

Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun

Julkaisu 69/2013

Anna-Liisa Kivimäki, Anne Rautio, Kirsti Korkka-Niemi,
Mikko Brander, Maria Nygård, Heli Vahtera,
Juha Karhu, Veli-Pekka Salonen, Mikko Kiirikki
ja Kirsti Lahti



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun

Anna-Liisa Kivimäki, Anne Rautio, Kirsti Korkka-Niemi,
Mikko Brander, Maria Nygård, Heli Vahtera, Juha Karhu,
Veli-Pekka Salonen, Mikko Kiirinki ja Kirsti Lahti

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry

Julkaisu 69/2013

ISBN 978-952-7019-00-9 (PDF)

ISSN 0357-6671



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry



Sisältö

1	Alkusanat	7
2	Johdanto	8
2.1	Taustaa	8
2.2	Pohjavesien ja pintavesien vuorovaikutusten tutkimukset Suomessa ja muissa maissa	10
2.3	Vapomix-tutkimuksen tavoitteet	12
3	Vantaanjoen valuma-alueen ja kohdetutkimusalueiden kuvaus	12
3.1	Vantaanjoen valuma-alueen joet	12
3.1.1	Jokiuomien pituudet ja virtaamat	13
3.1.2	Jokivesien laatu	14
3.2	Vantaanjoen valuma-alueen maaperä	15
3.2.1	Geomorfologia ja maalajit	15
3.2.2	Pohjavesimuodostumat	17
3.3	Kohdetutkimusalueiden kuvaus	18
3.3.1	Hyvinkäänkylä Vantaanjoella	18
3.3.2	Herajoki	19
3.3.3	Nukari Vantaanjoella	20
3.3.4	Jäniksenlinna Palojoella	21
3.3.5	Koskenmäki Tuusulanjoella	22
3.3.6	Valkealähde Keravanjoella	23
3.3.7	Lepsämänjoki	24
4	Tutkimusmenetelmät	24
4.1	Lämpökamerakuvaukset	24
4.1.1	Taustaa infrapunakuvausten käytöstä vesistötutkimuksissa	24
4.1.2	Kesän 2010 lämpökamerakuvaukset	26
4.1.3	Kesän 2011 lämpökamerakuvaukset	29
4.2	Veden ja sedimentin lämpötilan ja laadun mittaukset	31
4.3	Vesinäytteenotto ja analyysit	32
4.3.1	Taustaa isotooppikoostumuksesta ja silikaattipitoisuuksista	32
4.3.2	Näytteenottopisteet ja näytteenottomenetelmät	35
4.3.3	Vesinäytteiden analyysimenetelmät	38

4.4	Vedenottoaivojen veden laadun mittaukset jatkuvatoimisilla S::can-antureilla .	39
4.4.1	Anturimittaukset keväällä 2011	39
4.4.2	Anturimittaukset keväällä 2012	40
4.5	Virtaamamittaukset	41
4.5.1	Kohdetutkimusalueiden virtaamamittaukset yli- ja alivirtaamakausina ..	41
4.5.2	Pitkän aikavälin päivittäiset virtaamahavainnot ja PART-menetelmä	45
5	Tulokset	48
5.1	Lämpökamerakuvausten tulokset	48
5.1.1	Vantaanjoen lämpökamerakuvausten tulokset	51
5.1.2	Herajoen lämpökamerakuvausten tulokset	54
5.1.3	Palojoen lämpökamerakuvausten tulokset	54
5.1.4	Tuusulanjoen lämpökamerakuvausten tulokset	55
5.1.5	Keravanjoen lämpökamerakuvausten tulokset	56
5.1.6	Lepsämänjoen lämpökamerakuvausten tulokset	58
5.1.7	Yhteenvedo lämpökamerakuvausten tuloksista	60
5.2	Kenttämittausten tulokset	61
5.2.1	Kenttämittausten tuloksia Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä	61
5.2.2	Kenttämittausten tuloksia Palojoella Jäniksenlinnassa	63
5.2.3	Yhteenvedo kenttämittausten tuloksista	65
5.3	Vesinäytteiden analyysitulokset	66
5.3.1	Isotooppimääritysten tulokset	66
5.3.2	Silikaattimääritysten tulokset	75
5.3.3	Pääionimääritysten tulokset	80
5.4	S::can-anturimittausten tulokset	89
5.4.1	S::can-anturimittausten tulokset Hyvinkäänkylässä	90
5.4.2	S::can-anturimittausten tulokset Nukarissa	92
5.4.3	Yhteenvedo S::can-anturimittauksista	95
5.5	Virtaamamittausten tulokset	95
5.5.1	Vantaanjoen virtaamamittausten tulokset	96
5.5.2	Herajoen virtaamamittausten tulokset	98
5.5.3	Palojoen virtaamamittausten tulokset	101
5.5.4	Tuusulanjoen virtaamamittausten tulokset	104
5.5.5	Yhteenvedo virtaamamittausten tuloksista	106
5.5.6	Lepsämänjoen virtaamahavaintojen tarkastelu PART-menetelmällä.	109

6 Johtopäätökset	112
6.1 Lämpökamerakuvauksilla tunnistetut pohjaveden purkautumisalueet ja menetelmän käyttökelpoisuus pohjavesi-pintavesi -vuorovaikutustutkimuksissa	112
6.2 Purkautumisalueiden varmistus ja sekoittumisvyöhykkeiden tunnistus jokiveden ja sedimentin lämpötilamittauksilla	113
6.3 Pohjaveden ja pintaveden osuuskien määrittäminen veden laadun perusteella	114
6.4 Pohjaveden lyhytaikaisten veden laadun muutosten jäljittäminen S::can anturimittauksilla	115
6.5 Purkautuvien ja imeytyvien vesimäärien määrittäminen virtaamamittauksilla	115
Lähdeluettelo	117
Liitteet	
Liite 1. Hyvinkäänkylän tutkimusalue Vantaanjoella 1:7 500	125
Liite 2.1. Herajoen tutkimusalue 1:25 000	126
Liite 2.2. Herajoen tutkimusalue 1:5 000	127
Liite 3. Nukarin tutkimusalue Vantaanjoella 1:5 000	128
Liite 4. Jäniksenlinnan tutkimusalue Palojoella 1:10 000	129
Liite 5. Koskenmäen Hyrylän tutkimusalue Tuusulanjoella 1:5 000	130
Liite 6. Valkealähteen tutkimusalue Keravanjoella 1:20 000	131
Liite 7. Lepsämänjoen tutkimusalue 1:40 000	132
Kuvailulehti	133

1 Alkusanat

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry (VHVSY ry) tutki vuosina 2010–2013 yhteistyössä Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitoksen kanssa (HY) pohjavesien ja pintavesien vuorovaikutuksia Vantaanjoen valuma-alueella. Tutkimushankkeen ”Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun” (Vapomix-hanke) tavoitteena oli selvittää pohjavesimuodostumien ja jokivesien hydraulisia yhteyksiä sekä Vantaan pääuomassa että sen sivuhaaroilla Herajoella, Lepsämänjoella, Palojoella, Tuusulanjoella ja Keravanjoella. Kenttätutkimuksia tehtiin vuosina 2010–2012 käyttäen uusimpia tutkimusmenetelmiä. Ensimmäisessä vaiheessa kenttätutkimuksia tehtiin koko Vantaanjoen valuma-alueella. Tulosten perusteella valittiin erilaisia geologisia ja hydrologisia olosuhteita edustavat kohdetutkimusalueet, joilla tehtiin yksityiskohtaisempia lisätutkimuksia mm. pohjaveden purkautumismäärien selvittämiseksi tutkituilla jokiosuuksilla sekä veden laadun selvittämiseksi pohjaveden ja jokiveden sekoittumisvyöhykkeillä. Lentokuvauksia tehtiin yhteistyössä Heliwest Oy:n, SPECIM Spectral Imaging Ltd:n ja Helitour Oy:n kanssa. Veden laadun jatkuvatoimisissa mittauksissa ja virtaamamittauksissa yhteistyötä tehtiin Luode Consulting Oy:n kanssa.

Tässä loppuraportissa on esitetty Vapomix-tutkimuksen päätulokset Vantaanjoen valuma-alueen jokiosuuksilla. Lisäksi raportissa on esitelty käytetyt tutkimusmenetelmät, niiden toimintaperiaatteet ja arvioitu menetelmien soveltuvuutta pohjavesien ja jokivesien yhteyksien tutkimiseen. Tarkempia kohdetutkimuksia tehtiin jokiuoman läheisyydessä sijaitsevien Herajoen, Hyvinkäänkylän, Nukarin, Jäniksenlinnan ja Koskenmäen pohjavedenottamoiden vaikutusalueella. Edellä mainittujen kohdetutkimusten tulokset raportoidaan yksityiskohtaisesti erillisissä vesilaitoskohtaisissa osaraporteissa.

Vapomix-projektiryhmän jäseniä ovat Juha Karhu (HY), Mikko Kiirikki (Luode Consulting Oy), Anna-Liisa Kivimäki (VHVSY ry), Kirsti Korkka-Niemi (HY), Kirsti Lahti (VHVSY ry), Petri Pellikka (HY), Anne Rautio (HY), Veli-Pekka Salonen (HY) ja Heli Vahtera (VHVSY ry). Hankkeelle nimettiin ohjausryhmä, johon kutsuttiin edustajat hanketta rahoittavista vesilaitoksista sekä Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta. Ohjausryhmän jäseniä ovat Marita Honkasalo (Hyvinkään Vesi), Kimmo Rintamäki (Nurmijärven Vesi), Tiina Oksanen (Riihimäen Vesi), Unto Tanttu (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä) ja Timo Kinnunen (Uudenmaan ELY-keskus).

Kenttätöihin on osallistunut projektiryhmän jäsenten lisäksi suuri joukko kaikkien yhteistyötoimien tutkijoita ja harjoittelijoita: Teemu Haapala (VHVSY ry), Esra Marvin (VHVSY ry), Noora Mielikäinen (VHVSY ry), Maria Nygård (VHVSY ry ja HY), Olli Piekkari (VHVSY ry), Pasi Valkama (VHVSY ry), Nora Berg (HY), Mikko Brander (HY), Paula Niinikoski (HY), Tapio Kallio (HY), Tuuli Toivonen (HY), Olli Huttunen (Luode Consulting Oy), Mikko Kiirikki (Luode Consulting Oy), Ari Laukkanen (Luode Consulting Oy), Antti Lindfors (Luode Consulting Oy), Markku Rantasuo (Heliwest Oy), Katja Alanko-Huotari (SPECIM), Jukka Säkkinen (SPECIM) ja Samuli Nykänen (Helitour Oy). Lisäksi hankkeessa mukana olevien vesilaitosten henkilöstö on ollut suurena apuna näytteenotossa, kenttämittauksissa ja tausta-aineiston kokoamisessa.

Vapomix-tutkimushankkeen rahoittivat seuraavat tahot:

- Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry
- Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos
- Maa- ja vesitekniikan tuki ry
- K.H. Renlundin säätiö
- Hyvinkään Vesi
- Nurmijärven Vesi
- Riihimäen Vesi
- Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä
- Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Raportin tekijät esittävät lämpimät kiitokset Vapomix-tutkimuksen rahoittajille ja kaikille tutkimustyöhön osallistuneille tahoille.

2 Johdanto

2.1 Taustaa

Vantaanjoen vesistöalueen pohjavesivarjoista julkaistiin ensimmäinen yhteenvetoselvitys jo vuonna 1965 (Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry 1965). Tuolloin pohjavesivarjoihin sisällytettiin esiintymät, joiden antoisuus oli selvitetty luotettavasti koepump-pauksilla tai ylivuotomittauksilla, ja antoisuuden oli todettu olevan vähintään 250 m³/d. Vantaanjoen vesistöalueelle purkautuvien kartoitettujen pohjavesiesiintymien valuma-alueiden kokonaispinta-alaksi arvioitiin 115 km² ja yhteiseksi antoisuudeksi 67 500 m³/d. Näin ollen alueen keskimääräiseksi pohjavesivalumaksi arvioitiin 6,8 l/s km². Koko vesistöalueen pohjaveden määräksi (tutkitut pohjavesiesiintymät ja tutkimattomat sora- ja hiekka-alueet) arvioitiin 1,5–1,6 m³/s. Raportissa esitettiin myös arvio pohjavesiesiintymistä Vantaanjokeen purkautuvista pohjavesimääristä. Vantaanjoen keskialivirtaama vuosina 1937–1958 ennen vesistöalueen järvien säännöstelemistä oli 1,4 m³/s. Vuotuisten alivirtaamien todettiin muodostuvan pohjavesiesiintymistä ja järvistä purkautuvasta vedestä, ja kun edellä mainitun yli 20 vuoden havaintosarjan oletettiin tasaavan järvien varastotilan muutoksista johtuvan purkautumisen nollaksi, arvioitiin vesistöalueella muodostuvan pohjaveden määrän olevan lähellä luonnontilaista keskialivirtaamaa.

Ensimmäinen koko maan kattava yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeiden pohjavesialueiden kartoitus tehtiin 1970-luvulla (Vesihallitus 1976). Tässä kartoituksessa määriteltiin pohjavesialueet, joilla yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden pohjavesilaitosten raakavesi pääasiallisesti muodostui. Pohjavesialueiden rajaukset perustuivat kartta- ja maastotarkasteluihin sekä tehtyjen pohjavesitutkimusten ja koepumppausten tuloksiin. Tehostetun pohjavedenoton seurauksena tapahtuvaa rantaimetyymistä (pohjavesiesiintymään hydraulisessa yhteydessä olevasta pintavesistöstä) ei antoisuusarvioissa pääsääntöisesti otettu huomioon, mikäli rantaimetyymistä ei ollut koepumppauksilla varmistettu. Mahdollisesti tapahtuva rantaimetyymien mainittiin kuitenkin pohjavesialuekohtaisissa hydrogeologisissa kuvauksissa.

Tietämys Vantaanjoen valuma-alueen pohjavesimuodostumista on tarkentunut viime vuosikymmeninä mm. vedenottohankkeiden pohjavesitutkimusten, sora- ja hiekkamuodostumien geologisten rakenneselvitysten ja pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien laadinnan yhteydessä. Järjestelmällistä selvitystyötä pohjavesimuodostumien ja pintavesistöjen vuorovaikutuksista ei ole kuitenkaan tehty ennen 2010-lukua. Tarve järjestelmälliseen selvitystyöhön syntyi, koska mm. Euroopan unionin direktiivien mukaiset raportoinnit edellyttävät tarkempaa tietoa vuorovaikutuksista.

Euroopan unionin tulvadirektiivi (2007/60/EC) toimeenpantiin Suomessa lailla tulvariskien hallinnasta (620/2010) ja siihen liittyvällä asetuksella (659/2010), jotka tulivat voimaan kesällä 2010. Vantaanjoen valuma-alueen jokivesistöt ovat tulvimisherkkiä, koska vesistöalueella on niukasti joen virtaamia tasaavia järvioltaita. Vesistöalueen järvet sijaitsevat pääasiassa jokiuomien latvaosissa, joten niiden tasaava vaikutus on vähäinen. Pääuoman keski- ja alajuoksulla on pitkiä ja loivia jokiosuuksia, joilla veden virtaus on hidasta. Jos virtaama kasvaa nopeasti, voi vesi tulla uomasta, koska voimakas virtausvastus hidastaa veden etenemistä uomassa. Lisäksi pääuomassa on keski- ja alajuoksulla useita virtausta padottavia kapeikkoja (esimerkiksi kalliosolat) (Mäntylä & Saarelainen 2008). Ilmastonmuutoksen arvioidaan aiheuttavan aikaisempaa voimakkaampia ja useammin toistuvia tulvatilanteita. Myös maankäytön muutokset ja rakentaminen ovat lisänneet jokivesistöjen tulvaherkkyyttä, koska laajoilta rakennetuilta ja ojitetuilta alueilta vedet valuvat vesistöön nopeammin kuin luonnontilaisilta alueilta, aiheuttaen suuria ja lyhytkestoisia virtaamahuippuja (Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010).

Tulvariskien hallintaa varten on ELY-keskuksissa tehty tulvariskien alustava arviointi. Vantaanjoen vesistöalueella tehdyssä arvioinnissa tunnistettiin seuraavat tulvariskialueet: Vantaanjoen alaosalla Savela-Pukinmäen alue, Vantaanjoen yläosalla Riihimäen keskusta-alue, Keravanjoen varrella Nikinmäki-Jokivarren alue sekä Hirvijärven koillisranta (Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010). Viimeisin mittavia vahinkoja rakennuksissa, tiestössä ja muussa infrastruktuurissa aiheuttanut tulvatilanne koettiin vuonna 2004, jolloin virtaama Vantaanjoessa oli alajuoksulla Myllymäen virtaamahavaintoasemalla suurimmillaan 119 m³/s (keskivirtaama 12,2 m³/s, keskialivirtaama 1,8 m³/s) ja Oulunkylän asemalla 175 m³/s (keskivirtaama 16,0 m³/s, keskialivirtaama 2,1 m³/s). Kesän 2004 tulvajakso aiheutti myös raakaveden laatuongelmia Riihimäen Herajoen ja Hyvinkään Hyvinkäänkylän pohjavedenottamoilla (Mäntylä & Saarelainen 2008).

EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EC) mukaan pohjavesimuodostumille on tehtävä ominaispiirteiden alkutarkastelu, jonka yhteydessä selvitetään vesimuodostumien sijainti ja rajat. Lisäksi tulee tunnistaa ne pohjavesimuodostumat, joista maa- ja pintavesiekosysteemit ovat riippuvaisia. Mainitunlaisia ekosysteemejä ovat esimerkiksi sellaiset pintavesistöt, joihin purkautuu merkittävässä määrin pohjavettä, sekä pohjavesistä riippuvaisten luontotyyppit, kuten lähteet tai suojelun piirissä olevat suoalueet. Tämä pohjavesistä riippuvaisten maa- ja pintavesiekosysteemien kartoitustyö on tarkoitus tehdä pohjavesialueiden rajausten ja luokittelun tarkistustyön yhteydessä 1.1.2019 mennessä (Ympäristöministeriö 17.12.2012). Luokittelun tarkistustyössä tarvitaan nykyistä tarkempaa tietoa Vantaanjoen valuma-alueella sijaitsevien pohjavesimuodostumien ja pintavesien vuorovaikutuksista, sekä kriteerit ja indikaattorit pohjavesistä riippuvaisten puro- ja jokiuomien, lähdealueiden ja suojeltavien suoalueiden tunnistamiseksi.

