

Euran Vaaniin pohjavesialueen rajojen
tarkistus ja alueen maaperän
vedenjohtavuus

Antti Pakarinen

19.04.2013

Pro gradu -tutkielma

GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS

HELSINGIN YLIOPISTO

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto □ Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos □ Institution – Department Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä □□□ Författare – Author Antti Pakarinen			
Työn nimi □□ Arbetets titel – Title Euran Vaaniin pohjavesialueen rajojen tarkistus ja alueen määperän vedenjohtavuus			
Oppiaine □ Läroämne – Subject geologia			
Työn laji □□ Arbetets art – Level Pro Gradu -tutkielma	Aika □□ Datum – Month and year 19.04.2013	Sivumäärä □□ Sidoantal – Number of pages 72	
Tiivistelmä □□ Referat – Abstract			
<p>Tämän Pro Gradu –tutkielman tarkoituksena oli selvittää Euran Vaaniin pohjavesialueen rajojen muutostarve. Tutkimus oli osana laajempaa ympäristöministeriön ja maa –ja metsätalousministeriön hanketta, jonka tarkoituksena on luoda yhtenäinen ja selkeä ohjeistus hienoainespeitteisten akviferien pohjavesialueiden rajaamiselle.</p> <p>Kenttätöitä tehtiin kesällä 2011. Tutkimusmenetelminä olivat raekokoanalyysi kuiva- ja märkäseulonnalla ja hiukkasmittarilla, ionikromatografia, massaspektrometria, veden stabiilien isotooppien määrittäminen ja rakennetulkinta.</p> <p>Tutkimusten perusteella Vaaniin pohjavesialueen nykyiset rajat eivät ole toimivia pohjaveden suojelun kannalta. Nykyisen pohjavesialueen ulkopuolisilta alueilta, joiden vedenjohtavuusarvot mahdollistavat pohjaveden muodostumisen, on hydraulinen yhteys harjuun. Vedenjohtavuusarvojen perusteella tutkimusalue voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan, jotka ovat muodostumisalue ($K > 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$), vettä osittain läpäisevä alue ($10^{-7} < K < 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$) ja vettä läpäisemätön alue ($K < 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$).</p> <p>Rakennetulkinnan perusteella hyvin vettä johtavat kerrokset ovat jatkuvia Vaaniin ja Euran keskustan välisellä osuudella. Harjun morfologia on vaihtelevaa eivätkä muutokset näy maanpinnalla aluilla, joilla harju on hienoainessedimenttien peittämä. Pohjaveden päävirtaussuunnat Kauttualta kohti Vaaniita ja jokilaakson reunoilta harjuun.</p> <p>Pohjaveden redox-oloissa tapahtuu muutos Mölsin alueen hapettavista oloista pelkistäviksi kohti Vaaniin vedenottamoita ja samanaikaisesti kemiallinen koostumus muuttuu jonkin verran. Veden stabiilien isotooppien perusteella pohjaveden osuus jokivedestä on noin 5 – 8 %.</p> <p>Vaaniin pohjavesialueen rajoja on tutkimusten perusteella syytä muuttaa. Ehdotetaan kahta muutosvaihtoehtoa. Ensimmäisessä pohjavesialueen rajoja siirretään itään ja länteen siten, että muodostumisalueeksi lukeutuvat moreenikumpareet ovat pohjavesialueella. Toisessa vaihtoehdossa pohjavesi- ja muodostumisalueiksi rajataan alueet, joiden vedenjohtavuusarvot mahdollistavat pohjaveden muodostumisen.</p> <p>Peitteisten akviferien pohjavesialueiden rajauksissa tulisi tutkitusten perusteella ottaa huomioon myös harjualueen ulkopuoliset alueet, joilta voi olla hydraulinen yhteys harjuun. Muodostumisalueen rajauksissa käytetään perusteena, että muodostumisalueeksi rajataan alue, jonka vedenjohtavuusarvo vastaa hienon hiekan vedenjohtavuutta tai on sitä suurempi. Tutkimusten perusteella määritelmää suositellaan muutettavaksi siten, että rajaksi otetaan vedenjohtavuusarvo 10^{-6} ms^{-1}, koska se ei ota kantaa sedimentin laatuun.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Eura, Vaani, pohjavesi, pohjavesialueiden rajaaminen, vedenjohtavuus, maaperä			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information 34 kuvaa, 9 taulukkoa ja 12 liitettä			

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	5
1.1. Aiempi tutkimus.....	7
1.2. Pohjavesialueiden rajaamisesta.....	7
1.3. Vesipuitedirektiivi ja pohjavesialueiden rajaukset.....	10
1.4. Tutkimusprojekti.....	12
2. GEOLOGINEN TAUSTA	13
2.1. Maaperä.....	13
2.2. Kallioperä.....	16
2.3. Hydrogeologia.....	19
2.3.1. Vaaniin pohjavesialueen hydrogeologiset yleispiirteet.....	19
2.3.2. Vaaniin pohjavesialueen ja akviferin 3D-rakanne.....	20
2.4. Maaperän imeytäkyky, hydraulinen johtavuus ja niihin vaikuttavat tekijät	21
2.4.1. Imeyttäkyky.....	21
2.4.2. Hydraulinen johtavuus	23
3. AINEISTOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT	24
3.1. Tausta-aineistot	24
3.1.1. Paikkatietoaineistot ja kartat	24
3.1.2. Kairausaineisto	24
3.1.3. Vaaniin ja Mölsin vedenottamoiden vedenottomäärät.....	24
3.2. Uudet aineistot	25
3.2.1. Sedimenttinäytteet ja niiden käsittely.....	25
3.2.2. Raekokoanalyysi.....	27
3.2.3. Kuiva- ja märkäseulonta	28
3.2.4. Laserhiukkasmittari, Mastersizer 2000.....	28
3.2.5. Vesigeokemia ja YSI-mittaukset	29
3.2.6. Imeytyskokeet	31
3.2.7. Pohjaveden pinnankorkeudet	32
3.2.8. Lämpökamera-aineisto.....	32
3.2.9. Paikkatietoaineistot ja 3D-mallinnus.....	34
3.2.10. Vesitaselaskut.....	35
4. TULOKSET	36
4.1. Raekokoanalyysit.....	36
4.2. Veden stabiilit isotoopit	36

4.3. Vesikemia.....	40
4.4. Imeytyskokeet	41
4.5. Pohjaveden pinnankorkeudet	41
4.6. Poikkileikkaukset ja rakennemalli	42
4.7. Vesitaselaskut.....	47
5. TULOSTEN TARKASTELU	47
5.1. Vaaniin pohjavesialueen Euran keskustan ja Vaaniin välisen osan rakennetulkinta	47
5.2. Virtauskuva ja vesitase.....	49
5.3. Veden stabiilien isotoopit, pääionit, fluoridi ja pii.....	50
5.3.1. Yleistä.....	50
5.3.2. pH.....	50
5.3.3. Fluoridi	51
5.3.4. Sulfaatti	51
5.3.5. Nitraatti.....	51
5.3.6. Natrium	52
5.3.7. Sähkönjohtavuus	52
5.3.8. Kloridi	52
5.3.9. Liuennut happi ja ORP.....	52
5.3.10. Alkaliteetti	53
5.3.11. Kalium.....	53
5.3.12. Fosfaatti	53
5.3.13. Pii.....	53
5.3.14. Kalsium ja magnesium	54
5.3.15. Muuttujien yhteisvaihtelu.....	54
5.3.16. Veden stabiilit isotoopit.....	54
5.4. Maaperän vedenjohtavuuden alueellinen vaihtelu	57
6. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	65
6.1. Akviferin rakenne ja virtauskuva	65
6.2. Geokemia ja pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus	66
6.3. Rajausmuutokset ja peitteisten akviferien pohjavesialueiden rajaaminen	66
7. KIITOKSET	69
8. LÄHDELUETTELO.....	70
LIITTEET	72
Liite 1. Vedenjohtavuudet karkeissa sedimenteissä.....	72

Liite 2. Hienoainessedimenttien vedenjohtavuudet	73
Liite 3. Poikkileikkauslinjat	75
Liite 4. Vesitaselaskelmat	76
Liite 5. Kairauspaikat	77
Liite 6. Lämpökamerakuvauksen perusteella tulkitut kylmät kohdat Eurajoessa	78
Liite 7. Vaaniin vedenottamon vaikutusalue ja valuma-alue	79
Liite 8. Sedimenttinäytteiden raekokoanalyysien tulokset.....	80
Liite 9. Vanhat poikkileikkaukset Linjoilta 5, 6 ja 1.....	85
Liite 10. Poikkilinjat 1 ja 2.....	86
Liite 11. Poikkilinjat 3 ja 4.....	87
Liite 12. Poikkilinjat 5 ja 6.....	88

1. JOHDANTO

Satakunnassa, kuten muuallakin länsirannikon hienoainespeitteisillä alueilla käyttökelpoisia akviferejä on niukasti (Britschgi et al. 2009). Tämän seurauksena näillä alueilla hyödynnetään hienoainespeitteisiä harjuja pohjaveden hankintaan. Pohjavesialueiden rajauksien tarkoituksena on edistää taajamien ja haja-asutusalueiden vedenhankintaan soveltuvien alueiden suojelua. Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus ovat keskeisiä vedenhankinnan ja pohjavesien suojelun työkaluja. Pohjavesien suojelun huomioonottaminen kaavoitusasioissa ja yhdyskuntasuunnittelussa edellyttää tietoa pohjavesialueiden sijainnista. Tästä johtuen pohjavesialueille tarvitaan selkeästi määritellyt rajat. Pohjavesialueille soveltumaton maankäyttö on suurin yksittäinen pohjaveden laatua uhkaava tekijä. Pohjavesialueiden rajaaminen ohjaa muuta toimintaa siten, että pohjaveden käyttökelpoisuutta uhkaavat toiminnot sijoitetaan pohjavesialueiden ulkopuolelle. Pohjavesialueiden rajaukset toimivat myös tausta-aineistoina ympäristölupaviranomaisille, kun harkitaan ympäristönsuojelu- ja vesilain mukaisia lupia.

Pohjavettä koskeva lainsäädäntö on hajaantunut useaan lakiin, säädökseen ja asetukseen eikä yksittäistä kaikkia pohjavesiasiat sisältävää lakia ole. Pohjavesien suojelu perustuu pääasiassa ympäristönsuojelulakiin (YSL, 86/2000) ja –asetukseen, vesilakiin (587/2011) ja vesien- ja merenhoitolakiin (1299/2004). Pohjavesiin ja niiden suojeluun liittyviä määräyksiä on lisäksi maa-aineslaissa, maankäyttö- ja rakennuslaissa, terveydensuojelulaissa, jäte- ja kemikaalilaeissa ja öljyvahinkojen torjuntalainsäädännössä. Keskeisimpiä näistä ovat YSL:n 1 luvun 8 §:n pohjaveden pilaamiskielto ja vesilain 1 luvun 18 §:n pohjaveden muuttamiskielto (1:18). Nämä sisältävät sekä pohjaveden vaarantamisen käsitteen että luokkien I ja II pohjavesialueet ja yksityisten kiinteistöjen vedenhankinnan turvaamisen.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (1994/468) liittyy myös pohjavesiin. Laki velvoittaa ympäristövaikutusten arviointiin (YVA) hankkeissa, joista saattaa aiheutua merkittäviä vahingollisia vaikutuksia ympäristölle, esim. pohjavesille. Tällaisia hankkeita ovat mm. kaivosten perustaminen ja tekopohjavesihankkeet. (Finlex 2013).

Pohjavesialueiden rajaaminen perustuu rajaushetkellä parhaaseen saatavilla olevaan pohjavesitietoon. Suomen pohjavesialueiden rajaukset on tehty pääasiassa 1970- ja 1980-luvuilla (Britschgi et al. 2009). Rajauksiin tulevat mahdolliset muutokset perustuvat aina uuteen tutkimustietoon. Alueelliset ELY-keskukset ovat laissa (laki vesien hoidon järjestämisestä) velvoitettuja määrittämään luokkien I ja II pohjavesialueiden sijainit. Velvoitteeseen kuuluu lisäksi pohjavesialueiden maa- ja kallioperän yleispiirteiden selvittäminen siltä osin, kun niillä on hydrogeologista merkitystä. YSL sisältää luokkien I ja II pohjavesialueet. Pohjavesialueiden luokitusta ei ole YSL:ssä erikseen määritelty. Luokittelu pohjautuu ympäristöhallinnon ohjeistukseen. Luokiteltujen pohjavesialueiden asemaa ja rajauksia ei ole virallistettu, mutta lainsäädäntö koskee kaikkea pohjavettä. Rajaukset eivät sido lupa- ja valitusviranomaisia, ja luokituksen ja rajausten hyväksymisestä ei ole mahdollista valittaa, koska kyseessä ei ole viranomaisen hallintopäätös.

Pohjavesialueiden rajauksiin liittyvissä tulkinnoissa on ollut ongelmia johtuen taustakarttojen erilaisista mittakaavoista (Hanski et al. 2010). Rajauksia määritettäessä ELY-keskukset ovat käyttäneet mittakaavan 1:20 000 peruskarttoja maatilojen lohkokarttojen mittakaavan ollessa 1:5 000. Ongelmia on tullut siitä, että alun perin 1:20 000 mittakaavan kartoille piirretyt pohjavesialueiden rajat on myöhemmin otettu tarkemmille 1:5 000 mittakaavan kartoille. Peruskartalla pohjavesialueen raja on maastossa 30:sta 40 metriin leveä vyöhyke, jonka vuoksi on syntynyt epätietoisuutta, kuuluuko jokin peltolohko tai sen osa pohjavesialueeseen vai ei. Vastaavia ongelmia on myös teollisuus- ja asuinalueilla eri toimintojen suunnittelussa. Tarve pohjavesialueen rajojen muutoksiin voi tulla esille alueella tehtävien uusien tutkimusten tuodessa lisää tietoa alueen hydrogeologiasta (Britschgi et al. 2009). Pohjaveden laadussa voidaan seurannoissa havaita muutoksia, kuten esimerkiksi torjunta-aineiden päätyminen pohjaveteen. Torjunta-aineita voi esiintyä pohjavedessä vaikka raja-aine olisikin toimiva. Useasti on kyse siitä, että pohjavesialueilla käytetään aineita, joita siellä ei saisi käyttää (Mäkinen 2013, suullinen tiedonanto). On myös mahdollista, että osa torjunta-ainejäämistä on ns. vanhoja aineita, joita on käytetty nykyisillä pohjavesialueilla ennen kiellon voimaan tuloa. Jos nykyisistä rajoista huolimatta pohjavedessä havaitaan sallittuja torjunta-aineita ja muita haitta-aineita, tarve pohjavesialueen rajojen rakentamiselle on olemassa.

1.1. Aiempi tutkimus

Vaaniin pohjavesialueella on tehty useita tutkimuksia viimeisen 39 vuoden aikana. Ensimmäiset tutkimukset tehtiin vuonna 1973, jolloin tehtiin pohjavesitutkimuksia Sorkkisten alueella (Kuva 5). Paavo Ristola Oy teki Vaaniin vedenottamoa varten pohjavesitutkimuksia alueella vuonna 1986 (Koivisto ja Eerikäinen 1986). Mölsin ottamoa varten alueella tehtiin tutkimuksia vuonna 1989 (Air-Ix Oy 1989). Euran pohjavesialueille tehtiin suojelusuunnitelmat vuonna 2008 (Joronen 2008), ja tässä yhteydessä Vaaniin pohjavesialueella tehtiin kattavia maastotutkimuksia ja lentogeofysikaaliseen aineistoon perustuen pehmeikön paksuustulkinta (Kuva 5, Valjus ja Säävuori 2007). Vaaniin pohjavesialue oli eräänä tutkimus- ja esimerkkialueena tutkimuksessa 'Selvitys pohjavesialueiden rajaamisenmenettelystä' (Hanski et al. 2010).

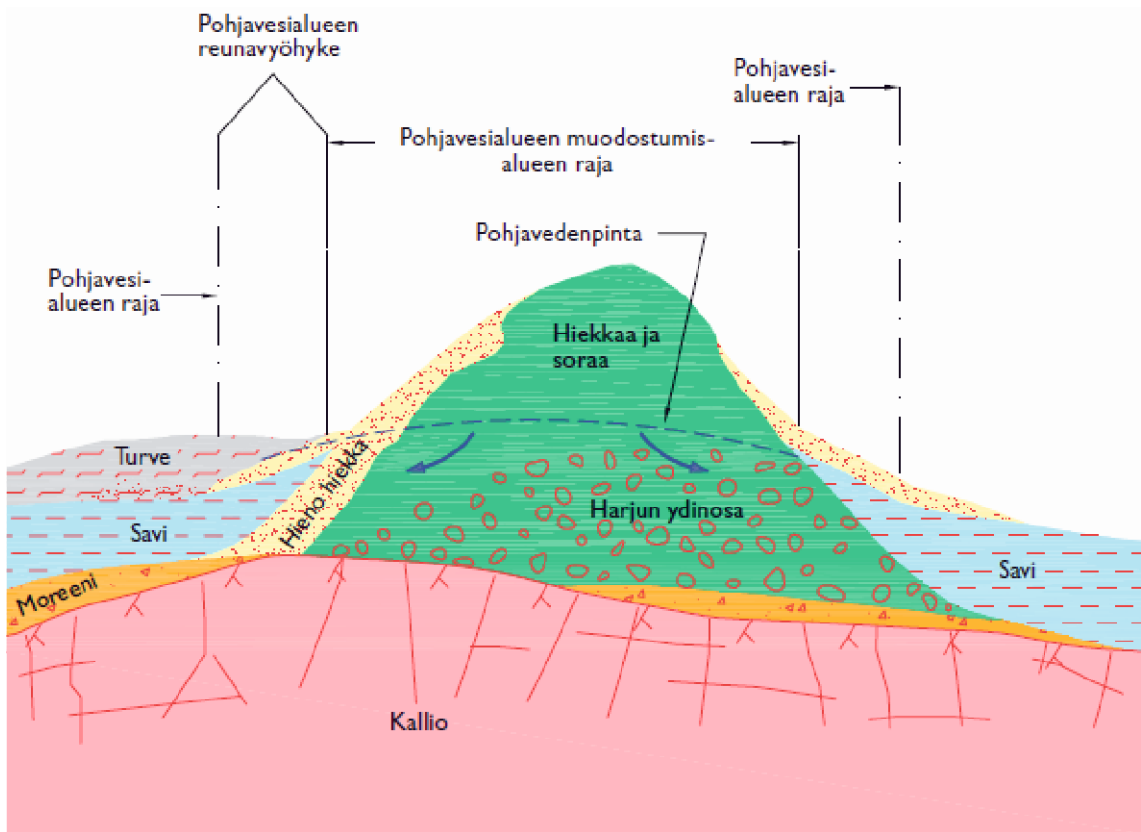
1.2. Pohjavesialueiden rajaamisesta

Pohjavesialueet rajataan kahteen vyöhykkeeseen, jotka ovat muodostumisalue ja pohjavesialue (Kuvat 1 ja 2). Pohjaveden muodostumisalue rajataan Britschgin et al. (2009) mukaan maaperän vedenjohtavuuden perusteella. Muodostumisalueeksi määritellään alue, jonka pintamaan vedenjohtavuus vastaa vähintään hienon hiekan vedenjohtavuutta. Hienon hiekan vedenjohtavuusarvo vaihtelee Bearin (1972) mukaan välillä $10^{-6} - 10^{-8}$ m/s. Brassingtonin (1988) mukaan se on luokkaa 10^{-5} m/s. Myös hienon hiekan määritelmä vaihtelee luokituksista riippuen. ISO-luokituksen mukaan hienolla hiekalla tarkoitetaan sedimenttiä, jonka raekoko on välillä 0,063 – 0,2 mm. Brassingtonin (1988) mukaan hienon hiekan raekoko on välillä 0,06 – 0,25 mm. Kertaluokkien suuruinen vaihtelu vedenjohtavuusarvoissa sekä hienon hiekan määritelmässä vaihtelu johtaa siihen, että muodostumisalueen rajaaminen ei ole yksiselitteistä. Tästä johtuen rajausperusteet ovat tulkinnanvaraisia. Kallioalueilla ei välttämättä muodostu merkittäviä määriä pohjavettä, johtuen usein kallioperän alhaisesta vedenjohtavuudesta, mutta korkeilta kallioalueilta voi pintavaluntana tulla suuriakin määriä vettä muodostumisalueelle. Siksi muodostumisalueiden rajaamista ympäristöstään vettä keräävillä pohjavesialueilla ei voida toteuttaa pelkästään maaperän vedenjohtavuusarvojen perusteella. Pohjavesialueeksi rajataan puolestaan alue, jolla on vaikutusta akviferin veden laatuun ja muodostumiseen

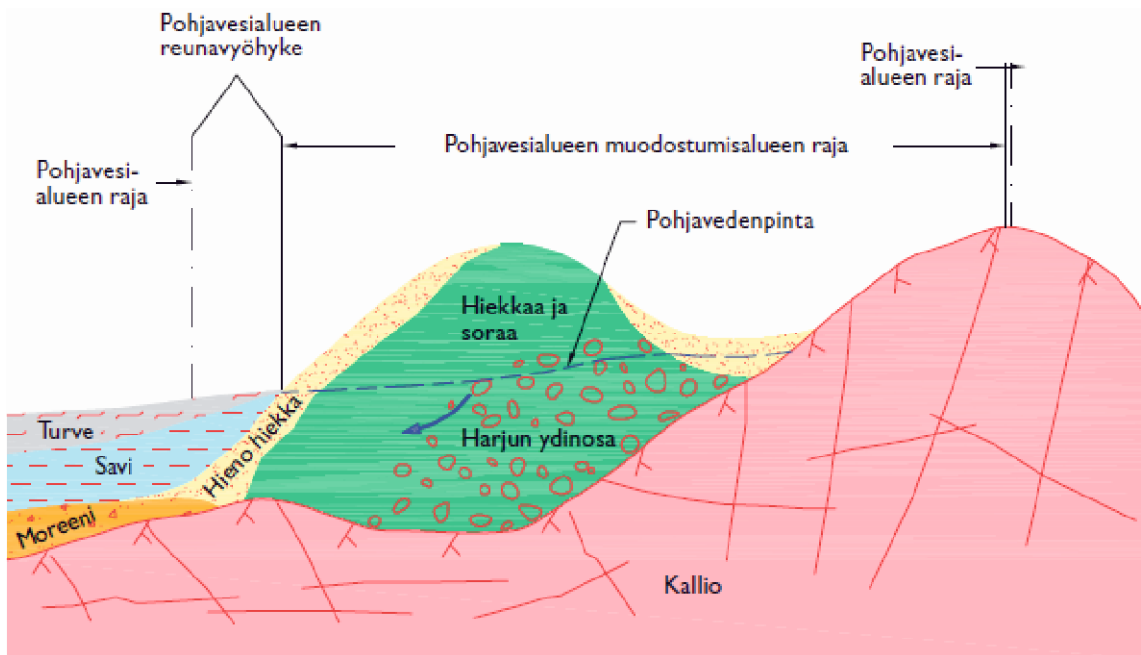
(Britschgi et al. 2009), ja tällaisen alueen maaperän tulee olla ainakin osittain vettäläpäisevää. Tällaisen materiaalin vedenjohtavuusarvon alaraja Bearin (1972) mukaan on 10^{-7} ms^{-1} . Aluetta ei tarvitse rajata pohjavesialueeksi, jos alueella on yli kolmen metrin paksuudelta silttisavimuodostumaa (Britschgi et al. 2009). Määritelmän silttisavimuodostuma täsmentäminen olisi tarpeen, koska vedenjohtavuus vaihtelee useita kertaluokkia, riippuen siitä tarkoitetaanko savisilttimuodostumalla lihavaa savea, silttistä savea, laihaa savea, savista silttiä vai silttiä.

Britschgin et al. (2009) mukaan pohjavesialueita joudutaan usein rajaamaan rajallisen tutkimustiedon vuoksi pääasiassa karttatulkintojen perusteella. Tällöin pohjavesialue rajataan sekä vallitsevien pinnanmuotojen mukaan (Kuva 2) että käyttäen GTK:n maaperäkartoja. Vaaniin pohjavesialueella alueen rajaaminen topografisin perustein on ongelmallista, koska silloin pohjavesialueeksi jouduttaisiin rajaamaan käytännössä koko jokilaakson alue (Kuva 3). Sen mukainen rajaus ei olisi mielekäs, koska alueen hydrogeologiasta ja stratigrafiasta oloista harjujakson (Kuva 3) ja jokilaaksoa reunustavien moreeni-kallio – maiden välisellä alueella ei ole tarkkaa tutkimustietoa.

Ennen rajausmuutosselvityksiin ryhtymistä olisi hyvä selvittää onko rajausmuutoksille tarvetta. Pohjaveden laadun ollessa huono, rajausmuutoksille on tarvetta, koska olemassa oleva pohjavesialuerajaus ei ole ollut riittävä suojaamaan pohjavettä. Poikkeuksena tähän ovat tilanteet, joissa pohjaveden laatu ei johdu ihmisen toiminnasta. Vesitaselaskut voivat antaa tietoa siitä, että riittääkö nykyisellä muodostumisalueella imeytyvä pohjavesi kattamaan ottamoilta saatavan vesimäärän ja sen, mitä akviferistä purkautuu ympäristöön. Vedenjohtavuusarvojen avulla voidaan tarkistaa ylittävätkö muodostumisalueeksi merkityn alueen vedenjohtavuusarvot hienon hiekan vedenjohtavuusarvon alarajan (Britschgi et al. 2009). Nykyisen muodostumisalueen ollessa antoisuuteen nähden riittämätön vesitaselaskuilla voidaan selvittää, kuinka laaja muodostumisalueen tulisi olla. Monet hienoainessedimenttien peittämät harjut ovat synkliinisiä, koska ne ovat usein kerrostuneet ympäristön painanteisiin. Pohjaveden mahdollinen muodostuminen harjun ulkopuolella olisi otettava huomioon tutkittaessa peitteisiä harjuja, ja määritettäessä niille pohjavesi- ja muodostumisalueen rajoja.



Kuva 1. Kaavakuva pohjavesialueen ja pohjaveden muodostumisalueen rajaamisesta antiklinisellä harjulla. Britschgi et al. (2009).



Kuva 2. Kaavakuva pohjavesialueen ja pohjaveden muodostumisalueen rajaamisesta antiklinisellä harjulla. Britschgi et al. (2009).

Euran Vaaniin pohjavesialueen rajauksen mahdollinen muutos on yksi keskeisistä tämän työn tutkimuskysymyksistä. Pohjavesialueiden rajauskäytäntöjen yhdenmukaistaminen ja tarkentaminen on oleellista, koska pohjavesialueiden rajaus vaikuttaa merkittävästi maankäyttöön. Vaaniin pohjavesialueen maapinta-alasta iso osa on viljelyskäytössä, minkä vuoksi rajauksen tarkistaminen alueella on erityisen tärkeää. Vaanii on I-luokan pohjavesialue, ja I- ja II-luokan pohjavesialueilla on suuria viljelyyn liittyviä rajoituksia. Alueen luokittelu rajaa tarkasti, mitä torjunta-aineita ja lannoitteita pelloilla saa käyttää.

1.3. Vesipuitedirektiivi ja pohjavesialueiden rajaukset

Euroopan parlamentti (EP) ja neuvosto (EN) antoivat 23.10.2000 direktiivin (2000/60/EY) koskien Euroopan unionin (EU) vesipolitiikkaa. Voimaan tullut vesipuitedirektiivi (VPD) yhtenäistää EU:n vesiensuojelua ja käytäntöjä. VPD:n keskeisiin pohjavesiä koskeviin kohtiin kuuluu mm.:

- vesiekosysteemien tilan heikkeneminen estäminen, niiden suojeleminen niitä ja tarvittaessa niiden tilan parantaminen,
- vesivarojen kestävä hyödyntämisen edistäminen samalla turvaten riittävä pohjaveden saanti,
- vähentää pohjavesien pilaantumista ja pohjavesien suojeleminen tehostaminen,
- vesi ei ole tavanomainen kaupallinen tuote, vaan enemmänkin perintö, jota tulee suojella ja puolustettava,
- pohjavesialueiden hydrogeologisten ominaispiirteiden alku- ja lisätarkastelu
- pohjavesien tilaa on tarkkailtava

Käytännössä VPD edellyttää, että jäsenvaltioiden tulee estää ja rajoittaa haitta-aineiden pääsy pohjavesiin. Samanaikaisesti pohjavesien tilan heikkeneminen tulee estää. VPD:hen sisältyy myös määräys siitä, että pohjavesien kemiallinen ja määrällinen tila tulee olla hyvä 15 vuotta direktiivin voimaan tulon jälkeen (2015), mutta määräaika voidaan tietyin perustein jatkaa 12 vuodelle. Tavoitteisiin pyritään mm. toteuttamalla pohjavesialueiden ominaispiirteiden alku- ja lisätarkastelu (kpl 2.2) neljän vuoden kuluessa direktiivin

voimaan tulosta (artikla 5). Alkutarkasteluun sisältyy pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus, ja lisätarkasteluun hydrogeologinen kartoitus (Rintala et al. 2007). Lisätarkastelu koskee riskialueita ja alueita joiden kemiallinen tila on huono. Näille alueille tehdään myös arvio ihmistoiminnan vaikutuksista. VPD velvoittaa jäsenvaltioita myös erittelemään pohjavesialueet, joilta tullaan ottamaan tai otetaan pohjavettä yli $10 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ tai yli 50 hengelle. Velvoitteeseen kuuluu, että oton ylittäessä $100 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ direktiivi velvoittaa pohjavesialueelle on järjestettävä tarkkailu (artikla 7).

VPD:n edellyttämät toimenpiteet olivat jo direktiivin voimaan tullessa Suomessa hyvällä tasolla. Ominaispiirteiden alkutarkastelu (kartoitus ja luokitus) alkoi 70-luvulla ja valmistui 90-luvun puoliväliin mennessä (Suomela 2002 ja Britschgi et al. 2009). Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien laatiminen alkoi Suomessa 90-luvun alussa, ja niiden kuuluu mm. hydrogeologinen tarkastelu, riskien arviointi, varautuminen vahinkotilanteisiin sekä toimenpidesuosittelujen laadinta. Ennen vuotta 2000 aloitetut toimet kattavat jo suuren osan direktiivin velvoitteisiin kuuluvista asioista, mutta puutteitakin on. Erityisesti ominaispiirteiden lisätarkastelu ja ihmistoiminnan arviointi ovat sen verran aikaa vieviä, että suojelusuunnitelmia ja lisätarkasteluja ei valmistu tarpeeksi nopeasti, että direktiivin asettamassa määräajassa pysyttäisiin.

VPD:ssä määritellään erikseen, että jäsenvaltioiden on määriteltävä alueeltaan riskialueet, eli pohjavesialueet, joiden määrällinen tai kemiallinen tila ei ole direktiivin mukainen (riskialueet). Riskialueiksi voidaan lukea myös merkittävät pohjavesialueet, joiden pilaantumiseriski on merkittävä. Riskialueille suoritettavassa ominaispiirteiden lisätarkastelussa pyritään saamaan tarvittava määrä hydrogeologista tietoa, joita ovat mm. muodostumis- ja pohjavesialueen rajat; maaperän vedenjohtavuus ja akviferin rakenne, jotta pohjavesialueen pilaantumiseriskiä voitaisiin pienentää. Pohjavesialueen rajauksilla pyritään ohjaamaan (Britschgi et al. 2009 ja Hanski et al. 2010) pohjaveden laatua uhkaavat toiminnot pois pohjavesialueilta. Rajausten tarkistuksissa selvitetään ovatko nykyiset rajat riittäviä. Rajausten tarkistus tulee erityisesti kysymykseen tapauksissa, joissa pohjaveden laatu on heikko nykyisistä suojelutoimenpiteistä huolimatta, ja tapauksissa joissa rajauserusteet perustuvat puutteelliseen hydrogeologiseen tietoon.

Esimerkkinä direktiivin määrittelemästä riskialueesta on Vaaniin pohjavesialue Eurassa. Vaaniin pohjavesialueesta on valmiina jo runsaasti hydrogeologista tietoa (mm. Joronen

2008 ja Hanski et al. 2010 ja HERTTA-tietokanta), mutta lisäselvityksiä tarvitaan pohjavesialueiden rajausten tarkistamiseksi. Suojelusuunnitelman (Joronen 2008) yhteydessä on suoritettu riskien ja ihmistoiminnan vaikutusten arviointi sekä toimenpidesuosituksen kirjaaminen vahinkotapauksia varten. Samassa yhteydessä tehtiin myös kairauksia ja maatutkaluotausta rakenteen selvittämiseksi. Lisäkairauksia rakenteen selvittämiseksi ja rajojen tarkistamiseksi tehtiin vuonna 2010. Pohjavesialueen rajojen tarkistus on osana VPD:hen sisältyvää ominaispiirteiden lisätarkastelua. Akviferin ulottuvuutta tarkennetaan akviferin rakennemallilla. Samalla tarkennetaan tietoa myös pohjavesialueen maaperän vedenjohtavuudesta, muodostuvan pohjaveden määrästä ja pohjavesialueen määrällisestä ja laadullisesta tilasta. Kairausten yhteydessä asennettiin pohjavesiputkia vuosina 2007 ja 2011 pohjaveden tilan seurantaan varten. Samalla Vaaniin pohjavesialueen lisäselvitykset ovat esimerkkinä muille hienoainespeitteisille alueille.

