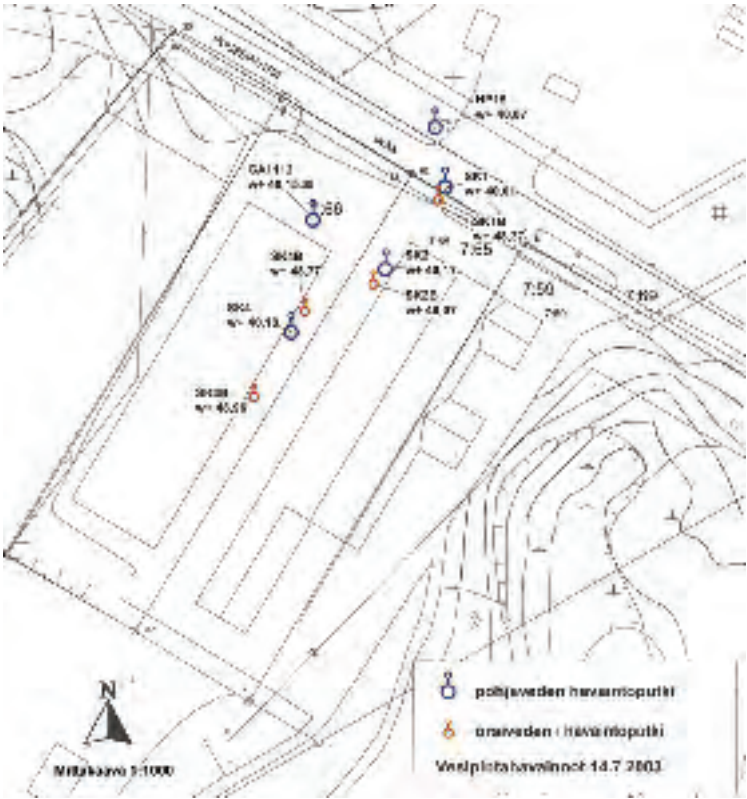
**** = Riihimäen seudun terveyskeskuksen kuntayhtymä

***** = Helsingin kaupunki/Ympäristökeskus/Ympäristölaboratorio

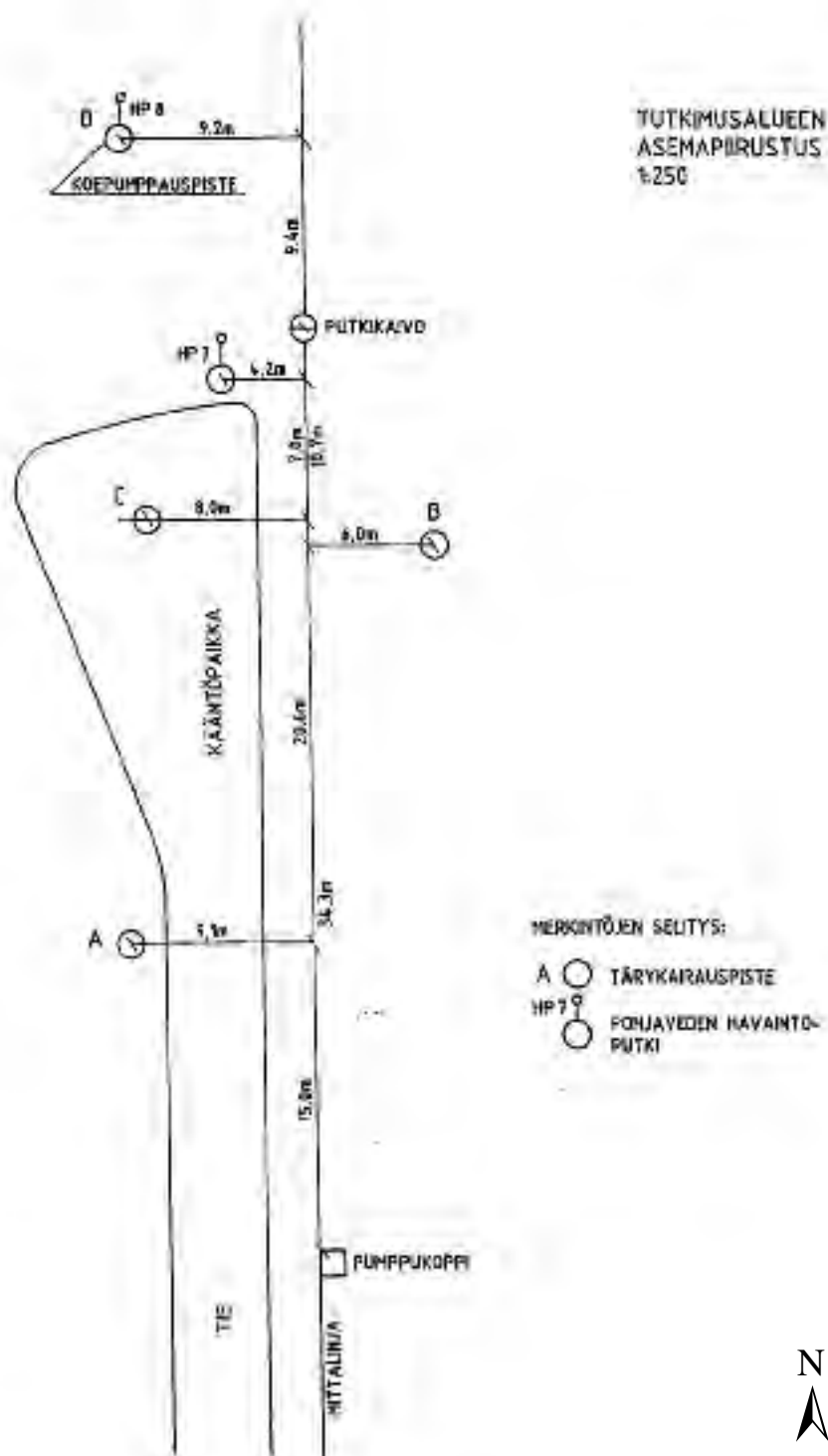
***** = Helsingin Vesi/Vedenpuhdistusyksikkö