2.2 Pohjavesien ja pintavesien vuorovaikutusten tutkimukset Suomessa ja muissa maissa

Pohjavesien ja pintavesien vuorovaikutuksen ajallisiin ja paikallisiin vaihteluihin vaikuttavat geologiset ominaispiirteet, topografia ja ilmasto (Winter ym. 1998). Suomessa vesivarojen tutkimuksessa ja hallinnassa on perinteisesti keskitytty joko pintavesiin tai pohjavesiin. Pinta- ja pohjavedet ovat kuitenkin lähes aina vuorovaikutuksessa keskenään (Winter ym. 1998). Pohjaveden purkautumisella vesistöön on paikoitellen suuri vaikutus Suomen vesistöjen tilaan. Pintavesistöön purkautuva pohjavesi tarjoaa ympärivuotisen tasalämpöisen ja viileän (kesä) / lämpimän (talvi) ympäristön, joka on tietyillä kalalajeilla (lohi, taimen) edellytyksenä lisääntymiselle (Sinokrot ym. 1995). Toisaalta pintavettä voi suotautua pohjavesimuodostumiin vedenoton seurauksena tai lyhytaikaisina tulvakausina. Pintavesiyhteys voi lisätä pohjavesimuodostumasta vedenhankintaan käytettävissä olevan veden määrää. Pinta- ja pohjavesien vuorovaikutusten määrittäminen on tärkeää, sillä pohjaveden laadun huonontuminen ja pilaantuminen voi vaikuttaa myös pintavesistöjen veden laatuun heikentävästi, ja toisaalta pintavesien pilaantuminen voi huonontaa pohjaveden laatua (Winter ym. 1998, Rosenberry ja LaBaugh 2008). Kemiallisten ja fysikaalisten keskinäisten vuorovaikutusten ymmärtäminen on oleellista, jotta pinta- ja pohjavesiä koskevien tutkimusten tuloksia voidaan tulkita oikein. Vuorovaikutuspaikkojen sekoittumisvyöhykkeissä hiilen, hapen, ravinteiden ja muiden kemiallisten yhdisteiden saatavuus vaihtelee (Winter ym. 1998). Vedenpinnan korkeuksien vaihteluiden seurauksena hydraulisen yhteyden suunta voi vaihdella, minkä seurauksena hapetus-pelkistys-olosuhteet sekoittumisvyöhykkeessä voivat vaihdella. Tämä puolestaan vaikuttaa geokemiallisiin prosesseihin sekoittumisvyöhykkeen sedimentissä ja maakerroksissa.

Wossner (2000) luokittelee jokiuomat **1)** pohjavettä kerääviksi; **2)** vettä luovuttaviksi; **3)** läpivirtausuomiksi ja **4)** uomiksi, jossa pohjavesi virtaa jokiuoman suuntaisesti. Pohjavedellä on suuri vaikutus jokivirtaamien ylläpitäjänä alivirtaamakaudella. Kansainvälisissä tutkimuksissa onkin 2000-luvulla alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota pohjaveden merkitykseen jokiekosysteemeille. Kasvavana huolena jokiekosysteemien tulevaisuuden kannalta on ilmastomuutoksen sekä maankäytön muutoksien aiheuttama jokiveden lämpeneminen ja vedenotossa tapahtuneiden muutosten aiheuttama jokivirtaamien pienentyminen. Nämä tekijät ovat joissain tapauksissa johtaneet jokien kuivumiseen ja jokiekosysteemien muuttumiseen ja lajien häviämiseen (Woessner 2000). Pohjavesikomponentin tärkeyttä jokien vesitaseessa osoittaa mm. tutkimustulos, jonka mukaan 30 vuoden havaintojakson aikana erilaisissa fysiografisissa ja ilmastollisissa olosuhteissa USA:ssa sijaitsevista 54 joesta pohjavalunnan (pohjavesikomponentti) keskiarvo oli 52 % (Winter ym. 1998).

Järvien ja pohjaveden vuorovaikutustutkimus on ollut kasvussa 1960-luvulta lähtien (Winter 1995, Sophocleous 2002). Jokilatvojen, kosteikkojen ja rannikkojen vuorovaikutus pohjaveden kanssa on ollut lisääntyvissä määrin tutkimuskohteena 1980-luvulta lähtien (Winter 1995). Tieteellisten julkaisujen määrä kasvoi tasaisesti 1970-luvun 41 kansainvälisestä julkaisusta (GeoRef-tietokanta) 1990-luvun 392 kansainväliseen julkaisuun. 2000-luvulla julkaisujen määrässä tapahtui selkeä kasvu: vuosina 2000–2009 1 766 kappaletta. Vuoden 2010 alusta 2013 helmikuun loppuun julkaisuja on kertynyt 1 006 kappaletta, mikä kuvaa sekä tutkimusalan edelleen jatkuvaa kasvua että sen tarpeellisuutta ja ajankohtaisuutta vesivarojen hallinnoinnissa. Kansainvälisissä tieteellisissä kokouksissa pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutustutkimus on ollut hyvin esillä.

Suomessa pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksia on tutkittu 2000-luvun lopulta lähtien. Turun yliopiston Geologian laitos aloitti syksyllä 2008 pilottihankkeen pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusten tutkimiseksi Säkylän Pyhäjärvellä (Rautio 2009, Korkka-Niemi ym. 2009, Wiebe ym. 2009). Tässä esitutkimuksessa testattiin menetelmiä pintavesi-pohjavesi-vuorovaikutusten havainnoimiseksi sekä kartoitettiin Pyhäjärvelle soveltuvia tutkimusmenetelmiä. Jatkotutkimusten tavoitteena Pyhäjärvellä on ollut kehittää tutkimusmenetelmiä, selvittää pohjaveden osuutta järven vesitaseesta sekä tutkia järveen suotautuvan pohjaveden vaikutusta järviveden laatuun, ravinnetaseeseen sekä pohjakaasvillisuuteen. Pyhäjärvellä tehtiin vuosina 2008–2012 kenttätutkimuksia, joissa käytettiin pohjaveden purkautumispaikkojen tutkimisessa mm. suotomittareita ja mini-pietsometrejä. Vesinäytteitä otettiin yli vuoden tarkkailujakson ajan, ja näytteistä määritettiin hapen ja vedyn isotooppikoostumukset, pääionikoostumus ja liuenneen silikaatin pitoisuudet. Suuren mittakaavan tutkimusmenetelmiä projektissa ovat olleet lämpökameralentokuvaus ja maatutkaukset. Tutkimuksesta on saatu arvokasta tietoa eri tutkimusmenetelmien sopivuudesta Suomen olosuhteisiin järviympäristössä. Lisäksi on havaittu eri menetelmien rinnakkaisen käyttämisen tarpeellisuus vuorovaikutustutkimuksessa tulosten varmentamiseksi. Pyhäjärvellä pohjavesi purkautuu järviveteen tutkimuksen perusteella 10 km pituiselta rantavyöhykkeeltä järven koillisrannalla. Pohjaveden purkautuminen on ajallisesti ja paikallisesti hyvin vaihtelevaa ja kenttämittauksissa on voitu todentaa heterogeenisten järvisedimenttien (savi, kivikkopohja, turve, hiekka ja sora) vaikutus suotovirtauksen suureen paikalliseen vaihtelevuuteen. Pyhäjärven tutkimuksissa hankittua kokemusta tutkimuslaitteistosta ja menetelmistä sovellettiin Vapomix-hankkeen yhteydessä. Osa järvissä käytettyä tutkimuslaitteistosta ei sovellu virtaavan veden ympäristöön, esim. suotomittarit ja mini-pietsometrit. Suotomittareiden käytössä rajoittavana tekijänä on jokiveden syvyys ja uoman reunojen jyrkkyys, pohjasedimentin koostumus (tiivis savi-lieju) sekä jokiveden virtausnopeus.

Oulun yliopiston Thule-instituutissa käynnistettiin vuonna 2009 laaja kansainvälinen yhteistyöprojekti, jossa on tutkittu pohjavesistä riippuvaisia ekosysteemejä, ja pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksia erityisesti pohjavesimuodostuman purkautumisalueiden suoalueiden vesitasetta ja suo-ojitusten aiheuttamia muutoksia pohjaveden purkautumiseen (Rossi ym. 2012, Kløve ym. 2011, 2011). Projektin päätavoitteina on lisätä tietoa pohjaveden merkityksestä pohjoisille vesistöille sekä arvioida maankäytön ja ilmastomuutoksen vaikutuksia pohjavesimuodostumiin ja niistä riippuvaisiin ekosysteemeihin.

Lakeuden Vesi Oy ja Pöyry Finland Oy tekivät elokuussa 2009 lämpökameralentokuvauksia Karvianjoella pohjaveden purkautumispaikkojen kartoittamiseksi Pohjankankaan alueella (Ikäheimo & Ristolainen 2010). Lentokuvaukset tehtiin helikopterilla 65–150 metrin korkeudesta, ja kuvauksissa käytettiin gyrostabiloitua kameratelinettä, joka mahdollistaa maanpintaan nähdä kohtisuoran kuvauksulman riippumatta helikopterin lentokulmasta. Saatujen tulosten perusteella todettiin, että lämpökamerakuvaus soveltuu erinomaisesti pohjaveden purkautumispaikkojen kartoitukseen jokien, järvien ja meren ranta-alueilla (Ikäheimo & Ristolainen 2010).

Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitoksen geologian osaston ja Northland Mines Oy:n yhteistoimintana aloitettiin 2011 Kolarissa tutkimusprojekti, missä yhtenä tutkimuskohteena on pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksen laajuuden selvittäminen tutkimusalueella. Tutkimusmenetelminä on käytetty jokiuomien lämpökamerakuvausten ohella mm. pohjaveden korkeushavaintoja ja sedimenttien raekoko- ja vedenjohtavuusanalyysijä.

2.3 Vapomix-tutkimuksen tavoitteet

Vapomix-tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tavoitteina oli **1)** kartoittaa Vantaanjoen ja sen sivujokien ne osuudet, joilla on merkittävä hydraulinen yhteys pohjavesimuodostumiin. Koko valuma-alueen kattavassa kartoituksessa tunnistettiin jokiosuudet, joilla jokiuomaan purkautuu pohjavettä. Osalla näistä jokiosuuksista voi ylivirtaama- ja tulvakausina hydraulinen yhteys muuttua päinvastaiseksi, kun jokiveden pinta nousee väliaikaisesti pohjaveden pinnan yläpuolelle ja jokivettä suotautuu pohjavesimuodostumaan. Tutkimuksen toisessa vaiheessa **2)** selvitettiin vedenhankinnallisesti tärkeillä kohdetutkimusalueilla pohjaveden purkautumismääriä jokiuomaan ja/tai rantaimeytymisen tehokkuutta yli- ja alivirtaamakausina. Lisäksi tavoitteena oli **3)** selvittää geologisilta ja hydrologisilta olosuhteiltaan erityyppisillä kohdetutkimusalueilla pohjaveden ja pintaveden osuuksia sekoittumisvyöhykkeissä, ja **4)** vaikutukset veden laatuun. Jokiuoman läheisyydessä sijaitsevilla pohjavedenottamoilla pohjaveden laatu voi väliaikaisesti huonontua, jos ylivirtaamakautena pintavettä sekoittuu pohjaveteen. Lisäksi hapetus-pelkistys-olosuhteiden vaihtelut sekoittumisvyöhykkeessä voivat aiheuttaa välillisiä pohjaveden laadun muutoksia. Pohjaveden purkautuminen jokiuomaan voi puolestaan parantaa jokiveden laatua laimentamalla hulevesien mukana jokiveteen kulkeutuneiden haitta-aineiden pitoisuuksia. Toisaalta, jos pohjavedessä esiintyy korkeita pitoisuuksia haitta-aineita, voi pohjaveden purkautuminen aiheuttaa ei-toivottuja muutoksia pohjavesistä riippuvaisten lähteiden ja uomien kasvi- ja eläinlajistoon.

3 Vantaanjoen valuma-alueen ja kohdetutkimusalueiden kuvaus

3.1 Vantaanjoen valuma-alueen joet

Vantaanjoen valuma-alueella on vähän järviä, ja järvet ovat pääasiassa pieniä ja matalia. Vesistöalueen suurin järvi on Tuusulanjärvi, jonka pinta-ala on 6,0 km² ja keskisyyvyys 3,1 m. Suurimmat järvet, esim. Hirvijärvi (4,2 km²), Ridasjärvi (2,9 km²) ja Kytäjärvi (2,7 km²), sijaitsevat latvaosissa. Valuma-alueen länsiosan kallioylänköalueilla on niukkaravinteisia ja kirkkaita pikkujärviä, mutta savikkoalueilla sijaitsevat järvet ovat reheviä ja sameavetisiä (Uudenmaan liitto 1997). Alueella säännöstellään useita järviä virkistyskäyttösyistä. Säännösteltyjä järviä ovat Tuusulanjärvi, Hirvijärvi, Ylä- ja Ala-Suolijärvet, Kytäjärvi ja Valkjärvi (Uudenmaan ELY-keskus 2010).

Vantaanjoen pääuoma alkaa +111 m mpy sijaitsevasta Hausjärven Erkylänjärvestä ja laskee mereen Helsingin Vanhankaupunginlahdessa. Maasto on tasaista erityisesti alueen keski- ja itäosissa Keravanjoen ja Tuusulanjoen valuma-alueilla. Vantaanjoen pääuoman keskimääräinen kaltevuus on noin metri kilometriä kohden. Pääuoman varrella olevat suurimmat kosket ovat Nukarinkoski (putouskorkeus 25 m), Myllykoski (putouskorkeus 11 m) ja Vanhankaupunginkoski (putouskorkeus 6 m). Suurimmat sivujoet ovat Keravanjoki, Luhtajoki, Palojoki, Lepsamänjoki, Tuusulanjoki ja Kytäjoki. Keravanjoen varrella on myös useita koskia, suurimmat niistä ovat Kaukaankoski (putouskorkeus 8 m), Kellokoski (putouskorkeus 7 m) ja Matarinkoski (putouskorkeus 6 m) (Uudenmaan liitto 1997).

Lähes kaikkia valuma-alueen jokiuomia on muokattu tulvasuojelu-, pato- ja säännöstelyhankkeissa. Tulvasuojeluun liittyvää kunnostusta on tehty Tuusulanjoella, Kytäjoella, Luhtajoella ja Vantaanjoella Hausjärven–Riihimäen alueella, Nukarinkoskella, Savelassa ja Oulunkylässä. Patoja on rakennettu Keravanjoen Kellokoskelle, Tikkurilankoskelle, Haarajoelle, Kaukaalle, Koskenmaalle ja Vantaanjoen Vanhankaupungikoskelle (Uudenmaan ELY-keskus 2010). Säännöstellyt järvet Hirvijärvi, Suolijärvi ja Kytäjärvi sijaitsevat peräkkäin, ja Suolijärven yhdistää Kytäjärveen noin 200 m pitkä puro. Kytäjärvestä vedet virtaavat Kytäjokea pitkin Vantaanjokeen, joten järvisysteemin säännöstely vaikuttaa Kytäjoen–Vantaanjoen vesitaseeseen (Viljakainen 2000). Vuosina 2002–2012 Kytäjärven keskimääräinen lähtövirtaama oli 0,34–1,85 m³/s, vuosittaisen minimivirtaaman vaihdellessa välillä 0,01–0,18 m³/s ja maksimivirtaama 2,42–11,27 m³/s (HSY, Kytäjärven pinnankorkeuden ja virtaaman havainnot).

3.1.1 Jokiuomien pituudet ja virtaamat

Vantaanjoen pääuoman pituus Erkylänjärvestä Vanhankaupunginlahdelle on lähes 100 km. Vantaanjokeen laskee seitsemän jokea, jotka vaihtelevat pituudeltaan 7 km:stä 65 km:iin (taulukko 1). Taulukossa 1 mainittujen lisäksi osa sivujoista haarautuu latvaosissaan pienemmiksi puromaisiksi uomiksi.

Taulukko 1. Vantaanjoen ja sen sivujokien pituudet, valuma-alueiden pinta-alat, ali- ja ylivirtaamat (NQ-HQ) ja ympäristöhallinnon virtaamamittausasemat (Tikkanen 1991; Uudenmaan ELY-keskus 2010; OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Joki	Joen pituus km	Valuma-alueen pinta-ala km ²	Virtaama NQ-HQ m ³ /s	Virtaamamittausasemien lkm
Vantaa	99.1	1680	0.6 - 317 (Oulunkylä)	3
Herajoki	7.0	17		0
Palojoki	44.9	92		0
Lepsämänjoki	37.5	213	0.08 - 19.8	1
Luhtajoki	45.7	155		0
Tuusulanjoki	15.0	128	0.03 - 15.0 (Myllykylä)	2
Keravanjoki	65.4	395	0.05 - 63.0 (Hanala)	2

Vantaanjoen vesistöalueella on 14 ympäristöhallinnon ylläpitämää virtaamahavaintoasemaa, joilla mitataan säännöllisesti (pääasiassa kerran vuorokaudessa) veden virtaamaa jokiuomassa (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Näistä mittausasemista viisi on säännösteltyjen järvien luusuassa sijaitsevia tarkkailupisteitä, ja yksi mittaa Päijännetunnelista Ridasjärveen syötettävän lisäveden virtaamaa. Jokiuomien virtaamahavaintoasemilla (taulukko 1) virtaamahavaintoja on tehty vaihtelevilla jaksoilla; Vantaanjoen Oulunkylän asemalta havaintoja on vuodesta 1937 lähtien, mutta Ylikylän asemalta havaintoja on vasta vuodesta 2002 alkaen. Mainittujen mittausasemien lisäksi on joitakin erillisiin tutkimushankkeisiin liittyviä virtaamamittausasemia, joilta mittauksia voi olla useiden vuosien ajalta.

3.1.2 Jokivesien laatu

Vantaanjoen ja sen sivujokien veden laadusta on olemassa säännöllisiä tarkkailutuloksia 1970-luvulta lähtien. Nykyisin veden laatua tarkkaillaan Vantaanjoen yhteistarkkailussa yhteensä 52 havaintopaikassa, joista 17 sijaitsee pääuomassa, 8 Keravanjoella, 3 Palojoella, 2 Lepsämänjoella, 1 Tuusulanjoella ja 1 Herajoella. Yhteistarkkailun päätavoite on arvioida, mikä merkitys jätevesikuormituksella on vesistöön. Vantaanjoen ylä- ja keskijuoksulle johdetaan Riihimäen, Hyvinkään ja Nurmijärven kirkonkylän käsiteltyjä jätevesiä. Vuonna 2011 keskimääräinen yhteenlaskettu jätevesivirtaama em. puhdistamoilta Vantaanjokeen oli 0,289 m³/s (Vahtera ym. 2012). Jätevesivirtaamat vaihtelevat suuresti sademäärien ja vedenkäyttömäärien mukaisesti, esimerkiksi vuoden 2011 huhtikuussa em. puhdistamoiden yhteenlaskettu jätevesivirtaama oli 0,549 m³/s, ja heinäkuussa 0,229 m³/s (Lahti ja Männynsalo 15.3.2012, 12.4.2012 ja 19.4.2012). Taajamien alueilla jäteveden puhdistamojen ja pumppaamojen vastaanottokapasiteetti ei rankkasadejaksoilla aina ole riittävä, minkä vuoksi myös käsittelemättömiä tai puutteellisesti käsiteltyjä jätevesiä johdetaan lyhyinä jaksoina jokiuomaan (Vahtera ym. 2010).

Vantaanjoen latvoilla jokivesi on yleensä vain lievästi sameaa, joskin humusaineiden ruskeaksi värjäämää. Puhdistettujen jätevesien johtamisen vaikutus näkyy jokiveden laadussa; jokivesi on purkualueilla sementunutta ja ravinnepitoisuudet korkeita. Myös veden hygieeninen laatu on purkualueilla usein huonoa. Vantaanjoen alaosaan laskevien Palojoen ja Luhtaanmäenjoen (Lepsämänjoki ja Luhtajoki yhtyvät Luhtaanmäenjoeksi ennen pääuomaan laskua) valuma-alueet ovat peltovaltaisia. Niiden savisameissa vesissä on runsaasti ravinteita, etenkin fosforia. Kokonaistyyppipitoisuudet ovat Keravanjoessa, Palojoessa, Lepsämänjoessa ja Luhtaanmäenjoessa Vantaanjokea pienempiä. Sähkönjohtavuus, jota voidaan pitää kuormituksen yleisindikaattorina, vaihtelee merkittävästi Vantaanjoen pääuoman havaintopaikoissa, riippuen havaintopaikan sijainnista pistekuormittajiin nähden (taulukko 2). Sameudessa on jokaisessa havaintopaikassa suuret vuodenaikaisvaihtelut, liittyen sademäärien vaihteluihin, lumien sulamiskauteen ja hulevesien mukana huuhtoutuviin kiintoainepartikkeleihin (Vahtera ym. 2012).