1.4. Tutkimusprojekti

Tutkimusten tavoitteena oli selvittää, onko Euran Vaaniin pohjavesialueen rajojen muutokselle aihetta. Se on osa laajempaa ympäristöministeriön (YM) ja maa- ja metsätalousministeriön (MMM) hanketta, jossa pyrittiin luomaan yhtenäinen ja selkeä ohjeistus, kuinka hienoainespeitteisten akviferien pohjavesialueet tulisi rajata. Vaaniin pohjavesialueen kaltaisten peitteisten pohjavesialueiden rajauksissa huomioon otettavat erityispiirteet ovat Suomessa harvinaisia (Putkinen 2011) eikä niille ole olemassa yhtenäistä ja selkeää ohjeistusta. Tarkoituksena oli myös mahdollisuuksien mukaan tarkentaa kuvaa Vaaniin pohjavesialueen akviferin rakenteesta ja hydrogeologiasta. Kesän 2011 aikana suoritettiin tutkimuksen kenttätöitä, mm. näytteenotto kolmena jaksona ja heinäkuussa uusien pohjavesiputkien (5 kpl) asennus.

2. GEOLOGINEN TAUSTA

2.1. Maaperä

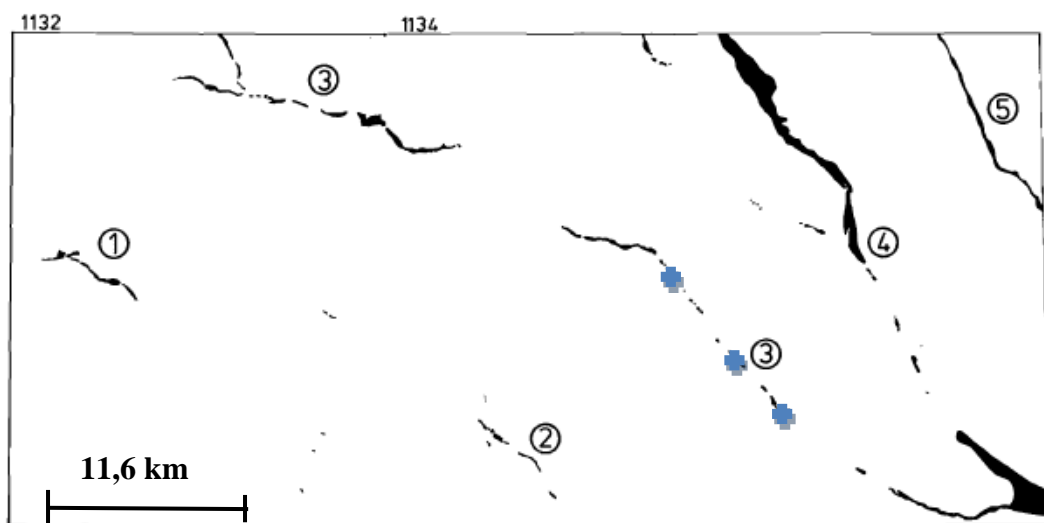
Tutkimusalueella Eurajokilaaksossa ainoat laajat kalliopaljastumat ovat Euran keskustasta etelään ja lounaaseen (Kuva 4). Pienempiä kalliopaljastumia on moreenialueilla alueen läntisissä ja itäisissä osissa. Varsinaisella tutkimusalueella (Kuva 4, Eurajokilaakso) ei ole lainkaan kalliopaljastumia, vaan jokilaakson täyttävät jääkauden aikana ja sen jälkeen kerrostuneet sedimentit. Kallioperällä on huomattava vaikutus alueen sedimenttien kerrostumiseen, sillä tutkimusalue sijaitsee laakeassa hiekkakivipainanteessa (Lindroos et al. 1983), hiekkakiven ja rapakiven kontaktissa.

Tutkimusalueella on harjujakson ulkopuolella luode-kaakko -suuntaisia moreeniselänteitä, drumliineja (Kuva 4). Lindroosin et al. (1983) mukaan Rauman – Kokemäen seudun, johon Eurakin kuuluu, drumliinien suuntaus on noin 300 astetta osoittaen jäätikön kulkusuunnan olleen luoteesta kaakkoon. Drumliinien aines on hiekka- ja soramoreeneja. Moreenit sisältävät myös lohkaraita ja kiviä, ja ovat oletettavasti ainakin pintaosiltaan rakenteeltaan löyhiä. Tutkimusalueen muut moreenit ovat kallion päälle jäätikön kerrostamia pohjamoreeneja, joiden paksuus vaihtelee arviolta noin metristä muutamaan metriin (Liitteet 10 - 12).

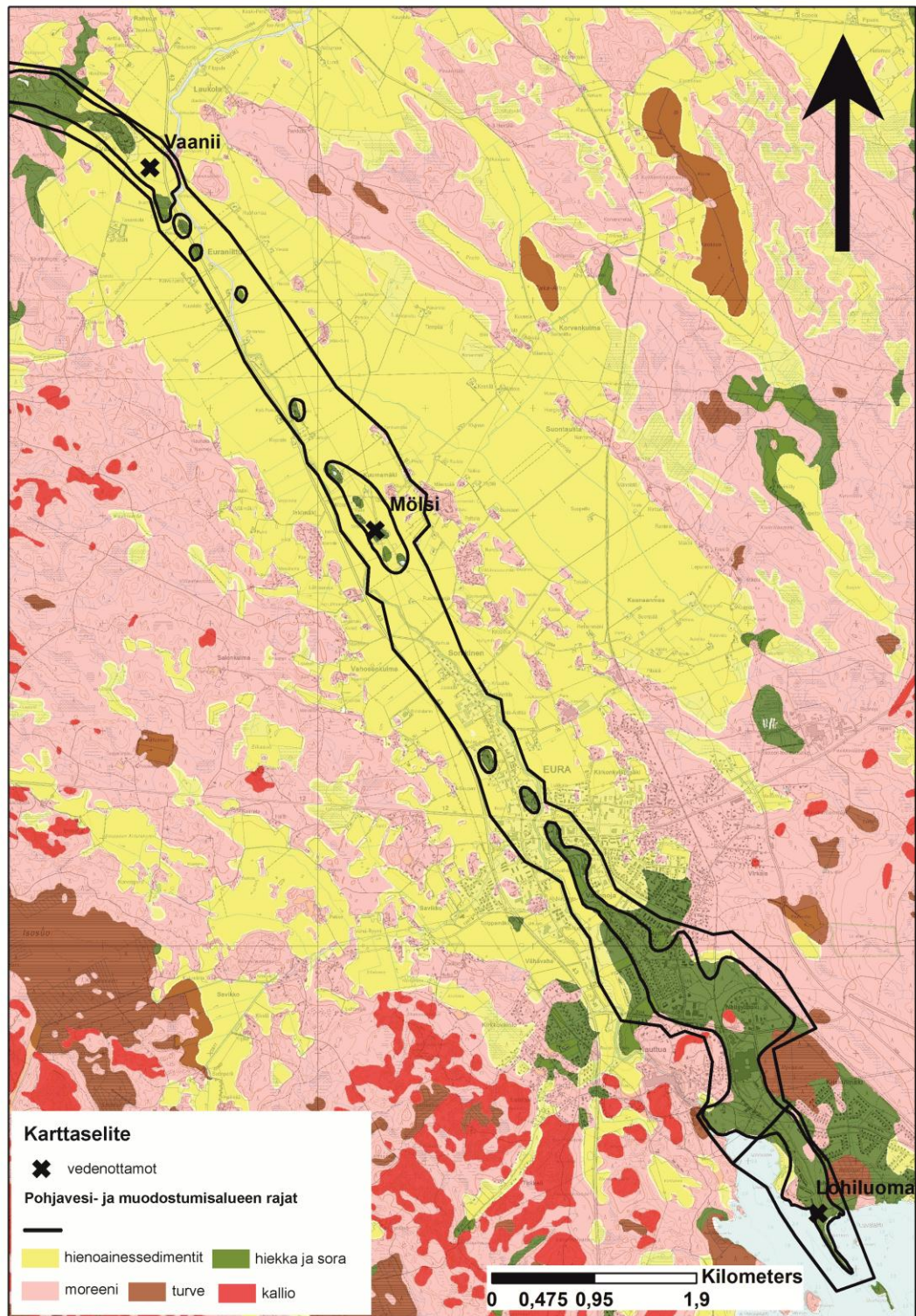
Harjukerrostumat ovat jäätikön sulamisvesien virtausuomaan kerrostuneita glasifluviaalisia sedimenttejä. Eurajokilaakson suuntaisesti kulkeva harju kuuluu pidempään Kuivalahti-Irjanne-Eura-Säkylä – harjujaksoon (Kuva 3), joka on Harjavalta-Köyliö-Säkylänharjun sivuharju (Lindroos et al. 1983). Kuivalahti-Irjanne-Eura-Säkylä – harjun kerrostanut jäätikköjoki on ollut Harjavalta-Köyliö-Säkylänharjun kerrostaneen jäätikköjoen sivujoki. Eurajokilaakson alueella harju on peittynyt suurimmaksi osaksi hienoainessedimenteillä (Kuva 4). Vaaniin ja Euran keskustan välisellä alueella (Kuva 5) harjusta näkyy maanpinnalla ainoastaan yksittäisiä harjukumpareita (Kuva 4). Paljastuneiden harjukumpareiden sedimentit ovat suurimmaksi osaksi pintaosissa hiekkaa. Hiekkojen alla ovat harjuytimen karkeat sorat, ja harjun sivuille ovat kerrostuneet hienorakeisemmat lievehiekat. Alueella tehtyjen kairausten hienoainessedimenttien alla (Liitteet 10 - 12) on

paikoin yli 20 metriä soraa ja hiekkaa. Harjukerrostumien paksuuksista kairauslinjojen (Liite 5) välisillä alueilla ei ole varmaa tietoa, mutta oletettavaa on, että ne ovat jatkuvia harjukumpareiden välillä. Euran keskustassa harjukerrostumat näkyvät jälleen yhtenäisenä harjujaksona maanpinnalla, ja harju jatkuu sieltä kaakkoon. Lohiluoman ottamolta harjukerrostumat jatkuvat Pyhäjärven pohjassa ja yhtyvät Säkylän alueella Harjavalta-Köyliö-Säkylänharjuun (Kuva 3).

Alueen hienoainessedimentit ovat kerrostuneet laaksoihin ja muihin kallioperän painanteisiin, kuten esimerkiksi Euran alueella Eurajokilaaksoon (Kuva 4). Tämän vuoksi hienoainessedimenttien muodostamat kerrostumat ovat paksuimmillaan maaston alavimmilla paikoilla. Hiekkakivialueilla (Kuva 5) kerrostumat ovat tyypillisesti paksumpia kuin viereisillä rapakivialueilla, kuten Kuvan 6 pehmeikön paksuustulkinnasta voidaan havaita. Tason 40 mmpy alapuolella on humus- ja sulfidipitoisia nuoria hienoainessedimenttejä, ja kerrospaksuudet voivat paikoin ylittää 20 metriä (Kuva 6 ja Liitteet 10 -12). Näissä nuorissa hienorakeisissa kerrostumissa on tavallisesti hiekasta ja siltistä koostuvia välikerroksia. Tason 40 m mmpy yläpuolelta näitä nuoria kerrostumia ei juuri ole, vaan hienoainessedimenttikerrostumat ovat tyypillisesti kerrallisia. Tutkimusalueella ei näitä vanhempia kerrallisia hienoainessedimenttejä ole, koska koko Eurajokilaakso, joitain harju- ja moreenikumpareita lukuun ottamatta, on tason 40 mmpy alapuolella. (Lindroos et al. 1983)



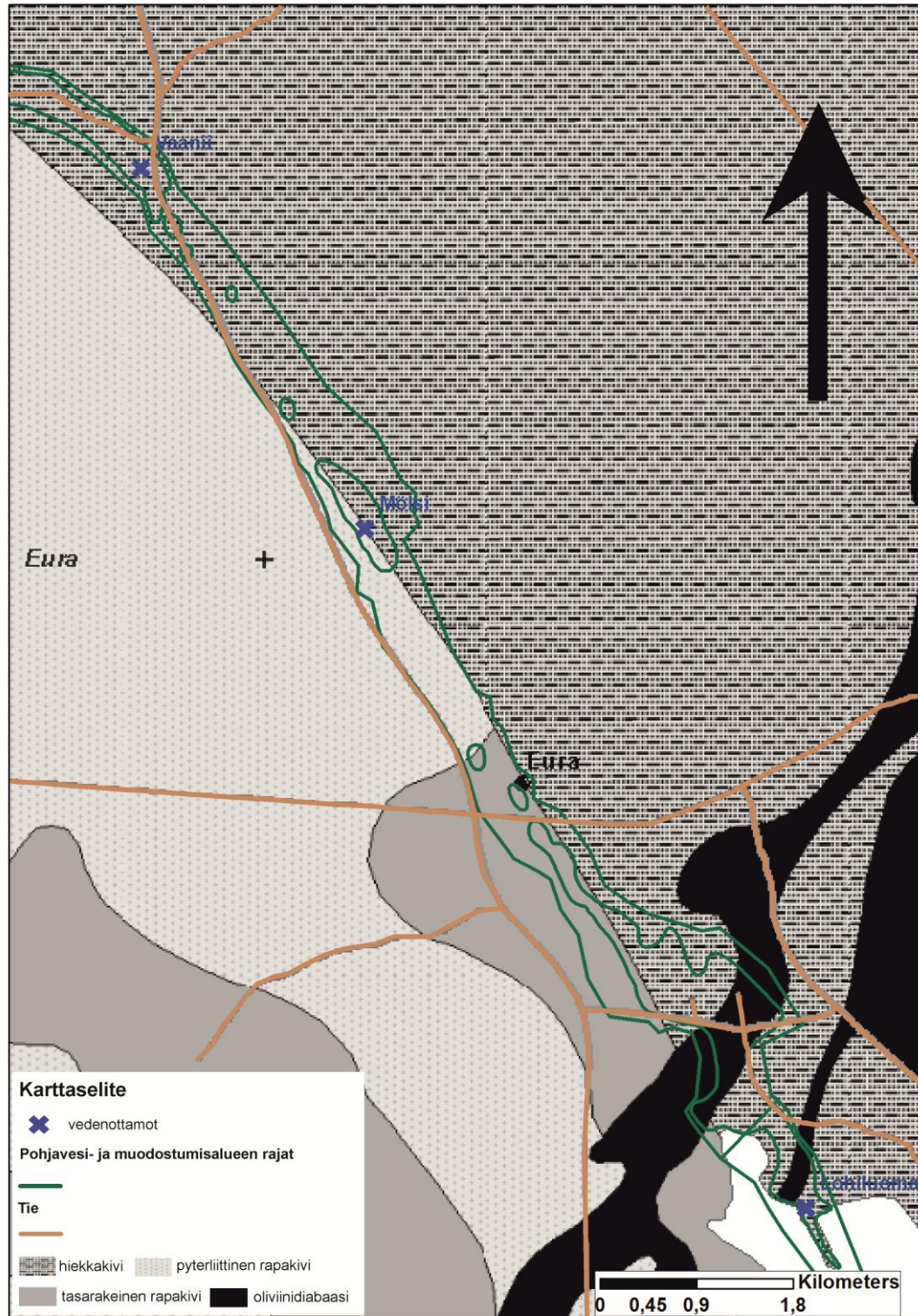
Kuva 3. Euran ja lähialueiden harjujaksot. 1 = Rauman harju; 2 = Lapin harju; 3 = Kuivalahti-Irjanne-Eura-Säkylä -harju; 4 = Harjavalta-Köyliö-Säkylänharju ja 5 = Risteen harju. Kartalla olevat siniset ristit ovat Vaaniin, Mölsin ja Lohiluoman vedenottamot (Kuva 4). Pohjoisesta alkaen Vaanii, Mölsi ja Lohiluoma. (Mukaiillen Lindroos et al. 1983)



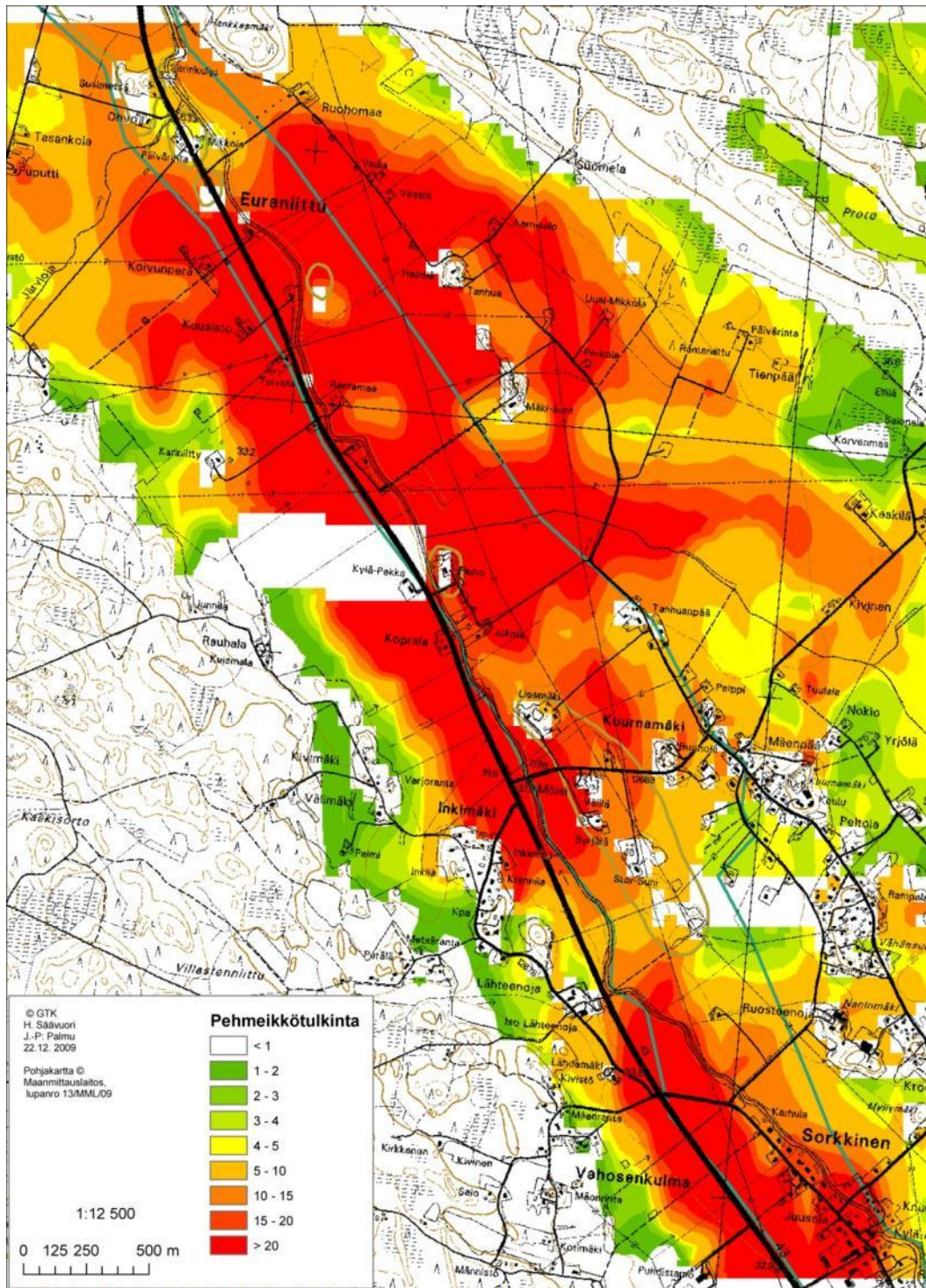
Kuva 4. Tutkimusalueen maaperäkartta, (Lindroos 1983a ja 1983b ja Kukkonen 1984a ja 1984b) yksinkertaistettuna. (peruskartat © Maanmittauslaitos).

2.2. Kallioperä

Tutkimusalueen kallioperässä ei ole kivilajien suhteen suurta vaihtelua (Kuva 5). Alueen pohjois- ja itäosien kallioperä on pääasiassa peruskallion päälle kerrostunutta jotunista Satakunnan hiekkakiveä, ja on iältään noin 1,27 – 1,54 Ga (Lehtinen et al. 1998). Lindroosin et al. (1983) mukaan hiekkakivi on ympäröivää kallioperää alempana, ja siksi hiekkakivialueelle on jääkauden jälkeen pystynyt kerrostumaan enemmän sedimenttejä kuin ympäröiville peruskallioalueille. Vaaniin alueen lentogeofysiikan perusteella tehty pehmeikönpaksuustulkinta (Kuva 6) tukee tätä ajatusta. Hienoainessedimenttien kerrospaksuudet ovat selkeästi paksumpia alueen pohjois- ja itäosissa. Eteläisen ja läntisen osan tutkimusalueen kallioperästä suurin osa on porfyyristä ja tasarakeista rapakiveä, jonka ikä on noin 1,54 – 1,57 Ga (Lindroos et al. 1983 ja Lehtinen et al. 1998). Hiekka- ja rapakiviin tunkeutuvat oliviinidiabaasijuonet ovat iältään 1,27 Ga ja tulevat maastossa esiin kumpuina ja mäkinä. Hiekka- ja rapakivien välinen kontakti ei ole paljastunut tutkimusalueella. Kallioperässä olevat rako- ja murrosvyöhykkeet näkyvät maastossa yleensä mm. jokina. Eurajoki noudattelee hiekka- ja rapakivien kontaktia, jossa on myös päämurrosvyöhyke. Kallion pinta on jokilaakson keskiosissa reunoja alemmalla tasolla, ja nousee luoteesta kaakkoon (Liitteet 10 – 12).



Kuva 5. Tutkimusalueen kallioperäkartta, mukaillen GTK, DigiKP200 karttasovellus.



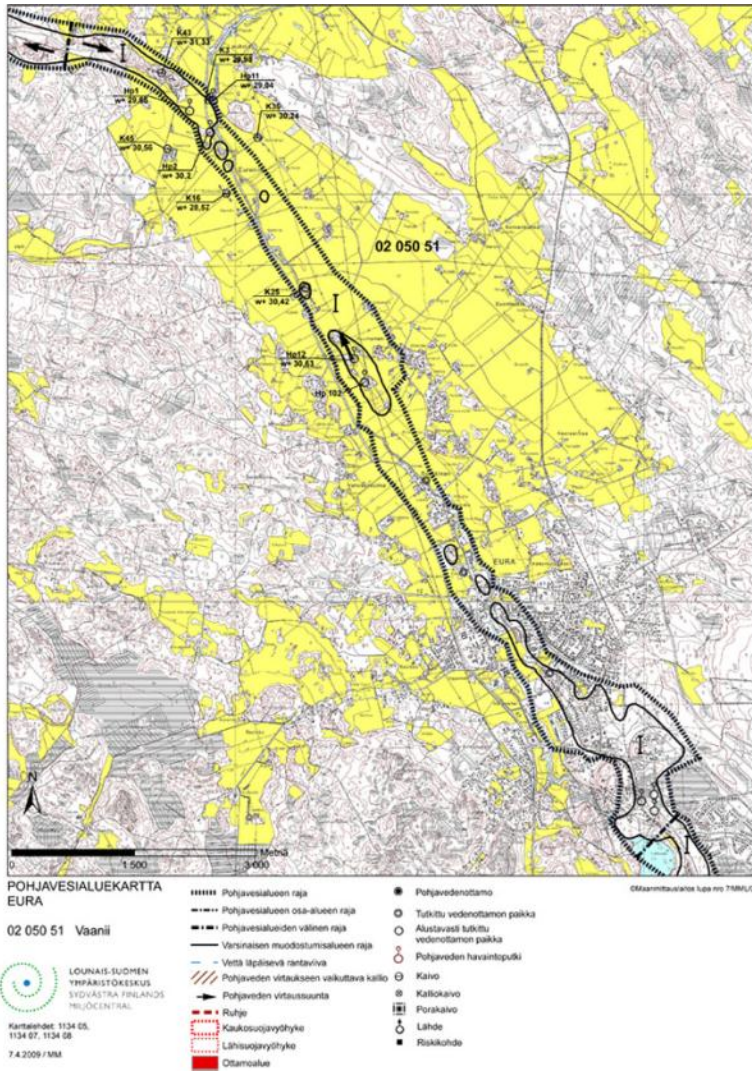
Kuva 6. Vaaniin alueen pehmeikköjen paksuustulkinta (m) lentogeofysikaalisesta aineistosta (Valjus ja Säävuori 2007).

2.3. Hydrogeologia

2.3.1. Vaaniin pohjavesialueen hydrogeologiset yleispiirteet

Vaaniin pohjavesialue (pohjavesialuetunnus 0205051) on kallioperän ruhjeeseen, hiekkakiven ja rapakiven kontaktiin kerrostunut, valtaosin hienoainessedimenttien peittämä, synkliininen eli ympäristöstään vettä keräävä harju (HERTTA-tietokanta), joka sijaitsee kaakosta luoteeseen Euran taajaman ja Vaaniin kartanon välisellä alueella. Arvioidun muodostumisalueen pinta-ala on 2,56 km² ja koko pohjavesialueen pinta-alaksi on laskettu 7,38 km² (Kuva 7). Harju kerää varsinaisen harjujakson lisäksi vettä myös harjua ympäröiviltä alueilta. Pohjaveden päävirtaussuunta alueella on alueella pintahavaintojen (Koivisto ja Eerikäinen 1986, HERTTA-tietokanta) kaakosta luoteeseen. Alueella tehtyjen kairausten (2008, 2010 ja 2011) ja pehmeikön paksuustulkinnan (Kuva 6) perusteella on päätelty, että pääosa pohjavedestä muodostuu harjun ulkopuolella. Vaaniin pohjavesialue on luokiteltu vedenhankinnan kannalta tärkeäksi I luokan pohjavesialueeksi ja alueella sijaitsevat Vaaniin ja Mölsin vedenottamot. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä on noin 2100 m³d⁻¹ (SYKE). Taulukossa 1 ovat ottamoiden vuosien 1999 – 2005 vedenottomäärät. Ottamoiden yhteenlasketut vedenottomäärät vaihtelevat välillä 1174 – 1453 m³d⁻¹ (Taulukko 1), joka on huomattavasti alhaisempi kuin arvio muodostuvan pohjaveden määrästä. HERTTA-tietokannan (2001) mukaan osa pohjavedestä purkautuu Eurajokeen.

Kallioperän laadulla on vaikutus muodostuvan pohjaveden laatuun (Joronen 2008). Rapakivigraniiteissa, joita alueen kallioperästä on noin puolet, on tyypillisesti korkeita fluoridipitoisuuksia (Lehtinen et al. 1998), ja tämä kuvastuu alueen pohjavesissä korkeina fluoridipitoisuuksina. Kallioperä vaikuttaa myös virtausolosuhteisiin ja kalliokynnykset ohjaavat pohjaveden virtausta.



Kuva 7. Yleiskuva Vaaniin pohjavesialueesta. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2009)

Taulukko 1. Vaaniin ja Mölsin vedenottamoiden vedenottomäärät vuosina 1999–2005. (HERTTA-tietokanta)

Ottamo	Käyttömäärät m3/d						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Mölsi	505	470	434	446	468	246	389
Vaanii	948	837	764	847	931	927	905
Yhteensä	1 453	1 307	1 198	1 293	1 399	1 174	1 293

2.3.2. Vaaniin pohjavesialueen ja akviferin 3D-rakanne

Harju on kerrostunut Satakunnan hiekkakiven ja rapakiven kontaktissa olevaan kallioperän ruhjeeseen (HERTTA-tietokanta) joko suoraan kallion tai pohjamooreenin päälle.

Paljastuneet harjukerrostumat eivät kuitenkaan täysin seuraa tulkittua rapakiven ja hiekkakiven kontaktia (Kuvat 4 ja 5). Vaaniin pohjavesialueella harju on suurelta osin hienoainessedimenttien peitossa. Euran keskustasta etelään harjukerrostumat ovat maanpinnalla. Harjukerrostumien kerrospaksuuksien vaihtelu on suurta (Liitteet 10 - 12). Alueen pohjoispäässä hiekka- ja sorakerros yhteispaksuus on yli 19 metriä. Kerrospaksuudet pienenevät etelään päin ja ovat Mölsin vedenottamon kohdalla enää noin kolme metriä. Kerrokset ovat kuitenkin Koiviston ja Eerikäisen (1986) mukaan jatkuvia ainakin Sorkkisille asti, koska Vaaniin vedenottamon vaikutusalue ulottuu sinne asti. Mölsiltä etelään hiekka- ja sorakerrosten paksuudet kasvavat ja ovat Sorkkisten alueella noin 15 metriä. Sorkkisilta etelään kerrospaksuudet ohenevat noin kymmeneen metriin. Vaaniin ja Euran keskustan välisellä alueella harju on mutkitteleva.

2.4. Maaperän imeyntäkyky, hydraulinen johtavuus ja niihin vaikuttavat tekijät

2.4.1. Imeyntäkyky

Maaperän imeyntäkyky tarkoittaa Mustosen (1986) mukaan maaperän pintakerroksen vedenläpäisykykyä. Imeyntäkyky ilmaisee suurimman nopeuden (imeyntänopeus), jolla vesi pystyy imeytymään pintakerroksen läpi vallitsevissa olosuhteissa (Horton 1933, Wardin 1967 mukaan). Imeyntänopeus voidaan määritellä tietyn vesimäärän virtaamaksi tietyn pinta-alan läpi tietyssä ajassa, ja yksikkönä on ms^{-1} . Sademäärän ylittäessä maaperän imeyntäkyvyn imeytymisnopeutta rajoittavaksi tekijäksi nousee imeyntäkyky. Imeytyvän veden osuuden sateesta määrää sademäärän ja imeyntäkyvyn suhde. (Hillel 1982 ja Ward 1967).

Imeyntäkykyyn vaikuttavat useat tekijät, ja sen vaihtelu voi Wardin (1967) mukaan olla suurta yksittäisen valuma-alueen sisällä. Osa tekijöistä vaikuttavat imeyntäkyvyn vaihteluun enemmän alueellisesti, ja toiset enemmän ajallisesti. Hillelin (1982) mukaan on tavallista, että imeyntäkyky pienenee ajan kuluessa sateen alkamisesta ja lähenee tiettyä vakioarvoa, jota voidaan kutsua vakaan tilaan imeyntäkyvyksi. Yksi merkittävistä imeyntäkykyyn vaikuttavista tekijöistä on Korkka-Niemen ja Salosen (1996) mukaan

maaperän vedenjohtavuusarvo K , johon vaikuttavat myös useat tekijät. Vedenjohtavuusarvon lisäksi imeytymiskykyyn vaikuttavat myös muut pintakerroksen tekijät, mm. pintamaalajin ominaisuudet (esim. raekoko ja orgaanisen aineksen määrä) ja peitetyyppi (esim. kasvillisuus). (Ward 1967 ja Hillel 1982). Lisäksi vaikuttavina tekijöinä ovat maaston topografia ja morfologia.

Kasvillisuus viivästyttää ja hidastaa pintavaluntaa (Ward 1967), ja vedellä on enemmän aika imeytyä maaperään. Wardin mukaan kasvien juuret kasvattavat maaperän vedenjohtavuutta huokoistamalla eli rikkomalla maata luoden makrohuokosia. Kasvipeite estää myös pintakerroksen hienoainesedimenttejä ajautumasta syvemmälle maaperässä ja tukkimasta huokosia (liettyminen). Sateen iskeytyessä suoraan sedimentin pintaan sedimentin pintakerros tiivistyy ja imeytymiskyky heikkenee. Kasvipeitteellä on tätä vaimentava vaikutus. (Ward 1967, Airaksinen 1978 ja Hillel 1982). Suojaavaa vaikutusta tehostaa, erityisesti metsäisillä alueilla, pinnalla oleva karikekerros (Ward 1967). Karikekerroksella onkin havaittu olevan jopa itse kasvillisuutta suurempi imeyntäkykyä suurentava vaikutus, ja ohutkin karikekerros on merkittävä.

Ward (1967) ja Airaksinen (1978) ovat todenneet, että maankäyttö vaikuttaa imeyntäkykyyn ja sillä voi käyttötavasta riippuen olla joko imeyntää lisäävä tai vähentävä vaikutus. Yleensä ihmistoiminnalla on imeyntää vähentävä vaikutus (Ward 1967). Rakentaminen ja maanpinnan päällystäminen käytännössä estävät veden imeytymisen kokonaan, koska rakenteiden (esim. asfaltti ja betoni) vedenläpäisevyysarvo on hyvin alhainen. Maanviljelyssä peltojen muokkaus rikkoo pintamaata ja samalla kasvattaa sen vedenjohtavuutta (Ward 1967) hidastaen pintavaluntaa.