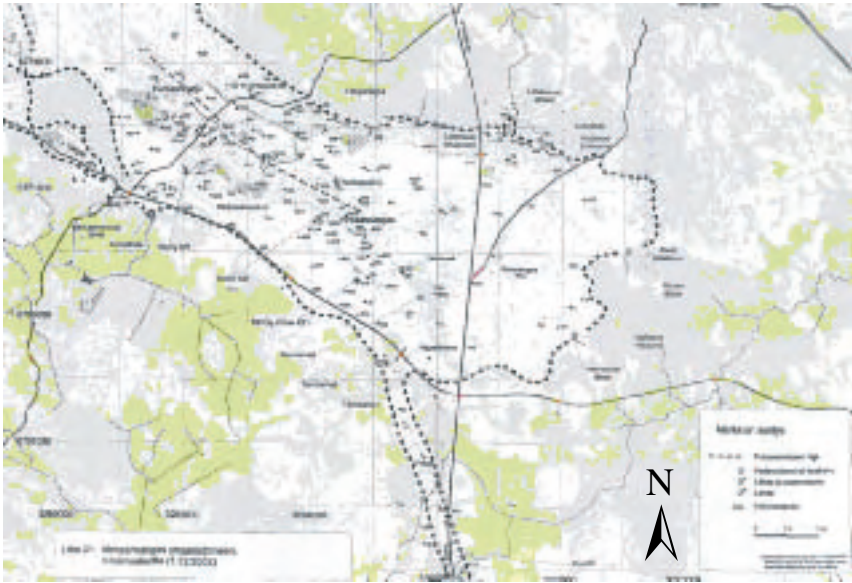


LIITE 8.5.10/9
ESIMERKKEJÄ ASEMAPIIRROKSISTA



ESIMERKKEJÄ ASEMAPIIRROKSISTA

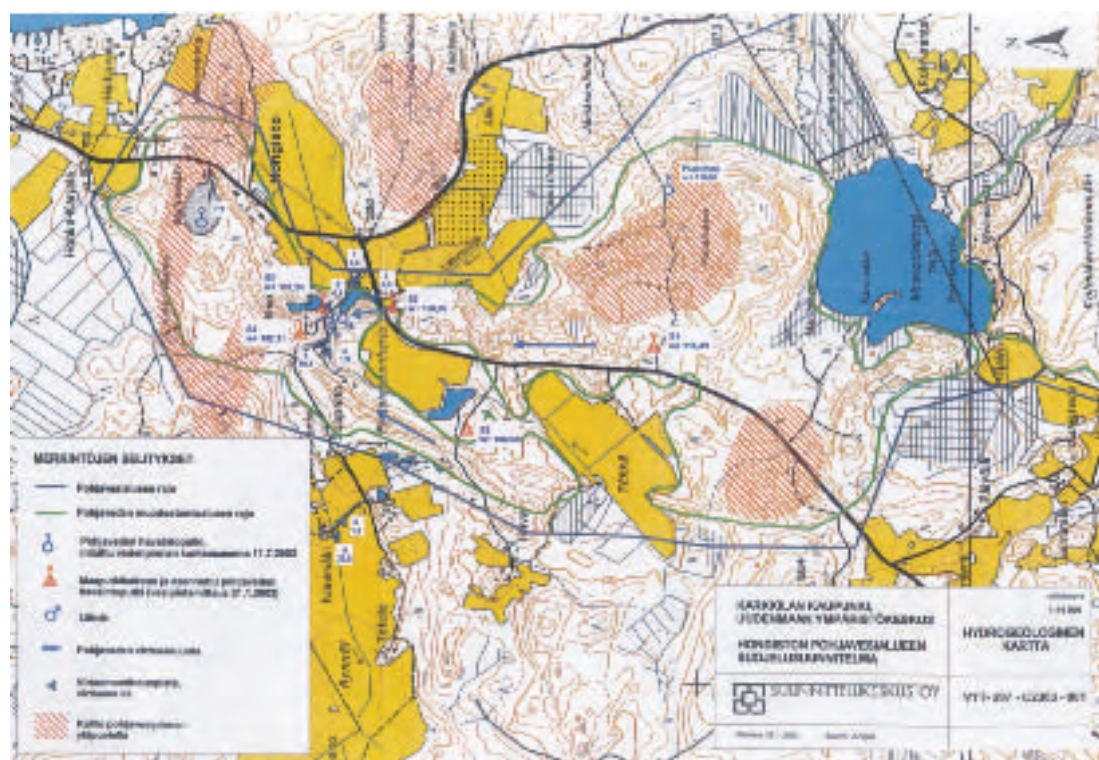
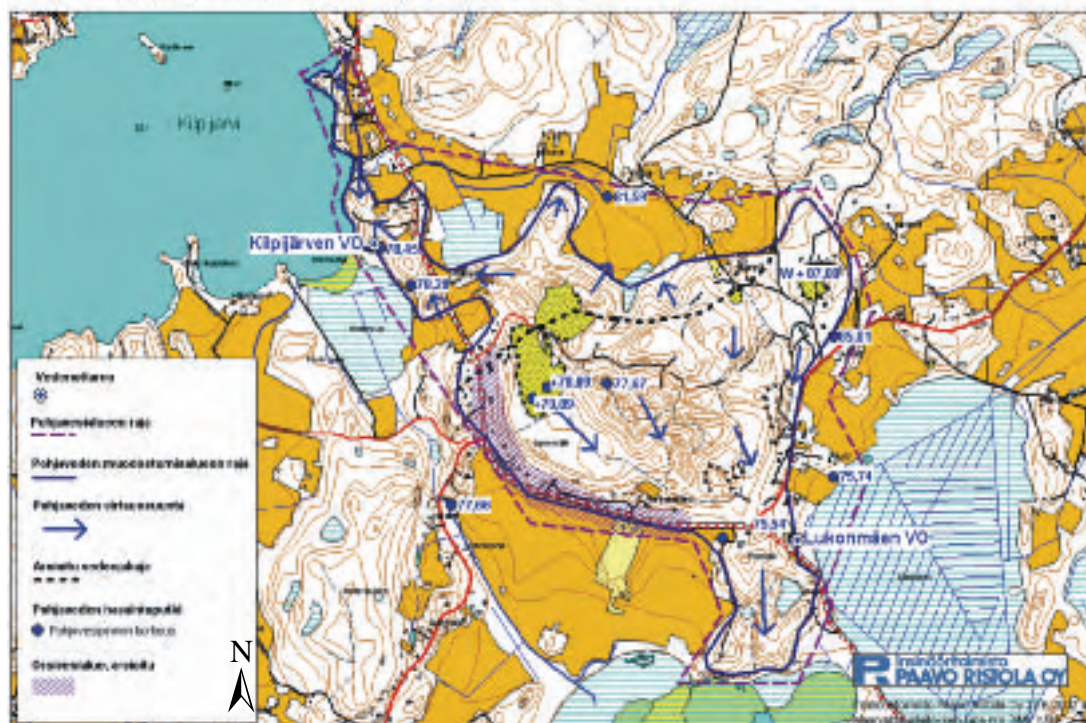




ESIMERKKEJÄ HYDROGEOLOGISISTA KARTOISTA



LUKON POHJAVESIALUEEN HYDROGEOLOGISET OLOSUHTET 1:15 000



Pohjavesinäytteenotto

Näytepisteen nro: _____

pvä (myös vuosi) _____

Tutkimuspaikka
Työnumero
Näytteenottaja

	m pp:stä/kk:sta	pp+/kk+
Vesipinta ennen näytteenottoa		
Pohja		
Näytteenottosyvyys		
Vesipinta näytteenoton jälkeen		