Taulukko 2. Jokiveden laatu vuonna 2011 (mediaaniarvot havaintopaikoilla jokiosuuksittain, N = havaintopaikkojen lukumäärä; * = ei näytteitä vuonna 2011, tulokset vuodelta 2009). Tulokset julkaisusta Vahtera ym. 2012 ja *Vahtera ym. 2010.

Joki	N	Happi mg/l	Happi kyll. %	pH	Sähkönj mS/m	Sameus FTU	COD _{Mn} mg/l	Kok. P µg/l	Kok. N µg/l
Vantaa	14	8.3-11.6	68-93	7.0-7.6	7.9-38.8	4.0-33	7.2-15.5	26-100	1100-7500
Herajoki	1	9.5	85	7.4	19.6	11	10.3	52	2450
Palojoki	2	6.8-9.3	55-85	7.3-7.6	17.2-20.6	6.8-28.5	6.7-7.9	68-83	660-1160
Lepsämänjoki	1	10.4	82	7.1	14.2	32.5	12	75	1700
Tuusulanjoki*	1	11.2	95	7.1	18.4	25.5	8.5	64	1350
Keravanjoki	8	6.6-10.6	65-91	6.7-7.4	9.7-25.4	3.5-35.5	9.8-15.5	35-78	800-1900

3.2 Vantaanjoen valuma-alueen maaperä

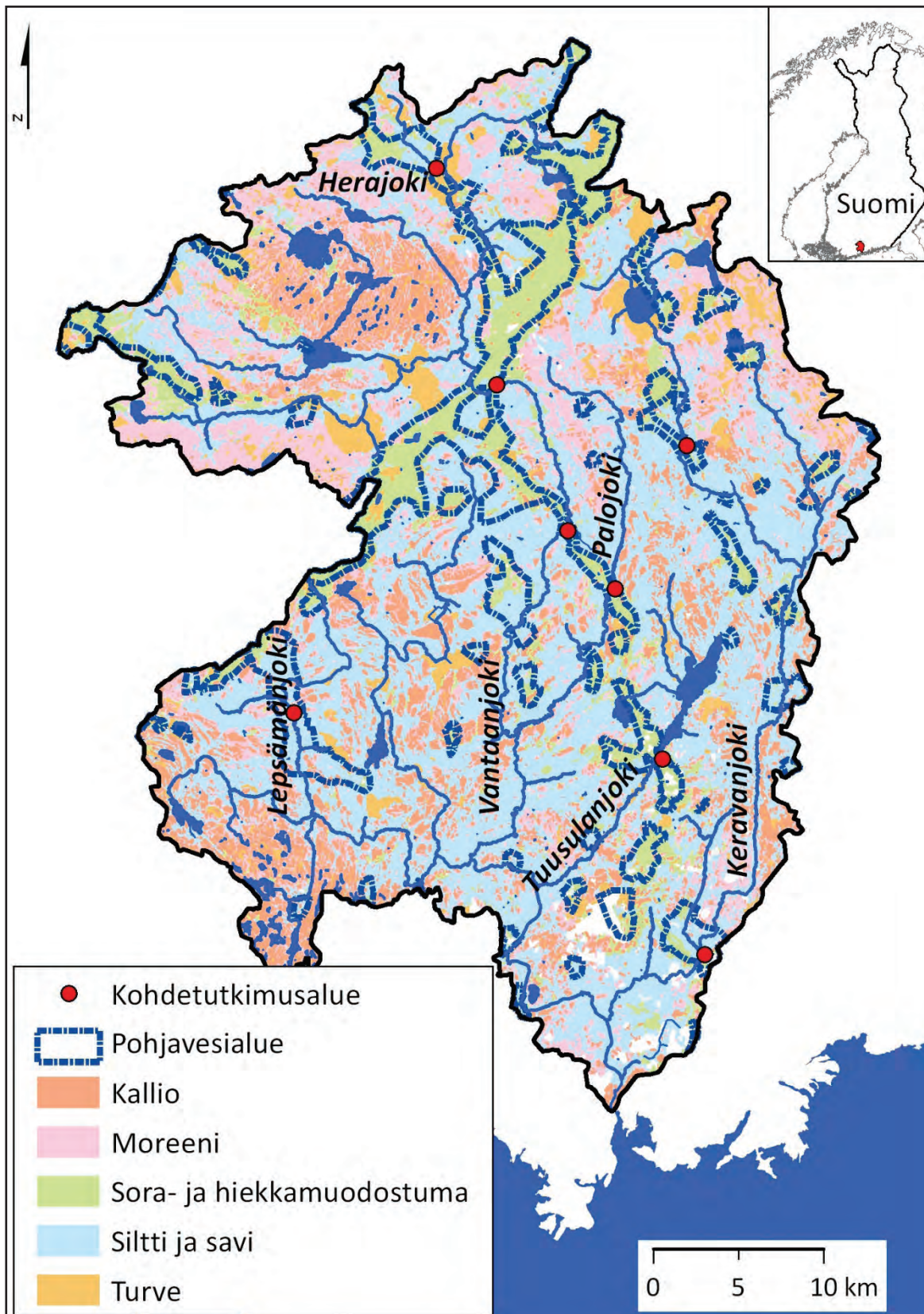
3.2.1 Geomorfologia ja maalajit

Kallioalueet muodostavat 7 % Vantaanjoen valuma-alueen pinta-alasta (Uudenmaan liitto 1997). Kallioalueita, joilla irtomaakerroksia on ohuelti tai ne puuttuvat kokonaan, on eniten valuma-alueen pohjois- ja luoteisosassa (kuva 1). Kalliokohoumien ylärinteille on usein kerrostunut ohuita moreenikerroksia.

Valuma-alueen pinta-alasta merkittävä osa eli 39 % on savi- ja silttikerrosten peittämä (Uudenmaan liitto 1997). Savikerrokset, joiden kokonaispaksuus on paikoitellen jopa useita kymmeniä metrejä, tasoittavat maankamaran muotoja esim. syviä jokilaaksoja. Jokiuomat ovat pääasias-
sa muodostuneet näihin kallioperän murroslaaksoihin. Tasaisia savialueita esiintyy erityisesti valuma-alueen keski- ja itäosassa (Tikkanen 1989 ja 1991).

Valuma-alueen pinta-alasta 25 %:lla on maalajina moreeni (Uudenmaan liitto 1997). Moreeni-
muodostumia (drumliineja, kumpu- ja reunamoreeneita) esiintyy runsaasti valuma-alueen pohjois- ja luoteisosassa. Reunamoreeniharjanteita on runsaasti I Salpausselän reunamuodostuman yhteydessä ja erityisesti Valkealammin, Hyvinkään–Jokelan ja Ridasjärven–Ohkolan alueilla (Tikkanen 1989 ja 1991).

Sora- ja hiekkamuodostumat peittävät 20 % valuma-alueen pinta-alasta (Uudenmaan liitto 1997). Alueen sora- ja hiekka-alueet ovat jäätikköjokien sulamisvesien lajittelemia ja kerrostamia pitkittäisharjumuodostumia sekä jäätikön reuna-alueelle kerrostuneita reunamuodostumia. Laaja-alaisin yhtenäinen sora- ja hiekkamuodostuma on I Salpausselän reunamuodostuma, johon liittyy myös deltoja ja harjuselänteitä (Tikkanen 1989 ja 1991).



Kuva 1. Vantaanjoen valuma-alueen maaperä Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoitusaineiston mukaan, © Geologian tutkimuskeskus (Geokartta-palvelu). Karttaan merkitty myös Vapomix-tutkimuksen kohdetutkimusalueet.

3.2.2 Pohjavesimuodostumat

Vantaanjoen valuma-alueella ei ole pitkiä hiekka- tai moreenimailla kulkevia jokiosuusia, mutta paikoitellen jokiuomat kulkevat sora- ja hiekkaselänteiden poikki (kuva 1). Valuma-alueella on yhteensä 29 jokiuoman läheisyydessä sijaitsevaa pohjavesialuetta (taulukko 3). Näillä pohjavesialueilla pohjavesimuodostuma on suoraan hydraulisessa yhteydessä jokiuomaan (pohjavesialueen ulkoraja ulottuu jokiuomaan asti) tai niiltä purkautuu puroja ja ojia pitkin pohjavesiä jokiuomaan. Osa pohjavesimuodostumista on laajojen yhtenäisten ja paksujen savikerrosten peittämiä. Osittain tai kokonaan savikerrosten salpaamia ovat mm. Herajoen ja Lepsämänjoen varrella sijaitsevat pohjavesimuodostumat sekä Vantaanjoen ja Keravanjoen alajuoksulla sijaitsevat pohjavesimuodostumat.

Vedenhankinnalle tärkeitä pohjavesialueita, joilla on nykyisin toiminnassa yksi tai useampia pohjavedenottoja tai alueella on varavedenotto, ovat taulukossa 3 luetelluista pohjavesialueista seuraavat: Hausjärven Kuru (pohjavesialuetunnus 0408603), Riihimäen Herajoki (0469451), Hyvinkään Hyvinkää (0110651), Käkinummi (0110610), Kaukas (0110616), Nurmijärven Rajamäki (0154351), Nukari (0154306), Valkoja (0154301) ja Nummenpää (0154307), Järvenpään Myllylä (0118652), Keravan Marjamäki (0124551), Tuusulan Jäniksenlinna (0185851), Siippoo (0185805), Hyrylä (0185801), Kellokoski (0185804) ja Santakoski (0185852), Vantaan Kaivoksela (0109202), Vantaanpuisto (0109208), Valkealähde (0109201) Koivukylä (0109203) ja Vestra (0109209) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Vedenhankintakäytössä olevia pohjavesialueita, jotka ovat yhteydessä jokiuomaan em. määritelmällä, on siis yhteensä 21.

Taulukko 3. Vantaanjoen ja sen sivujokien jokiuomien läheisyydessä sijaitsevat pohjavesialueet (Lähde: Ympäristöhallinnon OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelun tiedot pohjavesialueiden rajoista). Huom: Herajoen pohjavesialueella yhteys sekä Vantaanjokeen että Herajokeen.

Joki	Pohjavesialueita (kpl kunnittain) jokiuoman välittömässä läheisyydessä	Pohjavesialueita yhteensä
Vantaa	Hausjärvi 2; Riihimäki 2; Hyvinkää 1; Nurmijärvi 4; Vantaa 4	13
Herajoki	Riihimäki 1	1
Palojoki	Tuusula 2	2
Lepsämänjoki	Nurmijärvi 2, Vantaa 1	3
Luhtajoki	ei pohjavesialueita	0
Tuusulanjoki	Tuusula 2	2
Keravanjoki	Hyvinkää 3; Tuusula 2; Järvenpää 1; Kerava 1; Vantaa 2	9
	yhteensä	29

3.3 Kohdetutkimusalueiden kuvaus

3.3.1 Hyvinkäänkylä Vantaanjoella

Hyvinkäänkylän alueella Vantaanjoki kulkee Hyvinkään (0110651) I-luokan pohjavesialueen poikki (liite 1). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 29,06 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 19,23 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Pohjavettä alueella muodostuu arviolta 11 000 m³/d. Pohjavesialue koostuu lounais-kaakkosuuntaisesta I Salpausselän reunamuodostumasta sekä siihen liittyvistä pitkittäisharjujaksoista. Harju laajenee pohjavesialueen eteläosassa Jätinlukkojen alueella laajaksi deltaksi. Hyvinkäänkylän vedenottamo sijaitsee reunamuodostumaan yhdistyvän pohjois-eteläsuuntaisen pitkittäisharjun ja Vantaanjoen jokiuoman leikkauskohdassa.

Vantaanjoen jokilaakso sijoittuu valtakunnallisesti merkittävään itä-länsisuuntaiseen ruhjelaaksoon ja sen kallionpinnan taso vaihtelee noin välillä +35 – +75 m mpy. Hyvinkäänkylän pohjavedenottamon pohjoispuolella sijaitsevien kalliomäkien alueella kallionpinnantaso on noin +115 – +120 m mpy ja eteläpuolella sijaitsevan vedenjakaja-alueella noin +80 – +100 m mpy (Breilin ym. 2004).

Hyvinkäänkylän harjujakso on pintaosastaan rantavoimien muokkaama, ja sille on tyypillistä jyrkät rinteet sekä paikoittainen suuri pintalohkareisuus. Muutamien metrien paksuiset savikiilat nousevat korkealle harjun reunalle tai paikoin jopa muodostuman yli. Kairaustietojen mukaan on todennäköistä, että harjujaksolla on melko yhtenäinen, sorasta ja kivisestä materiaalista koostuva ydinosa, jonka kautta on hyvä yhteys vedenottamon eteläpuoliselta vedenjakaja-alueelta aina Vantaanjokeen saakka. (Breilin ym. 2004).

Hyvinkäänkylän harjujakso on antikliininen eli ympäristöönsä vettä purkava muodostuma, jossa pohjavettä purkautuu muodostumaa reunustavien savikoiden liepeillä lähteistä sekä suoraan Vantaanjokeen. Tutkimuskohteen eteläpuolella sijaitsevan Jätinlukkojen deltalaajentuman alueella sijaitsee myös itä-länsisuuntainen kallioselänne, joka toimii vedenjakajana ja ohjaa deltan alueella muodostuvan pohjaveden virtauksen etelään ja pohjoiseen kohti Vantaanjoen jokilaaksoa ja Hyvinkäänkylän vedenottamoa. (Breilin ym. 2004).

Pohjaveden pinnan syvyys maanpinnasta on Salpausselän reunamuodostuman ja harjujakson keskiosissa yleisesti 15–25 m, mutta muodostumien ulkopuolella yleensä alle 10 m syvyydessä ja Vantaanjoen laaksossa alle 5 m. Pohjavesivyöhykkeen paksuus on suurimmillaan vedenottamon kohdalla sijaitsevassa kalliopainanteessa, jossa pohjavesivyöhykkeen paksuus on 10–35 m. (Breilin ym. 2004).

Hyvinkäänkylän pohjavedenottamo sijaitsee Vantaanjoen rannassa, uoman pohjoispuolella. Vedenottamolla on käytössä kolme vedenottokaivoa (K306, K311, K313), jotka sijaitsevat 30–60 m:n päässä jokiuomasta. Vuonna 2011 keskimääräinen kokonaisvedenottomäärä oli 3 140 m³/d (Hyvinkään Veden tarkkailutulokset).

3.3.2 Herajoki

Herajoen pohjavesialueen (0469451) (liite 2) kokonaispinta-ala on 10,21 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 2,6 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Herajoen laakso on muodostunut kallioperän painanteeseen, johon on kerrostunut hienosedimenttejä ja turvekerroksia. Herajoki on Vantaanjoen läntinen sivuhaara, joka virtaa lyhyen matkan Riihimäen keskustan lounaispuolella. Rakenneselvitysten (Ahonen ja Valjus 2009) mukaan mikrokliinigraniittiseen kallioperään muodostuneessa Herajoen jokilaaksossa savikerroksen paksuus on muutamasta metristä yli 20 metriin. Saven alla on piilossa lähes koko jokilaakson alueella hiekka- ja sorakerroksia, ja laaksosta nouseekin paikoitellen esille harjumäkiä, joissa maalaji on hiekkaa-soraa. Herajoen pohjavesiesiintymän muodostaa saven alainen ja vain paikoin maan pinnanmuodoissa erottuva katkonainen kaakko-luodesuuntainen harjujakso. Harjujaksolla on yhteys myös pohjavesialueen länsipuolella sijaitsevalle Riutanharjulle. Harjumuodostuma liittyy Herajoen vedenottamon kaakkoispuolella Multatöyrään reunamuodostumaan, joka muodostuu pitkittäisharjun lajittuneista aineksista ja moreenikumpareista. Multatöyrään eteläpuolella pohjavedet virtaavat kaakkoon, joten Multatöyräs ja sen koillispuolella sijaitsevat moreeni- ja kalliomäet toimivat vedenjakajina kaakon suuntaan.

Herajoen pohjavesiesiintymän paksuimmat ja laajimmat pohjavedellä kyllästyneet irtomaakerrokset sijaitsevat Herajoen vedenottamon ja Multatöyrään välissä Silmäkenevan alueella. Pohjavesivyöhykkeen paksuus Silmäkenevan itäosassa Vantaanjoen laaksossa on yli 50 m. Harjumäkien alueella pohjavesivyöhykkeen paksuus on 25–30 m (Ahonen ja Valjus 2009).

Herajoen pohjavedenottamo sijaitsee synkliinisen muodostuman keskellä, joten alueen pohjavesi virtaa useasta suunnasta kohti vedenottamoa. Pohjavesialueella on vähän pohjaveden virtausta estäviä maa- tai kallioperän rakenteita, joka näkyy virtauskuvan monimuotoisuudessa. Backmanin ym. (2009) mukaan päävirtaussuunnat ovat länsi, koillinen, itä ja etelä. Virtauskuvassa esiintyy kuitenkin vuodenaikaisvaihtelua sekä alueellista vaihtelua, ja vedenottamon kaivot (K4, K5) keräävät vettä eri suunnista. Vedenottamon kaakkoispuolelta Silmäkenevan suoalueelta pohjavedet virtaavat pääosin luoteeseen ja todennäköisesti kohti vedenottamoa. Suoalueen kaakkoisosassa virtaus saattaa suuntautua myös kaakkoon ja lopulta kohti Vantaanjokea. Pohjavesialueen pääasiallisena muodostumisalueena toimii maaperän kerrosrakenteen perusteella länsiosassa sijaitseva Riutanharju, jonka alueella pohjaveden päävirtaussuunta on kaakkoon–itään (Ahonen ja Valjus 2009).

Herajoen pohjavedenottamon alueella on käytössä kolme kaivoa, joista kaivot K4 ja K5 ovat varsinaisia vedenottokaivoja, ja kaivosta K1 suojapumpataan vettä kaivon K4 veden laadun turvaamiseksi. Kaivosta K1 pumpattua vettä ei johdeta verkostoon, mutta sitä imeytetään pumppaamorakennuksen pohjoispuolella sijaitsevaan imeytysaltaaseen. Kaivo K5 on pääkaivo. Aikaisemmin kaivo K4 oli käynnissä vain lyhyitä jaksoja vedenkulutuksen huippuajoina, yleensä iltapäivisin ja alkuillasta. Talvesta 2012 lähtien kaivot K4 ja K5 ovat olleet käynnissä lähes saman ajan vuorokaudessa. Kaivossa K1 vesi on rautapitoista, ja imeytyksessä rauta poistuu, kun vesi ilmastuu ja altaan pohjalle muodostuu rautasaostumia. Kaivo K1 sijaitsee noin 17 m Herajoen uomasta, kaivo K4 noin 30 m ja kaivo K5 noin 60 m jokiuomasta. Kaivot K1 ja K4 sijoittuvat hiekkakumpareen reunamille, kun taas kaivo K5 on savipeitteisellä peltoalueella. Vuonna 2011 kaivon suojapumppausmäärä oli keskimäärin 453 m³/d, ja vedenottokaivoista

K4 ja K5 keskimääräinen kokonaisvedenottomäärä 2 570 m³/d. Vuonna 2012 keskimääräinen kokonaisvedenottomäärä oli 2 254 m³/d (Riihimäen Veden tarkkailutulokset).