Myös routa vaikuttaa maaperän imeyntäkykyyn. Roudan vaikutus veden imeytymiseen maaperään tulee Wardin (1967) mukaan merkittäväksi, kun routaantunut kerros ulottuu riittävän syvälle. Korkeilla leveyksillä ($>60^\circ$ pohjoista tai eteläistä leveyttä), kuten esimerkiksi Suomessa, maaperän vedenjohtavuus laskee melkein nollaan maan routaantuessa. Maaveden jäätyessä maaperään huokostilavuus pienenee, ja veden virtausta ylläpitäviä huokosyhteyksiä on vähemmän. On kuitenkin mahdollista, että routaantuminen muokkaa maaperää siten, että sulamisen aikaan imeytyminen on aikaisempaa helpompaa. (Griph ja Rodhe 1994).

2.4.2. Hydraulinen johtavuus

Vedenjohtavuusarvo K ei riipu ainoastaan maaperän ominaisuuksista. Vedenjohtavuus riippuu myös virtaavaan fluidin (veden) ominaisuuksista. Maaperän vedenjohtavuuteen vaikuttavat maaperän ominaisuudet ovat kokonaishuokoisuus, huokoskokojakauma ja huokoisuuden rakenne (virtausväylien mutkaisuus). Veden ominaisuuksista tiheys ja viskositeetti vaikuttavat vedenjohtavuuteen. (Ward 1967 ja Hillel 1982). Viskositeettiin vaikuttavat puolestaan sekä lämpötila että veteen liuenneiden aineiden kokonaismäärä.

Mustosen (1986) mukaan huokoskokojakauma vaikuttaa enemmän virtausnopeuteen kuin kokonaishuokoisuus. Griphin ja Rodhen (1994) mukaan virtausnopeus, ja sitä kautta vedenjohtavuus, on suoraan verrannollinen keskimääräisen huokosläpimitan toiseen potenssiin. Tästä johtuen Wardin (1967) mukaan esim. savien vedenjohtavuus on alhainen vaikka huokostilavuuskin on suuri. Lisäksi Hillelin (1982) mukaan vedenjohtavuuteen vaikuttaa myös se, että kuinka hyvin sedimentin huokokset ovat yhteydessä toisiinsa. Tähän liittyy läheisesti myös tehokas huokoisuus eli huokostilavuus, jossa veden virtausta tapahtuu (Korkka-Niemi ja Salonen 1996).

Mainittuihin sedimentin ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti sedimentin raekokojakauma, tiiviys ja muodostuman sedimentologinen rakenne (Korkka-Niemi ja Salonen 1996 ja Ward 1967). Keskimääräisen raekoon ja lajittuneisuuden kasvaessa vedenjohtavuuskin kasvaa (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Eri raekokofraktioista suurin vaikutus on hienoaineksen suhteellisella osuudella (Ward 1967). Hienoainesfraktion suhteellisen osuuden kasvaessa keskimääräinen huokosläpimita pienenee, ja veden virtaus hidastuu (Griph ja Rodhe 1994). Lajittumattomissa sedimenteissä pienemmät rakeet täyttävät isompien rakeiden välitiloja, ja veden virtaukselle on vapaana vähemmän huokostilaa (Ward 1967).

Myös sedimentin vesipitoisuus vaikuttaa vedenjohtavuuteen. Hillelin (1982) mukaan vedenjohtavuus kasvaa vesipitoisuuden kasvaessa, koska sedimentin vettä johtavan osan osuus kasvaa, ja virtaustausväylien mutkaisuus vähenee (kierrettävien kuivien huokosten määrä vähenee). Tästä johtuen vedenjohtavuus on suurin vedellä kyllästyneessä sedimentissä.

3. AINEISTOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1. Tausta-aineistot

3.1.1. Paikkatietoaineistot ja kartat

Maanmittauslaitoksen 1: 20 000 peruskartat Euran alueelta saatiin Paituli-paikkatietopalvelusta. Maaperäkartat 1: 20 000 (3 kpl) otettiin GTK:n Tietopalvelut-paikkatietoaineistoista. Rakennemallin tekemiseen käytetty pehmeikön paksuustulkinta on Valjuksen ja Säävuoren (2007) raportista. Pohjavedenpinnan mittauksia varten hyödynnettiin Koiviston ja Eerikäisen (1986) tekemän Vaaniin pohjavesitutkimuksen karttaa Vaaniin pohjavesialueen kaivoista.

3.1.2. Kairausaineisto

Kairausaineistoina olivat sekä Euran pohjavesialueiden suojelusuunnitelman (Joronen 2008) ja pohjavesialueiden rajaamismenettely – selvityksen (Hanski et al. 2010) yhteydessä tehdyt kairaukset että tutkimusalueelle 18.7- 22.7.2011 asennettujen pohjavesiputkien asentamisen yhteydessä kerätyt maaperätiedot. 2011 asennettujen pohjavesiputkien yhteydessä mitattiin myös pohjavedenpinnan korkeudet heti asennuksen jälkeen. Kairausten paikat ovat Liitteessä 6.

3.1.3. Vaaniin ja Mölsin vedenottamoiden vedenottomäärät

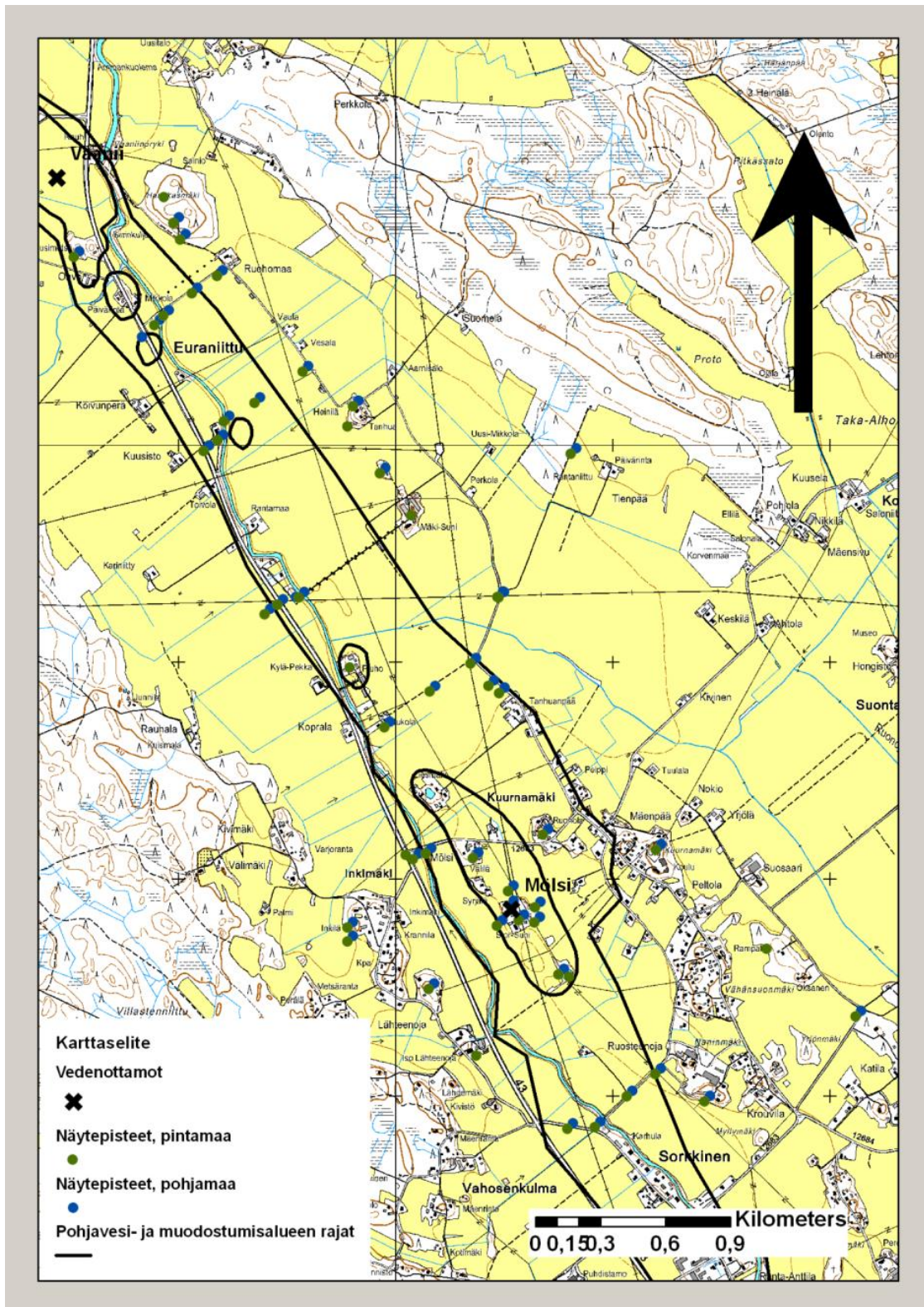
Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä HERTTA-tietokannasta saadut Vaaniin ja Mölsin vedenottamoiden vedenottomääristä vuosilta 1999 - 2005 ovat Taulukossa 1.

3.2. Uudet aineistot

3.2.1. Sedimenttinäytteet ja niiden käsittely

Maaperän imeyntä- ja vedenjohtavuusominaisuuksien määrittämiseksi kerättiin kesällä 2011 yhteensä 104 sedimenttinäytettä 55 havaintopisteeltä (Kuva 8). Karkeista maalajeista (hiekkä, sora ja moreeni) näytteitä oli 34 ja hienoainessedimenteistä 70. Sedimenttinäyteaineisto käsittää myös näytteiden raekokojakaumat, ja niistä edelleen lasketut parametrit kuten vedenjohtavuusarvon.

Karkeista sedimenteistä näytteet kerättiin lapiolla (Kuva 10b) muovipusseihin. Moreeneista näytekooko oli vähintään 2 kg ja enimmillään noin 4,5 kg. Sorista ja hiekoista otetut näytteet olivat vähintään 400 g ja enimmillään 2 kg. Hienoainessedimenteistä näytteet otettiin käsikairalla (Kuva 10a) ja laitettiin muovipusseihin. Hienoainessedimenttinäytteet olivat kooltaan 300 g - 1,5 kg. Hienoainessedimenttien pintamaanäytteet ovat syvyydeltä 35 – 55 cm maanpinnasta, ja pohjamaasta otetut näytteet olivat syvyydeltä 83 – 105 cm maanpinnasta. Karkeiden sedimenttien kohdalla näytteet otettiin maannoskerroksesta (pintamaa), ja mahdollisuuksien mukaan muuttumattomasta pohjamaasta. Karkeiden sedimenttien kokoomanäytteet pintamaasta ja pohjamaasta ovat syvyyksiltä 20 – 50 cm ja 40 – 100 cm maanpinnasta. Hienoainessedimenteistä näytteet pyrittiin keräämään Liitteessä 6 näkyviltä kairauslinjoilta sekä harju- ja moreenikumpareiden välisiltä alueilta. Sedimenttinäytteenoton yhteydessä näytteistä poistettiin suurimmat orgaanisen aineksen kappaleet (mm. juuret ja heinät).



Kuva 8. Sedimentinäytepisteet pinta- ja pohjamaasta. (peruskartat © Maanmittauslaitos)

3.2.2. Raekokoanalyysi

Sedimenttinäytteistä määritettiin raekokojakauma kolmella eri menetelmällä. Lajittuneet klastiset sedimentit (hiekat ja sorat) kuivaseulottiin ja lajittumattomat (moreenit) märkäseulottiin. Hienoainessedimenttien ja moreenien savi- ja silttifraktion raekokojakaumat analysoitiin laserhiukkasmittarilla. Raekokojakaumista laskettiin edelleen näytteille sekä d_{10} - ja d_{60} -arvot että saven, siltin, hiekan, soran ja kiven määräsuhteet. D-arvoista laskettiin edelleen näytteiden edustamien sedimenttien vedenjohtavuusarvot.

Vedenjohtavuusarvot laskettiin Kozeny-Carmanin kaavalla (Kaava 1) (Carman 1937, Carrier 2003). Kozeny-Carmanin kaava valittiin, koska sen on todettu olevan paras yleiskaava (Odong 2007) vedenjohtavuusarvojen laskemiseen. Useat muut vedenjohtavuusarvojen laskemiseksi käytetyt kaavat pätevät yleensä pienellä raekokosuhteen vaihteluvälillä. Kaavassa 1 K , ρ , g , μ , n ja d_{10} ovat vedenjohtavuus, veden tiheys, putoamiskiihtyvyys, veden kineettinen viskositeetti, sedimentin huokostilavuuden suhteellinen osuus ja läpäisyprosenttia 10 vastaava raekoko. Näistä parametreista ρ , g ja μ ovat ennalta tunnettuja, ja d_{10} määritetään raekokojakaumasta. Suhteellinen huokostilavuus n joudutaan arvioimaan laskennallisesti Kaavalla 2, jossa U on raekokosuhde. Raekokosuhde voidaan laskea määritetyn raekokojakauman perusteella, ja se saadaan jakamalla d_{60} -arvo d_{10} -arvolla (Kaava 3). Kozeny-Carmanin kaavalla lasketut vedenjohtavuuden arvot ovat Chapuis'n ja Aubertin'in (2003) mukaan yleensä välillä $\frac{1}{3} K_{\text{mitattu}} - 3 K_{\text{mitattu}}$. Tehtyjen imeytyskokeiden ja laskettujen vedenjohtavuus arvojen välinen lineaarisen korrelaation perusteella (Kuva 30) lasketut K -arvot ovat tällä vaihteluvälillä. Kolminkertainen vaihtelu laskennallisten ja mitattujen arvojen välillä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi tutkimusongelmaan, koska vaihtelusta huolimatta laskennalliset ja mitatut arvot ovat kuitenkin samaa kertaluokkaa. Laskettujen vedenjohtavuusarvojen perusteella tehtävät johtopäätökset perustuvat kertaluokkien tarkkuudella olevaan arvioon tutkimusalueen maaperän vedenjohtavuudesta. Laskettujen vedenjohtavuusarvojen perusteella tehdyt vedenjohtavuuskartat eivät ole riittäviä tarkempaan analyysiin, koska näytestepisteverkko ei ole tarpeeksi tiheä.

$$K = \left(\frac{\rho g}{\mu}\right) \left(\frac{n^3}{1-n^3}\right) \left(\frac{d_{10}^2}{180}\right) (1).$$

$$n = 0,255(1 + 0,83^U) \quad (2).$$

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3).$$

3.2.3. *Kuiva- ja märkäseulonta*

Seulonnoissa käytettiin seulasarjaa, jonka seulojen silmäkoot olivat ISO 14688-1 standardin mukaisesti 63, 2 ja 0,063 mm. Lisäseuloina käytettiin silmäkokoja 32; 16; 8; 4; 0,5; 0,25 ja 0,125 mm. Raekokoa 0,063 mm pienemmät raekoot analysoitiin hiukkasmittarilla. Seulonnat suoritettiin Sedimentologian harjoitustyöt – monisteen (Kaakinen ja Salonen 2009) ohjeiden mukaisesti. Ennen seulontaa suurimmat kivet poistettiin moreenien seulontanäytteestä, koska kivillä ei ole niin suurta merkitystä moreenien vedenjohtavuuteen kuin pienirakeisemmalla fraktiolla.

3.2.4. *Laserhiukkasmittari, Mastersizer 2000*

Hienoainesnäytteet kuivattiin 105 C° lämpötilassa yön yli. Kuivauksen jälkeen näytteet hienonnettiin huumareessa ennen orgaanisen aineksen poistoa. Näytteistä poistettiin orgaaninen aine 30 % vetyperoksidiliuoksella vesihauteessa. Orgaanisen aineksen poiston jälkeen näytteet pestiin vedellä vetyperoksidijäämien ja hajonneen orgaanisen aineksen poistamiseksi, ja tämän jälkeen koeputkiin lisättiin natriumpyrofosfaattiliuosta neljä kertaa näytetilavuuden verran. Tämän jälkeen näytteet analysoitiin hiukkasmittarilla. Moreenien hienoainekselle tehtiin suoraan orgaanisen aineksen poisto märkäpoltolla, jonka jälkeen ne analysoitiin hiukkasmittarilla. Jokainen hienoainesnäyte, mukaan lukien moreenien hienoainesfraktio, mitattiin kolme kertaa. Joka viidennestä näytteestä analysoitiin kolme osanäytettä, ja jokainen osanäyte mitattiin kolme kertaa. Tällä pyrittiin tarkastelemaan näytteen homogenisoitumisen onnistumista.

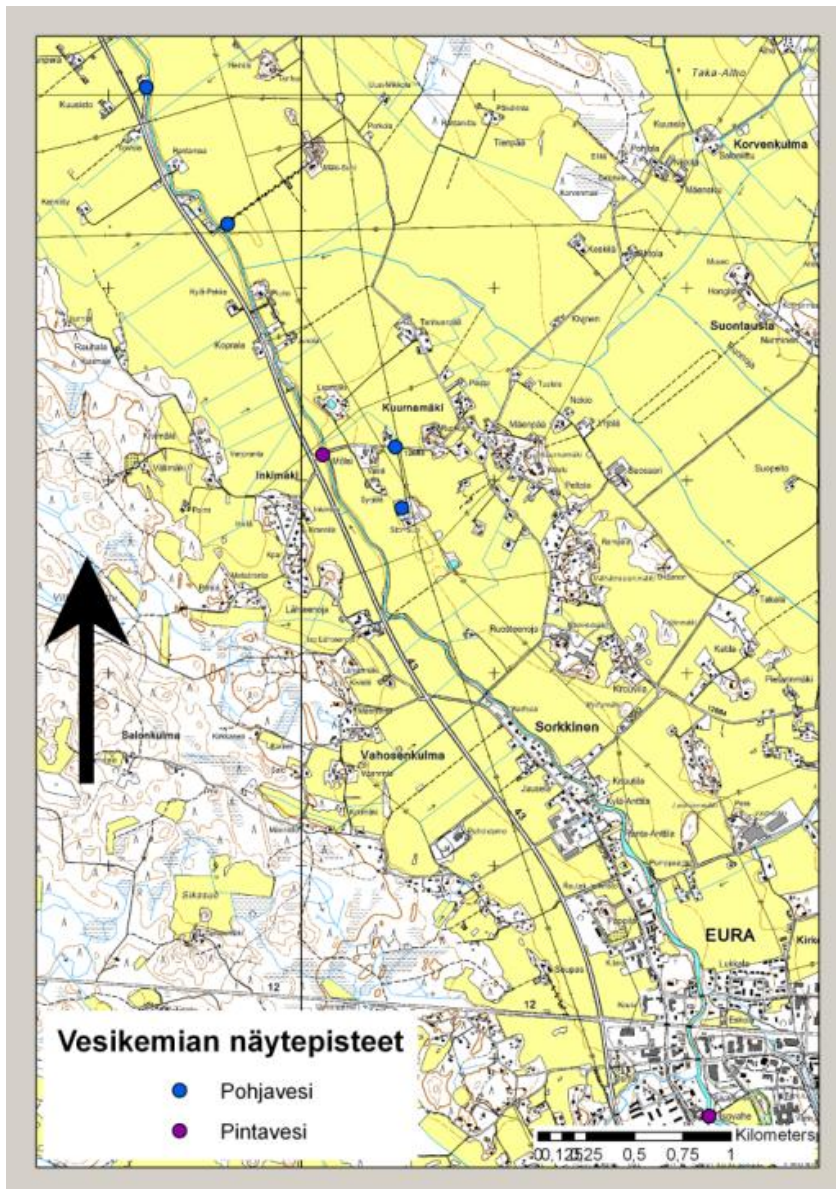
Raekoon määrittäminen laserhiukkasmittarilla perustuu lasersäteen diffraktioon sen kohdatessa mineraalipartikkeleita (Malvern 2007). Säteen diffraktiokulmat ovat riippuvaisia rakeen sädettä kohtisuoraan olevasta halkaisijasta, ja mineraaliaineksen laadusta. Suurissa rakeissa säteen taittuminen on pienintä, ja pienissä rakeissa suurinta.

Kunkin raekokofraktion suhteellisen osuuden mittaamiseksi Mastersizer 2000:ssa on detektoreja eri kulmilla, jotka mittaavat kultakin heijastuskulmalla tulevan säteilyn intensiteetin. Laserhiukkasmittarit, yleensä aliarvioivat savifraktion ($< 2 \mu\text{m}$) ja liioittelevat hiekkafraktion osuutta (mm. Konert ja Vandenberghe 1997 ja Campbell 2003). Saven määrän väheneminen pienentää raekokojakauman d_{10} - ja d_{60} -arvoa ja alentaa raekokosuhtetta. D_{10} -arvon kasvu ja raekokosuhteen pieneneminen kasvattavat laskennallista vedenjohtavuutta (Kaavat 1 ja 2), ja lasketut arvot ovat kaikkein herkimpiä d_{10} -arvon muutoksille. Hiekan osuuden kasvu puolestaan kasvattaa d_{10} - ja d_{60} -arvoja, ja lasketut tulokset ovat todellista suurempia.

3.2.5. Vesigeokemia ja YSI-mittaukset

Vesinäytteitä kerättiin 15 kpl akviferin kemiallisen tilan ja pinta- ja pohjaveden vuorovaikutuksen selvittämiseksi. Vesikemian analyysejä varten otettiin kuusi näytettä (Kuva 9), ja veden happi- ja vetyisotooppien määritystä varten yhdeksän näytettä (Kuva 14). Neljä vesikemian näytteistä oli pohjavesinäytteitä ja kaksi pintavesinäytteitä joesta. YSI-monielektrodilaitteella tehtiin mittauksia veden sähkönjohtavuudesta, liuenneesta hapest, lämpötilasta ja pH:sta Kuvan 9 havaintopisteillä. Vesikemian näytteistä määritettiin pääionien (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- ja Cl^-), F:n ja Si:n pitoisuudet. Näiden lisäksi vesinäytteistä analysoitiin sähkönjohtavuus, alkaliteetti (HCO_3^-), pH ja liuennut happi. Kerättyjen yhdeksän isotooppinäytteen lisäksi tutkimuksessa oli mukana kaksi isotooppianalyysiä Helsingin yliopiston seuraohjelman Eurajoen suulta otetuista näytteistä (Taulukko 4).

Näytteet vesikemian analyysejä varten kerättiin litran happopestyihin muovipulloihin pohjavesiputkista noutimella (Kuva 10f), ja joesta vesilimnoksella (Kuva 10e). Pullot säilöttiin kuljetuksen ajaksi kylmälaukkuun ja pakastettiin odottamaan analysointia. Veden hapen ja vedyn isotooppien analyysiä varten näytteet kerättiin 100 ml:n PEH-muovipulloihin, ja säilytettiin jääkaapissa analysointiin saakka. Vesikemian näytteet kerättiin kesäkuun 2011 alussa, ja isotooppinäytteet kahdessa erässä kesäkuun 2011 alussa ja heinäkuun 2011 lopussa. Heinäkuussa kerätyt isotooppinäytteet otettiin akkupumpulla pohjavesiputkien pumppaamisen jälkeen.



Kuva 9. Vesikemian näytenpisteet. (peruskartat © Maanmittauslaitos)

Kationien Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ja Mg^{2+} määrittäminen perustuu standardiin SFS-EN ISO 14911 ja anionien F^- , NO_3^- ja SO_4^{2-} standardiin SFS-EN ISO 10304-1, ja näytteen alkaliteetti määritettiin standardin SFS-EN ISO 9963-2 mukaisesti. Näytteen pii analysoidaan plasmaemission massaspektrometrillä (ICP-MS). Vesinäytteen happi- ja vetyisotopit analysoidaan Picarro L1115-i isotooppianalysaattorilla, jossa veden isotooppien analysointi perustuu CRDS-tekniikkaan (Cavity Ring Down Spectroscopy).

3.2.6. Imeytyskokeet

Imeytyskokeista saatu aineisto käsittää 20.- 30.6 välisenä aikana imeytysrenkailla (Kuva 10c) tehdyt 12 koetta. Imeytysrengaskokeiden paikat ovat Kuvassa 12. Imeytyskokeita tehtiin, koska laskennallisille vedenjohtavuusarvoille haluttiin riippumaton vertailuaineisto ja laadunvarmistus.

Imeytyskokeilla pyrittiin määrittämään tutkittavan sedimentin vedenjohtavuutta. Kokeessa mitattiin, kuinka nopeasti pystysuorassa sylinterissä oleva vesipatsas imeytyy alla olevaan, vedellä kyllästyneeseen maaperään. Tutkimuksessa käytettiin imeytysmenetelmänä imeytysrenkaita (Kuva 10c). Imeytysrenkailla tehtävissä mittauksissa imeytysrengas asennetaan maahan kaivettuun kuoppaan halutulle syvyydelle (Kuva 10c). Renkaan sisään kaadetaan vettä varoen sekoittamasta kuopan pohjan sedimenttiä. Esi-imeytyksen jälkeen, veden imeytymisnopeuden tasaannuttua mitataan aika, jonka kuluessa vedenpinta renkaassa laskee määrätyn verran. Mittaus toistetaan kunnes saadaan kolmesti peräkkäin likimain sama mittaustulos. Vedenjohtavuuden (K) laskeminen perustuu Darcyn yhtälöön (Kaava 4)

$$Q = KAI, (4)$$

jossa Q on virtaama, K vedenjohtavuus, A virtausta kohtisuoraan oleva poikkipinta-ala ja I on hydraulinen gradientti. Ratkaisemalla Darcyn yhtälö K:n suhteen saadaan laskukaava hydrauliselle johtavuudelle (Kaava 5)

$$K = \frac{Q}{AI}, (5)$$

Imeytyskokeissa hydraulinen gradientti I on yksi, josta seuraa, että K on yhtä kuin virtaamaa Q jaettuna pinta-alalla A, ja yksiköksi tulee nopeuden v yksikkö ms^{-1} . Kaava 5 tulee muotoon

$$K = v = \frac{\Delta h}{\Delta t}, (6)$$

jossa Δh on pinnankorkeuden muutos ja Δt on muutokseen kulunut aika.



Kuva 10. A: hienoainessedimenttinäytteenottoa käsikairalla, B: moreeninäytteenottoa lapiolla, C: imeytyskoe imeytysrenkaalla, D: Guelphin permeometri, E: vesilimnosnäytteennoudin (Kuva Limnos.pl (2010)), F: kertanoudin (Kuva Rintala ja Suokko 2008).

3.2.7. Pohjaveden pinnankorkeudet

Pohjaveden pinnankorkeuksia mitattiin sekä kaivoista että pohjavesiputkista 8.6.2011. Pohjaveden pinnankorkeudet mitattiin pumppaamattomista pohjavesiputkista, ja kaivoista pinnankorkeudet on mitattu 9-10.6 välisenä aikana. Mittauspisteet jakautuivat melko tasaisesti linjalla Kauttuan vedenottamo – Vaaniin vedenottamo (Kuva 12).

3.2.8. Lämpökamera-aineisto

Eurajoen Pyhäjärven ja Vaaniin välinen osuus kuvattiin (Kirsti Korkka-Niemi ja Anne Rautio) helikopterista lämpökameralla heinäkuussa 2011. Joessa havaittiin useita kylmiä kohtia (Taulukko 2), joista osa tulkittiin salaojien purkukohtiksi ja osa lähteiksi. Kylmien kohtien sijainnit kartalla ovat Liitteessä 10. Osa lähteiksi tulkituista kohdista voi olla

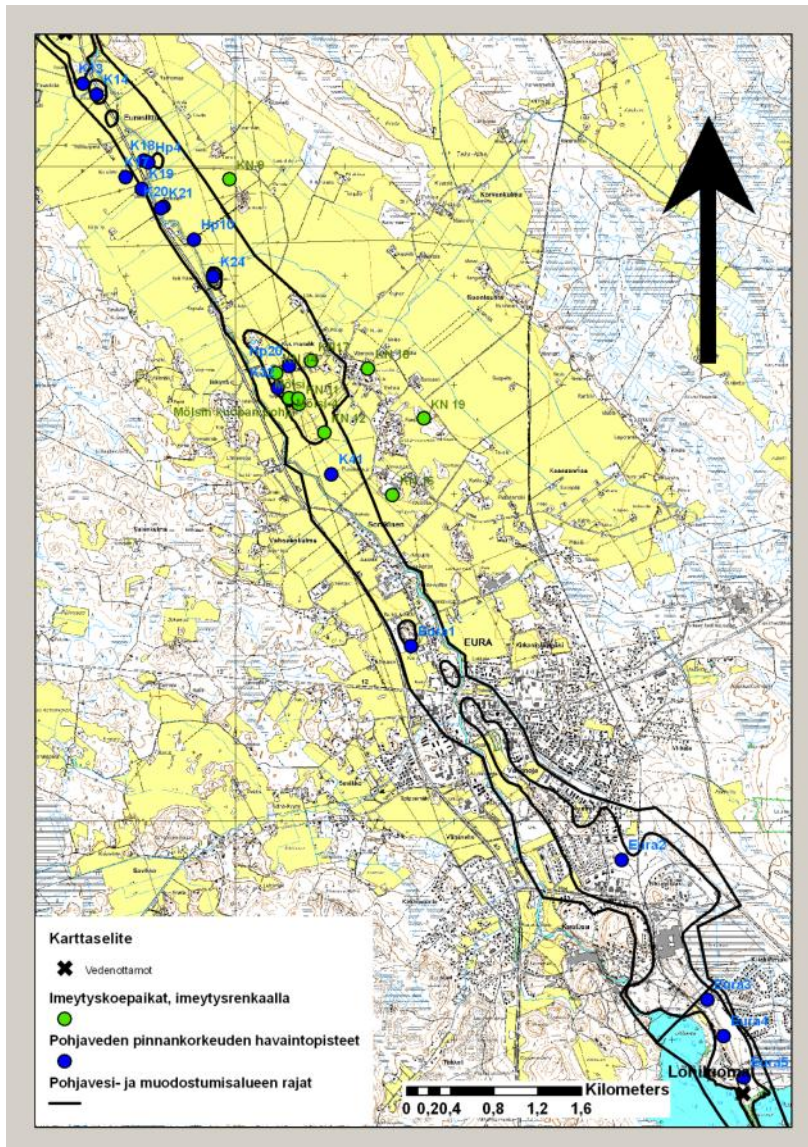
kasvillisuuden peittämiä laskuojia (Anne Rautio 2012, suullinen tiedonanto). Kuvauksessa käytetty lämpökamera oli Flir p60 (Kuvassa 11). Lämpökameran toimintaperiaate perustuu kohteesta heijastuvan infrapunasäteilyn mittaamiseen. Lämpökameralla voidaan paikantaa lähteitä, koska kesällä pintavesiin purkautuva pohjavesi on pintavesiä kylmempää, ja purkautumispaikat näkyvät lämpökamerakuvassa kylminä kohtina purkauman ja lämpötilaeron ollessa riittävän suuri.

Taulukko 2. Lämpökameralla havaitut kylmät kohdat Eurajoessa. (Anne Rautio 2011/2012)

ID	x	y	osoite	tyyppi
KK-1	22,156305	61,112144	Myllysillantie 6	Laskuoja
KK-2	22,150703	61,11528	Turuntie 29	Laskuoja
KK-3	22,145472	61,119408	Eurantie 158	Laskuoja/lähde
KK-4	22,145075	61,12027	Nummentie 42	lähde
KK-5	22,135132	61,128372	Eurantie 16	Laskuoja
KK-6	22,133505	61,130676	Lauttakyläntie 51	Laskuoja
KK-7	22,124454	61,141113	Sorkkistentie 107	Laskuoja
KK-8	22,107327	61,14777	Harjavallantie 205	Laskuoja
KK-9	22,089737	61,160053	Harjavallantie 375	Laskuoja
KK-10	22,085142	61,16444	Harjavallantie 429	Laskuoja
KK-11	22,075048	61,171074	Harjavallantie 519	Laskuoja
KK-12	22,074268	61,173733	Harjavallantie 549	lähde



Kuva 11. Näkymiä helikopterista Eurajoki laaksoon lämpökamerakuvauksen aikana. (Kuvat Kirsti Korkka-Niemi 2011)



Kuva 12. Imeytysrenkaalla tehtyjen imeytyskokeiden paikat ja pohjaveden pinnankorkeuden havaintopisteet. (peruskartat © Maanmittauslaitos)

3.2.9. Paikkatietoaineistot ja 3D-mallinnus

Kerätyn tutkimus- ja paikkatietoaineiston prosessointi ja analysointi suoritettiin ArcGis-ohjelmistolla. Kairausaineisto vietiin taulukkomuodossa GoCad-ohjelmaan, jossa kairauspaikkojen välille luotiin poikkileikkauslinjat. Linjat vietiin GoCad:stä Corel Draw:hon, jossa linjoille tehtiin poikkileikkaustulkinta perustuen kairalogeihin ja pehmeikönpaksuustulkintaan.