Putken/kaivon kunto:

rauta/muovi
halkaisija
Muuta huomautettavaa

Näytteenotto pumppaamalla:

Tuotto muutoksineen:

Tuotto l/min	aika min	Kok.pumppausaika (min)
		Kirkastumisaika (min)
		Pumpun tyyppi
		Muuta

Näyte hanasta:

juoksutus l/min	aika min
Muuta	

Näyte ottimella:

Ottimen tyyppi
Muuta

Havainnot pohjavedestä

Haju
Väri
Kalvo
Lämpötila C
Happi mg/l
Muuta:

Lähteen virtaama l/min,	mitattu:	arvio:
-------------------------	----------	--------

Näytteenotto huonosti toimivasta putkesta:

	pvä
Putken huuhtelu (esim viikko ennen näytteenottoa)	
Putken tyhjennys edeltävänä päivänä	
Havaintoja huuhtelusta/tyhjennyksestä:	

POHJAVEDEN LAATUTIETOJA

POHJAVEDEN LAATU POHJAVESIASSEMILLA

N= näytteiden lukumäärä

Lähde: Soveri, J., Mäkinen, R. ja Pelttonen K. 2001: Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975-1999. Suomen ympäristö 420. Suomen ympäristökeskus Helsinki. 382 s. Tummavuoren Kirjapaino Oy

Suure	Yksikkö	Keskiarvo	Mediaani	10%-piste	90%-piste	Minimi	Maksimi	Keskihajonta	N
Sähkön-									
johtavuus 25	mS/m	6,43	4,20	2,40	11,8	0,29	59	6,54	5744
Alkaliniteetti	mmol/l	0,32	0,22	0,10	0,66	0,00	5,26	0,43	5414
pH		6,31	6,30	5,70	6,80	3,60	8,80	0,59	5870
N _{tot}	µg/l	371	190	51	1000	2	6800	517	2781
N _{NO3}	µg/l	216	50	8	520	<1	7600	498	5494
N _{NH4}	µg/l	40,5	6	1	46	<1	3600	185	5423
P _{tot}	µg/l	19,3	8	3	36	<1	987	45,7	2526
P _{PO4}	µg/l	14,5	6	2	28	<1	610	30,4	5493
Cl	mg/l	2,82	1,5	0,7	5,3	<1	60,5	4,48	5636
Fe	µg/l	706	35	<20	870	<20	77000	3372	3898
Mn	µg/l	64,7	<20	<20	100	<20	3900	194	5108
SO ₄	mg/l	7,14	3,80	1,20	10,0	0,1	280	15,1	5393
Na	mg/l	3,16	2,20	1,40	5,10	0,20	51,0	3,93	5386
K	mg/l	1,24	0,80	0,40	2,70	<0,10	13,0	1,45	5362
Ca	mg/l	5,42	3,20	1,60	11,0	0,10	61,0	6,52	5141
Mg	mg/l	1,49	0,90	0,40	3,10	0,10	28,0	2,34	5376
SiO ₂	mg/l	12,9	12,0	7,9	18,0	1,70	53,1	5,38	2597
F	µg/l	138	60	<20	220	<20	2900	314	4162
Al	µg/l	156	29	4	381	<1	16800	523	4138
Cd	µg/l	0,16	<0,1	<0,1	0,17	<0,1	15,0	0,75	1878
Cu	µg/l	4,32	1,00	<1	10,0	<1	260	10,1	5138
Pb	µg/l	1,99	<1	<1	5,00	<1	80,0	5,69	4894
Ni	µg/l	3,48	<1	<1	4,48	<1	243	15,4	1895
Zn	µg/l	16,4	<5	<5	32,0	<5	700	49,1	2092
Hg	µg/l	0,02	0,01	<0,01	0,03	<0,01	1,40	0,07	1116
TOC	mg/l	2,21	1,0	<0,50	4,5	<0,50	34,8	3,59	1348

RENGASKAIVOJEN VEDEN LAADUN TUNNUSLUKUJA

N= Näytteiden lukumäärä. 2%:n ja 98%:n percentiilit

Lähde: Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U ja Suomela, P.2002:

Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999.

Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 155. Espoo 2002. 92 s. Vammalan Kirjapaino Oy

Muuttuja	Yksikkö	N	2 %	Mediaani	Keskiarvo	Keskihaj.	98 %	Maksimi
<i>Element</i>	<i>Unit</i>			<i>Median</i>	<i>Mean</i>	<i>S.D.</i>		<i>Max</i>
pH, kenttä <i>field</i>		698	5,5	6,4	6,46	0,532	7,8	9
EC, kenttä <i>field</i>	mS/m, 25°C	709	2,72	12,5	16,4	13,5	56,3	106
t	oC	706	1,9	6,8	7,21	2,99	13,4	19
CO ₂	mg/l	699	3,0	34	38,8	26	110	200
O ₂	%	693	6,88	60,9	57,9	25,4	98,3	108
Väriluku <i>Colour</i>	mgPt/l	737	<5	10	13,4	17,2	61,3	150
KMnO ₄	mg/l	737	0,82	4,5	8,48	10,53	42,3	100
Kovuus <i>Hardness</i>	dH	731	0,416	2,24	3,02	2,69	11,5	19,7
Alkaliteetti <i>Alkalinity</i>	mmol/l	739	0,14	0,54	0,848	0,938	3,93	8,18
HCO ₃ ⁻	mg/l	731	8,54	32,9	51,9	57,4	240	499
SO ₄ ²⁻	mg/l	739	1,58	10,4	14,6	20,9	53,9	400
Cl ⁻	mg/l	739	0,473	4,46	8,6	12,9	48,3	149
NO ₃ ⁻	mg/l	739	<0,2	3,19	8,43	13,5	49,3	110
F ⁻	mg/l	732	<0,1	<0,1	.	.	2,18	3,48
Br ⁻	µg/l	728	<5,0	9,92	25,1	82,5	134	1260
I ⁻	µg/l	700	<2	2,12	6,78	35,1	30,2	761
PO ₄ ³⁻	mg/l	739	<0,02	<0,02	.	.	0,435	6,7
SiO ₂	mg/l	731	6,26	12,9	13,9	5,71	26,8	79,4
Ca	mg/l	739	1,94	11,4	15,2	13,5	55,3	116
Mg	mg/l	739	0,43	2,38	3,83	4,52	21	38,5
Sr	µg/l	739	12	59,9	78,8	72,5	250	1170
Ba	µg/l	739	2,08	18,1	28	34,2	129	362
Na	mg/l	739	1,33	4,18	7,02	11,2	30,2	169
K	mg/l	739	0,418	2,78	4,97	7,36	29,6	92,3
Li	µg/l	739	<0,3	0,77	2,79	9,78	17,4	242
Rb	µg/l	739	0,11	2,72	4,98	7,46	28,3	73,3
Ag	µg/l	739	<0,01	<0,01	.	.	0,01	0,03
Al	µg/l	739	<1,0	18,5	101	529	694	13500
As	µg/l	739	<0,05	0,14	0,353	1	2,51	19,7
B	µg/l	739	1,62	13,8	22,8	30,6	105	362
Be	µg/l	739	<0,1	<0,1	.	.	0,422	9,33
Bi	µg/l	739	<0,03	<0,03	.	.	<0,03	0,14
Cd	µg/l	739	<0,02	<0,02	0,0436	0,0873	0,272	1,27
Co	µg/l	739	<0,02	0,09	0,766	4,85	4,98	113
Cr	µg/l	739	<0,2	0,2	0,327	0,436	1,86	3,76
Cu	µg/l	739	<0,04	2,49	14,1	33,3	129	410
Fe	mg/l	739	<0,03	<0,03	.	.	2,32	27,6
Mn	µg/l	739	0,1	4,36	59,1	263	543	5330
Mo	µg/l	739	<0,03	0,125	0,301	0,596	1,7	8,39

Muuttuja	Yksikkö	N	2 %	Mediaani	Keskiarvo	Keskihaj.	9%	Maksimi
<i>Element</i>	<i>Unit</i>			<i>Median</i>	<i>Mean</i>	<i>S.D.</i>		<i>Max</i>
Ni	µg/l	739	0,06	0,84	3,29	14,2	21,3	277
Pb	µg/l	739	<0,03	0,04	0,246	0,848	1,89	18,7
Rn	Bq/l	667	0,7	12	37,8	82,8	294	893
S	mg/l	700	0,51	3,36	4,972	6,86	19,5	119
Sb	µg/l	739	<0,02	0,03	0,0544	0,0761	0,264	0,82
Se	µg/l	739	<0,5	<0,5	.	.	0,792	3,41
Sn	µg/l	700	<0,5	<0,5	.	.	<0,5	0,69
Th	µg/l	739	<0,02	<0,02	.	.	0,282	1,5
Tl	µg/l	739	<0,02	<0,02	.	.	0,07	0,19
U	µg/l	739	<0,01	0,09	0,846	3,03	9,14	36,6
V	µg/l	739	<0,02	0,2	0,392	0,757	2,28	11,8
Zn	µg/l	739	0,813	10,4	44,2	144	333	2930

PORAKAIVOJEN VEDEN LAADUN TUNNUSLUKUJA

N= näytteiden lukumäärä. 2%:n ja 98%:n percentiilit

Lähde: Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U ja Suomela, P.2002:

Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus.