3.3.3 Nukari Vantaanjoella

Nukarin pohjavesialue (0154306) on muodostumatyyppiltään synkliininen eli vettä ympäristöstään keräävä pohjavesiesiintymä. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 1,92 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 1 km² (liite 3) Nukarin pohjavesiesiintymä muodostuu 3 km pituisesta osasta luode-kaakosuuntaista pitkittäisharjua, joka jatkuu luoteessa kohti Hyvinkäänykylässä sijaitsevaa I Salpausselän reunamuodostumaa ja kaakossa kohti Jäniksenlinnaa (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Nukarinkylän alue on kallioperältään mikrokliinigraniittia ja Tei-
linummi–Kumpumäki välisen pitkittäisharjumuodostuman kallioperä on pyrokseenigneissisiä (Sallasmaa ym. 2008).

Nukarin harjumuodostuma rajoittuu koillis- ja lounaispuolella savialueisiin, ja myös Vantaanjoen jokilaaksossa lajittuneita maakerroksia peittää muutaman metrin paksuinen savikerros (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Nukarinkosken yläpuolella Vantaanjoki virtaa ympäröivän sedimenttitasangon tasolla mutta koskipaikan alapuolella joki on kuluttanut savitasankoon noin 20 m syvän ja useita satoja metrejä leveän laakson (Tikkanen 1992).

Nukarin pohjavesialueella pohjaveden virtaussuunta on kohti Vantaanjokea, jonka uoma katkaisee alueella sijaitsevan pitkittäisharjun luoteessa sijaitsevaksi Huissamäeksi ja kaakossa sijaitsevaksi Korkeanummeksi. Tällä alueella pohjavettä purkautuu jokeen usein paineellisenä ja runsaimmin pohjan kautta mutta pohjavettä voi kulkeutua alueelle myös kauempaa Vantaanjoen murrosvyöhykettä pitkin (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Pohjavesialueen alimmat pohjaveden pinnan korkeudet on mitattu Nukarinkoskelta +47 m mpy ja korkeimmat Nukarinkylästä +70 m mpy. Huissamäen ja Patamäen välimaastossa pohjaveden korkeus on +62 m mpy ja Korkeanummella +67 m mpy (Sallasmaa ym. 2008).

Nukarin pohjavesialueella on tehty vuonna 1974 vedenhankintatutkimusten yhteydessä koe-pumppauksia, jolloin veden tuotto on ollut keskimäärin 1 600 m³/d. Keväällä toteutettujen pumppausten aikana Vantaanjoki on tulvinut sulamisvesien vaikutuksesta, jolloin jokiveden pinta on noussut pohjaveden pinnan yläpuolelle. Vedenottamon sijaitessa joen varrella on mahdollista, että vedenottamon pumppaama vesi on osittain jokiuomasta akviferiin imeyty-
nyttä vettä (Pöyry 2010).

Vantaanjoen ja Lohenojan risteyksestä noin 1 km kaakkoon pohjavedellä kyllästyneiden maakerrosten kokonaispaksuus on 30–40 m. Vantaanjoen leikkauskohdassa pohjavesikerroksen paksuus on 20–30 m. Pohjaveden yläpuolisen maakerroksen paksuus on Huissamäellä 20–25 m ja Korkeanummella myös yli 20 m, mitkä ovat alueen keskimääräistä kerrospaksuutta (8 m) huomattavasti paksumpia (Sallasmaa ym. 2008).

Nukarin pohjavedenottamon vedenottokaivo sijaitsee noin 40 m Vantaanjoen uomasta jokilaakson savi-silttipteitteisellä alueella. Vuonna 2011 keskimääräinen vedenottomäärä oli 915 m³/d (Nurmijärven Veden tarkkailutulokset).

3.3.4 Jäniksenlinna Palojoella

Jäniksenlinnan pohjavesialue (0185851) muodostuu luode-kaakkosuuntaisesta harjujaksosta, jonka Palojoki jakaa kahteen osaan, Teilinummeen ja Tönölänmäkeen (liite 4). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 2,95 km² ja muodostumispinta-ala 1,84 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Luonnollisesti muodostuvan pohjaveden määrä on noin 3 000 – 4 000 m³/d (Suunnittelukeskus Oy 1994), mutta tekopohjaveden muodostamisen avulla alueen vedenotto-kaivoista voidaan pumpata vettä 19 000 – 20 000 m³/d.

Jäniksenlinnan alueella harjujakso on muodostunut pääosin kiillegneissistä, kvartsimaasälpägneissistä, graniitista ja granodioriitista koostuvan kallioperän päälle. Geologisten rakenneselvitysten (Ahonen ym. 2011) mukaan harjumuodostuman päämaalaji on Teilinummen alueella sora ja Tönölänkankaan alueella hiekka. Harjualueiden reunoilla esiintyy lähinnä karkeaa silttiä. Palojoen laaksossa harjun lajittuneita aineksia peittää siltti-savikerros, jonka paksuus on suurimmillaan yli 18 metriä (Suunnittelukeskus Oy 1994). Jokilaakson savipeitteen ansiosta pohjavesi onkin paikoin paineellista. Jokilaaksossa irtomaakerrosten kokonaispaksuus on yli 37 m. Suurta maa-aineksen kerrospaksuutta selittää Palojoen jokilaakson muodostuminen harjumuodostuman leikkaavaan koillis-lounassuuntaiseen ruhjevyyhykkeeseen (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Pohjaveden päävirtaus alueella tapahtuu kohti Palojoen jokilaaksoa, ja pohjavettä purkautuu maanpinnalle useassa kohdassa Palojoen varressa (Suunnittelukeskus Oy 1994). Pohjaveden virtauskuvaan vaikuttaa alueella sijaitseva Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymän Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitos. Laitoksen toiminnassa hyödynnetään kuitenkin pohjaveden luonnollisia virtaussuuntia kohti Palojokea, joten virtauskuvan yleispiirteet edustavat luonnollista tilaa (Ahonen ym. 2011). Pohjavesivyyhykkeen paksuus on suurimmillaan Palojoen laaksossa ja sen läheisyydessä, jossa sen paksuus on rakenneselvitysten mukaan yleisesti yli 30 m.

Harjumuodostuman ydinosassa maakerrokset ovat lajittunutta hiekkaa ja soraa, joten Palojoen uomasta on ydinosan alueella hyvä hydraulinen yhteys pohjavesialueen vettä johtaviin maakerroksiin. Pohjavedenpinnan laskiessa vedenoton seurauksena jokivettä voi imeytyä pohjavesiesiintymään.

Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksella on imeytetty Päijänne-tunnelin vettä vuodesta 1979 lähtien. Imeytysaltaat sijaitsevat Palojoen luoteispuolella noin 300–400 m:n etäisyydellä jokiuomasta. Vedenotto-kaivot sijaitsevat Palojoen kaakkoispuolella kahdella kaivoalueella. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Niinikoski 2009, Kortelainen ja Karhu 2006) on arvioitu hapen ja hiilen isotooppikoostumusten vaihteluiden avulla luonnollisen pohjaveden ja imeytetyn tekopohjaveden osuuksia Jäniksenlinnan vedenottamon vedenotto-kaivoissa. Uudella kaivoalueella (kaivot K8, K9, K14) valtaosa pumpattavasta vedestä (75–90 %) on imeytettyä tekopohjavettä ja luonnollisen pohjaveden osuus on alle 25 % (Kortelainen ja Karhu 2006, Niinikoski 2009). Vanhalla kaivoalueella (kaivot K5, K6, K10, K11, K12, K13) pumpattavassa vedessä yli 50 % on luonnollista pohjavettä (Kortelainen ja Karhu 2006).

Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksen allasimeytysalueella keskimääräinen imeytettävä vesimäärä vuonna 2011 oli 9 370 m³/d (minimi 1 844 m³/d, maksimi 14 586 m³/d). Vedenotto-

kaivot on sijoitettu kahdelle kaivoalueelle: ns. vanhalla kaivoalueella sijaitsevat kaivot K5, K6, K10, K11, K12, K13, ja uudella kaivoalueella kaivot K8, K9 ja K14. Vuonna 2011 vanhalla kaivoalueella kokonaisvedenotto oli keskimäärin 5 210 m³/d (minimi 4 790 m³/d, maksimi 5 990 m³/d). Uudella kaivoalueella keskimääräinen kokonaisvedenotto oli 5 520 m³/d (minimi 3 860 m³/d, maksimi 6 690 m³/d) (Tuusulan Seudun Vesilaitos kuntayhtymän tarkkailutulokset).

3.3.5 Koskenmäki Tuusulanjoella

Hyrylän (0185801 A) pohjavesialue (liite 5) on osa harjumuodostumaa, joka kuuluu I Salpausselältä Hyvinkäältä alkavaan ja Suomenlahteen päättyvään harjujaksoon (Breilin ym. 2005). Jakso koostuu katkonaisista harjuselänteistä ja laajemmista deltoista, joiden pintaosat ovat rantavoimien muokkaamia. Hyrylän pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 3,71 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 3,24 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Pohjavettä muodostuu alueella arviolta noin 2 600 m³/d.

Hyrylän pohjavesialueella harjuselänteen poikki kulkee Tuusulanjoki, joka saa alkunsa Tuusulanjärvestä (pohjavesialue rajautuu järven etelärantaan ja luusuaan). Tuusulanjärvi ja -joki ovat muodostuneet valtakunnallisesti merkittävään lounais-koillissuuntaiseen Pikkalan (Pikkalan) – Lahden murroslaaksoon, jonka alueelle on kerrostunut useita kymmeniä metrejä paksu maapeite. Tuusulanjoen laakson alueella kallioperä on voimakkaasti rakoillutta, sekä laakson leveys- että syvyysuunnassa. Alueen kallioperä koostuu pääasiassa voimakkaasti migmatiittituneista graniiteista, kvartsi- ja granodioriiteista sekä kvartsi- ja maasälpägneisseistä (Breilin ym. 2005).

Harjumuodostuman maa-aines on Hyrylän pohjavesialueen kohdalla lajittunutta, deltalle tyypillisesti hiekkavaltaista ja jäätikön reunasta pois päin (etelään päin) hienonevaa. Deltan keskiosassa pohjaveden pinnan alapuolinen aines on puolestaan pääosin karkeaa hiekkaa ja soraa. Muodostumaa rajaavat kallio-, moreeni- ja savialueet idässä, etelässä ja lännessä. Pohjavesialueen eteläpäässä sijaitsee Sulan kallioselänne, jonka muodostama vedenjakaja erottaa alueen pohjavedet etelään päin jatkuvasta harjumuodostumasta. Harjujaksolla on Hyrylän kohdalla todennäköisesti melko yhtenäinen ja soraisesta materiaalista muodostuva ydinosa, jonka kautta pohjavesi virtaa Sulan vedenjakaja-alueelta pohjavesialueen keskiosassa sijaitsevalle Koskenmäen vedenottamolle asti. (Breilin ym. 2005).

Pohjaveden päävirtaussuunta Hyrylän pohjavesialueella on kohti Tuusulanjoen laaksoa ja Koskenmäen vedenottamoa. Virtaus tapahtuu laakson luoteis- ja kaakkoispuolilta, jossa pohjaveden pinnankorkeus on yli +50 m mpy, kohti Koskenmäen vedenottamoa, jossa pohjaveden pinta on alle +37 m mpy. Pohjavesikerroksen paksuus on suurimmillaan Tuusulanjoen laaksoissa, yleisesti 20–40 m ja paikoitellen 45–60 m. Tuusulanjoen laakson kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeet voivat syöttää vettä laakson lajittuneisiin kerrostumiin, jolloin Koskenmäen vedenottamolta pumpattava vesi voi osittain olla peräisin myös Hyrylän ja Nummenkankaan muodostumisalueiden ulkopuolelta. Kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeissä tapahtuvaa pohjaveden virtausta saattavat kuitenkin rajoittaa vanhoissa ruhjeissa kemiallisen rapautumisen seurauksena yleisesti syntyvät kalliosavet. (Breilin ym. 2005).

Hyrylän pohjavesialueella sijaitsevalla Koskenmäen pohjavedenottamolla on nykyisin käytössä vain yksi vedenottoaivo, joka sijaitsee noin 30 m Tuusulanjoen uomasta, vettä hyvin johtavalla harjualueella, missä maakerrokset ovat pääasiassa hiekkaa. Keskimääräinen vedenotto vuonna 2011 oli 940 m³/d (minimi 650 m³/d, maksimi 1 200 m³/d) (Tuusulan Seudun Vesilaitos kuntayhtymän tarkkailutulokset).

3.3.6 Valkealähde Keravanjoella

Valkealähteen pohjavesialueen (0109201) kokonaispinta-ala on 8,14 km² ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala 2,83 km². Pohjavesiesiintymä on vettä ympäristöstään keräävä (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Valkealähteen pohjavesialueen pohjaveden muodostumisalueet ovat Hakkilanharju Keravanjoen itäpuolella ja Hiekkaharju joen länsipuolella (liite 6). Em. hiekkamuodostumat ovat huuhoutuneita sulamisvesitasanteita. Hakkilanharjun muodostuman syntyvän vuoksi hiekan alapuolella on paikoitellen hienorakeisia siltti-savikerroksia, minkä vuoksi paikoitellen esiintyy myös suppea-alaisia orsivesiesiintymiä. Rantakerrostumien paksuudet ovat suuria, jopa 12 m, ja näiden kerrostumien alapuolella on savipatjan erottamana primäärinen harjuaines (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Valkealähteen ja Koivukylän pohjavesialueiden suojelusuunnitelman (Vantaan kaupunki 2000) laadinnan yhteydessä tehtiin suunnittelualueen länsiosassa, Honkanummen ja Malmiiniityn välisellä alueella painovoimamittauksia kalliopinnan ja pohjavedenpinnan tason selvittämiseksi (Ahonen & Valli 1998). Painovoimamittausten tulosten mukaan Jokiniemen ja Hanabölen välisellä peltoalueella on irtomaakerrosten peittämä laaja-alainen kallioallas. Valkealähteen pohjavedenottamon itäpuolella sijaitsevassa kalliopainanteessa kalliopinta on tasolla -15 – -10 m meren pinnan tasosta, mutta kalliopinta nousee itään päin ja on Vanhan Porvoontien kohdalla tasolla +50 – +55 m mpy. Em. tasolle nouseva kalliokehous ulottuu etelä-pohjoissuunnassa Hakkilan teollisuusalueelta Rusokalliolle asti. On todennäköistä, että Valkealähteen kallioallas jatkuu pohjoiskoilliseen, missä savikerrosten alapuolella on hiekkakerroksia (Vantaan kaupunki 2000).

Keravanjokilaaksossa kulkee koillinen-lounassuuntaisesti erittäin suuri alueellinen kallioperän heikkousvyöhyke (Geologian tutkimuskeskus, Helsingin seudun GeoTIETO-karttapalvelu). Sen lisäksi alueella on tunnistettu alueellisia heikkousvyöhykkeitä sekä merkittäviä paikallisia heikkousvyöhykkeitä, joista osa on yhteydessä erittäin suureen alueelliseen heikkousvyöhykkeeseen. Paikallisia heikkousvyöhykkeitä kulkee suunnittelualueella koillinen-lounassuuntaisesti, mutta Honkanummen–Hakkilan alueella voidaan havaita myös useita suppea-alaisempia luode-kaakkosuuntaisia heikkousvyöhykkeitä. Keravanjoen kulku noudattelee kallioperän alueellista heikkousvyöhykettä. Alueella tehtyjen painovoimamittausten (Ahonen & Valli 1998) mukaan kalliopinta on Keravanjoen kohdalla syvimmillään tasolla -10 – -30 m meren pinnasta ja maapeitteen kokonaispaksuus on 28–52 m.

Valkealähteen pohjavesialueella pohjaveden virtauskuvaan vaikuttavat oleellisesti Keravanjoen laaksopainanne ja monin paikoin pohjavedenpinnan yläpuolelle kohoavat kalliokehousmat, jotka muodostavat pohjaveden jakajia. Valkealähteen vedenotto sijaitsee Keravanjoen

laaksossa ja sen ollessa toiminnassa pohjavettä virtasi kaivoalueelle ympäröiviltä alueilta lähes joka ilmansuunnalta.

Valkealähteen pohjavesialueella oli 2000-luvulla käytössä Valkealähteen pohjavedenottamo huhtikuuhun 2008 asti. Koivukylän ja Grönbergin vedenottamoilta, jotka sijaitsevat Keravanjoen länsipuolella, ei ole pumpattu pohjavettä. 1990-luvun lopussa vedenotto Valkealähteen vedenottamolla oli keskimäärin 1 760 m³/d (Vantaan kaupunki 2000), ja 2000-luvulla keskimääräinen vedenotto oli 617 – 2 650 m³/d. Torjunta-aineiden esiintymisen vuoksi Valkealähteen pohjavedenottamo suljettiin toistaiseksi huhtikuussa 2008.

3.3.7 Lepsämänjoki

Lepsämänjoen pituus on 37,5 km, ja sen valuma-alueen pinta-alasta on kallioaluetta 21,3 %, moreenia 19,9 %, soraa-hiekkaa 12,0 %, silttiä-savea 38,1 % ja turvetta 8,7 % (Tikkanen 1991). Maaperäolosuhteista johtuen (runsaasti kallioalueita ja laajoja savikkoalueita) jokiuoman välittömässä läheisyydessä on vain kolme pohjavesialuetta; alajuoksulla Vantaan Vestran pohjavesialue (kokonaispinta-ala 0,1 km²), ja yläjuoksulla Ali-Labbartin pohjavesialue (kokonaispinta-ala 4,31 km²) sekä Nummenpään pohjavesialue (kokonaispinta-ala 11,77 km²) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Lepsämänjoen yläjuoksulla jokilaakso on paksujen savi-silttikerrosten peittämä. Pohjavettä kerääntyy savenalaisiin hiekka- ja sorakerrokseen jokilaaksoa ympäröivien kallioalueiden rinteiden moreeni- ja hiekkakerrosten kautta. Savipeitteisillä alueilla pohjavesi on paineellista (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Joen yläjuoksulla Nummenpään pohjavedenottamon läheisyydessä savipeitteisellä alueella sijaitseva lähdekaivo purkaa Lepsämänjokeen pohjavettä. Savipeitteisyyden vuoksi pohjavesikerroksessa on pelkistävät olosuhteet ja pohjavedessä on runsaasti liuennutta kahdenarvoista rautaa, joka purkautumiskohdassa hapettuu ja muodostaa rautasaostumia.

Lepsämänjoen latvaosissa on Nummenpään pohjavesialueen pohjaveden merkittävin muodostumisalue: luode-kaakkosuuntaiseen kallioperän murroslaaksoon kerrostunut pitkittäisharju, joka luoteessa liittyy Salpausselän reunamuodostumaan. Pohjaveden päävirtaussuunta reunamuodostuman alueella on kohti kaakkoa ja Kivilähde on merkittävä pohjaveden purkautumispaikka (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Kivilähteestä purkautuva pohjavesi virtaa ojauomaa pitkin Lepsämänjokeen (liite 7).