3.2.10. Vesitaselaskut

Vaaniin pohjavesialueen Vaaniin ja Mölsin ottamoilta saatava vesimäärä on suuri suhteessa muodostumisalueen kokoon. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä ylittää määrän, mitä paljastuneilla harjukumpareilla on mahdollista imeytyä. Vesitaselaskujen avulla on tarkoitus määrittää, mikä osuus Vaaniin pohjavesialueen pohjavedestä muodostuu harjun ulkopuolella. Tarvittavia tietoja ovat alueen keskimääräinen vuotuinen sadanta, imeytymisalueen pinta-ala ja kohtuullinen arvio muodostumisalueen maaperän imeytymiskertoimesta.

Imeytymiskertoimella tarkoitetaan sitä osuutta sadannasta, joka imeytyy pohjavedeksi (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Nykyinen arvio muodostumisalueen pinta-alasta on noin 2,56 km². Vesitaselaskuja varten muodostumisalueen pinta-alana käytetään paljastuneita harjukumpareita, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 1,97 km² (Kuva 4). Alueen harjukerrostumista noin 1,54 km² on hiekkaa ja 0,43 km² soraa (Kuva 4). Vesitaselaskuissa keskimääräisenä vuosisadantana käytetään arvoja 600, 650 ja 700 mmv⁻¹. Sadannan vaihteluväli perustuu SYKE:n hydrologisen vuosikirjan 2006 – 2010 (Korhonen ja Haavanlammi (toim.) 2012) Suomen vuosisadantakarttoihin vuosilta 2006 – 2010. Hiekoille ja sorille käytettävät imeytymiskertoimet vaihtelevat väleillä 0,3 – 0,35 ja 0,45 – 0,50. Aikaisempien tutkimusten (Hyypä 1962, Soveri 1985, Lemmelä 1990, ja Sandborg 1993) mukaan hiekka-alueiden imeytymiskertoimet vaihtelevat välillä 0,12 – 0,70, ja sora-alueilla imeytymiskertoimien vaihtelu on välillä 0,35 – 0,80. Vesitaselaskuissa muodostuvan pohjaveden määränä käytetään suurinta toteutunutta ottoa vuosilta 1999 – 2005 (Taulukko 1), joka on 1453 m³d⁻¹.

Vesitaselaskuissa käytetyt imeytymiskertoimet ovat vaihteluvälien alemmasta päästä, koska tutkimusalueen sora- ja hiekkakumpareet ovat suurelta osin kasvillisuuden, asutuksen, teiden ja parkkipaikkojen peittämiä. Kasvillisuus ja alueiden päällystäminen pienentävät sateesta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden osuutta pienentää myös se, että osa sateista tulee talvella, jolloin maa on roudassa. Lumen sulaessa osa talvikauden sadannasta virtaa pintavaluntana jokeen, ja näin pienentää pohjavedeksi imeytyvän veden määrää.

4. TULOKSET

4.1. Raekokoanalyysit

Otetuista sora-, hiekka- ja moreeninäytteistä tehtiin yhteensä 36 kuiva- ja märkäseulontaa (Liite 1), ja kerätyistä hienoainesnäytteistä tehtiin 70 raekokoanalyysiä (Liite 3). Raekokoanalyysien parametrien d_{10} ja d_{60} keskiarvot, keskihajonnat ja suhteelliset keskihajonnat ovat Taulukossa 3. Eri lajitteiden osuudet ja maalajimääritykset ovat liitteessä 9.

Taulukko 3. Raekokoanalyysien keskiarvot (ka), keskihajonnat (stdv) ja suhteelliset keskihajonnat (rsd). d_{10} - ja d_{60} -arvot on ilmoitettu μm :nä.

	pintamaa		pohjamaa	
	d_{10}	d_{60}	d_{10}	d_{60}
ka – hiekat ja sorat	292	4620	137	7004,0
ka – moreenit	46,2	4180	39,8	2270
ka – hienoaines	4,54	50,9	3,86	28,9
stdv – hiekat ja sorat	230,0	3980	1660	6001,0
stdv – moreenit	22,7	5930	18,3	2890
stdv – hienoaines	3,60	94,8	2,42	23,5
rsd – hiekat ja sorat	78,8	86,1	122	85,7
rsd – moreenit	49,0	142	46,0	127
rsd – hienoaines	79,2	186	62,8	81,4

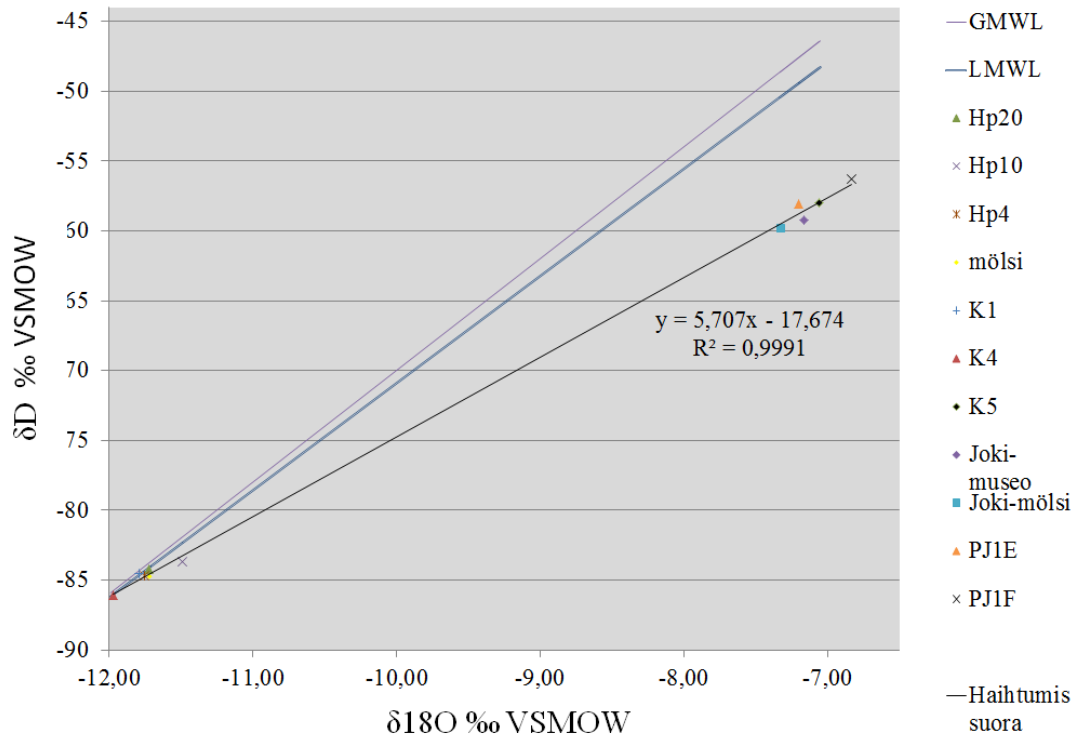
4.2. Veden stabiilit isotoopit

Veden isotooppianalyysijä tehtiin 9 kpl (Taulukko 4). Näytepisteet ovat Kuvassa 14. Kuvassa 13 analyysitulokset on piirretty samaan kuvaajaan globaalin ja Suomen paikallisten meteoristen vesien suorien kanssa. Samassa kuvaajassa ovat myös Eurajoen suulta otettujen näytteiden PJ1E ja PJ1F isotooppitulokset. Näytteet Hp20, Hp10, Hp4, mölsi, K1, K2 ja K5 ovat pohjavesiputkista ja näytteet Joki-museo ja – mölsi ovat jokivedestä. Pohjaveden $\delta^{18}\text{O}$ - ja δD -arvot olivat väleillä -11,49 – -11,97 ‰ ja -83,65 – -86,11 ‰. Poikkeamana pohjavesinäytteiden yleisestä trendistä oli näyte K5, jonka $\delta^{18}\text{O}$ - ja

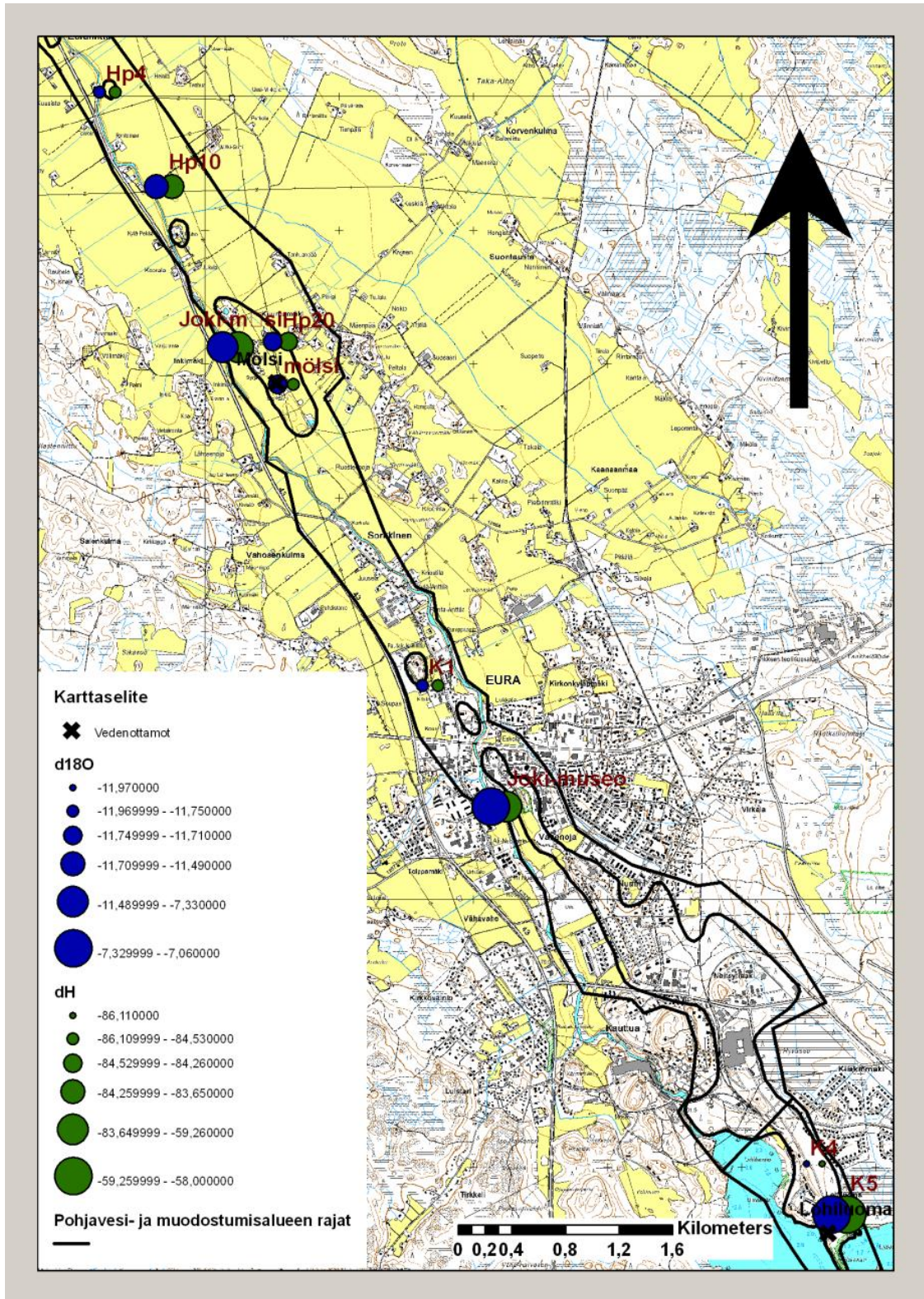
δD -arvot olivat $-7,06$ ‰ ja $-58,00$ ‰. Jokivedestä otettujen näytteiden $\delta^{18}O$ - ja δD -arvot olivat väleillä $-7,16$ – $-7,33$ ‰ ja $-59,26$ – $-59,79$ ‰. Hajonta oli kaikissa analyyseissä hapen kohdalla $0,1$ ja vedyn kohdalla $0,2$.

Taulukko 4. Pohja- ja pintavesinäytteiden $\delta^{18}O$ - ja δD -arvot.

ID	x	y	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰
Hp20	3236554	6793032	-11,72	-84,26
Hp10	3235684	6794191	-11,49	-83,65
Hp4	3235262	6794898	-11,75	-84,66
mölsi	3236588	6792715	-11,71	-84,77
K1	3237671	6790464	-11,79	-84,53
K4	3240537	6786890	-11,97	-86,11
K5	3240721	6786511	-7,06	-58,00
Joki-museo	3238182	6789559	-7,16	-59,26
Joki-mölsi	3236178	6792993	-7,33	-59,79
PJ1E			-7,20	-58,06
PJ1F			-6,873	-56,32



Kuva 13. Isotooppisuhteet tarkasteltuna globaalisten meteoristen vesien suora (GMWL) (Clark ja Fritz 1997) ja paikallisten meteoristen vesien suoran (LMWL) suhteen (Kortelainen 2007).



Kuva 14. Pohja- ja pintavesinäytteiden δD - ja $\delta^{18}O$ -arvot. Havaintopisteet Hp 4, Hp 10, Hp 20, Mölsi, K1, K4 ja K5 ovat pohjavesinäytteitä, ja Joki-Mölsi ja Joki-Museo ovat pintavesinäytteitä jokivedestä. (peruskartat © Maanmittauslaitos)

4.3. Vesikemia

Analyysejä oli pohjavesinäytteistä neljä ja pintavesinäytteistä kaksi (Taulukko 6).

Taulukko 5. Vesinäytteiden geokemia. Näytteet Hp20, Hp10, Hp4 ja Mölsi ovat pohjavesinäytteitä, ja näytteet Joki-Museo ja Joki-Mölsi ovat pintavesinäytteitä. Laaturaja perustuu sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000).

ID	Hp20	Hp10	Hp4	Joki-museo	Joki-mölsi	mölsi	laaturaja
x	3236554	3235684	3235262	3238182	3236178	3236588	
y	6793032	6794191	6794898	6789559	6792993	6792715	
T (C°)	6,1	6,7	6,7	21,4	21,2	6,7	
O2 (%)	21	3,2	2,3	101,9	102,7	15,7	
O2 (mg/L)	2,6	0,36	0,28	9,01	9,12	1,63	5
ORP	113,3	-187,5	-175	260	330,6	753	
pH - ysi	6,75	7,4	7,41	6,96	7,37	6,87	6,5–9,5
pH - laboratorio	7,38	7,88	8,26	7,5	8,27	7,48	6,5-9,5
Alk. (HCO ₃ mmol/l)	1,84	1,77	1,71	0,43	0,54	1,27	
alkaliteetti (HCO ₃ mg/L)	110	106	102	25,6	32,4	76,1	
EC (µS/cm) - ysi	601	539	586	126	159	513	2 500
EC (µS/cm) - laboratorio	474	392	406	96,1	120	352	2 500
Na (mg/L)	13,6	26,3	37,8	4,41	6,77	20,3	200
K (mg/L)	5,59	4,44	4,24	2,21	2,88	4,36	
Ca (mg/L)	42,6	31,0	25,3	8,33	9,56	24,0	
Mg (mg/L)	26,2	13,2	11,7	3,25	3,41	16,1	
F (mg/L)	1,10	2,06	1,62	0,22	0,24	1,99	1,5
Cl (mg/L)	28,0	42,6	59,4	5,95	9,40	29,4	250
NO ₃ (mg/L)	0,12	<MR 0,02	0,02	1,24	1,00	1,48	50
PO ₄ (mg/L)					<MR 0,02		
SO ₄ (mg/L)	105	37,8	21,4	10,8	11,4	60,9	250
Elektroneutraalisuus (%)	2,13	2,10	2,34	5,69	3,52	2,17	
Si (ppm)	14,3	8,7	11,4	0,4	0,6	8,3	
yht. liuenneet (mg/L)	350	272	276	71,4	86,7	245	

4.4. Imeytyskokeet

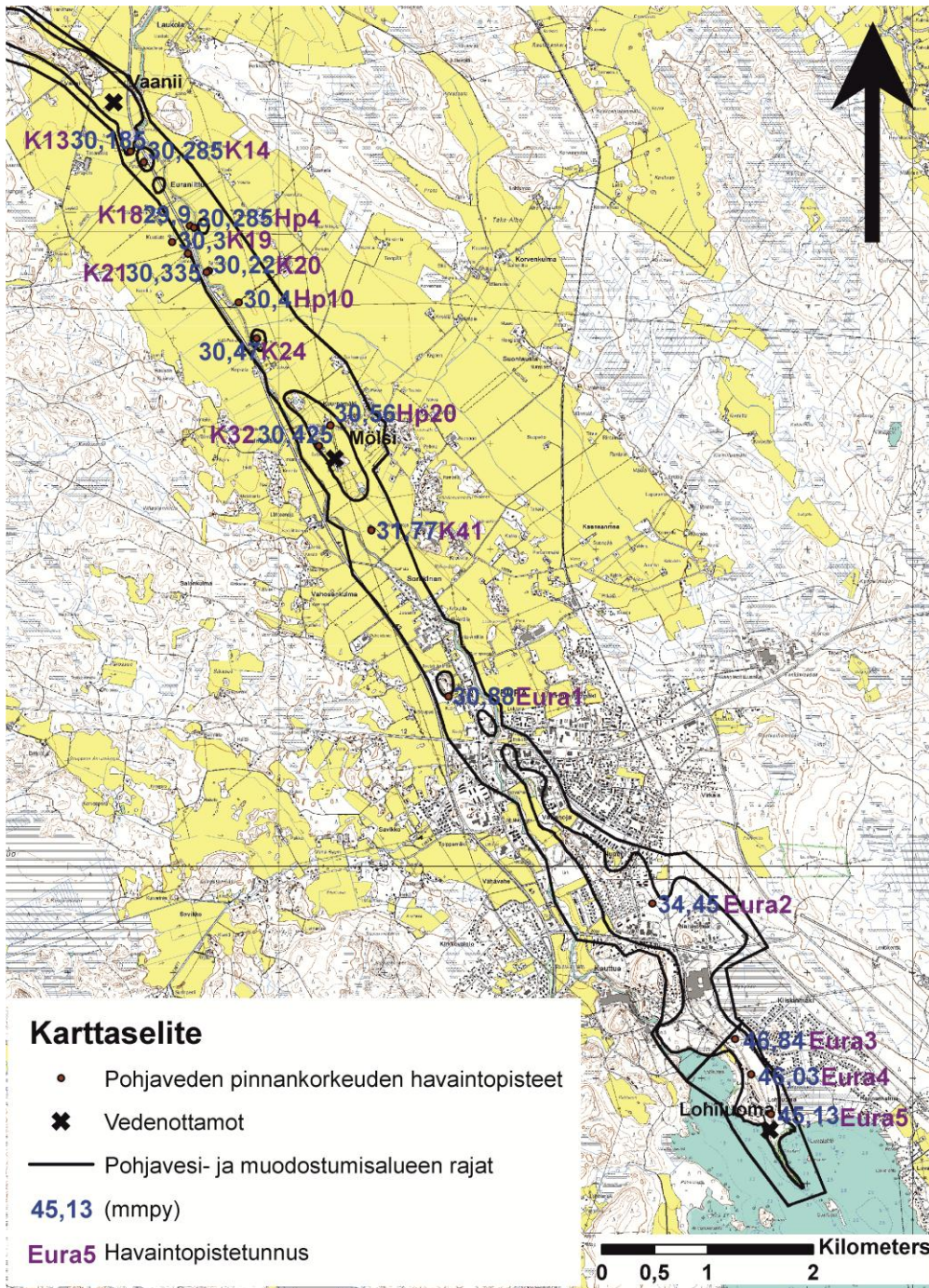
Imeytyskokeita tehtiin imeytysrenkailla 12 kpl, joiden tulokset ovat Taulukossa 6. Imeytymisajat ovat vähintään kolmen peräkkäisen mittauksen keskiarvoja, jonka laskemiseen käytetyt ajat olivat hyvin lähellä toisiaan. Korkeuden muutokset katsottiin suoraan imeytysrenkaan mitta-asteikolta ja eivät ole keskiarvoja.

Taulukko 6. Imeytyskokeiden tulokset.

	x	y	t (s)	dh (cm)	$K_{\text{laskettu}} \text{ (ms}^{-1}\text{)}$
KN19 pintamaa	3237792	6792554	126,8	1,0	$7,5 \times 10^{-5}$
MÖLSI	3236554	6792736	309,7	2,0	$6,5 \times 10^{-5}$
KN17 pintamaa	3236759	6793082	86,0	1,0	$1,2 \times 10^{-4}$
KN17 pohjamaa	3236759	6793082	144,2	1,0	$6,9 \times 10^{-5}$
KN9 pintamaa	3236010	6794748	268,0	0,5	$1,9 \times 10^{-5}$
KN18 pintamaa	3237281	6793011	221,0	1,0	$4,5 \times 10^{-5}$
KN12 pintamaa	3236880	6792425	22,6	1,0	$4,4 \times 10^{-4}$
KN11 pintamaa	3236649	6792686	7,0	1,0	$1,4 \times 10^{-3}$
KN14 pintamaa	3236438	6792973	10,9	2,0	$1,8 \times 10^{-3}$
KN16 pintamaa	3237506	6791851	130,0	1,0	$7,7 \times 10^{-5}$
MÖLSI-4	3236557	6792740	358,8	1,0	$2,8 \times 10^{-5}$
Mölsin kuopan pohja	3236645	6792735	40,3	2,0	$5,0 \times 10^{-4}$

4.5. Pohjaveden pinnankorkeudet

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet olivat välillä 29,90 – 46,84 mmpy (Kuva 15). Pinnankorkeudet ovat korkeammalla tutkimusalueen kaakkoisissa osissa, ja laskevat kohti luodetta, ja yli 40 m pinnankorkeuksia on ainoastaan Kauttuan pohjavesialueella.

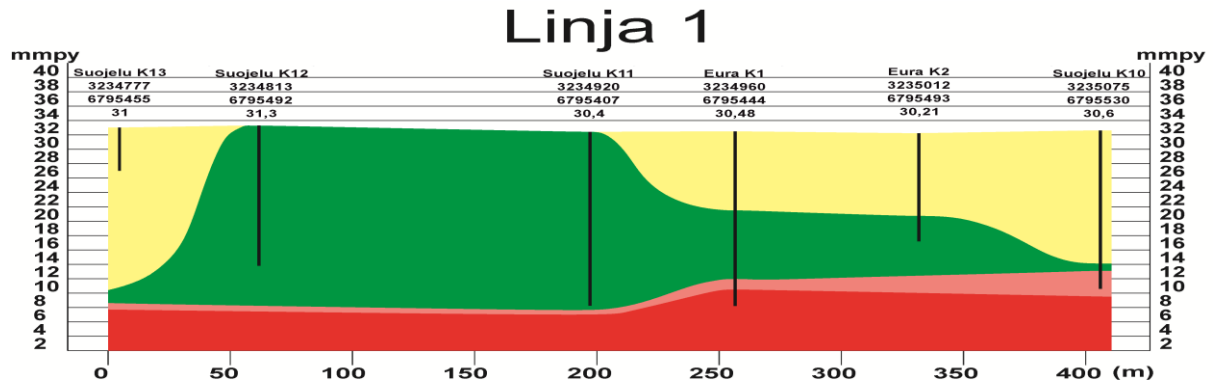


Kuva 15. Pohjavedenpinnan korkeushavainnot. (peruskartat © Maanmittauslaitos)

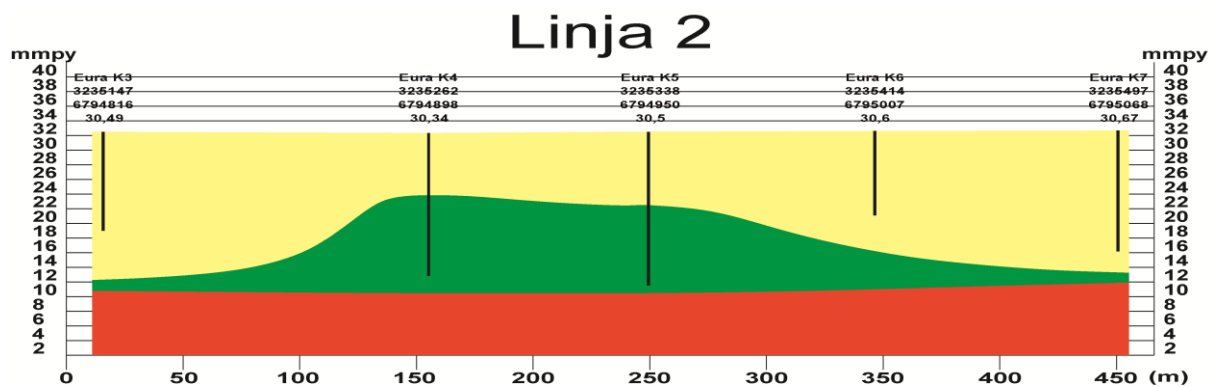
4.6. Poikkileikkaukset ja rakennemalli

Vuoden 2007 ja 2010 kairaustiedot ja niiden perusteella laaditut poikkileikkaukset ovat Kuvissa 16 - 26, ja poikkileikkausten suhde toisiinsa on esitetty Liitteessä 3. Tulkitut poikkileikkaukset ovat pääasiassa suuntaa antavia, koska kairauksia on vähän suhteessa alueen kokoon ja suurin osa kairauksista ei ole kalliovarmennettuja. Tulkinnan tukena

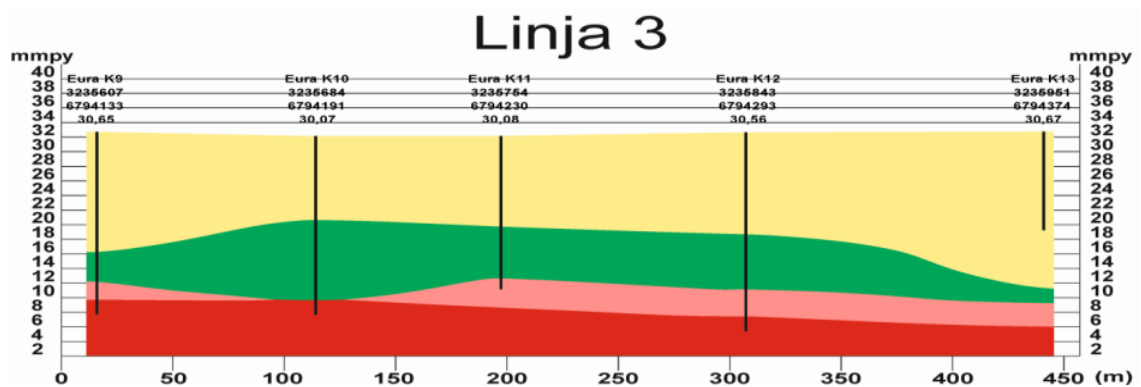
käytetyssä pehmeikön paksuustulkinnassakin on huomattavia epävarmuuksia johtuen mm. kartan alhaisesta resoluutiosta. Poikkileikkauksissa keltainen, vihreä, vaaleanpunainen ja punainen kuvaavat hienoainessedimenttejä, hiekkaa ja soraa, moreenia ja kalliota. Pitkittäislinjoilla (Kuvat 22 – 26) kontaktien syvyydet paikoilla, joilta ei ole kairaushavaintoa, ovat tulkituista syvyyksistä Poikkittaislinjoilta (Kuvat 16 – 21).



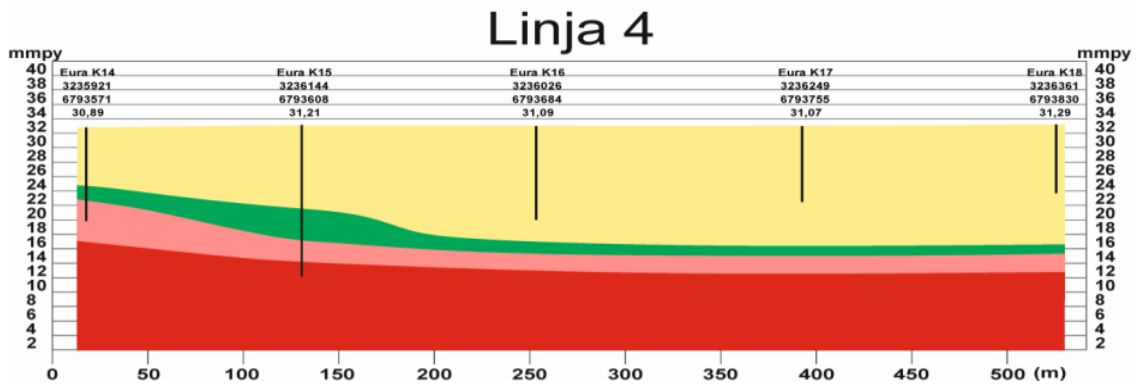
Kuva 16. Poikkileikkaus poikkilinjalta 1.



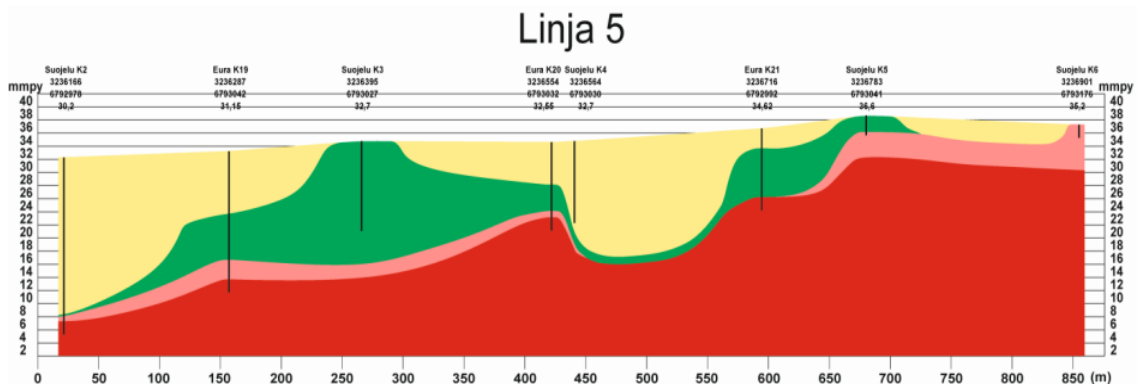
Kuva 17. Poikkileikkauslinja 2.



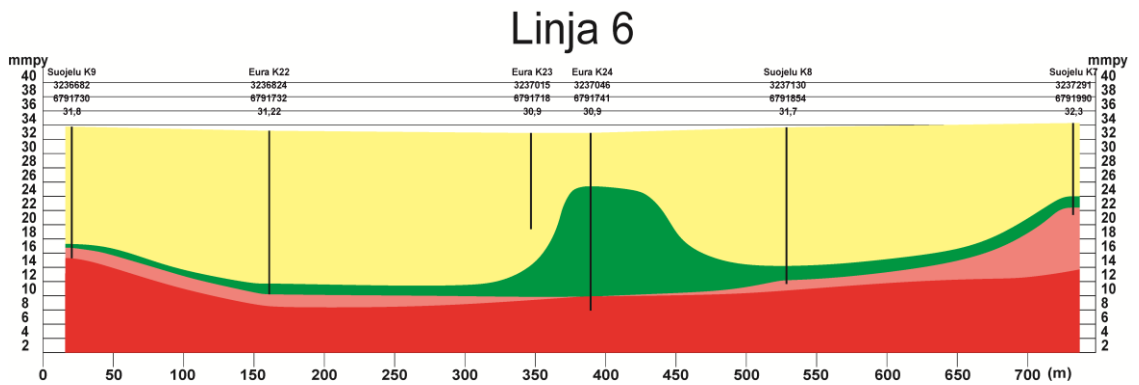
Kuva 18. Poikkileikkauslinja 3.



Kuva 19. Poikkileikkauslinja 4.

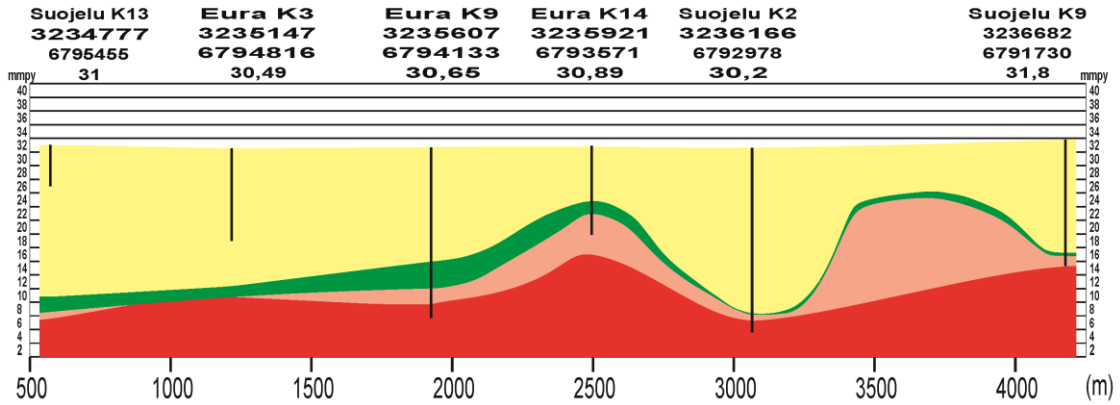


Kuva 20. Poikkileikkauslinja 5. Pisteiden Suojelu K4 ja Eura 21 välisellä osuudella kalliopinnan syvyys on arvioitu käyttäen pehmeikön paksuustulkintaa (Valjus ja Säävuori 2007).