Tutkimusraportti 155. Espoo 2002. 92 s. Vammalan Kirjapaino Oy

Muuttuja	Yksikkö	N	2 %	Mediaani	Keskiarvo	Keskihaj.	98 %	Maksimi
<i>Element</i>	<i>Unit</i>			<i>Median</i>	<i>Mean</i>	<i>S.D.</i>		<i>Max</i>
pH, kenttä <i>field</i>		262	5,72	7,20	7,13	0,88	8,6	9,5
EC, kenttä <i>field</i>	mS/m, 25°C	261	3,59	22,9	34,4	54,6	102	714
t	°C	261	2,7	8,0	8,16	3,3	15,4	19
CO ₂	mg/l	257	1,0	17,0	27,8	29,4	120	165
O ₂	%	252	6,63	39,8	45,3	29,8	97,9	116
Väriluku <i>Colour</i>	mgPt/l	262	<5	5,0	10,9	11,0	50,0	80,0
KMnO ₄	mg/l	263	0,44	3,79	6,36	7,68	30,2	65
Kovuus <i>Hardness</i>	dH	258	0,499	3,43	5,45	13,2	18,6	198
Alkaliteetti <i>Alkalinity</i>	mmol/l	263	0,205	1,365	1,69	1,24	5,09	5,82
HCO ₃ ⁻	mg/l	258	12,4	83,3	103	75,5	312	355
SO ₄ ²⁻	mg/l	263	1,15	12,2	19,9	25,4	91,9	240
Cl ⁻	mg/l	263	0,562	9,48	53,9	275	534	3680
NO ₃ ⁻	mg/l	263	<0,2	0,26	5,43	11,4	45,2	88,3
F ⁻	mg/l	253	<0,1	0,15	0,705	1,13	4,43	6,01
Br ⁻	µg/l	255	<5,0	18,9	203	1054	1285	13800
I ⁻	µg/l	254	<2,0	3,04	10,7	26,8	119	232
PO ₄ ³⁻	mg/l	263	<0,02	<0,02	.	.	0,512	0,9
SiO ₂	mg/l	258	6,79	13,8	14,6	5,19	27,2	41,9
Ca	mg/l	263	2,28	16,0	28,1	84	92,4	1310
Mg	mg/l	263	0,563	4,48	6,65	8,39	21,8	91,9
Sr	µg/l	263	13,7	81,2	190	863	465	13300
Ba	µg/l	263	0,638	14,2	26,3	38,5	136	397

LIITE 8.5.10.13/4

Muuttuja <i>Element</i>	Yksikkö <i>Unit</i>	N <i>Median</i>	2 % <i>Mean</i>	Mediaani <i>S.D.</i>	Keskiarvo	Keskihaj. <i>Max</i>	98 %	Maksimi
Na	mg/l	263	1,52	8,98	36,2	97,5	169	1040
K	mg/l	263	0,513	2,99	4,42	4,92	20,3	40,2
Li	µg/l	263	<0,3	3,31	6,6	8,5	33,6	47,3
Rb	µg/l	263	0,07	1,82	3,19	4,71	15,1	42,7
Ag	µg/l	263	<0,01	<0,01	.	.	0,02	0,05
Al	µg/l	263	<1,0	2,465	30,1	178	198	2750
As	µg/l	263	<0,05	0,16	0,998	2,82	11,4	23,6
B	µg/l	263	1,49	27,0	54,6	74,2	316	478
Be	µg/l	263	<0,1	<0,1	.	.	0,462	1,52
Bi	µg/l	263	<0,03	<0,03	.	.	<0,03	0,28
Cd	µg/l	263	<0,02	<0,02	.	.	0,167	0,56
Co	µg/l	263	<0,02	0,04	0,423	2,33	4,15	33,5
Cr	µg/l	263	<0,2	<0,2	.	.	1,26	2,5
Cu	µg/l	263	<0,04	9,06	32,3	78,3	265	917
Fe	mg/l	263	<0,03	0,03	0,492	2,84	3,12	39,9
Mn	µg/l	263	0,2	16,3	106	302	796	4140
Mo	µg/l	263	<0,03	0,5	2,314	5,502	16,59	53,8
Ni	µg/l	263	<0,06	0,595	1,81	5,32	11,7	67,5
Pb	µg/l	263	<0,03	0,15	0,423	0,737	2,61	6,96
Rn	Bq/l	252	4,04	138	311	593	2547	4880
S	mg/l	254	0,359	3,83	6,41	7,39	30,1	58,7
Sb	µg/l	263	<0,02	0,02	0,0444	0,105	0,21	1,46
Se	µg/l	263	<0,5	<0,5	.	.	2,5	4,59
Sn	µg/l	254	<0,5	<0,5	.	.	0,5	1,92
Th	µg/l	263	<0,02	<0,02	.	.	0,117	1,41
Tl	µg/l	263	<0,02	<0,02	.	.	0,06	0,12
U	µg/l	263	<0,01	0,64	13,7	55,1	121	643
V	µg/l	263	<0,02	0,155	0,489	1,18	4,13	13,6
Zn	µg/l	263	1,31	21,7	84,9	255	493	2810
Kok-alfa <i>Total alpha</i>	Bq/L	244	0,009	0,09	0,54	1,57	4,89	15,3
Ra	Bq/L	244	<0,01	<0,01	0,043	0,144	0,54	1,25