4 Tutkimusmenetelmät

4.1 Lämpökamerakuvaukset

4.1.1 Taustaa infrapunakuvausten käytöstä vesistötutkimuksissa

Lämpökamerakuvaustekniikan käyttäminen pohjaveden purkukohtien havaitsemisessa pintavesistöstä perustuu pohja- ja pintaveden lämpötilaeroon (Torgersen ym. 2001; Anderson 2005). Jokiveden lämpötila on tunnistettu tärkeäksi muuttujaksi makeanveden ekosysteemien kunnostamisessa ja lohikantojen elvyttämisessä (esim. McCullough 1997). Jokiveden lämpö-

tila heijastaa valuma-alueen ja jokiuoman olosuhteita sekä vaikuttaa suoraan vesieliöstöön (Beschta ym. 1987). Lämpökamerakuvauksia on aiemmin tehty järvi- ja rannikkoympäristöissä 1980- ja 1990-luvuilla (LeDrew ja Franklin 1985, Chen ym. 2003). 1990-luvulta lähtien lämpökameratekniikan soveltaminen jokitutkimuksissa on yleistynyt (Torgersen ym. 2001). 2000-luvulla lämpökamerakuvausten käyttö vesistötutkimuksissa on lisääntynyt edelleen tekniikan kehittymisen (stabiilius, keveys, kestävyys) ja laitteistojen hankintakustannuksien alentumisen seurauksena (Torgersen ym. 2001, Handcock ym. 2012).

Hydrologisissa tutkimuksissa lämpökamerakuvaukset ovat kustannustehokas tutkimusmenetelmä suuren alueellisen kattavuutensa vuoksi (Torgersen ym. 2001, Loheide ja Gorelick 2006, Conant ym. 2012, Handcock ym. 2012) ja niiden avulla voidaan kohdentaa yksityiskohtaisempia maastotöitä ja näytteenottoa. Ilmasta käsin tehtävillä lämpökamerakuvauksilla saadaan yhtenäinen lämpötila-aineisto koko kuvattavan jokiosuuden pituudelta tietyssä lyhyen ajanjaksona, jolloin ajallinen vaihtelu ei tuota merkittävää häiriötä aineistoon (Torgersen ym. 2001). Hyvin valituissa kuvausolosuhteissa sekä oikealla lentokorkeudella suhteessa kuvattavaan uomaan lämpökamerakuvauksella on mahdollista saavuttaa hyvä herkkyys ja resoluutio. Vapomix-tutkimuksessa lämpökamerakuvausten tavoitteena oli saada kokonaiskuva sekä pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksen laajuudesta Vantaanjoen valuma-alueella että kuvattavien jokiosuuksien pitkittäisestä lämpöprofiilista alajuoksulta yläjuoksun suuntaan. Tuloksia voidaan hyödyntää sekä pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksen laajuuden arvioimisessa kuvatuilla jokiosuuksilla ja jokiympäristön ekologisen tilan arvioinnissa että vesivarojen arvioinnissa, hallinnassa ja riskikartoituksessa.

Lämpökamera havaitsee kohteen ylimmästä 0,1 mm pintakerroksesta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuuden, jonka lämpökameran ilmaisin muuttaa lämpötilatiedoksi. Tästä johtuen lämpökamerakuvauksilla voidaan havaita vain pinnalle asti ulottuvat lämpöanomaliat, eikä menetelmällä havaita veden vertikaalista kerroksellisuutta tai saada tietoa vesistön pohjalla purkautuvasta pohjavedestä ellei pohjaveden purkautuminen yllä veden pinnalle asti (Torgersen ym. 2001). Lämpökamerakuvauksien avulla ei voida tunnistaa vuorovaikutuspaikkoja, joissa jokivettä imeytyy pohjavesimuodostumaan. Lämpökameralla kuvaaminen vaatii kokemusta sekä tietoa kameral ja menetelmän ominaisuuksista. Kuvausaineiston käsitteleminen ja oikea tulkinta edellyttää tietoa lämpökuvien ominaisuuksista sekä taustatietoja kuvausolosuhteista (säätila, ilman ja veden lämpötila, lentokorkeus, pilvisuus, tuuliolosuhteet, kuvausajankohta). Heijastukset ympäristöstä ja kuvattavasta vesistöstä voivat aiheuttaa virhetulkintoja.

Suomessa parhaimmat sääolosuhteet lämpökamerakuvauksille ovat heinä-elokuussa, jolloin lämpötilakontrasti pintaveden ($> +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja pohjaveden ($+4 - +6\text{ }^{\circ}\text{C}$) välillä on suurimmillaan. Kanadassa lämpökamerakuvauksia on toteutettu keskitalvella, koska pohjaveden ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) lämpötila on korkeampi kuin Suomessa ja kontrasti riittävä pohjavesipurkaumien havaitsemiseen (Conant ym. 2012). Vuorokauden ajankohdan valinta on riippuvainen tutkimustarkoituksesta, maankäytöstä ja lennon ajallisesta kestosta. Käytännössä lentoajankohdan valinnassa voidaan joutua tekemään kompromisseja esim. lennonjohdon ohjeistus, helikopterien varaustilanne, tarvittavat siirtolennot, säätila, tutkimusaikataulu ja lentorajoitukset. Helikopterilentäjä hoitaa muodollisuudet lennonjohdon kanssa, ja mahdolliset ongelmat lentolinjojen rajoitusten (lentoakselin ja lentorajoitusalueen läheisyys) kanssa tulevat esiin jo etukäteissuunnittelun yhteydessä, jolloin vaihtoehtoinen ratkaisu pystytään löytämään.

4.1.2 Kesän 2010 lämpökamerakuvaukset

Heinäkuussa 2010 tehtiin lämpökamerakuvauksia helikopterilla (Nygård 2011, Korkka-Niemi ym. 2012) Vantaanjoella, Herajoella, Palojoella, Tuusulanjoella ja Keravanjoella. Kuvauksia tehtiin 15.–16.7.2010 ja 28.7.2010. Lentolinjojen yhteispituus oli 220 km. Lämpökamera (Thermo Vision A40, pikseleitä 320 x 240, avauskulma 24 astetta, sensorin spektrialue 7,5–13 µm) oli kiinnitetty telineeseen helikopterin sivulla yhdessä Nikon D1X -digitaalikameran kanssa (kuva 2). Lämpökameralta tuleva signaali tallennettiin radiometrisinä still-kuvina (.fff) helikopterissa olevalle PC:lle. Lämpökamerakuvia kertyi noin 10 000 kpl.

Sekä kuvauksia edeltävinä viikkoina että kuvauspäivinä vallitsi poikkeuksellisen lämmin ja kuiva ajanjakso, joten sääolosuhteet olivat suotuisat jokiuomassa tai sen läheisyydessä sijaitsevien pohjaveden purkautumisalueiden erottamiseksi. Jokiveden lämpötila lentokuvausajankohtana oli +20 – +24 °C ja pohjavesiesiintymästä purkautuvan pohjaveden lämpötila +4 – +8 °C. Pääosa kuvauksista tehtiin 100 – 250 m:n lentokorkeudesta. Kapeammilla ja kasvillisuuden osittain peittämällä jokiosuuksilla lentokorkeutta laskettiin mahdollisuuksien mukaan. Lämpökamerakuvia analysoitiin ThermaCAM Researcher Pro (versio 2.9) -ohjelmistoa käyttäen.

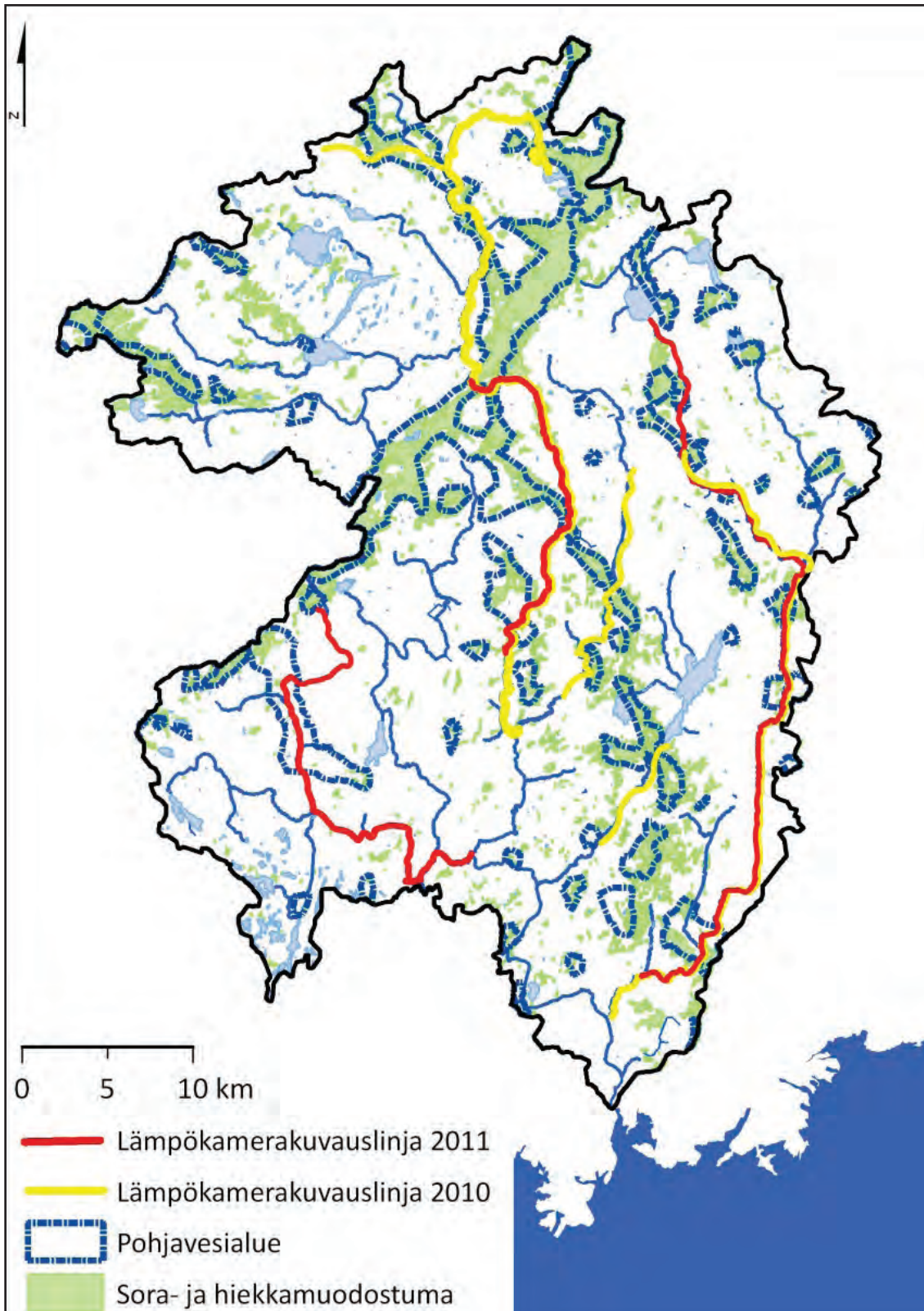


Kuva 2. Kuvauslaitteisto asennettuna helikopterin jalaksessa olevaan telineeseen (kuva: Tuuli Toivonen, Helsingin yliopisto, 2010).



Kuva 3. Lentokuvausta mutkittelevalla jokiosuudella 28.7.2010 (kuva: Tuuli Toivonen, Helsingin yliopisto, 2010).

2010 lämpökamera-aineiston käytettävyyttä heikensivät puuttuva paikkatieto (GPS-sijainti) sekä gyrostabiloimattomaan telineeseen kiinnitetyn lämpökameran kuvaussuunnan heilahteleminen kopterin lentokulman mukaan, mikä aiheutti paikoitellen epäjatkuvuutta aineistoon, erityisesti kapeilla ja meanderoivilla jokiosuuksilla (kuva 3). Kesällä 2010 tehtyä jokiveden lämpötilakartoitusta täydennettiin ja varmistettiin heinäkuussa 2011 tehdyillä lämpökameralentokuvauksilla.



Kuva 4. Vuosina 2010 ja 2011 suoritettut lämpökamerakuvaukset Herajoella, Keravanjoella, Lepsämänjoella, Palojoella, Tuusulanjoella ja Vantaanjoella (Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010, Valuma-alueet © SYKE 2010).

4.1.3 Kesän 2011 lämpökamerakuvaukset

Lentokuvaukset Lepsämänjoella, Vantaanjoella ja Keravanjoella tehtiin 21.7.2011. Lepsämänjoki kuvattiin koko uoman matkalta. Pääuoma Vantaa kuvattiin vuoden 2010 tulosten varmistamiseksi Nurmijärven Myllykoskelta ylävirtaan Hyvinkäänkylään asti. Keravanjoki kuvattiin kokonaan uudestaan, koska sen valuma-alueella on runsaasti sora- ja hiekkamuodostumia joihin varastoituu pohjavettä, ja kesän 2010 lentokuvausaineistosta tunnistettiin Keravanjoen uomassa ja sen läheisyydessä runsaimmin merkittäviä kylmän veden purkautumisalueita. Kuvauslinjojen pituus yhteensä oli 130 km (kuva 4).

Heinäkuussa 2011 tehdyissä infrapunalentokuvauksissa käytettiin Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitokselle kesällä 2011 hankittua kuvauslaitteistoa (kuva 5). Kuvausjärjestelmä koostui lämpökamerasta (ThermaCAM P60) ja siihen kiinnitetyistä digitaalisesta videokamerasta (HDR-CX700). Lämpökameran still-kuvat tallentuivat suoraan PC:lle ja videokuva tallentui yhdessä GPS-reitin kanssa videokameran muistikortille. Molempien kameroiden kellot synkronisoitiin sekunnin tarkkuudella ennen lennolle lähtöä, jolloin digitaalisen videoaineiston paikka- ja aikaleiman avulla saatiin tarkka paikkatieto aikaleiman avulla lämpökamerakuville. Lisäksi paikantaminen varmistettiin pilotin käyttämän lentoreitti-ohjelmiston avulla. Lämpökameran tekniset ominaisuudet (resoluutio, avauskulma, sensorin spektrialue) olivat vuoden 2011 kuvauskamerassa samat kuin v. 2010 käytetyssä.



Kuva 5. Kesän 2011 lentokuvauksissa käytetty laitteisto (kuva: Kirsti Korkka-Niemi, Helsingin yliopisto, 2011).



Kuva 6. Lentokuvausta käsivaraisesti 21.7.2011 (kuva: Kirsti Korkka-Niemi, Helsingin yliopisto, 2011).

Lentokuvausten teknisiä ratkaisuja parannettiin kesän 2010 kokemusten perusteella. Heinäkuussa kuvaukset tehtiin helikopterista käsivaraisesti (kuva 6) lentokorkeudesta 100–250 m mpy (maaresoluutio 0,13–0,33 m). Lentokuvaukset tehtiin vuonna 2011 kaikilla jokiuomilla alajuoksulta alkaen kohti yläjuoksua. Lentonopeus vaihteli 50 km/h ja 90 km/h välillä riippuen kuvattavan uoman leveydestä sekä mutkaisuudesta. Jokiuoman lisäksi lämpökamerakuvaan kuvattiin myös jokipenkat. Kuvausten suunnitteluvaiheessa verrattiin myös lentokoneen ja helikopterin ominaisuuksia sekä kustannuksia. Helikopteri todettiin paremmaksi vaihtoehdoksi mahdollisesti tarvittavan alhaisen lentokorkeuden ja -nopeuden takia. Kuvattavien jokiosuuk-sien esim. Lepsämänjoen yläjuoksun kuvaaminen lentokoneesta käsin olisi ollut haasteellista johtuen uoman kapeudesta ja mutkaisuudesta. Käsivaraisesti kuvaamalla saatiin kuvaus kohdennettua paremmin jokiuomaan, kuvauskulma kohtisuoraksi ja helikopterin kallistelun aiheuttamat häiriöt poistettua. Lämpökamerakuvien tallennusnopeus oli 10 kuvaa/s, mikä takasi peräkkäisten kuvien päällekkäisyyden.

Lämpökamerakuvia kertyi yhteensä Keravanjoelta (10 965 kpl), Lepsämänjoelta (13 523 kpl) ja Vantaanjoelta (5 147 kpl) yhteensä 29 626 still-kuvaa. Lämpökamerakuvia analysoitiin kuva kuvalta ThermaCAM Researcher Pro (versio 2.10) -ohjelmistoa käyttäen. Virhetulkintojen välttämiseksi kuvia jokiosuuskittain analysoitaessa käytettiin lukittua lämpötilaväliä +15 – +35 °C.



Kuva 7. Sedimentin lämpötilan mittausta Herajoella 14.7.2010 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2010).

4.2 Veden ja sedimentin lämpötilan ja laadun mittaukset

Lentokuvausten kanssa samanaikaisesti kerättiin vertailuaineistoa maastossa jokivesien ja jokisedimenttien lämpötiloista kuvausajanhetkellä. Kenttämittauksia tehtiin useilla jokiuomien läheisyydessä sijaitsevilla pohjavesialueilla. Tavoitteena oli koota referenssiaineistoa lentokuvauksia varten ja saada yleiskuva pohjaveden ja jokiveden yhteyksistä geologisilta olosuhteiltaan erityyppisillä jokiosuuksilla. Kenttämittauksia tehtiin Jäniksenlinnassa Palojoella, Hyvinkäänkylässä ja Nukarissa Vantaanjoella, Santakosken ja Valkealähteen pohjavesialueilla Keravanjoella, Hyrylässä Tuusulanjoella sekä Herajoella ja Lepsämänjoella. Veden laatua (lämpötila, sähkönjohtavuus, pH, happi) mitattiin YSI 600 XLM-V2-M -kenttämittarilla useilla uoman poikki ulottuvilla mittauslinjoilla pohjan läheisyydessä ja vesikerroksen pintaosassa. Samoilla mittauslinjoilla mitattiin sedimentin lämpötilaa (TP62_S, Umwelt Elektronik GmbH) 15–30 cm syvyydessä (kuva 7).

Jaksolla 22.7.–2.8.2010, jolloin tehtiin myös kesän 2010 lentokuvauksia, mitattiin jatkuvatoimisilla YSI 600 -mitta-antureilla 60 minuutin välein jokiveden lämpötilaa, sähkönjohtavuutta ja sameutta Hyvinkäänkylässä, Nukarissa ja Jäniksenlinnassa. Hyvinkäänkylässä mitta-anturit asennettiin 1,6 m syvän vesikerroksen veden pintaan (0,3 m vedenpinnan alapuolelle) ja pohjaan (0,3 m pohjan yläpuolelle) (kuva 8). Nukarissa anturit asennettiin 1,2 m syvän vesikerroksen pintaan (0,3 m vedenpinnan alapuolelle) ja Jäniksenlinnassa 0,7 m syvän vesikerroksen pohjaan (0,2 m pohjan yläpuolelle) (Nygård 2011).



Kuva 8. Veden laadun mitta-antureiden asennusta Vantaanjoella Hyvinkäänylässä 22.7.2010 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2010).

Lentokuvausten ja kenttämittausten tulosten perusteella valittiin kohdetutkimusalueet, joilla tehtiin tarkempia tutkimuksia vuosina 2011–2012.