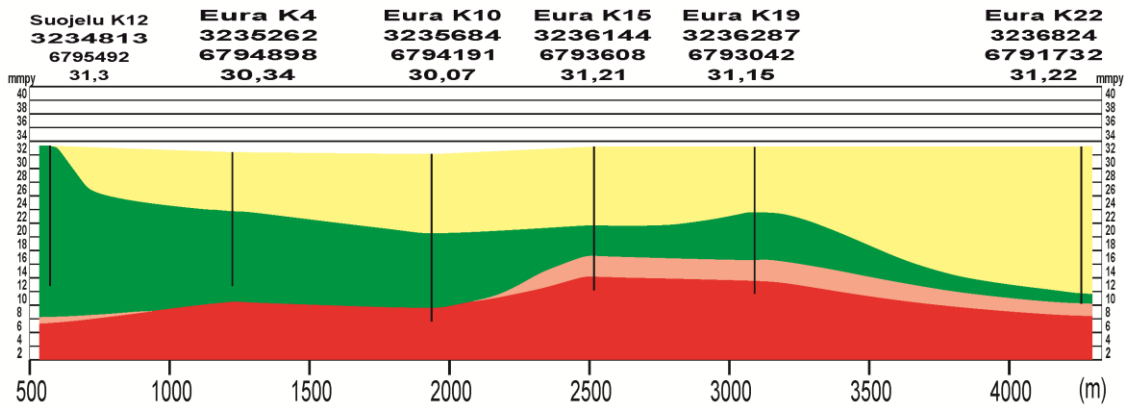
Kuva 21. Poikkileikkauslinja 6.

Pitkittäislinja 1



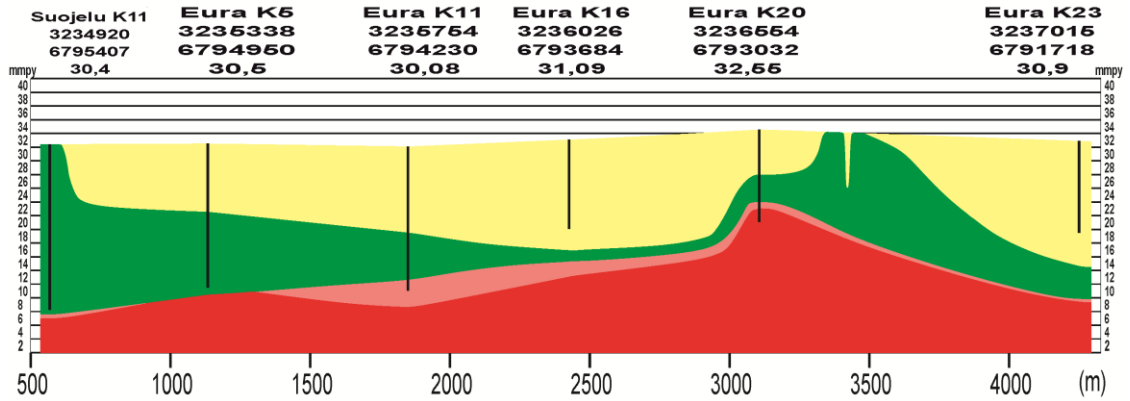
Kuva 22. Pitkittäislinja 1.

Pitkittäislinja 2



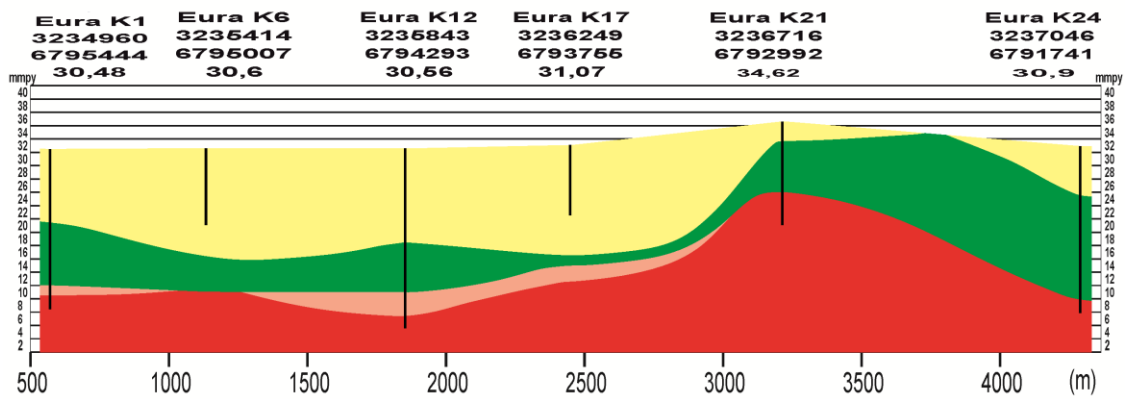
Kuva 23. Pitkittäislinja 2.

Pitkittäislinja 3



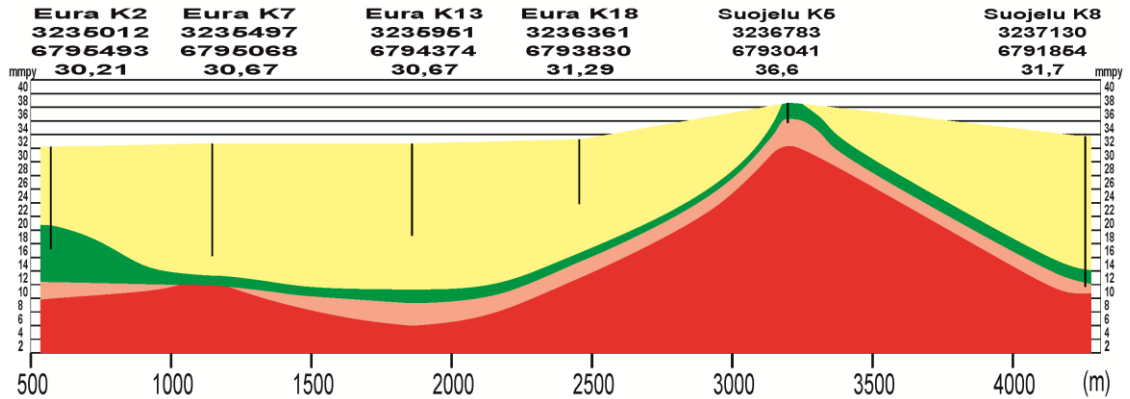
Kuva 24. Pitkittäislinja 3.

Pitkittäislinja 4



Kuva 25. Pitkittäislinja 4.

Pitkittäislinja 5



Kuva 26. Pitkittäislinja 5.

4.7. Vesitaselaskut

Parametrien (sadanta, imeytymiskertoimet ja pinta-ala) ja niiden vaihteluvälien perusteella laskettiin arviot harjukumpareiden ulkopuolella muodostuvan pohjaveden määrälle (Liite 4). Arviot harjun ulkopuolella muodostuvan pohjaveden määräksi vaihtelevat välillä 110 – 376 m³d⁻¹. Koivisto ja Eerikäinen (1986) arvioivat, että moreenialueilla muodostuu pohjavettä noin 200 m³d⁻¹. Harjun ulkopuolisen muodostumisalueen pinta-alalle voidaan laskea arvio, kun käytettävissä on arvio harjun ulkopuolella muodostuvan pohjaveden määrästä.

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1. Vaaniin pohjavesialueen Euran keskustan ja Vaaniin välisen osan rakennetulkinta

Harjusta voidaan erottaa morfologialtaan kolme erilaista osaa. Harjun Vaaniin puoleisessa päässä Linjalla 1 harjulla on harjuille tyypillinen harjannemäinen

poikkileikkaus (Kuva 16). Reunat ovat jyrkät, ja harju on kapea suhteessa korkeuteensa. Toinen morfologinen osa on linjojen 2, 3 ja 4 välisellä alueella. Linjalta 1 harju levenee ja harjukerrostumien paksuudet kohti Euran keskustaa (Kuvat 17 – 19). Tällä välillä harjulla ei ole selkeästi erottuvaa harjannemaista muotoa. Kolmas morfologinen osuus näkyy kairauksissa Linja 5 kohdalla. Tällä osuudella harju erottuu selkeänä morfologisena muodostumana ympäristöstään ja sillä on harjuille useasti tyypillinen harjannemainen muoto. Harjanne ei kuitenkaan ole yhtenäinen tällä osuudella vaan koostuu useista peräkkäisistä hiekkaisista ja soraisista kumpareista (Kuva 4). Poikkileikkauksessa näkyy myös pienempi hiekka- ja sora harjanne harjun itäpuolella noin 200 - 300 metrin etäisyydellä. Tämä harjanne on kooltaan selkeästi harjua pienempi. Linjalta 5 harju on jälleen hienoainessedimenttien peittämä. Linjan 6 kohdalla harjun poikkileikkaus on harjuille tyypillinen. Harjannemaista muodota ei ole aiemmin havaittu (Joronen 2008) Linjan 6 kohdalla (Kuva 21 ja Liite 9). Seuraavan kerran harju on havaittavissa maanpinnalla hieman ennen Euran keskustaa (Kuva 4).

Harjun pitkittäisprofiili on viuhkamainen (Kuvat 23 ja 24) Linjojen 1, 3 ja 4 välisellä osuudella. Harjukerrostumat viettävät hienoainessedimenttien alle, jonka jälkeen vietto loivenee kohti kaakkoa. Samanaikaisesti harjukerrostumat leviävät laajemmalle alueelle. Pitkittäislinjat 1 ja 4 (Kuvat 22 ja 25) poikkeavat muista siten, että niiden kohdalla hiekka- ja sorakerrosten paksuudet kasvavat kaakkoa kohti. Kallionpinta nousee loivasti Linjojen 1 -4 välisellä osuudella.

Kallionpinta on korkeimmillaan Linjan 4 (Kuva 19) kohdalla Pitkittäislinjoilla 1 ja 2 (Kuvat 22 ja 23), ja Linjan 5 (Kuva 20) kohdalla Pitkittäislinjoilla 3-5 (Kuvat 24 – 26). Tällä kohdalla on mahdollinen kalliokynnys, joka kulkee arviolta kairapisteiden Eura K14, Eura K15, Eura K20, Eura K21 ja Suojelu K5 kautta. Harju ylittää kalliokynnyksen sen matalimmalta kohdalta, joka osuu kairausten Eura K15, Eura K19 ja Suojelu K2 väliselle linjalle (Kuvat 19 ja 20). Paksuimmat harjujakson eteläisen osan kerrostumat ovat, joko kynnyksen kohdalla (Kuvat 22, 23 ja 26) tai sen kaakon puoleisella sivulla.

Hyvin vettä johtavat kerrokset ovat jatkuvia koko Vaaniin ja Sorkkisten välisellä harjun osuudella, mutta kerrospaksuudet vaihtelevat melkein 20 metristä kolmeen metriin. Kerrokset ovat ohuimmillaan Linjan 4 (Kuva 19) kohdalla, jossa harjuselänne ei ole

selkeästi havaittavissa. Hyvin vettä johtavat kerrokset paksunevat uudelleen kalliokynnyksen jälkeen.

5.2. Virtauskuva ja vesitase

Pohjaveden päävirtaus suunta Vaaniin pohjavesialueella on Kauttualta kohti Vaaniin vedenottamoa (Kuva 15), ja pohjavesialueen reunoilta kohti harjuydintä. Poikkeamana yleisestä trendistä on epäjatkuvuuskohta Mölsin ja Sorkkisten välillä (Kuva 15). Koivisto ja Eerikäinen (1986) havaitsivat samalla alueella epäjatkuvuuskohdan pinnankorkeuksissa. Poikkeava arvo on havaintopisteellä K41. Paineellisten akviferien osissa, joissa reuna on osittain vettäläpäisevä, pinnankorkeuksien jakauma voi olla vaihteleva (Kirkham ja Ploeg 1975), ja tämä voisi selittää havaitun epäjatkuvuuskohdan.

Toinen tekijä mikä voisi selittää korkean painekorkeuden havaintopisteellä K41, on pohjaveden valunta läheisiltä moreenikumpareilta. Kairausten perusteella vettä johtavat kerrokset ovat jatkuvia aina harjulta moreenikumpareille saakka, ja moreenien määritetyt vedenjohtavuudet mahdollistavat pohjaveden muodostumisen.

Pohjaveden painekorkeudet ovat jokaisessa havaintopisteessä korkeammalla kuin harjua peittävien hienoainessedimenttien alakontakti vettä hyvin johtaviin kerroksiin (Kuvat 14 ja 15 - 26). Paikoin, ainakin havaintopisteellä Hp10, pohjaveden pinnan painekorkeus on maanpinnan yläpuolella, ja useassa pisteessä painekorkeus on lähellä maanpintaa. Tämän perusteella pohjavesi on pääasiassa akviferissa paineellista, mutta harjukumpareiden kohdalla virtaus on paikoin myös vapaa.

Vesitaselaskelmien perusteella harjun ulkopuolella muodostuvan pohjaveden määrä on merkittävä. Riippuen laskuissa käytetyistä sadannan arvosta ($600 - 700 \text{ mmv}^{-1}$) ja hiekkojen ja sorien imeytymiskertoimista harjun ulkopuolella muodostuvan pohjaveden osuus otettavan pohjaveden kokonaismäärästä ($1435 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$) vaihtelee $110 - 376 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$. Moreenialueiden laajuus, joka tarvittaisiin tämän vesimäärän muodostamiseen, vaihtelee välillä $0,3 - 1,0 \text{ km}^2$ riippuen käytetystä moreenin imeytymiskertoimesta. On perustultua olettaa, että moreenikumpareilla muodostuva pohjavesi kulkeutuu pääosin

harjuun, koska rakennetulkinnan perusteella hyvin vettä johtavat kerrokset ovat jatkuvia myös harjun ulkopuolella. Moreenikumpareet ovat korkeammalla kuin harju, mikä aiheuttaa hydraulisen gradientin, joka ohjaa pohjaveden virtauksen moreenikumpareilta harjualueelle. On mahdollista, että näillä paikoilla jokeen purkautuu pohjavettä.

Lämpökamerakuvausten perusteella havaituista kylmistä (Liite 6) kohdista osa osuu niille kohdille, joissa harjukerrostumat (Kuva 4) ovat joen kohdalla tai joki kulkee joen poikki.

5.3. Veden stabiilien isotoopit, pääionit, fluoridi ja pii

5.3.1. Yleistä

Kaikki analysoidut vesinäytteet ovat pääionisuhteiden perusteella kalsium-sulfaatti - vesiä (Hiscock 2005, Kuva 28). Pohjavesissä liuenneita aineita on 245 – 350 mg^l ja jokivedessä 71,3 - 86,7 mg^l. Suomen pohjavesissä on liuenneita aineita keskimäärin 100 - 200 mg^l (Lahermo et al. 1990 ja 2002), ja Vaaniin pohjavesialueella pohjaveden liuenneiden aineiden pitoisuudet ovat jonkin verran korkeampia kuin pitoisuudet Suomen pohjavesissä keskimäärin. Lahermon et al. (1990) mukaan savipeitteisissä akvifereissa pohjaveden liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus on keskimäärin 280 mg^l, joten Vaaniin pohjavedet eivät tähän verrattuna poikkea muista hienoainespiteisten akviferien pohjavesistä.

5.3.2. pH

Pohjaveden pH vaihtelee lievästi happamasta (Hp20 ja Mölsi) lievästi emäksiseen (Hp10 ja Hp4) (Taulukko 5). Jokivesi on keskustan kohdalla (Joki-Museo) neutraalia ja Mölsin kohdalla (Joki-Mölsi) lievästi emäksistä. Lahermon et al. (2002) mukaan Satakunnan alueella rengaskaivojen tyypillinen pH on välillä 6 – 6,6. Vaaniin pohjavedet ovat Satakunnan alueelliseen pitoisuustasoon verrattuna hieman vähemmän hapanta (pH n. 6,75 – 6,87). Vaaniin pohjavesi alue on osittain Satakunnan hiekkakiven alueella (Kuva 5), ja hiekkakiven iskoksena on kalsiitti. Tutkimusalueen karkeissa

sedimenteissä on hiekkakiven kappaleita, joten on mahdollista, että hiekkakivestä peräisin oleva kalsiitti nostaa liukenemisen kautta Vaaniin pohjaveden pH:ta hieman alueellista tasoa korkeammalle. Pohjaveden pH:n nousu ei kuitenkaan ole samaa luokkaa kuin Säkylän Virttaankankaalla, missä pohjavedestä on mitattu yli yhdeksän olevia pH-arvoja (Mäkinen 2004).

3.2.3. Fluoridi

Vaaniin alueella pohjavesissä oli fluoridia 1,10 – 2,06 mg^l⁻¹. Puolet tutkimusalueen kallioperästä on rapakiveä ja rapakivialueiden pohjavesien fluoridi-pitoisuudet ovat tyypillisesti 1 – 2 mg^l⁻¹ (Lahermo et al. 2002), joten Vaaniin alueen pohjavedet ovat tyypillisiä rapakivialueiden pohjavesiä. Kaikkien pohjavesinäytteiden paitsi Hp20:n fluoridipitoisuus ylitti talousvedelle asetetun laaturajan 1,5 mg^l⁻¹ (STM 401/2001). Jokivedessä fluoridia oli 0,22 – 0,24 mg^l⁻¹.

5.3.4. Sulfaatti

Pohjavesien sulfaattipitoisuudet ovat Suomessa keskimäärin 10 mg^l⁻¹ (Lahermo et al. 2002). Vaaniin alueella pohjavedessä sulfaattipitoisuus on 21,4 – 105 mg^l⁻¹ raja-arvon (STM 401/2001) ollessa 250 mg^l⁻¹ eli pitoisuudet Vaaniin pohjavesialueella eivät ylitä pohjaveden laadulle asetettuja laatuvaatimuksia. Pitoisuudet ovat kuitenkin keskimääräistä korkeampia.

5.3.5. Nitraatti

Suomen pohjavesissä nitraattipitoisuudet ovat keskimäärin 3,1 – 5,5 mg^l⁻¹. Vaaniin pohjavedessä on määrittäjärajaa ylittäviä pitoisuuksia ainoastaan näytteessä Mölsi (1,5 mg^l⁻¹) (Taulukko 5). Laaturaja nitraatin määrälle talousvedessä on 50 mg^l⁻¹ (STM 401/2001). Tämän perusteella veden laadussa ei ole nitraatin osalta puutteita. Jokivedessä nitraattia on 1,0 – 1,2 mg^l⁻¹, jotka ovat pienempiä kuin Mölsin vedenottamolta otetun näytteen nitraattipitoisuus. Jokiveden nitraatti on peräisin todennäköisesti maatalouden lannoitteista tai muusta ihmistoiminnasta (Korkka-Niemi ja Salonen 1996).

5.3.6. *Natrium*

Natriumpitoisuudet ovat Suomen pohjavesissä keskimäärin 1 – 7 mg^l⁻¹ (Korkka-Niemi ja Salonen 1996 ja Lahermo et al. 2002), ja Vaaniin pohjavesialueella pitoisuudet ovat 13,6 – 37,8 mg^l⁻¹, jotka ovat yleistä tasoa selkeästi korkeampia, mutta Lahermon et al. (1990) mukaan tyypillisiä hienoainespeitteisten akviferien pohjavesille. Laaturaja talousveden natriumpitoisuudelle on 250mg^l⁻¹ (STM 401/2001). Jokivedessä natriumia on 4,41 – 6,77 mg^l⁻¹.

5.3.7. *Sähkönjohtavuus*

Suomessa pohjaveden sähkönjohtavuus on keskimäärin 500 µScm⁻¹ (Lahermo et al. 1990), joten Vaaniin alueella pohjaveden sähkönjohtavuudet (513 – 601 µScm⁻¹) ovat hieman keskimääräistä korkeampia. Talousveden sähkönjohtavuuden raja-arvoksi on määritetty 2500 µScm⁻¹ (STM 401/2001), joten mitatut arvot jäävät kaikissa näytteissä alle raja-arvon.

5.3.8. *Kloridi*

Pohjavesien kloridipitoisuudet ovat Suomessa keskimäärin 4,5 – 53,9 mg^l⁻¹ (Lahermo et al. 2002), ja pintavesissä pitoisuudet jäävät yleensä alle 10 mg^l⁻¹:ssa (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Vaaniin alueella kloridia on pohjavedessä 28,0 – 59,4 mg^l⁻¹ ja jokivedessä 5,95 – 9,40 mg^l⁻¹m joten havaitut pitoisuudet eivät ole keskimääräisestä poikkeavia. Talousveden raja-arvona talousvedelle on pitoisuusarvo 250 mg^l⁻¹.

5.3.9. *Liuennut happi ja ORP*

Vaaniin alueen pohjavedet ovat vähähappisia (liuenneen hapen osuus maksimiarvosta on 2,3 – 21 %) ja pohjaveden vähähappisuus on tyypillistä hienoainespeitteisille akvifereille. Pohjaveden happipitoisuus pienenee Mölsiltä Vaaniita kohti. Mitä pitempään vesi viiptyy akviferissa, sitä suurempi osa hapestä kuluu hapetusreaktioihin ja orgaanisen aineksen hajoamiseen (Faure 1998 ja Mälkki 1999). Lisäksi pohjaveden muodostuminen lähempänä Vaaniita on vähäisempää johtuen harjukumpareiden

vähäisemmästä määrästä ja maaperän alhaisemmasta vedenjohtavuusarvosta. Pohjaveden hapetus-pelkistys –potentiaali (ORP) vaihtelee Mölsin alueen hapettavista oloista (-113,3 mV) pohjoisemman pään pelkistäviin oloihin (187,5 mV).

5.3.10. Alkaliteetti

Suomen pohjavedet ovat happamoitumiselle herkkiä johtuen heikosta alkaliteetista (tässä yhteydessä HCO_3^- -alkaliteetti), joka yleensä on alle 1 mmol^{-1} (60 mg^{-1}) (Korkka-Niemi ja Salonen 1996), mutta hienoainespeitteisten akviferien pohjavesissä alkaliteetti on keskimäärin 100 mg^{-1} . Vaaniin alueella pohjaveden alkaliteetti on $1,27 - 1,84 \text{ mmol}^{-1}$ ($76,1 - 111 \text{ mg}^{-1}$) (Lahermo et al. 1990), joten Vaaniin alueen pohjaveden alkaliteetti on tyypillinen peitteisten alueiden akviferien pohjavesille. Jokivedessä alkaliteetti oli $0,43 - 0,54 \text{ mmol}^{-1}$.

5.3.11. Kalium

Pohjavesien kaliumpitoisuudet ovat Suomessa keskimäärin $1,0 - 8,7 \text{ mg}^{-1}$ (Lahermo et al. 1999), joten Vaaniin pitoisuudet $4,24 - 5,59 \text{ mg}^{-1}$ eivät ole poikkeavia. Jokiveden kaliumpitoisuudet $2,21 - 2,88 \text{ mg}^{-1}$ ovat noin puolet pohjaveden pitoisuuksista.

5.3.12. Fosfaatti

Fosfaatin pitoisuudet pohjavesissä ovat yleensä hyvin pieniä (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Kaikkien näytteiden pitoisuudet ovat alle määrittämissä rajan $0,02 \text{ mg}^{-1}$.

5.3.13. Pii

Suomen pohjavesien piipitoisuudet (SiO_2) ovat keskimäärin $9,9 - 16,6 \text{ mg}^{-1}$ (ppm) (Lahermo et al. 2002). Vaaniin pohjavesialueella pitoisuudet ovat $8,3 - 14,3 \text{ ppm}$, joten piin pitoisuuksien osalta Vaaniin alueen pohjavesi ei ole poikkeava. Piin pitoisuudet riippuvat pääasiassa veden kanssa kontaktissa olevien mineraalien koostumuksista. Jokiveden piipitoisuudet ovat $0,4 - 0,6 \text{ mg}^{-1}$.

5.3.14. Kalsium ja magnesium

Kalsiumia on Suomen pohjavesissä keskimäärin $5,4 - 30,4 \text{ mg l}^{-1}$ ja magnesiumia $1,4 - 10 \text{ mg l}^{-1}$ (Lahermo et al. 1990). Vaaniin alueella pohjavedessä kalsiumia on $24,0 - 31,0 \text{ mg l}^{-1}$ ja magnesiumia $11,7 - 26,2 \text{ mg l}^{-1}$. Jokiveden kalsium- ja magnesiumpitoisuudet ovat $8,33 - 9,56 \text{ mg l}^{-1}$ ja $3,25 - 3,41 \text{ mg l}^{-1}$. Pohja- ja jokiveden kalium- ja magnesium pitoisuudet eivät poikkea keskimääräisistä pitoisuuksista Suomen pohjavesissä.

5.3.15. Muuttujien yhteisvaihtelu

Määritetyistä muuttujista NO_3^- , alkaliteetti (HCO_3^-), SO_4^{2-} , O_2 , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , ORP, ja liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus arvot alenevat havaintopisteiden Hp20 ja Hp4 välisellä osuudella. Na^+ - ja Cl^- -pitoisuudet ja pH kasvavat havaintopisteiden Hp20 ja Hp4 välisellä osuudella. Havaitut trendit näkyvät hyvin kuvissa 27 ja 28. Vaikka pohjaveden kemiallinen koostumus ja fysikaalinen tila muuttuvatkin jonkin verran, muutos ei näy veden isotooppikoostumuksessa.

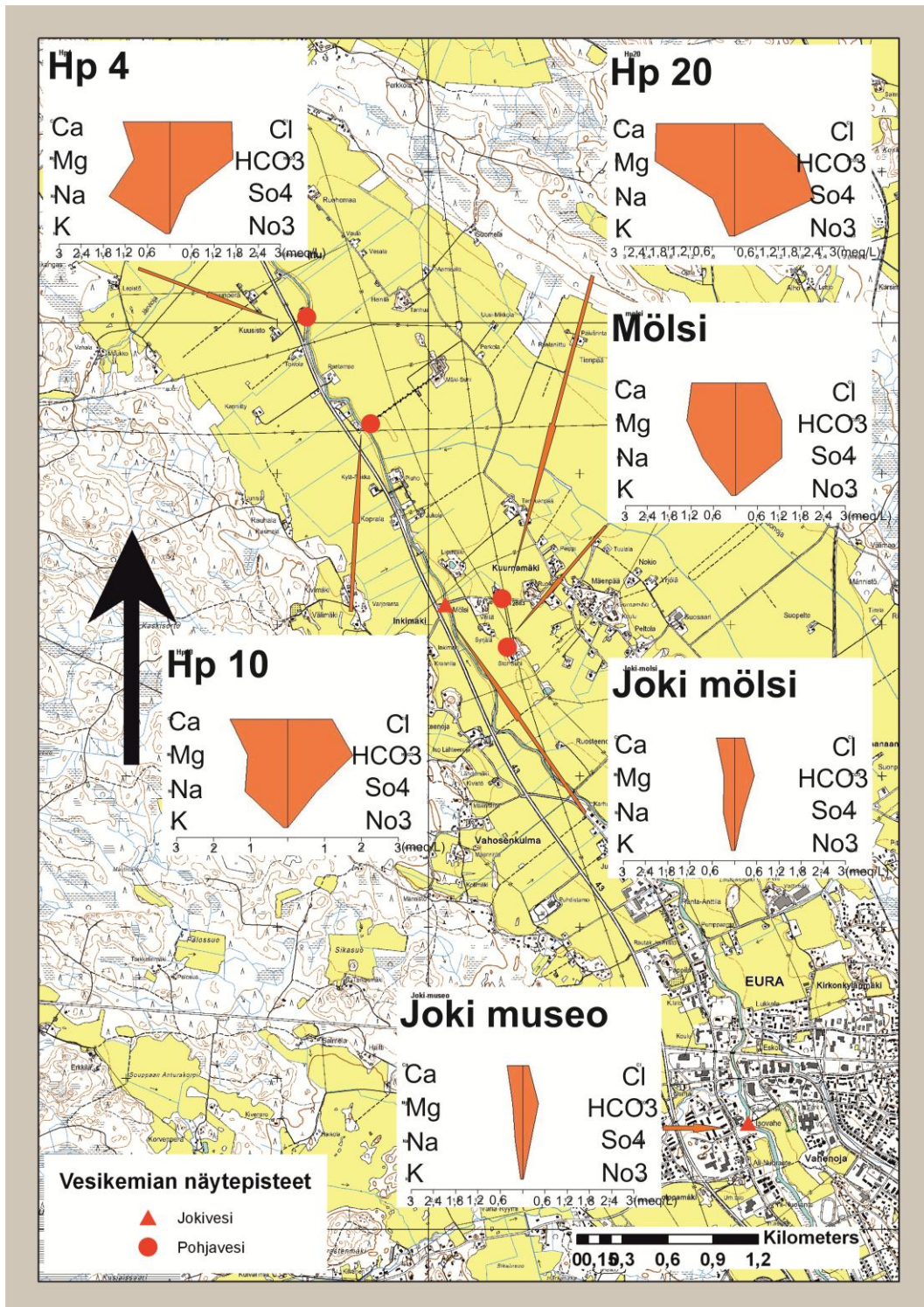
5.3.16. Veden stabiilit isotoopit

Vesinäytteet jakautuvat kahteen ryhmään, joiden d^{18}O & dD arvot ovat $-6,87 - -7,33 \text{ ‰}$ ja $-56,32 - -59,79 \text{ ‰}$, ja $-11,49 - -11,97 \text{ ‰}$ ja $-83,65 - -86,11 \text{ ‰}$. Arvojen perusteella ensimmäinen ryhmä edustaa pintavesiä ja toinen pohjavesiä (Clarck ja Fritz 1997 ja Kortelainen 2007). Kaikki arvot osuvat kuitenkin samalle haihtumissuoralle (Kuva 13), globaalien meteoristen vesien suoraan ja Suomen paikallisten vesien suoraan. Pohjaveden isotooppikoostumuksen pienet muutokset Kauttuan ja Vaaniin välillä ovat samaa luokkaa kuin pohjaveden isotooppikoostumuksen vuotuiset muutokset Säskylän Virtaankankaalla (Kortelainen 2002). Pohjavesiputkista otetuista näytteistä K5 on isotooppikoostumukseltaan samankaltainen kuin jokivesi- ja järvivesinäytteet ja kuvastaa Pyhäjärven veden rantaimetyymistä akviferiin. Muut pohjavesiputkista otetut näytteet ovat isotooppikoostumukseltaan selkeästi köyhtyneempiä (Taulukko 5). Pintavesinäytteissä ei ole suuria muutoksia Eurajoen suulta havaintopisteelle Joki-Mölsi (Taulukko 4 ja Kuva 14) ja havaitut muutokset ovat yhtä suuria kuin vuotuiset muutokset Kokemäenjoessa (Kortelainen 2002).

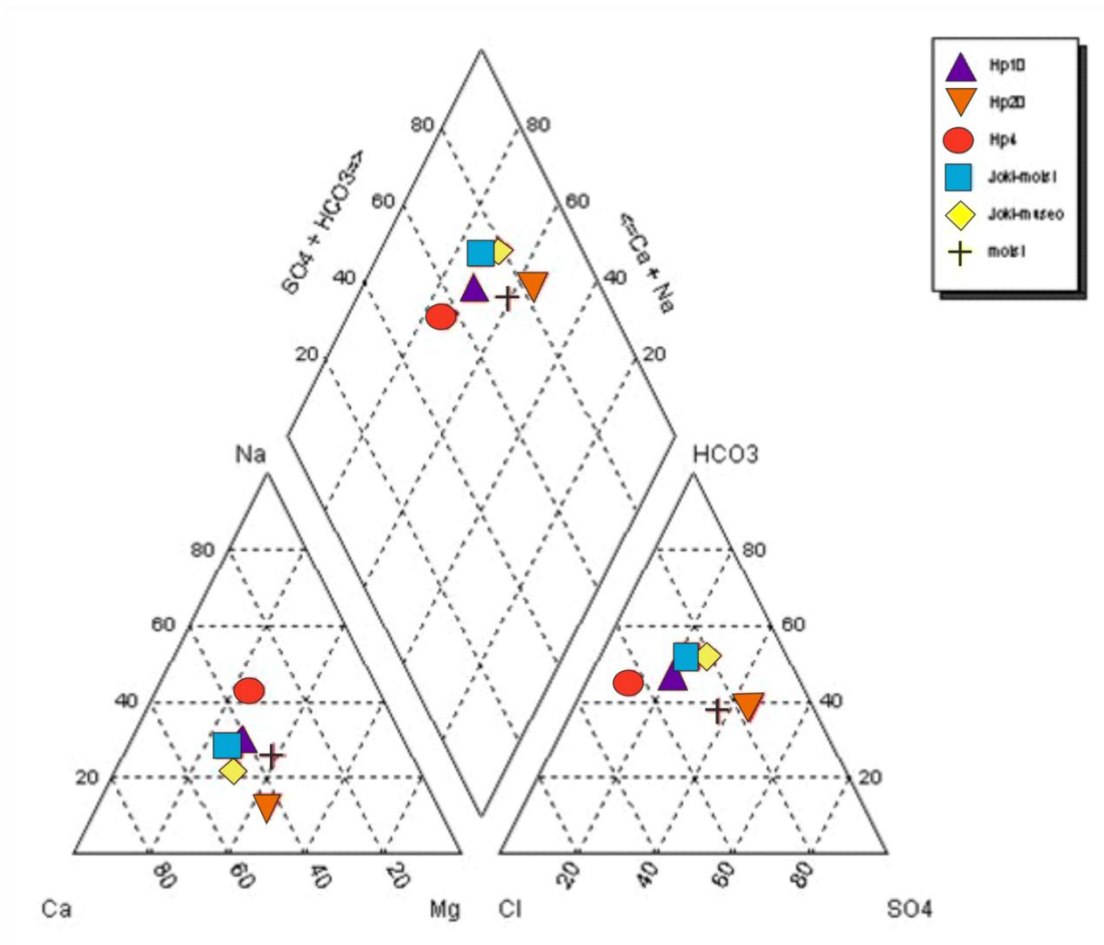
Käyttämällä havaintopisteiden PJ1F ja K4 isotooppikoostumuksia pohja- ja pintavesiseoksen päätejäseninä on mahdollista laskea pinta- ja pohjaveden osuudet muilla havaintopisteillä (Taulukko 8). Pohjaveden laskennallinen osuus jokivedestä on noin 8 - 10 % mittausajankohtana. Lounais-Suomen ympäristökeskus (2001) mukaan pohjavettä purkautuu jokeen, ja joen pohja on ainakin paikoin harjukerrostumien tasalla.