POHJAVEDEN LAATU ERITYYPPISISSÄ POHJAVESIESIINTYMISSÄ

Lähde: Hatva, T. 2004: Havaintoja pohjavesialueiden sekä tekopohjavesi- ja rantaimeytyslaitosten veden laadusta. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja n:o 255 Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 135 s.

URN:ISBN:9521111879, ISBN 952-11-1187-9 (PDF), Julkaisu on saatavana myös painettuna 952-11-1186-0 (nid.)

Pohjaveden laatu antikliinisissä pohjavesiesiintymissä

Parametri	Yksikkö	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lukumäärä n
pH		6,5	5,7	9	58
Happi	mg/l	7,7	1,2	12	56
Rauta	mg/l	0,01	<0,01	1,4	56
Mangaani	mg/l	0,05	0	0,52	54
Sähkönjohtavuus	mS/m	10,9	2,7	46	52
Hiilidioksidi	mg/l	23,2	3	118	33
Alkaliniteetti	mmol/l	0,57	0,03	6,1	43
Kovuus	dH	1,9	0,1	8,5	47
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	3,1	0,2	20	45
Ammonium	mg/l	0,03	<0,002	0,39	34
Nitraatti	mg/l	1,6	0,01	8	33
Sulfaatti	mg/l	7,8	2,5	107	32
Kloridi	mg/l	9,2	0,7	104	48

Pohjaveden laatu synkliinisissä pohjavesiesiintymissä

Parametri	Yksikkö	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lukumäärä n
pH		6,2	4,4	6,95	41
Happi	mg/l	1,5	0	11,9	35
Rauta	mg/l	2,8	0,05	15,5	41
Mangaani	mg/l	0,33	0,02	1,8	41
Sähkönjohtavuus	mS/m	19	4	64	30
Hiilidioksidi	mg/l	34,7	1,4	99	32
Alkaliniteetti	mmol/l	0,82	0,1	3,6	32
Kovuus	dH	4,5	1,4	10,4	26
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	6,4	1	22	30
Ammonium	mg/l	0,22	0,02	0,9	21
Nitraatti	mg/l	1,8	0	10	15
Sulfaatti	mg/l	32,9	4,1	87	21
Kloridi	mg/l	25,7	1,1	114	20

LIITE 8.5.10.13/6

Pohjaveden laatu Pohjanmaan synkliinisissä pohjavesiesiintymissä

Parametri	Yksikkö	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lukumäärä n
pH		6,2	5,5	7,6	65
Happi	mg/l	2	0	10,1	58
Rauta	mg/l	5	0,003	37,4	61
Mangaani	mg/l	0,29	0,004	1,9	64
Sähkönjohtavuus	mS/m	14,7	3,2	64	55
Hiilidioksidi	mg/l	42	4,9	149,6	58
Alkaliniteetti	mmol/l	0,59	0,04	0,59	58
Kovuus	dH	2,4	0,3	10,1	60
KMnO4-kulutus	mg/l	9,3	0,4	44,8	61
Ammonium	mg/l	0,08	0,003	0,48	46
Nitraatti	mg/l	0,4	0	5,9	40
Sulfaatti	mg/l	29,9	0,7	143	30
Kloridi	mg/l	8,4	0,05	72	41

Pohjaveden laatu peitteisissä esiintymissä

Parametri	Yksikkö	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lukumäärä n
pH		6,9	6,09	7,83	11
Happi	mg/l	0,04	0	3,3	10
Rauta	mg/l	1,5	0,08	3,3	10
Mangaani	mg/l	0,43	0,05	2,2	10
Sähkönjohtavuus	mS/m	43,2	5,2	132	10
Hiilidioksidi	mg/l	21,7	1,4	67,8	8
Alkaliniteetti	mmol/l	1,9	0,5	4,3	8
Kovuus	dH	7,3	4,3	10,5	7
KMnO4-kulutus	mg/l	3,4	1	4,9	8
Ammonium	mg/l	0,16	0,06	0,21	5
Nitraatti	mg/l	2	0,004	10	5
Sulfaatti	mg/l	45,7	33	53	56
Kloridi	mg/l	34	8	60	6