4.3 Vesinäytteenotto ja analyysit

4.3.1 Taustaa isotooppikoostumuksesta ja silikaattipitoisuuksista

Stabiilit hapen ja veden isotoopit

Hydrologinen kiertokulku tuottaa systemaattisia vaihteluita luonnonvesien vedyn ja hapen isotooppikoostumukseen. Tärkeimmät luonnonvesien hapen ja vedyn isotooppikoostumusta muuttavia prosesseja ovat sadeveden tiivistyminen ja haihdunta. Järvi- ja jokivedet muodostavat haihdunnan vaikutuksesta isotooppikoostumukseltaan hapen ja vedyn raskaampien isotooppien suhteen rikastuneen ryhmän, joka on erotettavissa sadannasta ja suoraan sadannasta syntyneestä pohjavedestä. Esimerkiksi Säkylän Pyhäjärven järviveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen keskiarvot seurantajaksolla (tammikuu 2012 – huhtikuu 2012) olivat $\delta^{18}\text{O}$:lle -7,4 ‰ ja $\delta^2\text{H}$:lle -59,7 ‰ (VSMOW). Karhu (2001) raportoi matalille pohjavesille Etelä-Suomessa $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvon -11,9 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ keskiarvon -85,1 ‰ (5-vuotinen seurantaohjelma).

Luonnonvesien $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvojen välillä on lineaarinen korrelaatio, jota kuvaavaa suoraa kutsutaan globaalisten meteoristen vesien suoraksi (GMWL = Global Meteoric Water Line). Tietyn alueen vesien $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvojen perusteella laadittu lokaalisten meteoristen vesien suora (LMWL = Local Meteoric Water Line) poikkeaa jonkin verran globaalisten meteoristen vesien suorasta, johtuen paikallisista ilmastollisista ja maantieteellisistä olosuhteista. Kortelaisen

(2007) tarkasteleman sadanta-aineiston (sadeasemat Espoossa, Kuopiossa ja Rovaniemellä) perusteella laadittu lokaalisten meteoristen vesien suoran yhtälö on $\delta^2\text{H} = 7,67 \cdot \delta^{18}\text{O} + 5,79$. Matalien pohjavesien happi- ja vetyisotooppikoostumus heijastavat yleensä alueen keskimääräisen sadannan vastaavia koostumuksia (Clark ja Fritz 1997) ja pohjaveden vuodenaikaiset hapen ja vedyn isotooppivaihtelut ovat melko vähäisiä (Kortelainen ja Gustavsson 2004). Karhun (2001) mukaan Etelä-Suomessa matalien pohjavesien isotooppikoostumus seuraa lähes täysin globaalisten meteoristen vesien suoraa.

Pintavesissä veden isotooppikoostumuksen vuodenaikainen vaihtelu on suurempaa kuin pohjavedessä. Jokivesien viipymä on järvivesien viipymää pienempi ja haihtumisen vaikutus pintaveden isotooppikoostumukseen ei ole niin selkeä kuin järvissä. Jokivesien isotooppikoostumuksen ajallinen vaihtelu muodostuu valuma-alueelta peräisin olevien eri vesien (sadanta, pintavalunta, jokeen laskevat pintavedet ja pohjavesi) osuuksista jokivedessä (Clark ja Fritz 1997). Pinta- ja pohjaveden suhteelliset osuudet jokivedessä määräytyvät valuma-alueen fyysisistä ominaisuuksista, ilmastollisista olosuhteista ja maankäyttömuodoista (Kendall ja Coplen 2001). $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvojen avulla voidaan arvioida pintavesistön ja pohjaveden välisen hydraulisen yhteyden laatua (pintaveden imeytyminen pohjaveteen tai pohjaveden purkautuminen pintavesistöön) sekä ajallista vaihtelua. Stabiilien isotooppien käyttö eri vesien sekoitussuhteiden laskemiseen perustuu riittävään poikkeamaan pintaveden (järvivesi / jokivesi / tekopohjaveden muodostuksessa käytettävä imeytysvesi) ja pohjaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa. $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvojen avulla voidaan arvioida seosvedessä olevien komponenttien (tekopohjavesi / luonnollinen pohjavesi tai pintavesi / pohjavesi) osuuksia laskennallisesti massatasapainon avulla. Seoslaskelmien luotettavuutta voidaan parantaa isotooppikoostumuksen pitkäaikaisseurannalla ajallisen vaihtelun huomioimiseksi sekä tuntemalla muut akviferiin vaikuttavat hydrologiset systeemit.

Massatasapainomenetelmää $\delta^{18}\text{O}$:lle voidaan käyttää sekoitussuhteiden laskennassa (imeytysvesi/pohjavesi), kun päätejäsenten isotooppikoostumus on tiedossa seuraavalla yhtälöllä:

$$f = (\delta_{\text{mix}} - \delta_{\text{sw}}) / (\delta_{\text{gw}} - \delta_{\text{sw}})$$

missä f on pohjaveden osuus %:na, δ_{mix} on $\delta^{18}\text{O}$ ottokaivon tai jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -arvo, δ_{sw} on imeytysveden $\delta^{18}\text{O}$ -arvo ja δ_{gw} on pohjaveden $\delta^{18}\text{O}$ -arvo. Laskuissa käytetään $\delta^{18}\text{O}$ -arvoja niiden paremman suhteellisen analyttisen varmuuden takia verrattuna $\delta^2\text{H}$ -arvoihin.

Vapomix-tutkimuksessa isotooppimääritysten tavoitteena oli 1) kuvata paikallista ja ajallista vaihtelua $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvoissa hydrologisen kierron eri osissa (joet, pohjavedet), 2) hyödyntää $\delta^{18}\text{O}$ -massatasapainomenetelmää pinta- ja pohjaveden seossuhteiden määrittämisessä ottokaivoissa ja jokivedessä ja 3) vertailla tutkittujen jokiosuuksien stabiilien happi ja vetyisotooppien koostumusta keskenään sekä muihin Suomessa tehtyihin tutkimuksiin jokivesien stabiilien happi- ja vetyisotooppien koostumuksesta.

Liuennot silikaatti

Liuennot silikaatti (DSi) vesissä on lähtöisin silikaattimineraalien rapautumisesta ja hajoamisesta (Conley ym. 2000), ja siihen vaikuttavat alueen maankamaraan kivilaji- ja mineraalikoostumus, rapautumisen voimakkuus, ilmaston vaihtelu ja vesistöissä tapahtuva piilevien tuotanto (Conley 1997). Suomen kallioperä koostuu suurimmaksi osaksi erilaisista silikaateista, mikä heijastuu pohjaveden korkeina SiO_2 -pitoisuuksia. Pohjaveden SiO_2 -pitoisuuksien keskihajonta on pientä ja pohjaveden pitkä viipymä nostaa usein SiO_2 -pitoisuuksia (Lahermo ym. 1990). Kevätsulannan yhteydessä esiintyvät pitoisuusminimit johtuvat sulamisvesien vaikutuksesta (Soveri ym. 2001). SiO_2 -pitoisuudet ovat melko riippumattomia akviferi- ja pohjavesityypistä sekä veden muista pääionipitoisuuksista. Lähdevesissä SiO_2 -pitoisuuksilla kuitenkin havaitaan kohtalainen korrelaatio Mg -, Na - ja HCO_3 -pitoisuuksien kanssa (Lahermo ym. 1990). Sadannan liuenneen silikaatin pitoisuus on nolla tai hyvin vähäinen (Asano ym. 2003).

Suomessa matalien kaivojen SiO_2 -pitoisuuksien aritmeettinen keskiarvo on 13,9 ppm ($n = 731$) ja syvissä kalliokaivoissa 14,6 ppm ($n = 258$) (Lahermo ym. 2003). Lahermon ym. Suomen geokemian atlaksessa (1996) ja tutkimusraportissa (2003) piin arvot on annettu laskettuina SiO_2 -pitoisuuksina. SiO_2 -pitoisuudet voidaan muuntaa kertoimella 0,47 Dsi-pitoisuuksiksi (Si:n osuus SiO_2 :n molekyylimassasta on 47 %) tulosten vertailemiseksi. Purovesien SiO_2 -pitoisuudet vaihtelevat 1,7 ja 14,6 ppm välillä (keskiarvo 7,7 ppm, $n = 1\,162$) Suomessa, vaihteluvälin ollessa pienempi kuin muiden yhdisteiden vaihteluvälit (Lahermo ym. 1996). Järvivesien SiO_2 -pitoisuudet vaihtelevat 2 ja 10 ppm välillä (Lahermo ym. 1996).

Conley ym. (2000) havaitsivat jokiveden DSi-pitoisuuksien pienenevän järvien ja altaiden suhteellisen pinta-alan kasvun funktiona, johtuen piilevien kasvusta ja sedimentaatiosta. Vantaan valuma-alueen järvisyys on 2,25 % (Ekholm 1993). Conleyn ym. (2000) mukaan alle 2 % järvisyydellä ei ole suurta merkitystä jokiveden DSi-pitoisuuksille. Conleyn ym. (2000) tutkimusaineistossa alueelliset ilmastolliset ja geologiset eroavaisuudet, maankäyttö tai väestötiheys eivät selittäneet havaittuja jokiveden DSi-pitoisuuksien vaihteluja, ja ne tulkittiin pohjaveden osuuden vaihteluiksi jokivesinäytteissä, kuten myös Hinton ym. (1994). Neal ym. (2005) mukaan DSi-pitoisuuksilla oli systemaattinen yhteys jokivirtaamaan; suurimmat DSi-pitoisuudet esiintyivät alivirtaamakaudella (pohjavirtaaman osuus maksimissaan) ja pienimmät ylivirtaamakaudella. DSi-pitoisuuksien kasvaminen alajuoksun suuntaan viittaisi kasvavaan pohjaveden määrää ja DSi-pitoisuuksien pieneneminen merkitsisi pintavalunnan osuuden kasvamista (Marchand 2001).

Vapomix-tutkimuksessa silikaattimääritysten tavoitteena oli 1) testata liuenneen silikaatin soveltuvuutta pohjavesi-pintavesi vuorovaikutuksen tutkimukseen. Stabiilien happi- ja vetyisotooppien sovellettavuutta jokiympäristössä pohjavesi-pintavesi-seossuhteiden määrittämisessä häiritsee sekä jokiveden vähäinen haihtuminen että sadannan samankaltaisuus pohjaveden isotooppikoostumuksen kanssa, jolloin päätejäsenten isotooppikoostumus on hyvin lähellä toisiaan, eikä massatasapainolaskuja voida suoraan soveltaa jokiveden pohjavesi-pintavesi komponenttien erottamiseen. 2) kuvata silikaattipitoisuuksien ajallista ja paikallista vaihteluvuutta tutkituilla jokiosuuksilla ja hydrologisen kierron eri osissa.

Pääionit

Suomen matalat pohjavedet ovat yleisesti hyvin pehmeitä tai pehmeitä, ja joskus keskikovia Ca-HCO_3 -vesiä (Lahermo ym. 1990). Pohjavesien liuenneiden aineiden määrät ovat pienimmät lähdevesissä ja kasvavat kuilu- ja porakaivoissa (Lahermo ym. 1990). Hiekka/sora ja moreenikerrostumissa olevissa pohjavesissä ei ole suuria laatueroja, mutta liuenneiden aineiden pitoisuudet voivat nousta monikertaisiksi osittain tai kokonaan paineellisissa pohjavesiesiintymissä (Lahermo ym. 1990).

Vapomix-tutkimuksessa pääionimääritysten tavoitteena oli **1)** tutkia pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksen paikallista ja ajallista vaihtelua sekä **2)** arvioida pääionipitoisuuksien soveltuvuutta pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutuksen tutkimisessa Vantaanjoen valuma-alueella. Pääionimääritysten tuloksia tarkasteltiin AquaChem 2010.1 -ohjelmalla. Vesikemiaa tarkasteltiin sekä kaikkien näytteenottoajankohtien osalta että vain alivirtaamakauden osalta, jolloin pohjavesi-pintavesi vuorovaikutuksen näkyminen pääionikoostumuksessa pitäisi tulla parhaiten esiin.

4.3.2 Näytteenottopisteet ja näytteenottomenetelmät

Kohdetutkimusalueilta otettiin jokivesinäytteitä, tekopohjavedeksi imeytettävästä vedestä (Päijännevesi Jäniksenlinnan allasimeytysalueella) sekä pohjavesinäytteitä havaintoputkista, lähteistä ja pohjavedenottamoiden vedenottoaivoista. Jokivesinäytteitä otettiin pohjaveden purkautumisalueiden kohdalta sekä ylävirtaan ja alavirtaan purkautumisalueista. Ylävirrasta otetut näytteet edustivat jokiveden laatua ilman pohjavesivaikutusta, purkautumisalueiden kohdalta otetut näytteet edustivat pohjaveden ja jokiveden sekoittumisvyöhykkeen veden laatua jokiuomassa, ja alavirrasta otetut näytteet edustivat sekoittunutta jokivettä ja pohjavettä. Pohjaveden havaintoputkista otettiin näytteet pohjaveden laatuparametrien taustapitoisuuksien selvittämiseksi. Lähteestä otetut pohjavesinäytteet edustivat jokiuomaan purkautuvan pohjaveden laatua, ja vedenottamoiden raakavesinäytteet pohjaveden ja pintaveden sekoittumisvyöhykkeen veden laatua pohjavesimuodostumassa. Kohdetutkimusalueiden näytteenottopisteiden sijainti on esitetty kartoilla liitteissä 1–7.

Jokivesinäytteet otettiin syvemmistä uomista noin 1 m syvyydeltä Limnos-näytteenottomella tai pullonoutimella. Matalissa uomissa (syvyys ≤ 1 m) jokivesinäytteet otettiin pullonoutimella tai suoraan näytepulloihin vesikerroksen keskiosasta. Pohjaveden havaintoputkista näytteet otettiin Twister-pohjavesipumpulla. Ennen näytteenottoa esipumpattiin havaintoputkesta pohjavettä 3 x putken vesitilavuuden verran. Pohjaveden pinnankorkeus mitattiin ennen ja jälkeen näytteenottopumppauksen, ja näytteenoton jälkeen mitattiin myös pohjaveden laatu (lämpötila, sähkönjohtavuus, pH, happi, redox) YSI 600 XLM-V2-M- tai YSI Professional Plus Quatro -kenttämittarilla samasta syvyydestä mistä pumpattiin näytteet. Lähteistä otettiin näytteet pullonoutimella tai suoraan näytepulloihin. Vedenottoaivojen raakavesinäytteet otettiin pumppaamon näytteenottohanasta, josta vettä juoksutettiin vähintään 5 min ennen näytteenottoa.

Kesällä 2010 vesinäytteitä otettiin lentokuvausta ja kenttämittausten yhteydessä, ja näytteenotto oli suuntaa-antavaa vuonna 2011 tehtäviä tarkempia kohdetutkimuksia varten. Isotoop-

pinäytteenotto toteutettiin Herajoella (7 näytettä), Hyvinkäänkylän alueella (8 näytettä), Jäniksenlinnassa (9 näytettä), Valkealähteen alueella (5 näytettä) ja Hyrylässä (3 näytettä). Vuoden 2010 aikana otettujen näytteiden isotooppituloksia käytettiin taustapitoisuustietoina yhdessä aikaisempien tutkimusten tulosten kanssa (Backman ym. 2009, Huttunen 2004, Kortelainen & Karhu 2004, Kortelainen 2007, Niinikoski 2010, Pöyry Oy:n ja Helsingin yliopiston tekemät Hyvinkäänkylän pohjavesien happi- ja vetyisotooppikoostumustutkimukset 2007–2010).

Kesän 2010 aikana tehtiin myös Vantaanjoen yhteistarkkailuohjelman mukaista vesinäytteenottoa ja 16 yhteistarkkailupisteestä otettiin lisäksi vesinäytteet klorofyllin määrittämiseksi.

Vuoden 2011 aikana otettiin kohdetutkimusalueilla vesinäytteitä maaliskuussa (1.–9.3.2011) (kuva 9), huhtikuussa (11.–12.4.2011), kesäkuussa (14.6. ja 22.6.2011), heinäkuussa (21.–22.7.2011), elokuussa (1.–4.8.2011), syyskuussa (12.–13.9.2011) ja lokakuussa (19.10.2011) (taulukko 4). Näytteenottoajankohdat painottuivat hydrologisen kiertokulun mukaisesti muutokseen: talvi (pohjavedenpinta alhaalla), kevät (kevätsalun vaikutus), kesä (pintavesi alhaalla) ja syksy (syysvalun vaikutus). Näytepisteiden määrä ja näytekierron määrä kullakin kohdetutkimusalueella on esitetty taulukossa 4. Eri vesikomponenttien sekoittumissuhteiden laskemiseksi otettiin isotooppi- ja DSi-määrittämisiksi varten vuonna 2011 yhteensä 209 vesinäytettä. Näytteiden määrä tutkimuskohteittain oli: Herajoella 38 näytettä, Hyvinkäänkylän alueella 43 näytettä, Lepsämänjoella 9 näytettä, Palojoella 51 näytettä, Keravanjoella 38 näytettä ja Tuusulanjoella 30 näytettä. Silikaattimäärittäysten tavoitteena oli tarkentaa DSi-pitoisuuksien vaihtelua eri vesityypeissä vuodenajoittain. Lisäksi haluttiin vertailla isotooppikoostumusten ja DSi-pitoisuuksien hyödynnettävyyttä eri vesien suhteellisten osuuksien ja sekoitussuhteiden laskemisessa.



Kuva 9. Jokivesinäytteenottoa Herajoella 1.3.2011 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2011).

Vapomix-tutkimuksen näytteet otettiin pääsääntöisesti samoina ajankohtina kuin Vantaanjoen yhteistarkkailun jokivesinäytteet. Vuoden 2011 aikana tehtiin Vantaanjoen yhteistarkkailuohjelman mukainen laaja näytteenottokierros kuutena (6) näytteenottoajankohta (maalis-, huhti-, kesä-, heinä-, elo- ja lokakuussa). Em. ajankohtina otettiin näytteitä Vantaanjoella 15 näytepisteestä, Keravanjoella kahdeksasta (8) näytepisteestä, Palojoella kahdesta (2) näytepisteestä ja Herajoen yhdestä (1) näytepisteestä. Jokivesinäytteistä määritettiin yhteistarkkailuohjelman mukaisten veden laadun perusparametrien lisäksi liuenneen epäorgaanisen hiilen (DIC) isotooppikoostumus ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) sekä hapen ja vedyn isotooppikoostumus ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), alkaliteetti ja sähkönjohtavuus (Paula Niinikosken väitöstutkimus).

Taulukko 4. Vesinäytteenottopisteet kohdetutkimusalueilla.