Taulukko 8. Veden stabiilien isotooppien perusteella lasketut pohjaveden osuudet pohjavesi- ja pintavesinäytteissä. X kuvaa pohjaveden osuutta %:na, ja pohjaveden osuudet on laskettu käyttäen sekä d18O- ja dD-arvoja.

näyte	pohjavesi				sadevesi		X (%)	X (%)	
	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD		$\delta^{18}\text{O}$	δD
Hp20	-11,72	-84,26	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	95	94	
Hp10	-11,49	-83,65	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	91	92	
Hp4	-11,75	-84,66	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	96	95	
mölsi	-11,71	-84,77	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	95	96	
Joki- museo	-7,16	-59,26	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	6	10	
Joki- mölsi	-7,33	-59,79	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	10	12	
K1	-11,79	-84,53	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	96	95	
K4	-11,97	-86,11	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	100	100	
K5	-7,06	-58	-11,97	-86,11	-6,83	-56,32	4	6	



Kuva 13. Vesinäytteiden analyysien perusteella tehdyt Stiffin-diagrammit ja näytteenottopisteiden sijainti tutkimusalueella. Diagrammien asteikko on sekä kationeille että anioneille 0:sta 3:een meq l^{-1} . Pohjakartta (c) MML.



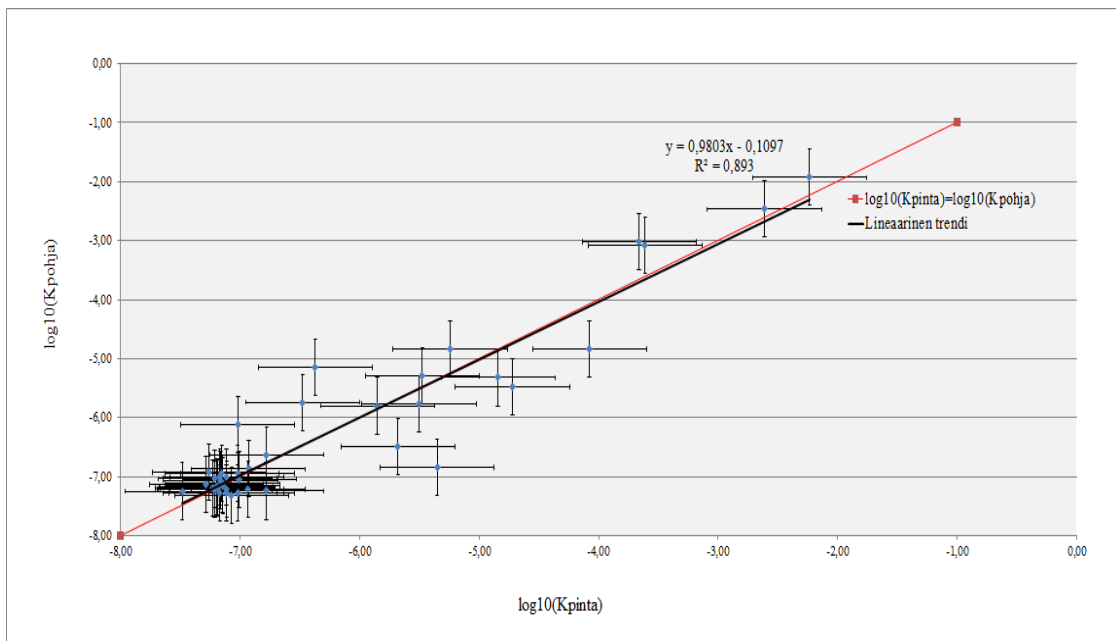
Kuva 28. Vesinäytteiden geokemia-analyysin tulokset Piperin-diagrammissa.

5.4. Maaperän vedenjohtavuuden alueellinen vaihtelu

Vedenjohtavuusarvojen perusteella tutkimusalueen maaperä voidaan jakaa kolmeen eri alueeseen, jotka ovat muodostumisalue, vettä osittain läpäisevä alue ja vettä läpäisemätön alue (Kuvat 31 ja 32). Muodostumisalueeseen kuuluvat paljastuneet harjukumpareet, harjun sivulla olevat moreenikumpareet ja maaperäkartalla hiekaksi tai soraksi merkityt alueet, jotka eivät kuitenkaan erotu ympäristöstä topografialtaan. Vettä osittain läpäisevä alue käsittää pääpiirteissään hienoainesalueiden itäosan. Vettä läpäisemättömän alue käsittää hienoainesalueiden länsiosat.

Eri vedenjohtavuusalueet ovat sekä pinta- että pohjamaassa pääpiirteissään samoilla alueilla. Muodostumisaluetta ovat samat harju- ja moreenikumpareet, mutta poikkeuksena pinta- ja pohjamaan välillä on Inkimäki. Pohjamaassa ainoastaan Inkimäen kaakkoisosa on vedenjohtavuuden perusteella muodostumisaluetta.

Pohjavesialue rajataan selkeästi maastossa erottuvaksi ja muodostumisalueet rajat geologisin perustein (Britschgi et al. 2009). Tästä johtuen Inkimäki tulisi lukea kokonaan pohjavesialueeksi, mutta muodostumisalueeksi vain osittain. Suurin ero pinta- ja pohjamaan välillä on vettä osittain läpäisevän ja läpäisemättömän alueen rajan sijainnissa. Pohjamaassa Linja 2:n (Kuva 17 ja 32) vieressä olevalla harjukumpareen ympärillä hienoainessedimentit ovat osittain vettä johtavia, mutta pintamaassa eivät (Kuva 31). Linjojen 3 ja 4 (Kuvat 31 ja 32) välillä olevan harjukumpareen ympärillä vettä osittain johtava ainesta on pintamaassa, mutta ei pohjamaassa. Kolmas merkittävämpi poikkeama pinta- ja pohjamaan välillä on Linjan 4 kohdalla. Pintamaassa vettä osittain johtava alue ulottuu kauemmas länteen kuin pohjamaassa. Näytepisteiden kohdalla vedenjohtavuusarvoissa ei ole suurta eroa pinta- ja pohjamaan välillä (Kuva 29).



Kuva 29. Pinta- ja pohjamaan vedenjohtavuusarvot. Huomioi logaritminen asteikko molemmilla akseleilla.

Maalajien sisäinen ja välinen vaihtelu on merkittävää. Maalajeista suurin sisäinen vaihtelu on hiekoissa. Hiekoilla vedenjohtavuusarvot vaihtelevat kertaluokkia välillä $3,4 \times 10^{-3} - 9,9 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-1}$ (Kuva 28). Helenelund (1956) mukana hiekan vedenjohtavuusarvot ovat suuruusluokkaa $10^{-4} - 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Vaihteluväli on Soverin (1964) mukaan $4 \times 10^{-3} - 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, ja Freeze ja Cherry (1978) toteavat hiekan vedenjohtavuusarvojen vaihtelevan välillä $10^{-2} - 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$. Kuusela-Lahtinen ja

Vahanne (2005) toteavat, että hiekkojen vedenjohtavuusarvot vaihtelevat välillä $5,5 \times 10^{-5} - 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$. Suurinta vaihtelu (Taulukko 9) on vaihteluvälin ylärajan osalta, ja hiekan vedenjohtavuusarvon yläraja vaihtelee lähteistä riippuen (Fagerström ja Wiesel 1972 ja Hatva 1985) välillä $10^{-1} - 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$. Tutkittujen hiekkänäytteiden vedenjohtavuus arvot sijoittuvat kahta näytettä lukuun ottamatta välille $10^{-1} - 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$. Poikkeavat näytteet ovat NK-LISA1 (pintamaa) ja NK3 (pohjamaa) (Liite 2). Molemmat näytteet ovat silttisiä hieikkoja, ja korkea hienoainespitoisuus vaikuttaa pienentävästi vedenjohtavuusarvoon (Kaava 1), ja selittää, miksi näiden näytteiden vedenjohtavuusarvot ovat alhaisia vaikka näytteet ovat hieikkoja. Parhaiten määritetyt vedenjohtavuusarvot osuvat parhaiten yhteen Freeze ja Cherryn (1978) ja Fagerströmin ja Wieselin (1972) mukaisten arvojen kanssa. Puurusen (2002) mukaan hiekkojen vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $9,0 \times 10^{-5} - 5,6 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Suurin osa itsemääritetyistä hiekkojen vedenjohtavuusarvoista osuu tälle välille, joka onkin odotettavaa, koska tutkimusalueen harju ja Puurusen (2002) tutkima Säskylän Virttaankangas ovat sedimentologisesti ympäristöltään samankaltaisia, ja saman jäätikkökielekevirran alueella kerrostuneita (Mäkinen 2004 ja Hanski et al. 2010).

Maalajeista toiseksi heterogeenisin vedenjohtavuusarvojen perusteella on sora. Soranäytteistä määritetyt vedenjohtavuudet vaihtelevat yli kolme kertaluokkaa ($2,3 \times 10^{-1} - 1,8 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$) (Kuva 33). Hajonta on suurinta vaihteluvälin yläpäässä. Sorien määritetyt vedenjohtavuusarvot osuvat hyvin yhteen mm. Rantamäen et al. (1997), Fagerströmin ja Wieselin (1972) mukaisten soran vedenjohtavuusarvojen kanssa. Useissa lähteissä (mm. Knutsson ja Morfeldtin 1973, Helenelund 1956 ja Freeze ja Cherry) vaihteluvälin alarajaksi on annettu 10^{-3} ms^{-1} , mutta monet lähteet antavat alarajaksi 10^{-4} ms^{-1} (mm. Rantamäki et al. 1997 ja Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1985). Vaihteluvälin ylärajan kohdalla on hajontaa enemmän. Esimerkiksi Fagerströmin ja Wieselin (1972) mukaan yläraja on arvon 10^0 ms^{-1} kohdalla. Puolestaan Mälkki (1979) ei puolestaan anna sorien vedenjohtavuusarvoille minkäänlaista ylärajaa, vaan Mälkin mukaan sorien vedenjohtavuusarvot ovat suurempia kuin $5 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$.

Määritettyjen moreeninäytteiden vedenjohtavuusarvot vaihtelevat yli kaksi kertaluokkaa vaihteluvälin ollessa $3,2 \times 10^{-7} - 8,4 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$. Parhaiten määritettyjen arvojen kanssa sopii yhteen Hatvan (1985) mukaiset moreenien vedenjohtavuusarvot (Taulukko 9). Yleisesti ottaen määritetyt vedenjohtavuusarvot osuvat moreenien

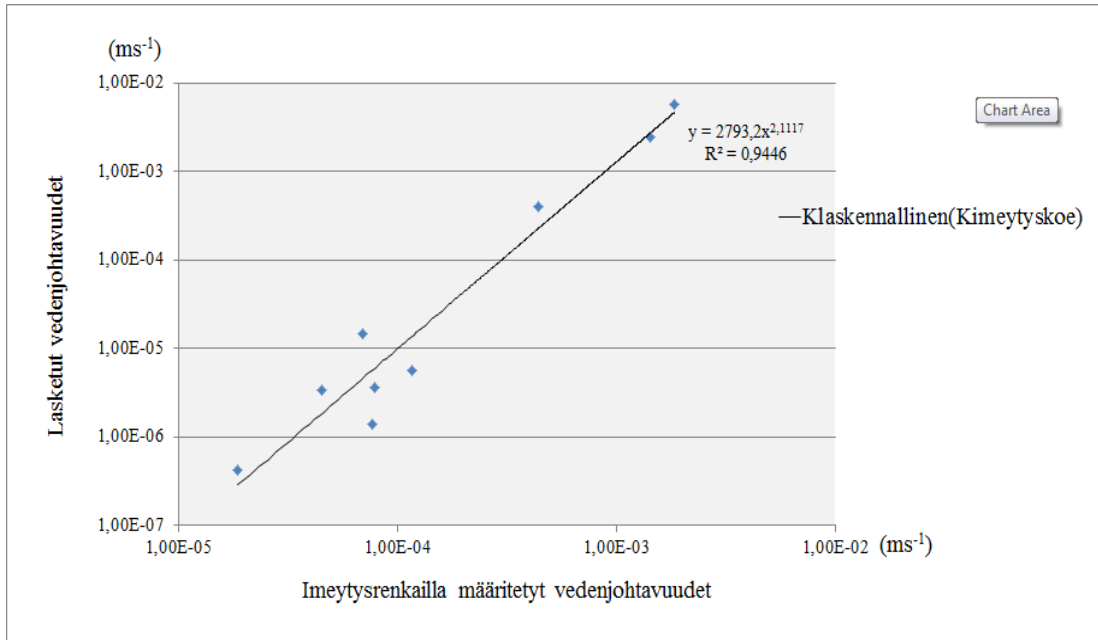
vedenjohtavuusarvojen vaihteluvälin paremmin vettä johtavaan päähän (mm. Fagerström ja Wiesel 1972 ja Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1985). Moreeninäytteet olivat hiekka- ja soramoreeneja (Liite 8), joilla on korkeampi vedenjohtavuus kuin hienoainesmoreeneilla.

Muista maalajeista poiketen siltit ovat vedenjohtavuusarvoiltaan hyvin homogeeninen ryhmä lukuun ottamatta joitakin poikkeavan suuria tai pieniä arvoja. Silttien vedenjohtavuusarvot vaihtelevat välillä $1,2 \times 10^{-10} - 4,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ (välillä $3,1 \times 10^{-8} - 1,9 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, jos poikkeavat arvot jätetään huomioimatta). Useat tahot, mm. Hatva (1985), Fagerström ja Wiesel (1972) sekä Suomen Rakennusinsinöörien liitto (1985), ovat todenneet silttien vedenjohtavuuksien ylärajaksi $10^{-5} - 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$, ja yhdenkään tutkitun siltinäytteen vedenjohtavuusarvo ei ollut näin korkea. Silttien vedenjohtavuusarvojen alaraja on mm. Freeze'n ja Cherryn (1979) ja Soverin (1964) mukaan 10^{-9} ms^{-1} . Kaikki silteistä määritetyt arvot ylittävät tämän rajan lukuun ottamatta yhtä poikkeavaa arvoa (Taulukko 9).

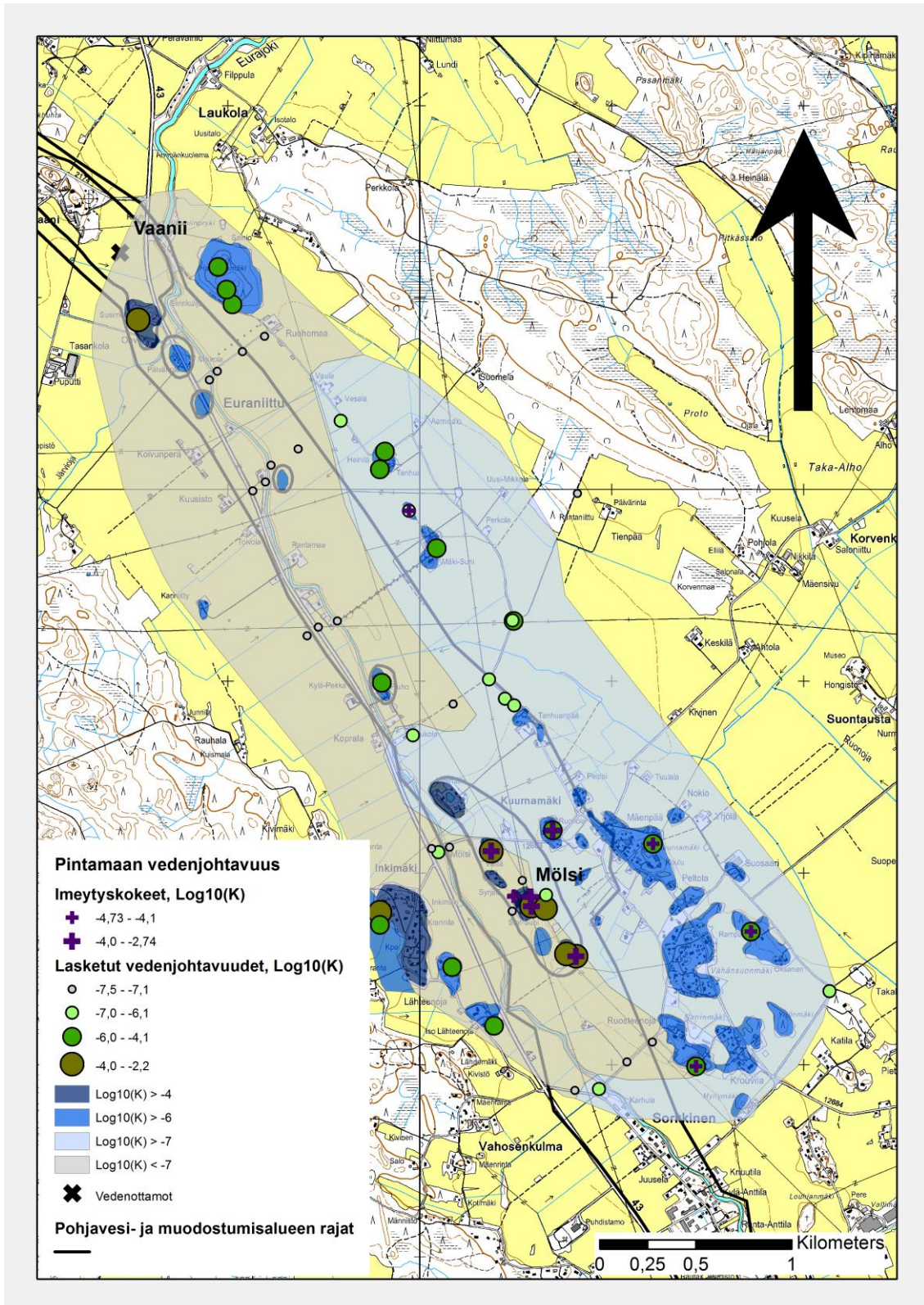
Hiekkojen ja sorien vedenjohtavuusarvot osuvat samalla vaihtelu välille, kuin mitä Hänninen et al. (2000) määrittivät Suomen laajuisesti hiekoista ja sorista vedenjohtavuusarvoja. Hännisen et al. (2000) määrittämät vedenjohtavuusarvot moreeneille olivat välillä $3,2 \times 10^{-9} - 2,6 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Euran moreeninäytteiden vedenjohtavuusarvot olivat välillä $3,2 \times 10^{-7} - 8,4 \times 10^{-5}$, ja ovat keskimäärin pienempiä kuin Hännisen et al. (2000) määrittämät arvot. Määritettyjen silttien vedenjohtavuusarvot olivat välillä $1,2 \times 10^{-10} - 4,5 \times 10^{-6}$, ja Hännisen et al. (2000) mukaan silttien ja savien vedenjohtavuusarvot vaihtelevat Suomessa välillä $5,6 \times 10^{-10} - 4 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$. Samoin kuin moreenien kohdalla, Euran alueen siltit ovat keskimäärin Suomen silttejä heikommin vettä johtavia.

Hiekkojen, sorien ja moreenien kohdalla laskettujen vedenjohtavuuksien todenmukaisuutta voidaan arvioida vertaamalla laskennallisia arvoja näytteenotto paikalle imeytyskokein määritettyihin vedenjohtavuusarvoihin. Carmanin (1937) ja Chapuis'n ja Aubertin'in (2003) mukaan laskennallisten ja kokeellisten vedenjohtavuusarvojen välille voidaan yleensä tehdä hyvällä selitysasteella potenssisovitus. Kuvassa 30 on karkeiden sedimenttien osalta imeytyskokeiden ja laskennallisesti määritettyjen vedenjohtavuusarvojen välinen potenssisovitus.

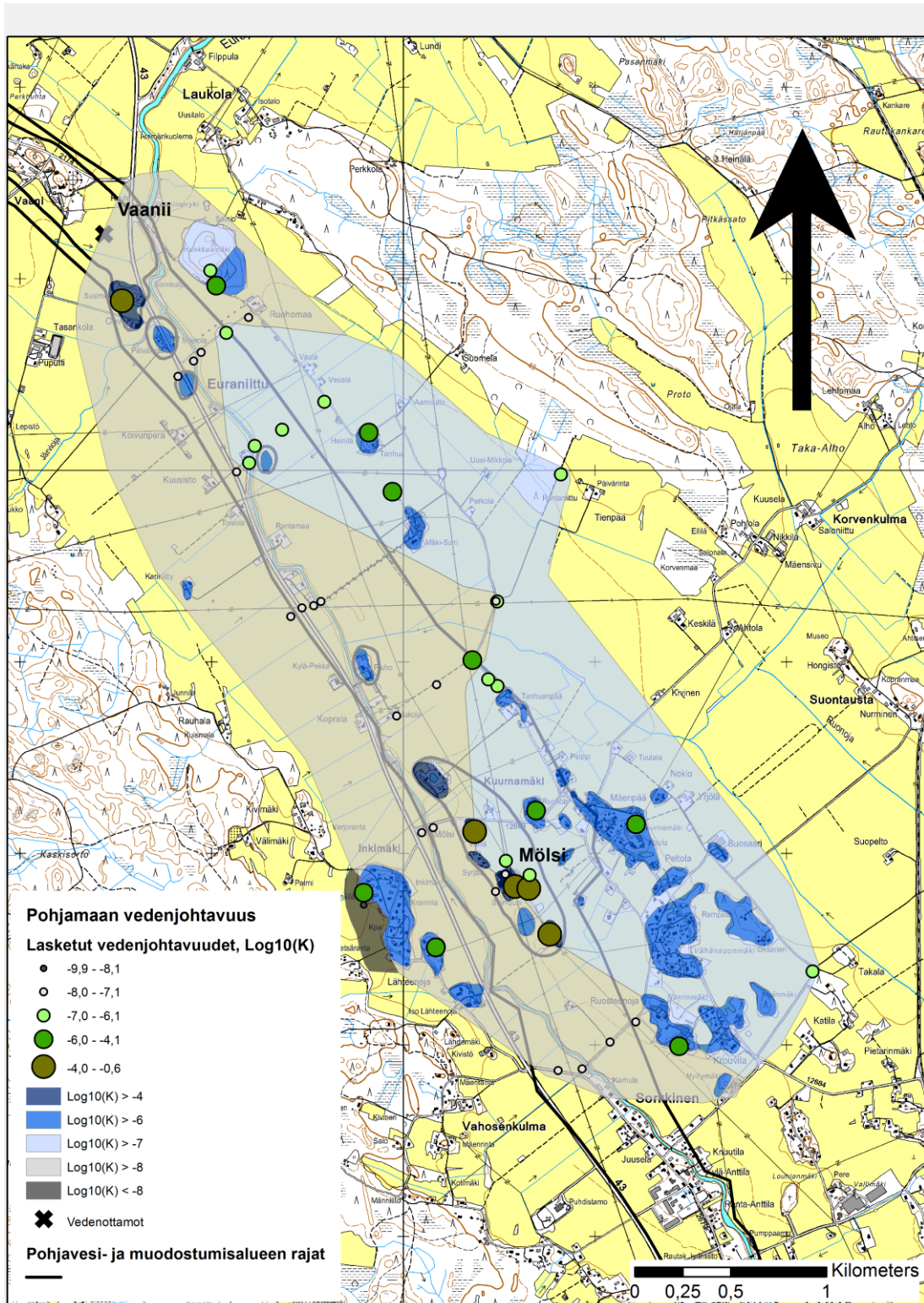
Selitysaste on yli 94 %, joten trendin luotettavuus on erittäin hyvä, ja karkeiden sedimenttien osalta laskennallisia vedenjohtavuusarvoja voidaan pitää tämän perusteella luotettavina.



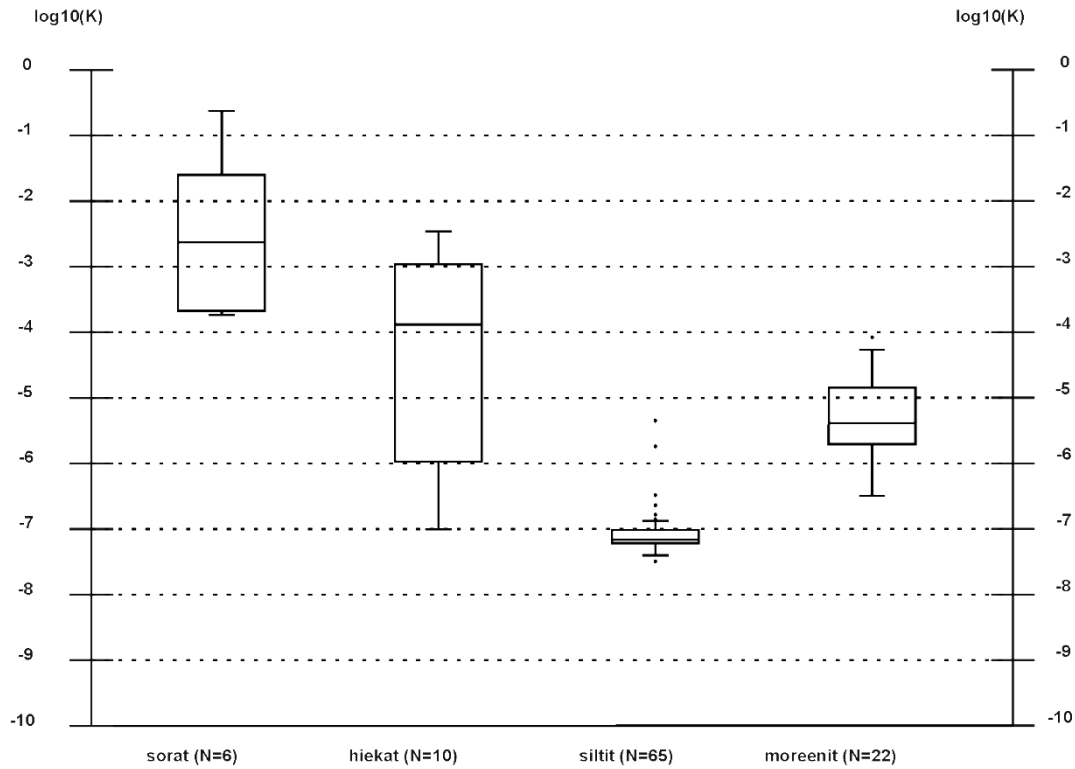
Kuva 30. Imeytyskokeiden perusteella määritetyt vedenjohtavuusarvot ja samalta paikalta otetuista näytteistä määritetyt laskennalliset vedenjohtavuusarvot.



Kuva 31. Pintamaan vedenjohtavuuskartta. Pohjakartta (c) MML ja Pohjavesi- ja muodostumisalueen rajat (c) SYKE.



Kuva 32. Pohjamaan vedenjohtavuuskartta. Pohjakartta (c) MML ja pohjavesi- ja muodostumisalueen rajat (c) SYKE.



Kuva 33. Maalajien raekokojakaumista lasketuista K-arvoista piirretyt Boxplot-diagrammit. Laatikon ylä- ja alaviivat ovat Q1 ja Q3, ja keskiviiva mediaani. Viiksien päät ovat 1,5x IQR:n (Interquartile range, Q3-Q1) päässä Q1:stä ja Q3:sta. Yksittäiset pisteet ovat hieman poikkeavia arvoja.

Taulukko 9. Eri maalajien vedenjohtavuuksia Suomesta ja muualta maailmasta. 1=Hatva 1985 Nystenin 1993 mukaan, 2=Fagerström ja Wiesel 1972 Suomen Rakennusinsinöörien liitto 1985 mukaan, 3=Rantamäki et al. 1997 mukaan, 4=Mälkin 1979 mukaan, 5=Knutssonin ja Morfeldtin 1973 mukaan, 6= Heleneundin 1956 (1963) mukaan, 7= Freezen ja Cherryyn 1979 mukaan, 8= Suomen rakennusinsinöörien liitto 1985 mukaan, 9=Fagerström ja Wiesel 1972 Airaksisen 1978 mukaan ja 10= Soverin 1964 mukaan. 10 ja 11 ovat alun perin otettu rakennusteknisestä luokittelusta, ja maalajit on pyritti sovittamaan mahdollisimman hyvin geoteknisen luokittelun mukaiseksi. K-arvojen (ms^{-1}) vaihteluvälit (geotekninen luokittelu).

	1	2	3	4	5	6
savi	$< 5 \times 10^{-8}$	$< 10^{-8}$	$10^{-8} - 10^{-10}$			
siltti	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-8}$	$10^{-4} - 10^{-9}$			$10^{-4} - 10^{-7}$	
hiekkä	$5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-5}$	$10^{-1} - 10^{-6}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-2} - 5 \times 10^{-6}$	$10^{-2} - 10^{-5}$	$10^{-3} - 10^{-4}$
sora	$5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$	$1 - 10^{-3}$	$10^{-2} - 10^{-4}$	$> 5 \times 10^{-3}$	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^{-1} - 10^{-3}$
moreeni	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-9}$				

	7	8	9	10
savi	$< 10^{-9}$	10^{-8} – 10^{-10}	$< 10^{-9}$	5×10^{-9} – 10^{-11}
siltti	10^{-5} – 10^{-9}	10^{-5} – 10^{-9}	10^{-5} – 10^{-9}	10^{-6} – 10^{-9}
hiekkä	10^{-2} – 10^{-6}	10^{-4} – 10^{-6}	10^{-2} – 10^{-6}	4×10^{-3} – 10^{-6}
sora	1 – 10^{-3}	10^{-2} – 10^{-4}	10^{-1} – 10^{-3}	4×10^{-2} – 10^{-3}
moreeni		10^{-6} – 10^{-10}	10^{-5} – 10^{-10}	

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1. Akviferin rakenne ja virtauskuva

Mölsin ja Euran keskustan välisellä osuudella harjulla on harjannemainen muoto harjanteen keskimääräisen pohjan leveyden ollessa 150 – 300 m ja korkeuden 16 – 19 m. Tällä osuudella sorat ja hiekat ovat kerrostuneet jäätikköjokitunneliin. Linjan 1 ja Mölsin välisellä osuudella harjukerrostumat levenevät ja ohentuvat kaakon suuntaan, ja Linjan 4 kohdalla harjanne on vaikeasti tunnistettavista. Kerrostuminen tällä osuudella on tapahtunut jäätikköjoen suulle subakvaattisessa ympäristössä. Harjun morfologian vaihtelu hienoainespeitteisillä alueilla ei kuitenkaan näy topografian muutoksina maanpinnalla, joten maanpinnantopografian perusteella ei voida tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä harjun rakenteesta. Tästä johtuen harjun tarkan sijainnin ja harjukerrostumien syvyyden selvittäminen on hankalaa. Harjukerrostumien lisäksi hiekat levittäytyvät jatkuvana kerroksena hienoainessedimenttien alla kohti laakson reunoja. Kallion päällä oleva moreenikerros ei ole jatkuva vaan paikoin harjukerrostumat ovat kerrostuneet suoraan kallion päälle. Päälimmäisenä olevat hienoainessedimentit ovat hieno- ja keskirakeisia silttejä.

Vettä hyvin johtavat hiekka- sorakerrokset ovat jatkuvia Vaaniin ja Euran keskustan välisellä osuudella, vaikka niiden paksuudet ja leveydet vaihtelevatkin huomattavasti. Lisäksi harjun ja ainakin joidenkin harjua reunustavien moreenikumpareiden välillä on

hydraulinen yhteys. Hiekkojen ja sorien korkeat veden johtavuusarvot mahdollistavat pohjaveden virtauksen moreenikumpareilta harjuun. Pohjaveden päävirtaussuunnat ovat Kauttua Vaaniin ottamolle, harjua reunustavilta moreenikumpareilta ja laakson reunoilta hienoainessedimenttien alaisissa hiekoissa harjuun. Pohjaveden virtausnopeudet eivät korkeista vedenjohtavuusarvoista huolimatta ole korkeita, koska gradientti on pieni, kuten hyvin vettä johtaville sorille ja hiekoille on tyypillistä.