			
			
	GWM – ENGINEERING Oy Pohjavesien ja saastuneiden maa- alueiden näytteenotto- ja mittaus- teknologia, geotekniset tutkimuslaitteet. Maahantuonti ja myynti puh. 017-5800 818		
			
			
			
			
www.gwm-engineering.fi www-sivuilla kattava suomenkielinen tuotekatalogi			

Ongelmia vedenlaadussa?

Hyvää ja raikasta vettä helposti
WatMan -vedenkäsittelylaitteilla.
Täydellinen laitevalikoima mm:

- ✓ Raudan poistoon
- ✓ Mangaanin poistoon
- ✓ Humuksen poistoon
- ✓ Radonin poistoon
- ✓ Uraanin poistoon
- ✓ Kalkin poistoon
- ✓ Fluoridin poistoon
- ✓ Suolan poistoon
- ✓ Arseenin poistoon
- ✓ Veden neutralointiin
- ✓ Veden desinfiointiin

WatMan vesianalyysit ja
vedensuodattimet edullisesti
paikkakuntasi vesiasiantuntijalta
tai suoraan meiltä.

Suodatinlaitteiden tuotot 1 l/h...100 l/s



 **WatMan**

www.watman.fi Puh. (019) 357 071

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

POHJAVEESI

- harjujen 3D rakenneselvitykset
- isotooppiselvitykset
- pohjaveden virtausmallinnus
- maa- ja kallioperän vaikutus pohjaveden laatuun

JÄRVISEDIMENTIT

- pilaantuneet sedimentit
- ravintelsuuden rekonstruktiot
- luennontilan selvitykset
- fosforin esiintymismuodot



PL 96, 02151 ESPOO
Puh. 020 550 11
Fax 020 550 12

Sähköposti:
services@gtk.fi
www.gtk.fi



Palokorvenkatu 2, PL 16, 04261 KERAVALA
Puh. (09) 417 4500 • Faksi (09) 4174 5100



LANGE analysaattorit

- ◆ ammoniumtyyppi
- ◆ nitraattityyppi
- ◆ fosfori (liukoinen/kokonainen)
- ◆ UV-absorptio (esim. COD)
- ◆ pH + sameus

www.hyxo.fi

WEDECO

UV -prosessiteknikka

UV-desinfiointi

- ◆ Saksassa koulutettu huoltohenkilöstö Keravalla
- ◆ Lamput ja muut varaosat varastostamme



LUODE

Consulting

Vedenlaadun ja mittausteknologian asiantuntija

- Vedenlaadun mittausasemat
- Pinnankorkeuden mittausasemat
- GWMS-dataloggereiden tuotetuki ja huolto
- Vedenlaadun kartoitukset kenttäkäyttöisellä laitteistolla
- Mittaus- ja tarkkailuohjelmien suunnittelu ja toteutus

Luode Consulting Oy
Hietalahdenkatu 7 A 13
00180 Helsinki
www.Luode.net

040-8678366/Kiirikki
040-5322560/Huttula
Myynti@Luode.net

Kestäviä ratkaisuja – lisäarvoa



Vesihuolto • Jätehuolto
Ympäristötutkimukset • Kunnallistekniikka

<http://maajavesi.fi>

JAAKKO PÖYRY INFRA

Jaakko Pöyry Group



Hyvin suunniteltu...

- vedenhankintatutkimukset
- pohjaveden suojelusuunnittelu
- pilaantuneiden maa-alueiden tutkimukset
- maaperän ja pohjaveden kunnostussuunnittelu
- pohjavesimallinnus
- pohjavesivaikutusten arviointi
- pohjaveden tarkkailusuunnitelmat
- vedenottamoiden lupahakemukset
- kaivosuunnittelu
- vesilaitosten suunnittelu

SUUNNITTELUKESKUS OY
(09) 156 41, www.suunnittelukeskus.fi



Elinympäristömme parhaaksi

- Ympäristöntutkimus ja -suunnittelu
- Vesihuollon suunnittelu
- Yhdyskuntasuunnittelu
- Laboratoriopalvelut

insinööritoimisto
PAAVO RISTOLA OY

Terveystie 2, 15870 HOLLOLA
puh. (03) 52 351, faksi (03) 523 5252

Alue toimistot: Jyväskylä, Savonlinna, Vantaa

► www.ristola.com