Joki	Vedenottamo	Näytteenottopisteet	Näytekierrroksia
Vantaa	Hyvinkäänkylä	3 raakavesikaivoa 1 lähde 1 havaintoputki 3 jokinäytepistettä	6
Herajoki	Herajoki	3 raakavesikaivoa 1 lähde 5 jokinäytepistettä	6
Palojoki	Jäniksenlinna	3 raakavesikaivoa imeytysallas 1 havaintoputki 3 jokinäytepistettä	6
Tuusulanjoki	Koskenmäki	1 raakavesikaivo 1 havaintoputki 3 jokinäytepistettä	5
Keravanjoki	Santakoski	1 raakavesikaivo 3 jokinäytepistettä	2
Keravanjoki	Valkealähde	1 lähde 4 jokinäytepistettä	6
Keravanjoki	Yhteistarkkailupisteet	5 jokinäytepistettä (K14, K24, K57, K62, K66)	1 (16.8.2011)
Lepsämänjoki	Nummenpää	2 lähdettä 4 jokinäytepistettä	1 (21.-22.7.2011)

4.3.3 Vesinäytteiden analyysimenetelmät

Isotooppinäytteet kerättiin 50 ml:n HDPE-pulloihin. Näytepullot täytettiin piripintaan, ilmakuplien poistamiseksi näytteestä. Näytteistä määritettiin Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen tutkimuslaboratoriossa hapen ja vedyn isotooppikoostumus ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) sekä silikaattipitoisuus (Agilent 7500ce/cx ICP-MS). Isotooppimääritykset tehtiin Picarro-ontelovaimenemisspektrometrillä. Näytesarjaan sisällytettiin standardinäytteitä (W-5 ja W-7) sekä laatustandardinäyte (W-118). Tulokset ilmoitetaan delta (δ)-arvoina, mikä ilmoittaa promillepoikkeaman (‰) merivesistandardin VSMOW (= Vienna Standard Mean Ocean Water) isotooppikoostumuksesta, jolloin $\delta^2\text{H}$ tai $\delta^{18}\text{O} = [(R_{\text{näyte}}/R_{\text{standardi}}) - 1] \cdot 1\,000$, missä R on $^2\text{H}/^1\text{H}$ tai $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ suhde näytteessä ja standardissa. Analyytin epävarmuus on keskimäärin ± 0.5 ‰ $\delta^2\text{H}$:lle ja ± 0.1 ‰ $\delta^{18}\text{O}$:lle.

Silikaattinäytteet kerättiin HDPE-pulloihin isotooppinäytteenoton yhteydessä ja säilytettiin pimeässä jääkaapissa analysointiin asti. Näytteet suodatettiin (0.45 μm) ja analysoitiin Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitoksen Agilent 7500ce/cx ICP -massaspektrometrillä ISO 17294-2 standardin mukaisesti. Analyysien laadunvarmistuksessa käytettiin nolla-, rinnakkais- ja vertailunäytteitä. Nolla- ja rinnakkaisnäytteiden määrä oli vähintään 5 % kokonäyttemäärästä (Virkanen ym. 2012). Rinnakkaisnäytteiden vaihtelukertoimen raja-arvona käytettiin näytteiden pitoisuusalueella 10 % (Eaton ym. 1998). Vertailunäytteiden analyysin sallittu maksimipoikkeama ilmoitetusta pitoisuudesta oli 10 % (Virkanen ym. 2012). Tulokset on ilmoitettu DSi-pitoisuuksina (liukoinen komponentti) ppm yksiköissä. Analyytin virhe liuenneelle silikaatille on keskimäärin ± 2 %.

Näytteet pääioni-, alkaliniteetti- ja sähkönjohtavuusmäärityksiä varten kerättiin 1 000 ml polyteenipulloihin ja kestävästiin pakastamalla. Sähkönjohtavuus määritettiin CON6/TDS6 sähkönjohtavuusmittarilla standardin SFS 5794 mukaisesti ja pH määritettiin TitroLine pH-mittarilla ennen alkaliniteetin määrittämistä. Alkaliniteetti määritettiin titraamalla standardin SFS-EN ISO 9963-1 mukaisesti. Pääionimääritykset tehtiin IC-standardien SFS-EN ISO 10304-1 ja SFS-EN ISO 14911 mukaisesti (Compact 761 Ion Chromatography). Kaikki em. muuttujat määritettiin Geotieteiden ja maantieteen laitoksella Helsingin yliopistolla. Määritysraja oli 0,08 ppm ja 0,05 ppm kationeille ja anioneille (paitsi 0,1 ppm NO_3^- :lle). Analyysien laadunvarmistuksena tarkasteltiin vertailunäytteitä (VKI, poikkeama vertailunäytteestä alle 10 %), rinnakkaisnäytteitä (vaihtelukerroin < 10 %) ja ionitasapainoa. Näytteiden ionitasapaino laskettiin kaavalla $100 \cdot (\sum \text{Kat} - \sum \text{An}) / (\sum \text{Kat} + \sum \text{An})$. Saatua ionitasapainoa tarkasteltiin seuraavasti APHA-kriteerien (American Public Health Association, 1995) mukaan: **1**) Anionisumma on alle 3,0 meq/L ja kationi- ja anionisummien erotus on vähemmän kuin 0,2 meq/L, **2**) Anionisumma on 3,0–30 meq/L ja ionibalanssi on korkeintaan 2 %, **3**) Anionisumma on 10–800 meq/L ja ionibalanssi on korkeintaan 5 %. Analyysin hyvän laadun varmistamiseksi jonkin em. ehdoista oli toteuduttava, muutoin analyysi uusittiin. Näytteiden lukumäärä oli Herajoki 37 kpl, Vantaanjoki 53 kpl, Palojoen 48 kpl, Tuusulanjoki 29 kpl, Keravanjoki 33 kpl ja Lepsämänjoki 9 kpl (yhteensä 209 kpl).

Huhtikuun ja lokakuun 2011 näytekiirroksilla (Hyvinkäänkylässä myös syyskuun 2011 kierroksella) määritettiin näytteistä myös liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus (DOC). DOC-määritykset tehtiin Metropolilab-laboratoriossa menetelmällä SFS-EN 1484:1997 (epävarmuus 15 %).

4.4 Vedenottokaivojen veden laadun mittaukset jatkuvatoimisilla S::can-antureilla

Pintavesien sekoittuminen pohjaveteen voi ilmetä hyvinkin lyhytaikaisena jaksona lumien sulussa. Tällöin vedenottamoiden raakavesikaivojen pohjavesien laadussa esiintyviä äkillisiä ja lyhytaikaisia muutoksia on mahdoton havaita perinteisellä tarkkailunäytteenotolla. Jatkuvatoimisten anturimittausten soveltuvuutta em. muutosten jäljittämiseen testattiin neljällä pohjavedenottamolla.



Kuva 10. Herajoen vedenottamon viereinen jokiveden pinnankorkeuden mittauspiste 11.4.2011. Herajoen ottamolla mitattiin paineanturilla jokiveden pinnankorkeutta sekä S::can-anturilla nitraattitypeä, liuennutta orgaanista hiiltä ja sameutta raakavedessä tunnin välein 31.3.–29.4.2011 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2011).

4.4.1 Anturimittaukset keväällä 2011

Tulvavaara-alueella sijaitsevalle Herajoen pohjavedenottamolle asennettiin keväällä 2011 lumien sulamiskauden ajaksi mitta-anturi kaivojen K5 (pääkaivo) ja K4 (käytössä tarvittaessa) yhteenjohdetun, laitokselta lähtevän veden laadun tarkkailemiseksi. Teknisistä syistä johtuen mitta-anturia ei voitu asentaa raakavesikaivoon, vaan mittauspiste oli laitoksella oleva alavesisäiliö, jonka vesi on käsiteltyä. Vedestä mitattiin UV-VIS-spektrometriaan perustuvalla S::can-anturilla tunnin välein veden nitraatti- ja nitriittityppipitoisuutta, liukoisen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta ja sameutta. Anturin mittauspektri on 200–750 nm. Herajoen uomaan asennettiin paineanturi (Keller), joka mittasi Herajoen vedenpinnan tasoa tunnin välein (kuva 10). Anturimittauksien kalibroimiseksi otettiin kahtena mittausajankohtana näytteet, joista määritettiin laboratorioissa nitraatti-nitriittityppipitoisuus ja DOC. Antureihin oli tiedon tallennusta ja siirtoa varten liitetty GSM-yhteydellä varustettu Luode-dataloggeri. Antureiden

mittausjakso oli 31.3.–29.4.2011. Tiedot vedenottomääristä Herajoen vedenottamon raaka-vesikaivoissa ja pohjaveden pinnankorkeustiedot vedenottoalueella saatiin Riihimäen Veden mittauspisteistä.

4.4.2 Anturimittaukset keväällä 2012

Keväällä 2012 tarkkailtiin maaliskuusta huhtikuuhun 2012 neljällä jokiuoman lähellä sijaitsevalla pohjavedenottamolla UV-VIS-spektrometriaan perustuvalla S::can-anturilla tunnin välein veden nitraatti- ja nitriittityyppipitoisuutta, liukoisen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuutta ja sameutta. Anturimittauksia tehtiin Herajoen, Hyvinkäänkylän, Nukarin ja Jäniksenlinnan ottamoilla. Herajoella anturit asennettiin vastaavasti kuin keväällä 2011 eli mitattiin kaivojen K4 ja K5 yhteenjohdetun veden laatua. Mittauspiste oli sama kuin keväällä 2011. Nukarin ottamolla on käytössä vain yksi vedenottokaivo, johon mitta-anturit asennettiin (kuvat 11 ja 12). Hyvinkäänkylässä ja Jäniksenlinnassa, missä on käytössä useita vedenottokaivoja, anturit asennettiin kaivoon, jossa aikaisempien tarkkailutulosten perusteella on ollut selvimmän nähtävissä jokiveden vaikutus.

Määritysraja nitraatti-nitriitti-tyyppipitoisuudelle ja DOC-pitoisuudelle oli sensorista riippuen 0,005–0,1 mg/l ja sameudelle 0,1–0,4 FNU. Anturimittauksien kalibroimiseksi otettiin kolmena mittausajankohtana näytteet, joista määritettiin laboratoriossa nitraatti-nitriittityyppipitoisuus, DOC ja sameus. Mittausjaksolla mitattiin myös vähintään kerran vuorokaudessa jokiveden ja pohjaveden pinnan korkeudet. Antureiden mittausjakso oli 14.3.–2.5.2012.



Kuva 11. Nukarin pohjavedenottamon vedenottokaivo, johon asennettiin S::can-mitta-anturi mittaamaan veden laatua tunnin välein jaksolla 14.3.–2.5.2012 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).



Kuva 12. Nukarin vedenottoaivo ja taustalla Vantaanjoen Nukarinkosken alasuvanto, jossa mitattiin paineanturilla jokiveden pinnankorkeutta. Vedenottoaivon etäisyys jokiuomasta 40 m (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).

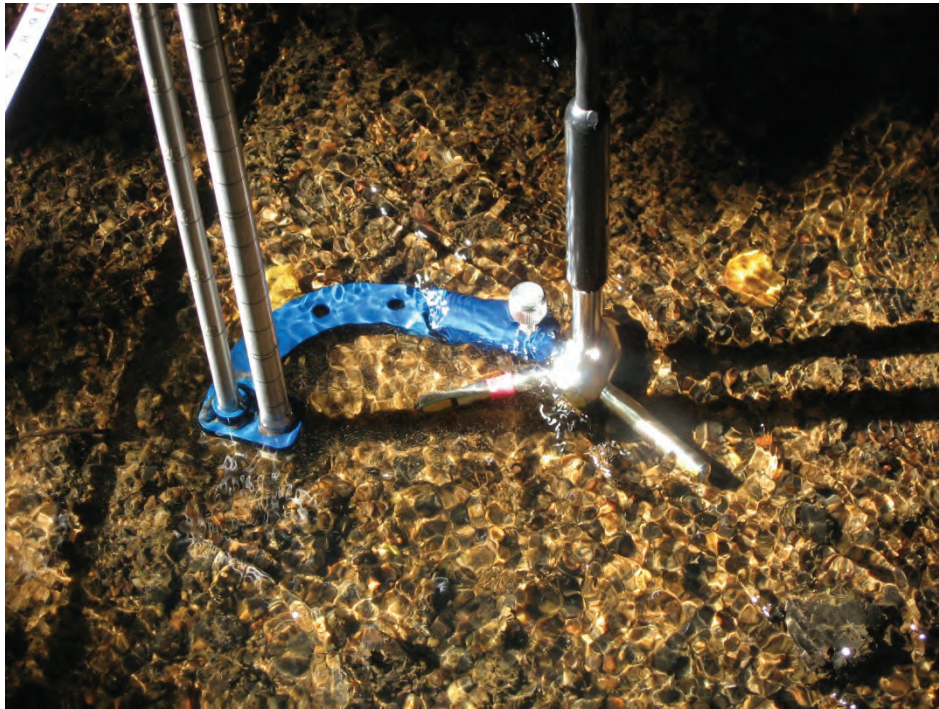
4.5 Virtaamamittaukset

4.5.1 Kohdetutkimusalueiden virtaamamittaukset yli- ja alivirtaamakausina

Jokiuomaan purkautuvan pohjaveden ja/tai joesta pohjavesiesiintymään imeytyvän pintaveden määriä pyrittiin selvittämään virtaamamittauksilla. Virtaamamittauksia tehtiin Herajoella, Vantaanjoella, Palojoella ja Tuusulanjoella elo-syyskuussa 2011 sekä huhtikuussa ja heinäkuussa 2012. Jokaisella kohdetutkimusalueella virtaamamittauksia tehtiin usealla mittauslinjalla. Jokiveden pinnankorkeuden vaihtelun vaikutuksen minimoimiseksi kussakin kohteessa kaikkien linjojen mittaukset tehtiin saman päivän aikana. Mittausjaksoilla tarkkailtiin tiheennetysti myös jokiveden ja pohjaveden pinnankorkeuksia.

Jokiuomat, joilla virtaamamittauksia tehtiin, olivat erityyppisiä syvyyden, leveyden ja pohjan koostumuksen osalta, ja mittauksissa käytettiin kahta eri menetelmää. Tavoitteena oli arvioida näiden kahden menetelmän käyttökelpoisuutta ja luotettavuutta erilaisissa olosuhteissa (Brander 2013).

Pienemmissä uomissa (maksimisyyvyys 0,01–1,4 m, leveys 1–11 m) virtaamamittauksia tehtiin SonTekin® FlowTracker®-virtaamamittarilla, joka perustuu akustisen signaalin 2D- ja 3D-nopeuksien mittaamiseen (kuvat 13 ja 14). FlowTracker® soveltuu käytettäväksi virtausnopeuksilla 0,001–4,5 m/s uomiin, joissa veden maksimisyyvyys on noin 1,5 m. Menetelmän avulla päästään mittaamaan veden virtausnopeudet lähellä pohjaa ja rantaa. Rannan ja pohjan vaikutus veden virtausnopeuteen ja siten virtaamaan erityisesti pienissä uomissa on merkittävä (Kivimäki ym. 2012).



Kuva 13. Virtaamamittausta FlowTracker®-laitteistolla Herajoella Epranojan latvaosien matalassa uomassa 3.8.2011 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).



Kuva 14. Virtaamamittausta FlowTracker®-laitteistolla Palojoella Jäniksenlinnassa 13.4.2012 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).

FlowTracker®-virtaamamittauksissa jokiuoman poikki kulkevalle mittauslinjalle valitaan sopiva mitta-asemien etäisyys, joka on riippuvainen jokiuoman leveydestä. Lisäämällä mittauslinjan mitta-asemien lukumäärä voidaan parantaa mittauksen luotettavuutta, mutta mitta-asemien määrän lisääminen kasvattaa myös yksittäisen linjan mittaamiseen kuluvaa aikaa. Veden syvyyden mittaamisen jälkeen käyttäjä valitsee mitä mittausmenetelmää mitta-asemalla käytetään, eli monellako korkeudella veden nopeus mitataan. Matalassa vedessä (< 20 cm) luotettavaan mittaustulokseen riittää mittauksen tekeminen yhdellä syvyydellä, mutta veden syvyyden kasvassa mittauksia tehdään kahdella, kolmella tai viidellä syvyydellä. Mittausasemien ja eri syvyyksillä tehtävien mittausten lukumäärää voidaan mittauksen luotettavuuden parantamiseksi kasvattaa myös, mikäli jokiuoman poikkileikkauksen profiili on hyvin vaihteleva. Laitteisto laskee jokaisen yksittäisen mittauksen kohdalla useita laatuparametrejä, joiden avulla on mahdollista arvioida mittauksen virhelähteitä ja luotettavuutta (SonTek/YSI 2009, Brander 2013).

FlowTracker®-laitteistolla saavutetaan parhaimmat tulokset uomissa, joilla on selkeä profiili sekä karkeasta materiaalista, kuten hiekasta tai sorasta, koostuva pohja. Uoman pohjalla ei saisi olla virtausta häiritseviä esteitä, kuten kiviä tai uponneita puunrunkoja. Myös kasvillisuuden tulisi olla mahdollisimman vähäistä. Jokiuoman olisi myös hyvä olla suora linjan kohdalla sekä hieman sen yläpuolella, jotta suurin virtaus tapahtuisi uoman keskiosassa eikä esimerkiksi uoman toisella reunalla. Virtauksen tulisi olla myös mahdollisimman häiriintymätöntä. Luonnon-uomissa kaikki kriteerit täyttäviä mittalinjoja voi kuitenkin olla vaikea löytää, mutta luotettavia mittaustuloksia on mahdollista saada myös mittalinjoilla, jotka eivät täysin täytä kaikkia näitä kriteereitä (Brander 2013).



Kuva 15. Virtaamamittauksen valmistelua RiverSurveyor M9® -laitteistolla Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä 24.7.2012 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).



Kuva 16. Virtaamamittausta RiverSurveyor M9® -laitteistolla Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä 24.7.2012 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2012).

Suuremmissa jokiuomissa (maksimisyyvyys 1,5–3 m, leveys 14–38 m) virtaamamittauksia tehtiin SonTekin® RiverSurveyor M9® -virtaamamittarilla, joka on akustinen 9-keilainen virtaamamittauslaite GPS-paikannuksella (kuva 15). RiverSurveyor M9® soveltuu virtaamamittausten lisäksi erittäin tarkkaan uoman poikkipinta-alan kartoittamiseen. RiverSurveyor M9® -mittauksissa veden syvyyden tulisi olla vähintään 0,5 m ja uoman leveyden yli 5 m. Laitteistoa varten uoman yli pitää virittää köysi tai vaijeri (kuva 16), tai vaihtoehtoisesti mittaukset voidaan tehdä veneestä, jolloin mittauslaitteistoa vedetään aluksen perässä. RiverSurveyor M9® -laitteen käyttö mahdollistaa virtaamatietojen laskennan reaaliajassa, jolloin mittauksien tulokset ovat välittömästi käytettävissä jo mittauspaikalla. Laitteiston avulla voidaan kartoittaa virtausnopeudet jopa 80 metrin syvyydelle yhdellä mittauksella. Mittausmenetelmä on hyvin nopea, ja sen avulla saadaan virtaussuunnat ja -nopeudet mitattua koko vesimassan paksuudelta yhdellä kertaa. Nopeuden vuoksi voidaan tehdä useita toistoja, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Menetelmää on käytetty mm. vesivoimalaitosten kalibroinnissa (Kivimäki ym. 2012).