6.2. Geokemia ja pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus

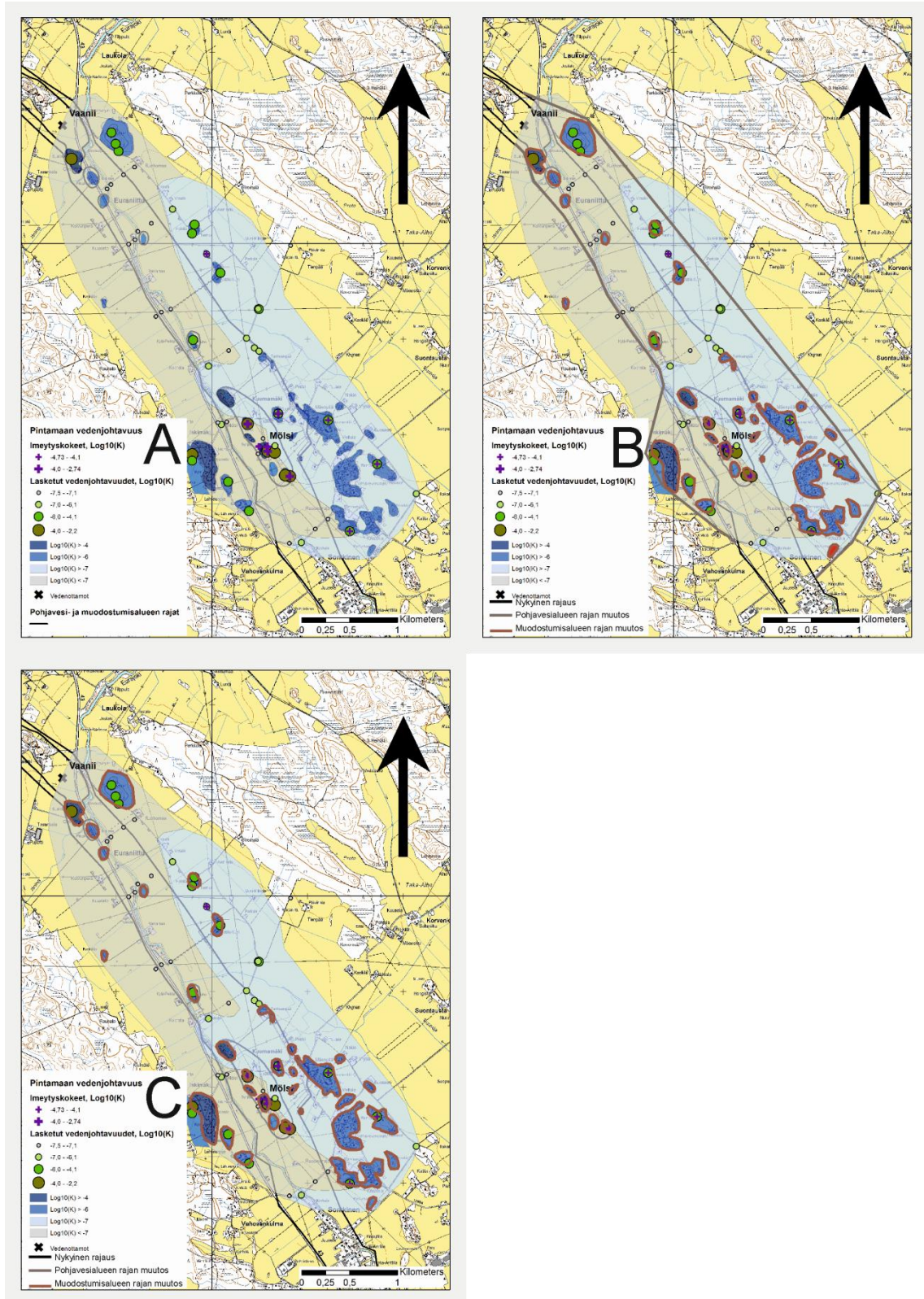
Ainoastaan yhdellä havaintopisteellä voitiin selkeästi osoittaa, että pinta- ja pohjavedet ovat vuorovaikutuksissa. Kauttualla havaintopisteellä K5 pohjavesiputkesta otettu näyte on isotooppikoostumukseltaan melkein täysin pintavettä Pyhäjärvestä rantaimetyymisen kautta. Isotooppikoostumusten perusteella näytteet jakautuvat selkeästi pinta- ja pohjavesiksi. Pinta- ja pohjavedet eroavat toisistaan myös sekä kemialliselta koostumukseltaan että fysikaalisilta ominaisuuksiltaan. Kauttua ja Vaaniin välillä fluoridin ja piin perusteella ei voida todeta olevan pinta- pohjaveden vuorovaikutusta, koska pitoisuudet ovat pieniä. Isotooppikoostumuksen perusteella jokiveteen purkautuu pohjavettä Euran keskustan ja Mölsin välisellä osuudella. Todennäköisesti yhteys pohjaveteen on Mölsin alueella, koska alueen hienoainessedimenttien vedenjohtavuudet mahdollistavat veden imeytymisen ja harjukerrostumat ovat melkein joen pohjan tasolla. Olot akviferissa muuttuvat hapettavista pelkistäviksi Mölsin alueella ja kemiallinen koostumus muuttuu jonkin verran. Akviferi on pinnankorkeusmittausten ja karttatarkastelun perusteella Mölsin alueella vapaa. Vaaniin suuntaan akviferi muuttuu paineelliseksi tai osittain paineelliseksi.

6.3. Rajausmuutokset ja peitteisten akviferien pohjavesialueiden rajaaminen

Muodostumisalueeksi lukeutuvat vedenjohtavuusarvojen perusteella harju- ja moreenikumpareet. Niiden ulkopuolella ei havaittu 10^{-6} ms^{-1} ylittäviä arvoja. Harju- ja moreenikumpareita ympäröiviltä hienoainessedimenttialueilta havaittiin kuitenkin alueita, jotka ovat vedenjohtavuusarvojen perusteella vettä osittain läpäiseviä.

Tulosten perusteella nykyiset pohjavesialueen rajat eivät ole täysin toimivia pohjaveden suojelun kannalta, koska nykyinen rajaus jättää selkeitä muodostumisalueita pohjavesialueen ulkopuolelle. Pohjavedestä on aiemmin havaittu myös torjunta-aineita. Tämän perusteella Vaaniin pohjavesialueen rajoja tulisi muuttaa.

Esitetään neljä vaihtoehtoa A, B ja C (Kuva 34) Vaaniin pohjavesialueen rajojen muutokseen. Ensimmäisessä vaihtoehdossa rajauksiin ei tehdä minkäänlaisia muutoksia (Liite 5A). Toisessa muodostumisalueiksi rajataan harjukumpareiden lisäksi harjujaksoa lähimpänä olevat moreenikumpareet, ja pohjavesialue rajataan kuten Liitteessä 5B. Vaihtoehto C:ssä sekä muodostumis- että pohjavesialue rajataan harju- ja moreenikumpareille. Harjujaksoa reunustavien moreenikumpareiden rajaamista pohjavesialueeksi puoltaa myös Koiviston ja Eerikäisen (1986) määrittämä Vaaniin vedenottamon vaikutusalue (Liite 7). Koska vaihtoehdot A – C on rajattu käyttämättä tietoa Vaaniin vedenottamon vaikutusalueesta, se toimii riippumattomana tukena vedenjohtavuusperustaiselle pohjavesialueiden rajaamismenettelylle.



Kuva 34. Vaaniin pohjavesi- ja muodostumisalueen muutosehdotukset. Pohjakartta © Maanmittauslaitos

Peitteisten akviferien pohjavesialueiden rajaamisessa on kuitenkin merkittäviä ongelmia. Useasti nykyisellä pohjavesialueella on vähän tai ei ollenkaan muodostumisalueeksi

lukeutuvia alueita. Vähäisetkin muodostumisalueet ovat usein sirpaleisesti erillään toisistaan, kuten esimerkiksi Vaaniin pohjavesialueen Vaaniin ja Euran keskustan välisellä osuudella. Muodostumisalueiden väliin jää laajojakin vettä läpäisemättömiä alueita. Peitteisiin akvifereihin täytyy tulla vettä nykyisen pohjavesialueen ulkopuolelta. Tämä hankaloittaa sitä, kuinka laajaksi pohjavesialue tulisi rajata peitteisillä alueilla.

Ongelmana on myös se, että tulisiko muodostumisalueiltaan sirpaleinen pohjavesialue rajata yhtenäiseksi vai ei. Mahdollinen ratkaisu ongelmaan on, että alue rajataan pohjavesialueeksi, kun tietty osuus kokonaispinta-alasta ylittää vedenjohtavuusarvoltaan rajan 10^{-6} ms^{-1} .

Peitteisten akviferien pohjavesialueiden rajauksissa pitää tutkimusten perusteella ottaa huomioon harjun lisäksi myös harjun ulkopuolella olevat hyvin vettä johtavat alueet, joilta voi olla hydraulinen yhteys harjuun. Hydraulisen yhteyden olemassa olo tulisi selvittää. Muodostumisalueen määrittämiseksi ehdotetaan käytettäväksi nykyisen määritelmän sijaan vedenjohtavuusarvoa 10^{-6} ms^{-1} , koska se ei ota kantaa sedimentin laatuun. Nykyinen määritelmä jättää ulkopuolelle silttialueet, joiden vedenjohtavuusarvot ylittävät 10^{-6} ms^{-1} . On myös mahdollista, että hiekan vedenjohtavuusarvo on alle 10^{-6} ms^{-1} .

7. KIITOKSET

Haluaisin kiittää Varsinais-Suomen ELY-keskusta graduprojektin rahoituksesta. Opinnäytetyön ohjaajat Kirsti Korkka-Niemi, Maria Mäkinen ja Veli-Pekka Salonen ansaitsevat kiitokset kärsivällisyydestä ja arvokkaista neuvoista. Laboratorioanalyysissä ovat auttaneet Seija Kultti, Juhani Virkanen ja Paula Niinikoski ja siitä heille kiitos. Taija Torvelaa haluan kiittää ohjeista ArcGis:n ja GoCad:n käytössä. Vanhempiani haluaisin kiittää saamastani tuesta gradun kirjoituksen aikana. Vertaistuesta kiitos opiskelijakollegoille.

8. LÄHDELUETTELO

- Airaksinen, J., U. (1978). Maa- ja pohjavesihydrologia. Kustannusosakeyhtiö Pohjoinen, Oulu, 248 s.
- Air-Ix Oy (1989). Mölsin pohjavesiselvitys. Turku.
- Anon (2000). Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista, No: 461/2000 (annettu Helsingissä 19 päivänä toukokuuta 2000). 5s.
- Bear, J. (1972). Dynamics of fluids in porous media. New York, Elsevier, 784s.
- Brassington, R. (1988). Field Hydrogeology. Chichester, Wiley 175s.
- Britschgi, R., Antikainen, M., Ekholm-Peltonen, M., Hyvärinen, V., Nylander, E., Siiro, P. ja Suomela, t. (2009). Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. Sastamala, 78 s.
- Campbell, J., R. (2003). Limitation in the Laser Particle Sizing of soils. Advances in Regolith. 38-42.
- Carman, P., C. (1937). Fluid Flow Through Granular Beds. Transactions. – Institution of Chemical Engineers. 15(1937)
- Carrier, W., D. (2003). Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 129(11), 1054-1065.
- Chapuis, R., P. ja Aubertin, M. (2003). Predicting the coefficient of permeability of soils using the Kozeny-Carman equation. Montreal, Kanada, 31s.
- Clark, I., D. ja Fritz, P. (1997). Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press, 352s.
- Davis, S., N. (1964). Silica in Streams and Ground Water. American Journal of Science, 262:870-891.
- Fagerström, H., Wiesel, B. ja Steen, B. (1972). Permeabilitet och kapillaritet, Teoksessa Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar 8. Byggnadsnämnden, 43s.
- Faure, G. (1998). Principles and Applications of Geochemistry. Prentice Hall, 625s.
- Finlex (2013). Valtion säädöstietopankki. Sisältö ja ylläpito Edita Publishing Oy. Palvelun tuottaja Edita ja Oikeusministeriö. www.finlex.fi.
- Freeze, A., R. ja Cherry, J., A. (1979). Groundwater. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 604s.
- Griph, H. ja Rodhe, A. (1994). Vattnets väg från regn till back. Hallgren & Fallgren, Uppsala, 156s.
- Hanski, M., Britschgi, R., Friman, T., Leino, J., Mäkinen, M., Palmu, J-P., Poutiainen, J., Pullola, T., Päätaalo, P., Siiro, P. ja Vänskä, M. (2010). Selvitys pohjavesialueiden rajaamisen menetelmistä. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 204s.
- Hatva, T. (1985). Kaatopaikan pohjavesi vaikutukset erilaisissa hydrogeologisissa olosuhteissa. Maarakennus ja kuljetus, 2(23), 55-60.
- Helenelund, K., V. (1956). Pohjarakennus ja maarakennustekniikka / Osa 1: Geotekniikka. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, Otaniemi, 233s.
- HERTTA-tietokanta. Suomen ympäristökeskus Lounais-Suomen ympäristökeskus (2001). Pohjavesialuekortti. Vaanii. 5s.
- Hillel, D. (1982). Introduction to soil physics. Academic Press, Orlando, 364s.
- Hiscock, K. (2005). Hydrogeology: Principles and Practice. Wiley-Blackwell, 408s.
- Horton R. (1933). The Role of infiltration in the hydrologic cycle. Transactions of the American Geophysical Union, 446-460.
- Hyypä, J. (1962). Lyhyt yhteenveto vuosina 1959 – 1962 suoritetusta tutkimuksesta ”Pohjavesitutkimuksia Sodankylän pitäjän pohjoisosaan suunnitellun Lokan Patoamisaltaan ympäristössä”. GTK, Raporttiedosto no: 2939, 2s.
- Hänninen, P. (2000). Suomen maaperän vedenjohtavuus. Vesitalous 41(6), 16-19.
- Joronen, J. (2008). Euran pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Pro gradu –tutkielma, Turun yliopisto, 178s.
- Kaakinen, A. ja Salonen, V-P. (2009). Sedimentologian harjoitustyöt. Helsinki, 26s.
- SYKE. (2007). Kaivoveden analyysitulokset. Sivulla vierailtu 29.01.2013
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=106681&lan=fi>

- Kirkham, D. ja Ploeg, R., R., van der (1975). Groundwater flow patterns in confined aquifers and pollution. International Association of Hydrological Sciences Publications 103
- Knutsson, G. ja Morfeldt, C-O. (1973). Vatten i jord och berg. Ingenjörsläroverket, Tukholma, 172s.
- Koivisto, R. ja Eerikäinen, A. (1986). Vaaniin Pohjavesitutkimus. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy. 43s.
- Konert, M. ja Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology* 44, 523-535.
- Korhonen, J. ja Haavanlammi, E. (2012). Hydrologinen vuosikirja 2006 – 2010. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 116s.
- Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V-P. (1996). Maanalaiset vedet, pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus. Vammala. 181s.
- Kortelainen, N. (2002). Isotooppitutkimukset Virttaankankaalla. Julkaisussa: Kääriä, J. (toim.) Turun seudun tekopohjavesihanketta koskeva tutkimusseminaari. Turun Seudun Vesi Oy, Kirjapaino Grafia Oy, 48s.
- Kortelainen, N. (2007). Isotopic Fingerprints in Surficial Waters: Stable Isotope Methods Applied In Hydrogeological Studies. 43s.
- Kuusela-Lahtinen, A. ja Vahanne, P. (2005). Maaperän heterogeenisuuden vaikutus haitta-aineiden kulkeutumiseen pilaantuneiden maiden riskiarvioinnissa. VTT, Helsinki, 76s.
- Lahermo, P., Juntunen, R., Ilmasti, M. ja Taka, M. (1990), Suomen geokemian atlas, osa 1: Suomen Pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. GTK, Espoo. 66s.
- Lahermo, P., Tarviainen, T., Hatakka, T., Birgitta, 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. GTK, Tutkimusraportti 155, Espoo, 92s.
- Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö T. (1998). Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry.
- Lemmelä, R. (1990). Water balance of a sandy aquifer at Hyrylä in southern Finland. Turun yliopisto, Turku, 105 s. (väitöskirja).
- Limnos.pl (2010). Limnos Water Sampler. http://www.limnos.pl/_inc/products/Batymetr.jpg. Sivulla vierailtu 17.05.2013.
- Lindroos, P., Hyyppä, J., Stén, C-G ja Tuittila, H. (1983). Maaperäkartojen selitykset, lehdet 1132 ja 1134. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo, 73s.
- Lindroos, P. (1983a). maaperäkartta 1134 05
- Lindroos, P. (1983b). maaperäkartta 1134 06
- Lounais-Suomen ympäristökeskus 2001: Pohjavesialuekortti. Vaanii. 5s.
- Maanmittauslaitos (2010). Peruskartta, lehti 3321.
- Maanmittauslaitos (2010). Peruskartta, lehti 3324.
- Maanmittauslaitos (2010). Peruskartta, lehti 3312.
- Maanmittauslaitos (2010). Peruskartta, lehti 3314.
- Malvern (2007). Mastersizer 2000 - user manual. Malvern Instruments Ltd., Worcester, Iso-Britannia.
- Mustonen, S. (1986). Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys, Helsinki, 503s.
- Mälkki, E. (1979). Groun-water flow velocity as an indicator of the permeability and internal structure of eskers. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 32(1979), 42s.
- Mälkki, E. (1999). Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki, Tammisto, 304 s.
- Mäkinen, J. (2004). The Sedimentology and depositional history of the Säskylänharju-Virttaankangas interlobate glaciofluvial complex in SW Finland. Turun yliopisto, Turku, 27s.
- Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne, P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. (1994). Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa 1994. Tielaitoksen selvityksiä 66. Helsinki. 60 s.
- Nystén, T. (1993). Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja, Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 86s.

- Kukkonen, M. (1984a). maaperäkartta 1134 07. GTK,
 Kukkonen, M. (1984b). maaperäkartta 1134 08. GTK,
 Odong, J. (2007). Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Gran-Size Analysis. *Journal of American Science* 3(3), 54-60.
 Putkinen, N. (2011). Geologiset haasteet pohjavesialueiden rajauksissa Etelä-Pohjanmaalla, esimerkkinä Kurikan Kuusistonloukko. Alueellinen vesihuoltopäivä 10.11.2011, Kokkola. viitattu 24.10.2012, 1s.
 Puurunen, O. (2002). Virtaankankaan maaperän vedenjohtavuuskerroinmääritykset infiltrometrinen menetelmällä ja Hazenin laskennallisella menetelmällä. Pro gradu –tutkielma, Turun yliopisto, geologian laitos, maaperägeologia, 60s.
 Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. ja Tammirinne, M. (1997). *Geotekniikka*. Otatieto, Helsinki, 307s.
 Rintala, J., Hyvärinen, V., Illmer, K., Nylander, E., Pulkkinen, P., Rantala, R. ja Siiro, R. (2007). Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat osana vesienhoidon järjestämistä. Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 2007(7), 62s.
 Rintala, J. ja Suokko, T. (2008). Pohjavesinäytteenotto. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 68s.
 Salonen, V-P, Eronen, M. ja Saarnisto, M. (2006). Käytännön maaperägeologia. Turun yliopisto, Turku, 237s.
 Sandborg, M. (1993). Soranoton vaikutus pohjaveteen : Tutkimusraportti III : vajovesitutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 127s.
 Suomen Standardisoimisliitto (1996). SFS-EN ISO 9963-2. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 17s.
 Suomen Standardisoimisliitto (2000). SFS-EN ISO 14911. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 21s.
 Suomen Standardisoimisliitto (2009). SFS-EN ISO 10304-1. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 19s.
 Soveri, J. (1985). Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in Quaternary deposits in Finland. *Vesihallitus*, Helsinki, YYY s. (väitöskirja)
 Soveri, J. (1964). Maalajit ja niiden käyttö, *Julkaisussa: Suomen geologia (Rankama 1964)*. Helsinki, 333-376.
 Suomela, T. (2002). Vesipuitedirektiivi ja Suomen pohjavedet, *Vesitalous* 44(1).
 Suomen Rakennusinsinöörien liitto (1985). *Geomekaniikka I*. Helsinki, 480s.
 Todd, D., K. (1980). *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons, New York, 535s.
 Valjus, T. ja Säävuori, H. 2007: Euran pohjavesialueen geofysikaalisen matalalentoaineiston tulkinta. Euran kunta, Vesihuoltolaitos, Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 11s.
 Ward, R., C. (1967). *Principles of hydrology*. McGraw Hill, London, 402s.

LIITTEET

Liite 1. Vedenjohtavuudet karkeissa sedimenteissä

ID	x	y	matala	syva	K_m/s	lg(K)
KN1	3234598	6795744	1		2,2E-004	-3,7
KN1	3234598	6795744		1	9,6E-004	-3,0
KN2	3235885	6795057	1		1,9E-005	-4,7
KN2	3235885	6795057		1	3,4E-006	-5,5

KN3	3235859	6794964	1		5,4E-005	-4,3
KN4	3235090	6795824	1		3,1E-006	-5,5
KN4	3235090	6795824		1	1,7E-006	-5,8
KN5	3235059	6795902	1		2,1E-006	-5,7
KN5	3235059	6795902		1	3,2E-007	-6,5
KN6	3235015	6796020	1		3,4E-006	-5,5
KN7	3236155	6794553	1		6,7E-005	-4,2
KN9	3236010	6794748	1		4,3E-007	-6,4
KN9	3236010	6794748		1	7,2E-006	-5,1
KN10	3235869	6793851	1		7,2E-006	-5,1
KN11	3236649	6792686	1		2,4E-003	-2,6
KN11	3236649	6792686		1	3,4E-003	-2,5
KN12	3236880	6792425	1		4,0E-004	-3,4
KN13	3236721	6792675	1		2,5E-004	-3,6
KN13	3236721	6792675		1	8,4E-004	-3,1
KN14	3236438	6792973	1		5,8E-003	-2,2
KN14	3236438	6792973		1	1,2E-002	-1,9
KN15	3236453	6792062	1		7,1E-005	-4,2
KN16	3237506	6791851	1		1,4E-006	-5,9
KN16	3237506	6791851		1	1,6E-006	-5,8
KN17	3236759	6793082	1		5,7E-006	-5,2
KN17	3236759	6793082		1	1,5E-005	-4,8
KN18	3237281	6793011	1		3,4E-006	-5,5
KN18	3237281	6793011		1	5,1E-006	-5,3
KN19	3237792	6792554	1		3,6E-006	-5,4
KN20	3236831	6792437	1		1,8E-004	-3,7
KN20	3236831	6792437		1	2,3E-001	-0,6
KN22	3236235	6792368	1		1,4E-005	-4,8
KN22	3236235	6792368		1	4,8E-006	-5,3
KN23	3235859	6792654	1		8,4E-005	-4,1
KN23	3235859	6792654		1	1,4E-005	-4,8

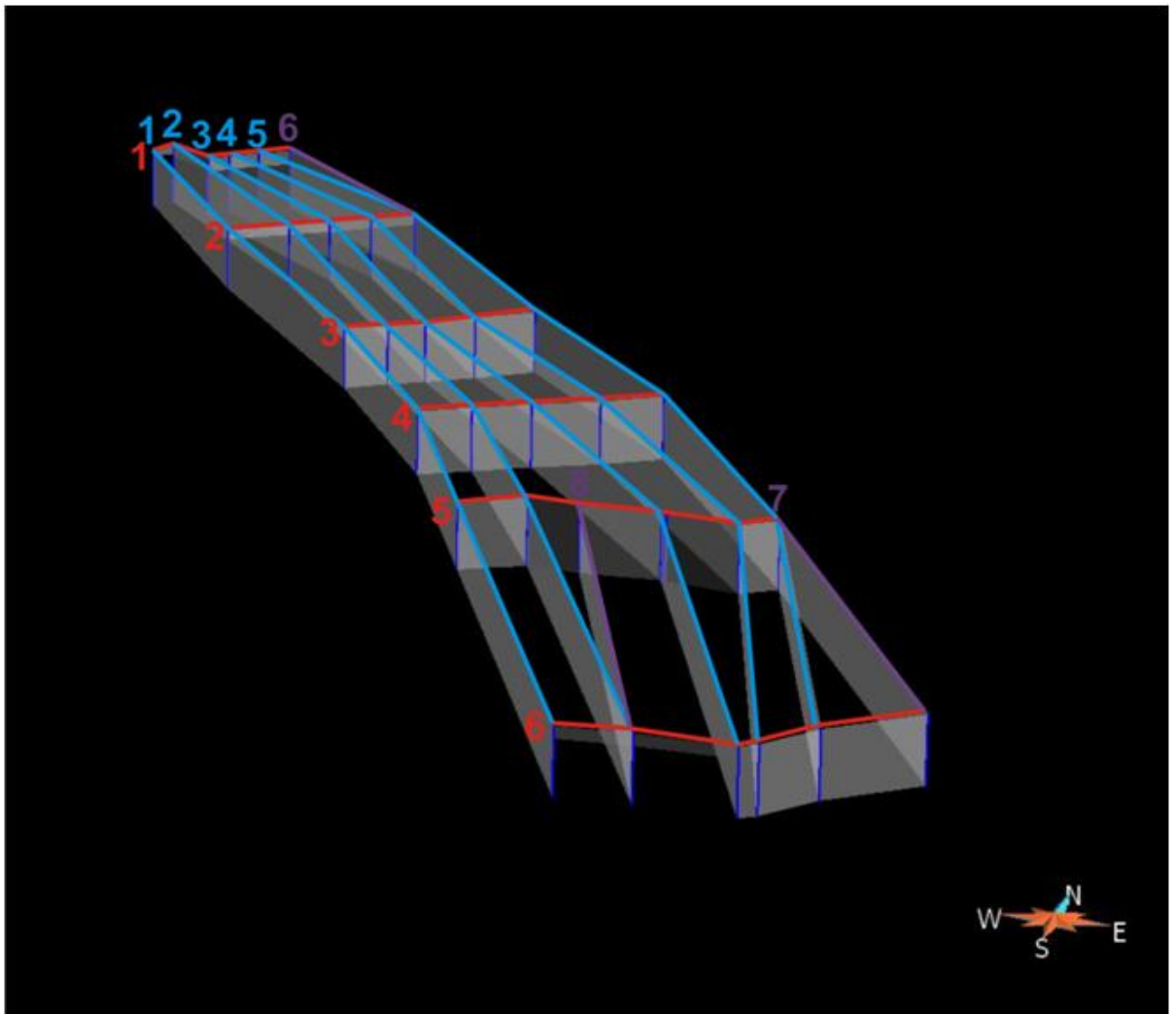
Liite 2. Hienoainessedimenttien vedenjohtavuudet

ID	x	y	pintamaa	pohjamaa	K_m/s	logK
LK-MOLSI-5	3236548	6792660	1		7,2E-08	-7,1
LK2-3	3235291	6794986	1		6,2E-08	-7,2
LK2-4	3235262	6794898		1	9,8E-08	-7,0
LK4-2	3236240	6793740	1		7,7E-08	-7,1
LK4-1	3236427	6793869		1	1,8E-06	-5,7
LK2-3	3235291	6794986		1	9,1E-08	-7,0
LK2-5	3235196	6794851	1		6,5E-08	-7,2
LK2-4	3235262	6794898	1		7,7E-08	-7,1

LK2-2	3235433	6795071		1	8,7E-08	-7,1
LK6-3	3237146	6791874		1	5,6E-08	-7,2
LK1-2	3234971	6795431		1	6,1E-08	-7,2
LK6-4	3237279	6791978	1		6,8E-08	-7,2
LK6-4	3237279	6791978		1	5,3E-08	-7,3
LK2-1	3235654	6795217	1		1,2E-07	-6,9
LK1-5	3235142	6795577		1	9,6E-08	-7,0
LK1-5	3235142	6795577	1		6,8E-08	-7,2
LK6-1	3236874	6791725	1		6,3E-08	-7,2
LK1-4	3235258	6795658	1		7,7E-08	-7,1
LK1-4	3235258	6795658		1	6,2E-08	-7,2
LK2-1	3235654	6795217			1,3E-07	-6,9
LK2-2	3235433	6795071	1		6,9E-08	-7,2
LK1-2	3234971	6795431	1		6,2E-08	-7,2
LK6-3	3237146	6791874	1		3,3E-08	-7,5
LK4-2	3236240	6793740		1	5,2E-08	-7,3
NK-LISA4	3236888	6794838	1		7,1E-08	-7,2
LK6-2	3237000	6791733	1		9,5E-08	-7,0
NK2	3236556	6794174	1		4,5E-06	-5,3
LK4-1	3236427	6793869	1		3,3E-07	-6,5
NK-LISA1	3236510	6793768		1	9,0E-08	-7,0
NK-LISA3	3238202	6792243		1	2,4E-07	-6,6
NK-LISA4	3236888	6794838		1	1,1E-07	-7,0
NK-LISA3	3238202	6792243	1		1,7E-07	-6,8
LK1-3	3235011	6795475		1	6,4E-08	-7,2
NK4	3236601	6792820		1	1,2E-07	-6,9
NK-LISA-A	3235859	6792589		1	1,2E-10	-9,9
LK4-3	3236031	6793577		1	4,8E-08	-7,3
LK6-2	3237000	6791733		1	5,3E-08	-7,3
NK-LISA2	3236550	6794176	1		1,2E-07	-6,9
NK-LISA-A	3235859	6792589	1		1,2E-06	-5,9
NK3	3236558	6793733	1		9,6E-08	-7,0
NK-LISA1	3236510	6793768	1		9,9E-08	-7,0
LK4-3	3236031	6793577	1		8,5E-08	-7,1
NK4	3236601	6792820	1		5,5E-08	-7,3
LK1-1	3234889	6795349	1		5,2E-08	-7,3
NK3	3236558	6793733		1	7,6E-07	-6,1
LK3-4	3235538	6794141	1		6,3E-08	-7,2
LK3-1	3235598	6794152		1	5,9E-08	-7,2
LK3-5	3235479	6794096		1	7,5E-08	-7,1
LK5-3	3236222	6792994	1		6,1E-08	-7,2
LK3-5	3235479	6794096	1		7,1E-08	-7,1
NK6	3236725	6792745	1		9,6E-08	-7,0
LK3-2	3235637	6794174		1	6,5E-08	-7,2
LK1-1	3234889	6795349		1	7,4E-08	-7,1
LK1-3	3235011	6795475	1		5,9E-08	-7,2

NK2	3236556	6794174		1	1,4E-07	-6,8
LK5-1	3236163	6792968	1		1,7E-07	-6,8
LK-MOLSI-3	3236599	6792750		1	4,1E-08	-7,4
LK3-4	3235538	6794141		1	6,7E-08	-7,2
NK3	3236558	6793733		1	1,0E-07	-7,0
NK-LISA2	3236550	6794176		1	6,0E-08	-7,2
NK6	3236725	6792745		1	1,1E-07	-7,0
LK6-1	3236874	6791725		1	6,6E-08	-7,2
LK3-2	3235637	6794174	1		6,5E-08	-7,2
LK5-1	3236163	6792968		1	5,7E-08	-7,2
LK5-3	3236222	6792994		1	6,2E-08	-7,2
LK5-2	3236128	6792987	1		6,2E-08	-7,2
LK-MOLSI-5	3236548	6792660		1	7,0E-08	-7,2
LK2-5	3235196	6794851		1	6,2E-08	-7,2

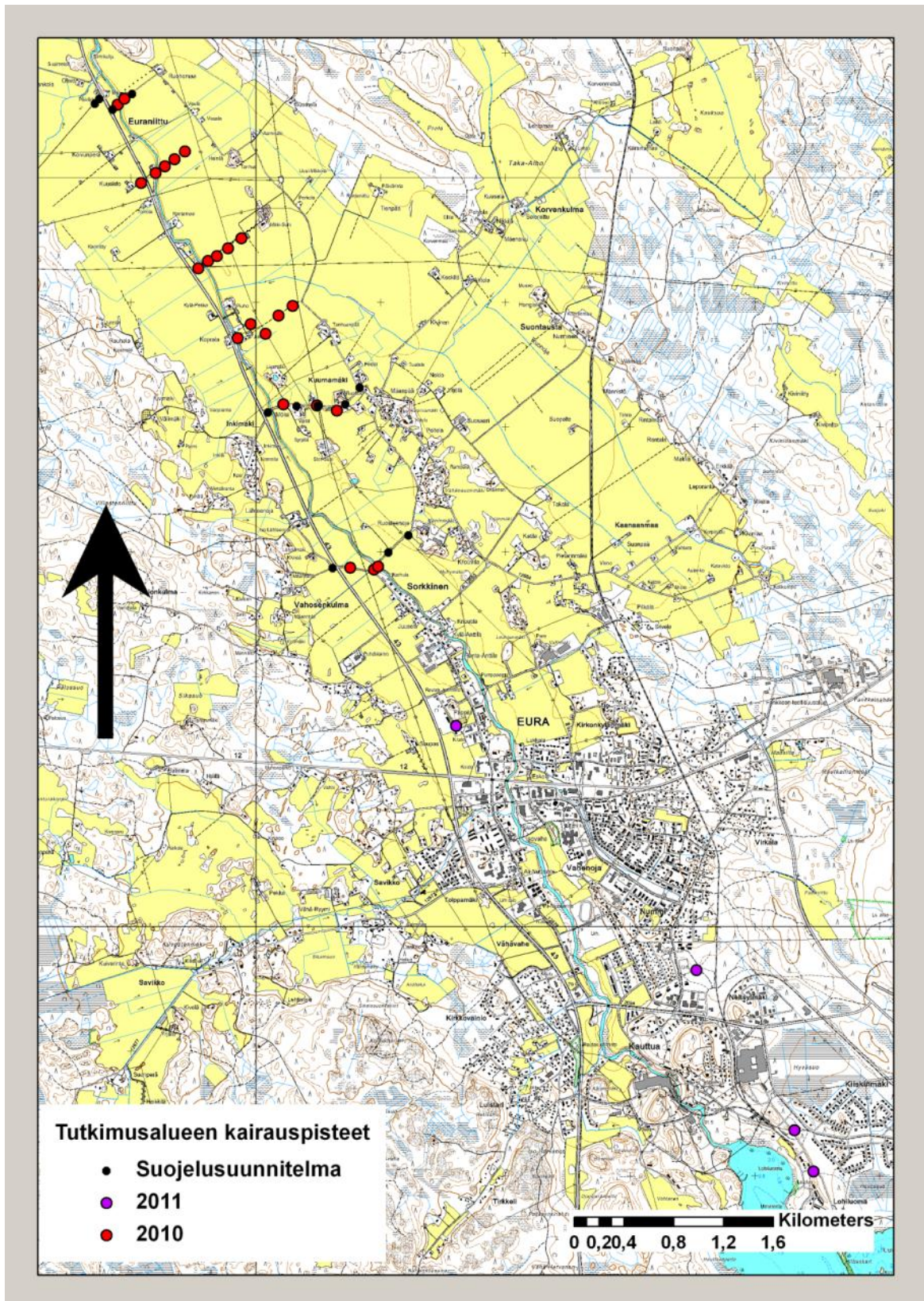
Liite 3. Poikkileikkauslinjat



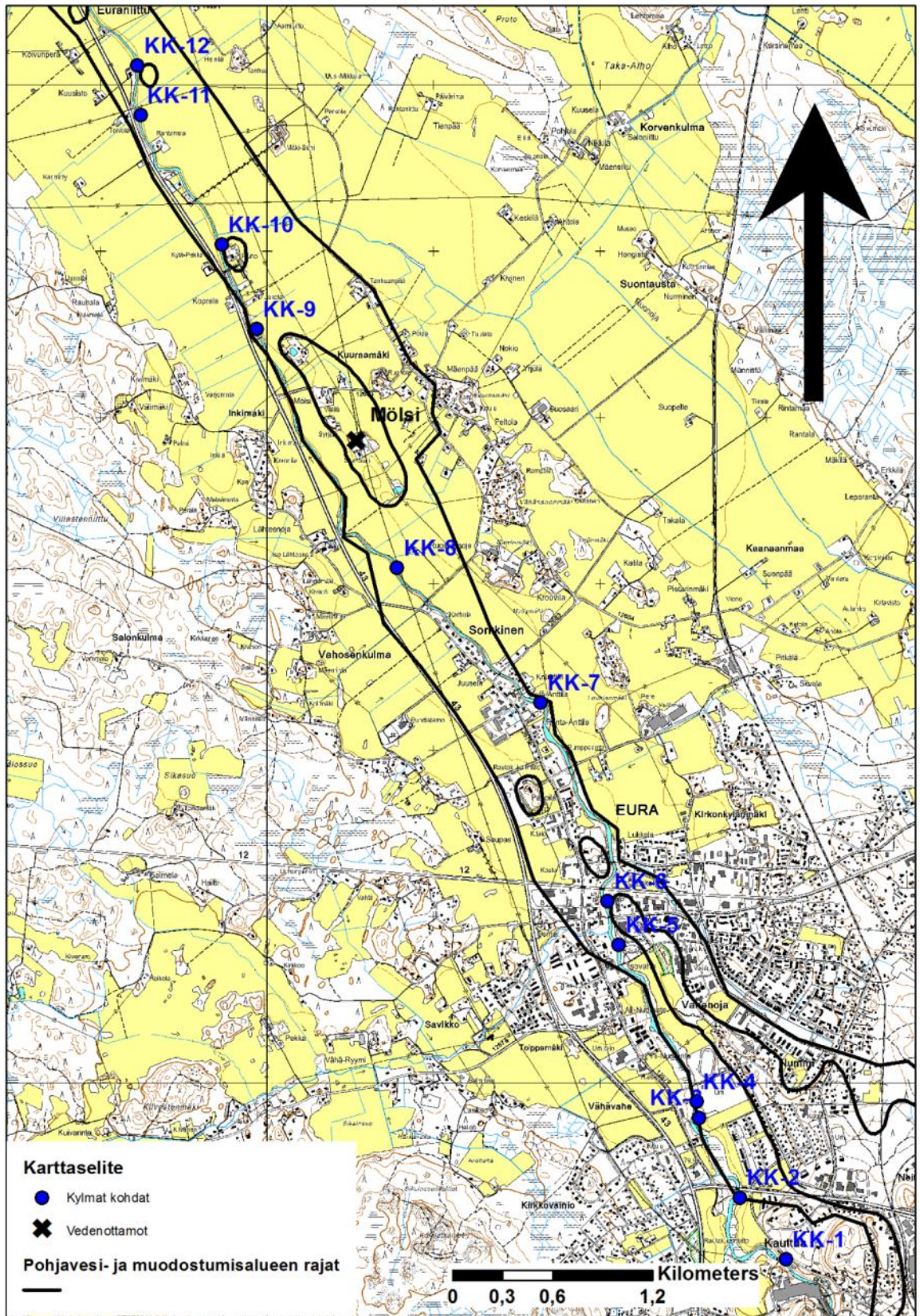
Liite 4. Vesitaselaskelmat

<u>Nykyisellä muodostumisalueella muodostuvan pohjaveden määrä (m3d-1)</u>	
1077	1239
1167	1343
<u>Harjun ulkopuolella muodostuvan pohjaveden laskennallinen määrä (m3d-1)</u>	
376	214
286	110
<u>Harjun ulkopuolisen pohjaveden muodostumiseen vaadittavien moreenialueliden pinta-ala (km2)</u>	
1,0	0,6
0,8	0,3

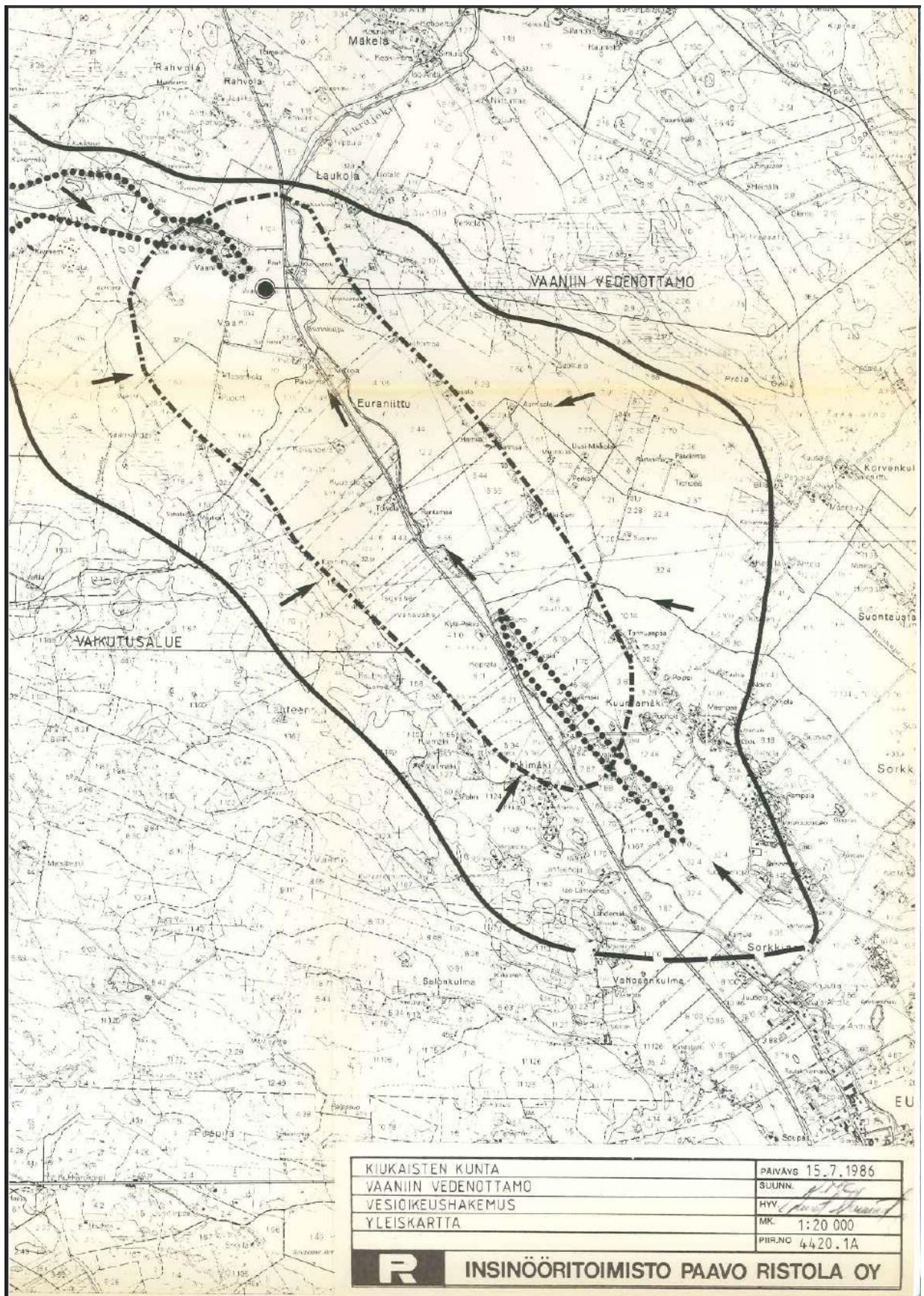
Liite 5. Kairauspaikat



Liite 6. Lämpökamerakuvausten perusteella tulkitut kylmät kohdat Eurajoessa



Liite 7. Vaaniin vedenottamon vaikutusalue ja valuma-alue



Liite 8. Sedimenttinäytteiden raekokoanalyysien tulokset

Karkeiden sedimenttien raekokodata										
	x	y	pintamaa	pohjamaa	kivet(%)	sora(%)	hiekk(%)	hienoaines(%)	d50 (µm)	maalaji
KN1	3234598	6795744	1		0,0	58,1	39,7	2,3	3363,6	sora
KN1	3234598	6795744		1	0,0	71,7	27,8	0,5	6727,2	sora
KN2	3235885	6795057	1		7,5	39,1	44,8	8,7	3363,6	moreeni
KN2	3235885	6795057		1	0,0	37,6	47,5	14,8	840,9	moreeni
KN3	3235859	6794964	1		0,0	53,7	40,6	5,6	3031,4	moreeni
KN4	3235090	6795824	1		13,9	22,1	48,7	15,3	707,1	moreeni
KN4	3235090	6795824		1	0,0	31,6	48,1	20,3	420,4	moreeni
KN5	3235059	6795902	1		0,0	30,8	51,8	17,4	435,3	moreeni
KN5	3235059	6795902		1	0,0	22,4	35,6	42,0	108,8	moreeni
KN6	3235015	6796020	1		0,0	42,7	43,5	13,8	870,6	moreeni
KN7	3236155	6794553	1		0,0	49,4	48,0	2,6	1866,1	hiekk
KN9	3236010	6794748	1		0,0	26,1	35,9	38,1	192,8	moreeni
KN9	3236010	6794748		1	12,0	37,3	39,9	10,8	1834,0	moreeni
KN10	3235869	6793851	1		6,8	40,9	42,0	10,3	1741,1	moreeni
KN11	3236649	6792686	1		0,0	48,2	51,6	0,2	1834,0	hiekk
KN11	3236649	6792686		1	0,0	47,8	52,1	0,1	1834,0	hiekk
KN12	3236880	6792425	1		0,0	0,1	99,3	0,6	203,1	hiekk
KN13	3236721	6792675	1		0,0	6,3	91,0	2,7	594,6	hiekk

KN13	3236721	6792675	1	0,0	7,7	91,5	0,8	615,6	hiekk
KN14	3236438	6792973	1	0,0	56,4	43,1	0,5	2378,4	sora
KN14	3236438	6792973	1	0,0	69,0	31,0	0,0	3482,2	sora
KN15	3236453	6792062	1	0,0	10,1	87,1	2,8	594,6	hiekk
KN16	3237506	6791851	1	8,3	30,2	39,1	22,5	707,1	moreeni
KN16	3237506	6791851	1	10,2	19,3	49,3	21,1	420,4	moreeni
KN17	3236759	6793082	1	0,0	35,3	52,9	11,8	771,1	moreeni
KN17	3236759	6793082	1	0,0	36,8	54,0	9,2	771,1	moreeni
KN18	3237281	6793011	1	0,0	40,7	46,8	12,5	1090,5	moreeni
KN18	3237281	6793011	1	12,1	29,8	45,0	13,1	812,3	moreeni
KN19	3237792	6792554	1	14,5	29,5	44,1	12,0	1189,2	moreeni
KN20	3236831	6792437	1	0,0	69,4	29,6	1,0	6168,8	sora
KN20	3236831	6792437	1	0,0	96,1	3,5	0,3	12996,0	sora
KN22	3236235	6792368	1	13,5	36,1	41,4	9,0	2000,0	moreeni
KN22	3236235	6792368	1	0,0	42,6	44,7	12,8	933,0	moreeni
KN23	3235859	6792654	1	0,0	9,5	82,6	7,9	153,9	moreeni
KN23	3235859	6792654	1	0,0	7,1	77,0	15,9	162,1	moreeni

Hienoainesten
raekokodata

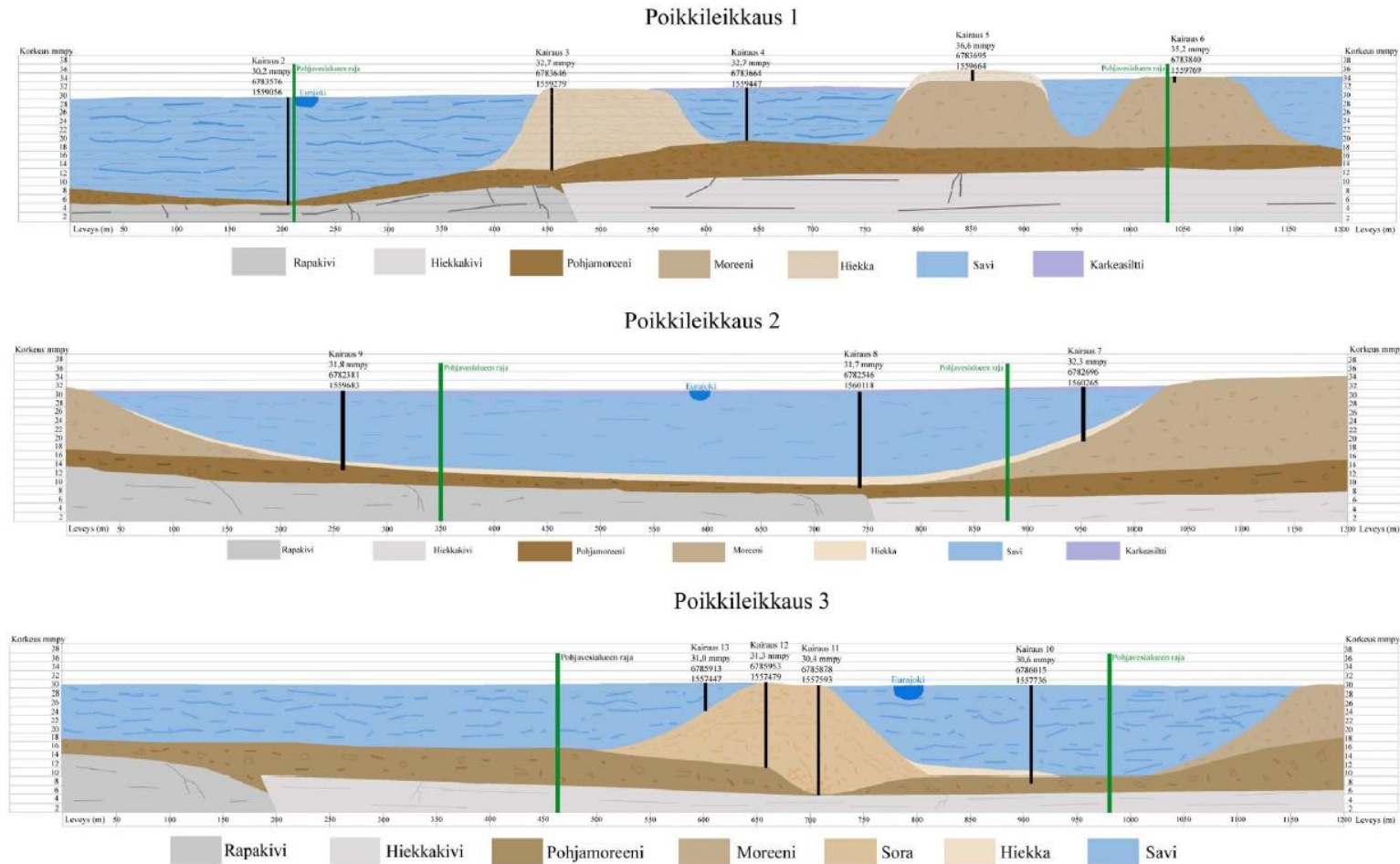
	x	y	pintamaa	pohjamaa	hiekk(%)	siltti(%)	savi(%)	d50 (µm)	maalaji
LK-MOLSI-5	3236548	6792660	1		15,6	81,9	2,6	25,2	siltti
LK2-3	3235291	6794986	1		12,5	83,7	3,8	13,9	siltti
LK2-4	3235262	6794898		1	32,4	65,7	1,9	34,4	hiekkainen siltti
LK4-2	3236240	6793740	1		6,4	90,6	2,9	18,0	siltti
LK4-1	3236427	6793869		1	45,3	54,0	0,7	58,0	hiekkainen siltti
LK2-3	3235291	6794986		1	13,2	84,7	2,2	24,6	siltti

LK2-5	3235196	6794851	1	8,4	88,1	3,4	16,8	siltti
LK2-4	3235262	6794898	1	36,6	61,5	1,9	36,4	hiekkainen siltti
LK2-2	3235433	6795071	1	10,7	86,8	2,4	19,9	siltti
LK6-3	3237146	6791874	1	4,1	90,4	5,5	9,1	siltti
LK1-2	3234971	6795431	1	6,7	89,7	3,6	15,0	siltti
LK6-4	3237279	6791978	1	6,9	89,9	3,2	17,6	siltti
LK6-4	3237279	6791978	1	8,0	87,1	5,0	10,7	siltti
LK2-1	3235654	6795217	1	17,2	80,9	1,9	27,4	siltti
LK1-5	3235142	6795577	1	13,4	84,5	2,1	25,8	siltti
LK1-5	3235142	6795577	1	2,0	92,7	5,3	8,0	siltti
LK6-1	3236874	6791725	1	10,0	85,7	4,3	11,4	siltti
LK1-4	3235258	6795658	1	3,7	92,4	3,9	10,6	siltti
LK1-4	3235258	6795658	1	7,5	88,6	3,9	12,5	siltti
LK2-1	3235654	6795217		22,0	76,4	1,6	32,4	siltti
LK2-2	3235433	6795071	1	5,9	90,2	3,9	11,9	siltti
LK1-2	3234971	6795431	1	65,2	32,9	1,9	415,4	silttinen hiekka
LK6-3	3237146	6791874	1	12,1	83,3	4,6	21,7	siltti
LK4-2	3236240	6793740	1	16,4	80,5	3,1	22,7	siltti
NK-LISA4	3236888	6794838	1	7,2	85,3	7,4	5,2	siltti
LK6-2	3237000	6791733	1	24,3	73,7	2,0	31,6	siltti
NK2	3236556	6794174	1	46,5	53,0	0,5	59,6	hiekkainen siltti
LK4-1	3236427	6793869	1	29,6	69,2	1,2	43,3	siltti
NK-LISA1	3236510	6793768	1	32,6	65,4	2,0	42,2	hiekkainen siltti
NK-LISA3	3238202	6792243	1	8,9	89,7	1,4	21,6	siltti
NK-LISA4	3236888	6794838	1	0,0	96,4	3,6	6,2	siltti
NK-LISA3	3238202	6792243	1	23,8	74,8	1,4	36,6	siltti
LK1-3	3235011	6795475	1	7,4	89,0	3,6	13,4	siltti
NK4	3236601	6792820	1	6,3	91,3	2,5	10,7	siltti
NK-LISA-A	3235859	6792589	1	23,1	53,8	23,1	13,0	savinen siltti

LK4-3	3236031	6793577	1	9,6	86,2	4,2	14,3	siltti
LK6-2	3237000	6791733	1	8,8	87,5	3,6	17,7	siltti
NK-LISA2	3236550	6794176	1	24,8	73,4	1,8	36,7	siltti
NK-LISA-A	3235859	6792589	1	68,9	30,5	0,6	114,3	silttinen hiekka
NK3	3236558	6793733	1	12,1	84,9	3,1	9,6	siltti
NK-LISA1	3236510	6793768	1	55,8	42,9	1,3	89,9	silttinen hiekka
LK4-3	3236031	6793577	1	9,7	87,8	2,5	23,1	siltti
NK4	3236601	6792820	1	39,3	59,0	1,7	44,9	hiekkainen siltti
LK1-1	3234889	6795349	1	6,4	88,7	4,9	11,3	siltti
NK3	3236558	6793733	1	52,3	46,8	1,0	65,4	silttinen hiekka
LK3-4	3235538	6794141	1	3,8	91,7	4,5	10,9	siltti
LK3-1	3235598	6794152	1	7,8	88,7	3,5	15,3	siltti
LK3-5	3235479	6794096	1	6,0	89,9	4,0	10,1	siltti
LK5-3	3236222	6792994	1	6,4	89,9	3,7	14,6	siltti
LK3-5	3235479	6794096	1	0,1	94,6	5,3	7,8	siltti
NK6	3236725	6792745	1	2,6	93,0	4,4	6,2	siltti
LK3-2	3235637	6794174	1	8,3	88,3	3,4	14,0	siltti
LK1-1	3234889	6795349	1	2,4	93,6	4,0	10,1	siltti
LK1-3	3235011	6795475	1	10,7	86,3	3,0	25,9	siltti
NK2	3236556	6794174	1	11,8	86,4	1,8	30,0	siltti
LK5-1	3236163	6792968	1	15,4	83,1	1,6	30,9	siltti
LK-MOLSI-3	3236599	6792750	1	49,5	48,2	2,3	60,8	hiekkainen siltti
LK3-4	3235538	6794141	1	2,2	93,5	4,3	10,4	siltti
NK3	3236558	6793733	1	2,5	94,1	3,4	7,9	siltti
NK-LISA2	3236550	6794176	1	3,8	91,7	4,5	10,8	siltti
NK6	3236725	6792745	1	0,4	96,4	3,2	7,4	siltti
LK6-1	3236874	6791725	1	0,7	93,6	5,7	7,9	siltti
LK3-2	3235637	6794174	1	2,7	92,1	5,2	8,7	siltti
LK5-1	3236163	6792968	1	26,3	70,5	3,1	17,2	siltti

LK5-3	3236222	6792994	1	2,7	92,6	4,7	10,0	siltti
LK5-2	3236128	6792987	1	10,5	83,4	6,1	7,5	siltti
LK-MOLSI-5	3236548	6792660	1	29,1	68,5	2,4	37,9	siltti
LK2-5	3235196	6794851	1	8,5	88,4	3,1	18,9	siltti

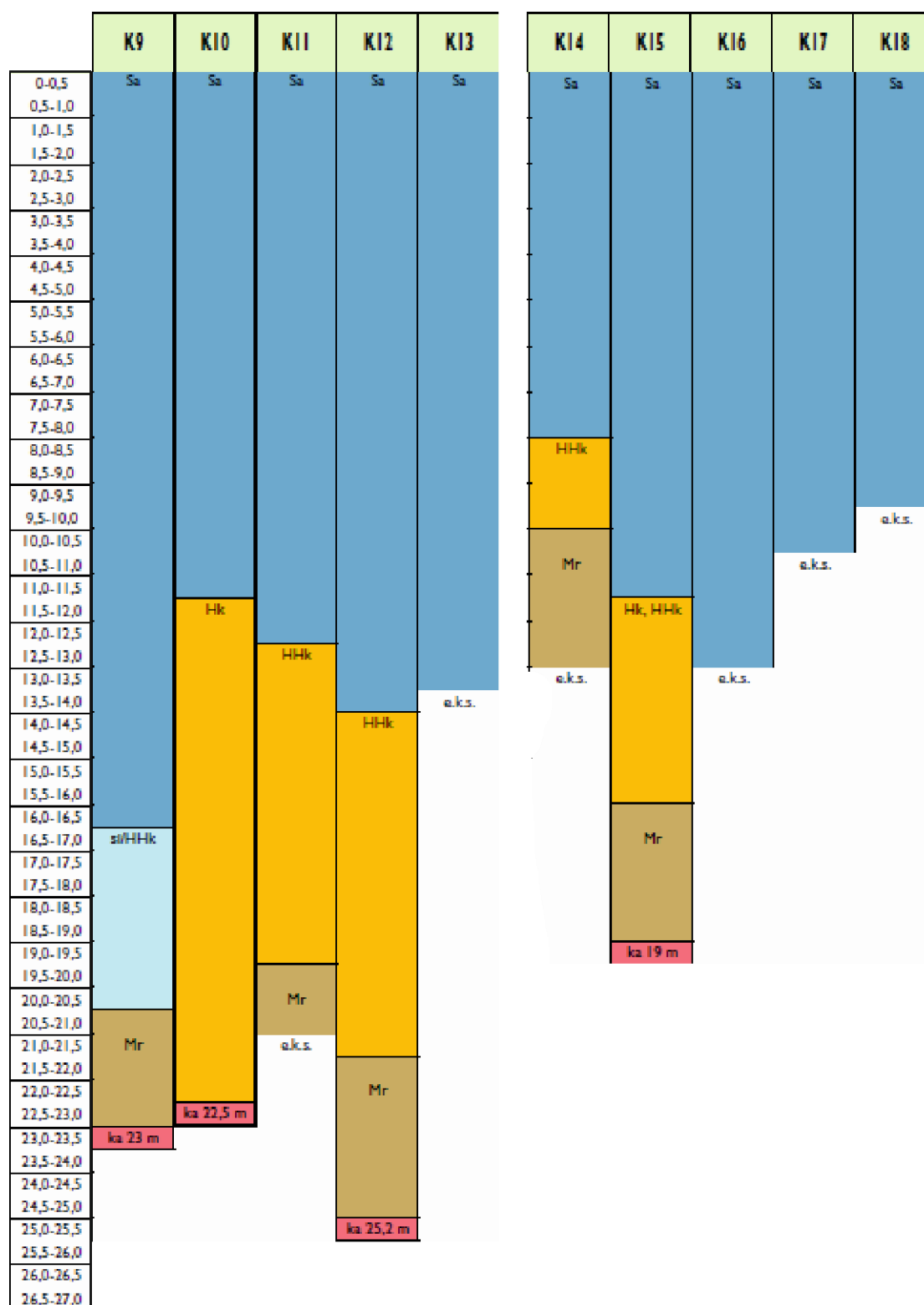
Liite 9. Vanhat poikkileikkaukset Linjoilta 5, 6 ja 1



Liite 10. Poikkilinjat 1 ja 2

	K13/2008	K12/2008	K11/2008	K1	K2	K10/2008	K3	K4	K5	K6	K7
0,0-0,5	Sa	Su/h-Hk	Mr	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
0,5-1,0											
1,0-1,5											
1,5-2,0											
2,0-2,5											
2,5-3,0											
3,0-3,5											
3,5-4,0											
4,0-4,5											
4,5-5,0											
5,0-5,5	Hk	Mr	Su/h-Hk	Su/h-Hk	Sa	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.		
5,5-6,0											
6,0-6,5											
6,5-7,0											
7,0-7,5											
7,5-8,0											
8,0-8,5	Mr	Su/h-Hk	Su/h-Hk	e.k.s.	Sa	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.		
8,5-9,0											
9,0-9,5											
9,5-10,0											
10,0-10,5											
10,5-11,0											
11,0-11,5											
11,5-12,0											
12,0-12,5											
12,5-13,0											
13,0-13,5	Mr	ka 22,1 m	Mr	Hk	Sa	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.		
13,5-14,0											
14,0-14,5											
14,5-15,0											
15,0-15,5											
15,5-16,0											
16,0-16,5											
16,5-17,0											
17,0-17,5											
17,5-18,0											
18,0-18,5	Mr	Hk	Mr	Hk	Sa	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.	e.k.s.		
18,5-19,0											
19,0-19,5											
19,5-20,0											
20,0-20,5											
20,5-21,0											
21,0-21,5											
21,5-22,0											
22,0-22,5											
22,5-23,0											
23,0-23,5											
23,5-24,0											
24,0-24,5											
24,5-25,0											

Liite 11. Poikkilinjat 3 ja 4



Liite 12. Poikkilinjat 5 ja 6

Euran Vaaniin linjan 5 pisteiden K2/2008, K19–K21 ja K4/2008–K5/2008 kairaustulokset.

Kairaussyvyys m	K2/2008	K19	K20	K4/2008	K21	K5/2008
0-0,5	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Hk, HHk
0,5-1,0						
1,0-1,5						
1,5-2,0						
2,0-2,5						
2,5-3,0						Mr
3,0-3,5					Hk, Ki	e.k.s.?
3,5-4,0						
4,0-4,5					w	
4,5-5,0						
5,0-5,5						
5,5-6,0						
6,0-6,5			Hk, HHk			
6,5-7,0						
7,0-7,5						
7,5-8,0						
8,0-8,5						
8,5-9,0						
9,0-9,5		Hk, HHk				
9,5-10,0						
10,0-10,5						
10,5-11,0			Mr		ka 10,5 m	
11,0-11,5			ka 14,4 m			
11,5-12,0						
12,0-12,5				e.k.s.		
12,5-13,0						
13,0-13,5		Si, HHk				
13,5-14,0						
14,0-14,5						
14,5-15,0						
15,0-15,5						
15,5-16,0						
16,0-16,5						
16,5-17,0		Mr				
17,0-17,5						
17,5-18,0						
18,0-18,5						
18,5-19,0						
19,0-19,5						
19,5-20,0		ka 19,5 m				
20,0-20,5						
20,5-21,0						
21,0-21,5						
21,5-22,0						
22,0-22,5						
22,5-23,0						
23,0-23,5						
23,5-24,0						
24,0-24,5						
24,5-25,0		Mr				
25,0-25,5		ka ?				
25,5-26,0						
26,0-26,5						
26,5-27,0						

Euran Vaaniin linjan 6 pisteiden K22–K24 ja K7/2008–K9/2008 kairaustulokset.

Kairaussyvyys m	K9/2008	K22	K23	K24	K8/2008	K7/2008
0-0,5	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
0,5-1,0						
1,0-1,5						
1,5-2,0						
2,0-2,5						
2,5-3,0						
3,0-3,5						
3,5-4,0						
4,0-4,5						
4,5-5,0						
5,0-5,5						
5,5-6,0						
6,0-6,5						
6,5-7,0						
7,0-7,5						
7,5-8,0						
8,0-8,5				HHk, Si, Ki		
8,5-9,0						
9,0-9,5						
9,5-10,0						
10,0-10,5						Hk
10,5-11,0						
11,0-11,5						Mr
11,5-12,0						
12,0-12,5						
12,5-13,0						
13,0-13,5						
13,5-14,0			e.k.s.			
14,0-14,5						
14,5-15,0						
15,0-15,5						
15,5-16,0						
16,0-16,5						
16,5-17,0		Hk				
17,0-17,5						
17,5-18,0		Mr				
18,0-18,5						
18,5-19,0						
19,0-19,5						
19,5-20,0					Hk	
20,0-20,5						
20,5-21,0						
21,0-21,5						
21,5-22,0		HHk, Si			Mr	
22,0-22,5						
22,5-23,0						
23,0-23,5		e.k.s.		ka 23 m		
23,5-24,0						
24,0-24,5						
24,5-25,0						
25,0-25,5						
25,5-26,0						
26,0-26,5						
26,5-27,0						