RiverSurveyor M9® -laitteisto mittaa virtaaman jakamalla jokiuoman poikkileikkauksen useaan vaakasuuntaiseen riviin, jotka kuvastavat soluja sekä vertikaaliseen palkkiin, jotka kuvastavat pystyprofileja. ADP-yksikkö mittaa veden nopeuden jokaisessa näin muodostuvan ruudun yksittäisessä solussa sekä muodostaa useita vierekkäisiä vertikaalisia profileja, jotka yhdistämällä saadaan jokiuoman kokonaisvirtaama. Mittauslaitteisto vedetään uoman poikki lautalla, jonka liike vaikuttaa mitattuun veden nopeuteen. Tämän vaikutuksen huomioon ottamiseksi ADP-yksikkö mittaa pohjaseuranta-toiminnolla (bottom track) lautan nopeutta ja liikkeen suuntaa suhteessa jokiuoman pohjaan. Lautan ja koko laitteiston nopeus vähennetään mitattua veden nopeudesta, jolloin saadaan selville todellinen, laitteiston liikkeestä riippumaton,

veden nopeus. Pohjaseuranta-toiminnon lisäksi laitteiston nopeus ja liikkeen suunta saadaan selville myös GPS-seurannan avulla. Molempia samanaikaisesti käyttämällä laitteiston nopeus ja liikkeen suunta saadaan mitattua tarkemmin kuin käyttämällä ainoastaan toista menetelmää (SonTek/YSI 2007) (SonTek/YSI 2007, Brander 2013).

Mahdollisimman luotettavien tulosten saavuttamiseksi myös RiverSurveyor M9® -mittauksissa mittalinjan sijoittamisessa on otettava huomioon useita seikkoja. Hyvien ja luotettavien mittaus tulosten edellytyksiä ovat:

- Virtaus on suhteellisen tasaista ja rauhallista.
- Virtausta haittaavaa kasvillisuutta on mahdollisimman vähän.
- Reunoilla tapahtuva virtaus on vähäistä suhteessa joen keskiosissa tapahtuvaan virtaukseen.
- Jokiuoman syvyys vaihtelee asteittaisesti.
- Mittaussyvytydet ovat laitteiston ADP-yksikön toimintarajojen sisällä.
- Jokiuoma ei ole liian matala.

Jokiuomien luonnollisten vaihteluiden takia mittauskohteen valinnassa joudutaan usein tekemään kompromisseja. Joidenkin tekijöiden vaikutusta (esim. turbulenttinen virtaus) voidaan vähentää tekemällä mittalinjalla useita peräkkäisiä toistomittauksia. Toistomittausten avulla voidaan lisätä tulosten luotettavuutta sekä vähentää virtaaman temporaalisten tai spatiaalisten vaihteluiden vaikutusta tuloksiin. Hyvässä kohteessa suoritettujen toistomittausten tulokset sijoittuvat muutaman prosentin sisälle toisistaan (Brander 2013).

4.5.2 Pitkän aikavälin päivittäiset virtaamahavainnot ja PART-menetelmä

Jokiuoman kokonaisvirtaama muodostuu pintavalunnasta (maan pinnalla valuva sadannan osa), pintakerrosvalunnasta (se osa sadannasta, joka imeytyy maaperään ja kulkeutuu maan pintakerroksissa vesiuomiin) ja pohjavalunnasta (pääasiassa pohjavedestä peräisin oleva valunta kausina, jolloin ei sada vettä eikä sula lunta) (Wiebe 2012). Yhdysvaltain Geologisen tutkimuslaitoksen (USGS) kehittämän PART-laskentaohjelman (Rutledge 1998 ja 2007) avulla voidaan erotella pohjavalunnan keskimääräinen osuus kokonaisvirtaamasta. Lähtötietoina PART-laskentaohjelmaan syötetään päivittäiset virtaamatiedot (ft^3/s) mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta ja valuma-alueen pinta-ala (mi^2). Virtaamavaihteluiden toistuvien maksimien ja minimien perusteella PART-menetelmä tunnistaa ajanjaksot, jolloin kokonaisvalunta koostuu pääasiassa pohjavalunnasta, ja pohjavalunnan osuus muina havaintojaksoina saadaan lineaarisesti interpoloimalla (Rutledge 2007). PART-menetelmän tuloksia suositellaan tulkitsemaan keskimääräisinä osuuksina vuositasolla tai kuukausitasolla. PART-laskennan antamissa päivittäisissä tuloksissa on suurta epävarmuutta, erityisesti ajanjaksoina jolloin pintavalunnan osuus on suuri (Rutledge 1998).

PART-menetelmä soveltuu käytettäväksi pohjavedestä muodostuvan pohjavalunnan osuuden arviointiin jokiuomissa, joissa valuma-alueen pohjavedet purkautuvat pääasiassa kyseiseen jokiuomaan ja virtaamahavaintopaikka alavirrassa edustaa uoman ainoata ulosvirtauspaikkaa. Jokiosuudella ei saisi olla säännöstelyä, lisäveden johtamista tai vesien merkittävää poisjohtamista (esim. pohjavedenottamot). Jos jokiuomaan purkautuvissa pohjavesiesiintymissä on hyvin alhainen diffusiivisuus (läpäisevyys jaettuna varastokertoimella), antaa PART-menetelmä

epävarmoja tuloksia. PART-menetelmää suositellaan käytettäväksi jokiosuuksilla, joiden valuma-alueen pinta-ala on yli 1 mi² (2,59 km²) ja ≤ 500 mi² (1 295 km²) (Rutledge 1998).

Wiebe (2012) on tehnyt PART-menetelmän avulla arvioita pohjaveden keskimääräisestä osuudesta Säkylän Pyhäjärveen laskevissa Pyhäjoen ja Yläneenjoen jokiuomissa, käyttäen OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelun päivittäistä virtaamahavaintoaineistoa vuodesta 1971 alkaen. PART-laskennalla saatiin vuositason tarkasteltuna pohjavalunnan osuudeksi Pyhäjoessa 66–87 % ja Yläneenjoessa 54–78 % (Wiebe 2012).

Vapomix-tutkimuksen kohteena olevilla Vantaanjoen valuma-alueen jokiosuuksilla useat seikat rajoittivat PART-menetelmän käyttöä pohjavalunnan keskimääräisien osuuksien arvioinnissa. Yleisesti koko valuma-alueella rajoittavana tekijänä oli virtaamahavaintopaikkojen vähäisyys. OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelun mukaan Vantaanjoen vesistöalueella on 14 toiminnassa olevaa virtaamahavaintopaikkaa, joissa havainnointi on alkanut vaihtelevasti vuosina 1937–2005. Jokiosuuksittain tarkasteltaessa todettiin PART-menetelmät soveltuvuudesta seuraavaa:

Vantaa

1. Virtaamahavaintoja joen alajuoksulta on riittävän pitkältä ajanjaksolta: Oulunkylän havaintopaikalta vuodesta 1937 lähtien, Myllymäen havaintopaikalta vuodesta 1959 lähtien ja Ylikylän havaintopaikalta vuodesta 2002 lähtien (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).
2. Virtaamahavaintopaikoista ylävirtaan jokiuomaan johdetaan käsiteltyjä jätevesiä, jotka vaikuttavat vesitaseeseen (Vahtera ym. 2012).
3. Virtaamahavaintopaikoista ylävirtaan Kytäjärven vedenkorkeutta ja virtaamia säännöstellään (Matti Halsti/HSY, Kytäjärven säännöstelyn havaintokirja 1964–2012). Vedet laskevat Kytäjäjärvestä Kytäjokea pitkin Vantaanjokeen, joten säännöstely vaikuttaa myös pääuoman vesitaseeseen. Kytäjärven osuus Oulunkylän havaintopaikalla mitatusta virtaamasta on alivirtaamakausina 10–12 % ja tulva-aikoina noin 5 % (Viljakainen 2000).
4. Virtaamahavaintopaikoista ylävirtaan valuma-alueella on runsaasti rakennettuja alueita (mm. hulevesien keruujärjestelmät) ja pohjavedenottoja, jotka muuttavat joen vesitasetta.

Edellä mainituista kohdista 2–4 johtuen PART-menetelmä ei sovellu pohjavalunnan osuuden arviointiin Vantaanjoessa.

Herajoki

1. Herajoen jokiosuudella ei ole säännöllisen havainnoinnin piirissä olevaa virtaamahavaintopaikkaa (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Herajoelta ei ole pitkän aikavälin virtaamahavaintoaineistoa, jota voitaisiin analysoida PART-menetelmällä.

Palojoki

1. Palojoen jokiosuudella ei ole säännöllisen havainnoinnin piirissä olevaa virtaamahavaintopaikkaa (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Palojoelta ei ole pitkän aikavälin virtaamahavaintoaineistoa, jota voitaisiin analysoida PART-menetelmällä.

Lepsämänjoki

1. Virtaamahavaintoja joen alajuoksulta Lepsämänjoen havaintopaikalta on vuodesta 2002 lähtien (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).
2. Lepsämänjoen yläjuoksulla on tutkimushankkeeseen liittyvä virtaamahavaintopaikka (Valkama, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, julkaisematon aineisto), jolta on vuodesta 2007 lähtien virtaamahavaintoja.
3. Lepsämänjokea ei säännöstellä eikä siihen johdeta lisävettä, ja pohjavedenotto on vähäistä (Vestran pohjavesialueella Lepsämänjoen alajuoksulla Länsi-Keimolan vesiyyhtymän vedenottamalla vedenotto $< 100 \text{ m}^3/\text{d}$, Nummenpään pohjavesialueella joen yläjuoksulla Nurmijärven kunnan Nummenpään ottamo, jossa vedenottolupa $1\,300 \text{ m}^3/\text{d}$).

PART-menetelmää testattiin Lepsämänjoen virtaamahavaintoaineistolla vuosilta 2007–2012 (Valkama ym. 2013).

Tuusulanjoki

1. Virtaamahavaintoja Tuusulanjärven-Tuusulanjoen luusuasta on vuodesta 1966 lähtien, mutta joen alajuoksulta Myllykylästä vain vuodesta 2005 lähtien (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).
2. Tuusulanjoen uomaa kunnostettiin vuosina 2006–2009 perkaamalla jokiuomaa ja joen penkkoja sekä rakentamalla jokeen pohjakynnyksiä. Lisäksi Tuusulanjärven–Tuusulanjoen luusuassa on säännöstelypato (Hietala 2009).

Edellä mainituista kohdista 1–2 johtuen PART-menetelmä ei sovellu pohjavalunnan osuuden arviointiin Tuusulanjoessa.

Keravanjoki

1. Virtaamahavaintoja joen alajuoksulta Hanalasta on vuodesta 1940 lähtien.
2. Keravanjokeen johdetaan kesäkausina toukokuusta elokuuhun Ridasjärven kautta lisävettä Päijänne-tunnelista. Vuonna 2011 lisäveden keskimääräinen virtaama oli $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, ja virtaama Keravanjoen alajuoksulla Hanalassa vastaavana aikana oli $0,59 \text{ m}^3/\text{s}$. Lisäksi Haarajoella ja Kellokoskella on säännöstelypadot (Vahtera ym. 2012).

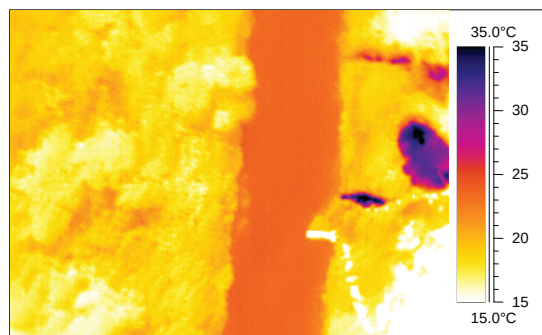
Edellä mainituista kohdista 1–2 johtuen PART-menetelmä ei sovellu pohjavalunnan osuuden arviointiin Tuusulanjoessa.

5 Tulokset

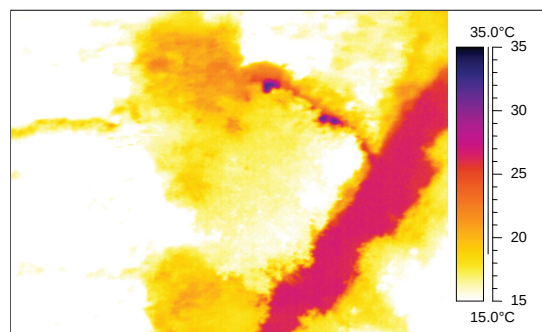
Tässä raportissa on esitetty yhteenveto kesien 2010 ja 2011 lämpökamerakuvausten tuloksista. Kesän 2010 lämpökamerakuvausten tuloksia on esitetty yksityiskohtaisemmin Maria Nygårdin gradututkielmassa (2011), Vapomix-väliraportissa 2011 (Kivimäki ym. 2011) sekä kahdessa kansainvälisessä julkaisussa (Korkka-Niemi ym. 2012, Rautio ym. 2013).

5.1 Lämpökamerakuvausten tulokset

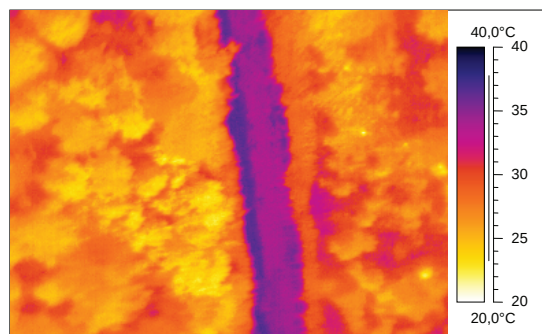
Lämpökamerakuvausaineistoa 2010 tulkittaessa (Kivimäki ym. 2011, Nygård 2011) jokiuomien alueella tai läheisyydessä havaitut lämpötila-anomaliat jaoteltiin neljään luokkaan:



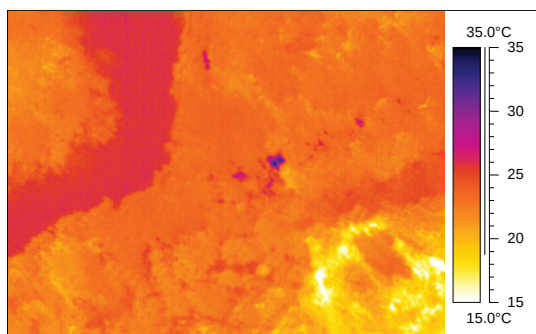
1. **Lähde**, josta purkautuu pohjavettä jokiuomaan (esimerkkikuvassa veden pintaosan lämpötila lähteessä 13,2 °C ja jokiuomassa 25,9–27,5 °C).



2. **Oja/sivu-uoma**, josta purkautuu kylmää vettä jokiuomaan (esimerkkikuvassa veden pintaosan lämpötila ojassa 18,1 °C ja jokiuomassa 23,2–24,3 °C).



3. Kylmää vettä purkautuu jokiuomaan **tihkumalla rantavyöhykkeessä** (esimerkkikuvassa veden pintaosan lämpötila rantavyöhykkeessä 22,4 °C ja jokiuoman keskellä 23,9–24,3 °C).

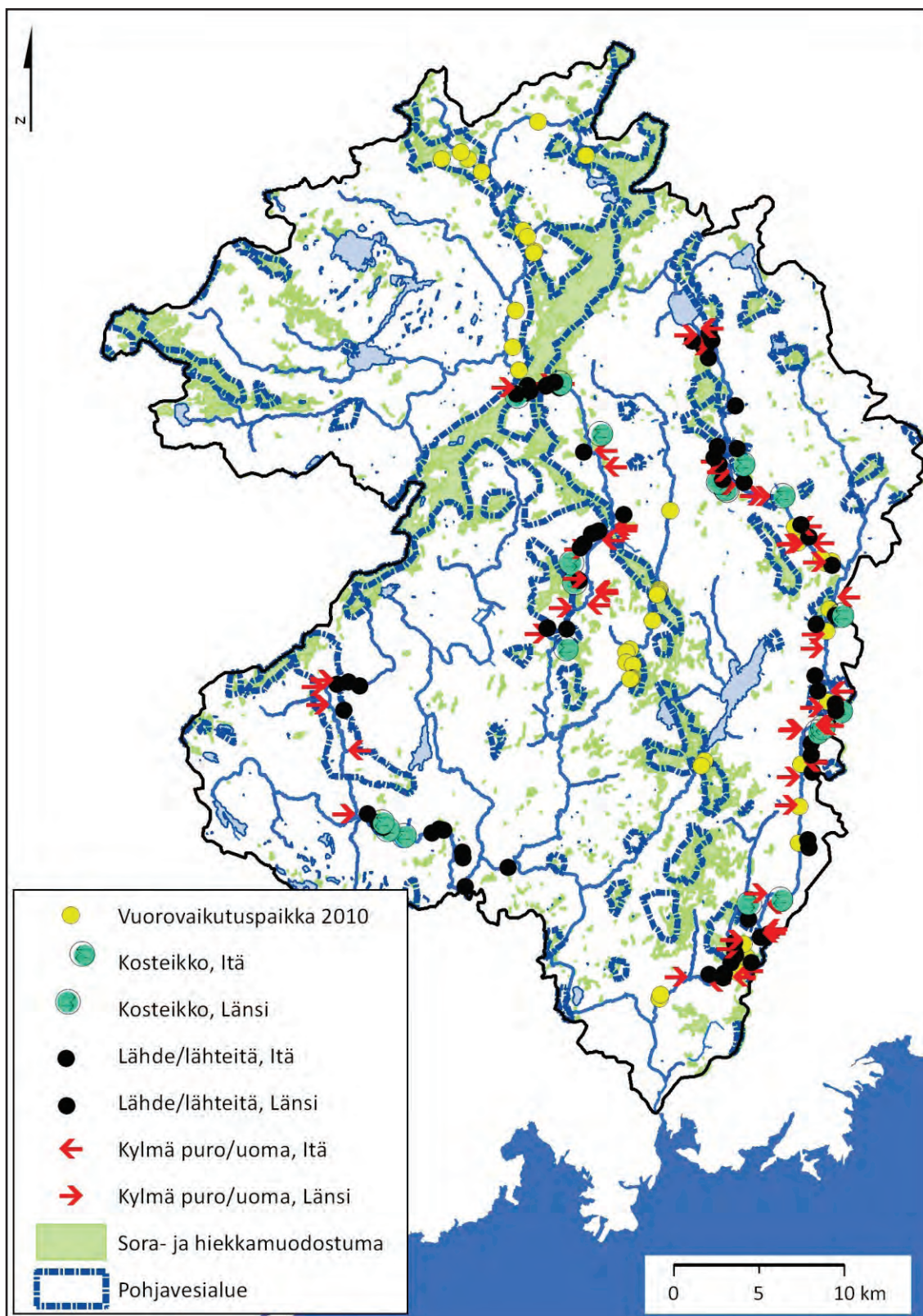


4. Kylmää vettä / **kosteikkoa jokiuoman reunoilla** rannan läheisyydessä (esimerkkikuvassa veden lämpötila rannan läheisyyden määrittämissä painanteissa 17,1 °C ja jokiuomassa 23,7–24,9 °C).

Luotettavimmin pystyttiin tunnistamaan luokkien 1 ja 2 purkautumisalueet. Sen sijaan luokkien 3 ja 4 havainnot todettiin siinä määrin epävarmoiksi, että ne on varmistettava maastossa kenttämittauksin (Nygård 2011). Luokan 3 purkautumisalueissa epävarmuutta aiheuttivat pienet lämpötilaerot laaja-alaisten tihkupintojen ja muun vesikerroksen pintalämpötilassa sekä uoman reunojen varjostumat, joita ei ilman digitaalista kuvausaineistoa pystytty luotettavasti tarkistamaan. Myös luokan 4 purkautumisalueiden tunnistamisessa oli epävarmuutta. Jokiuoman reunoilla rannan läheisyydessä havaitut kylmät kohdat voivat selittyä muillakin tekijöillä kuin kylmän pohjaveden laaja-alaisina purkautumisalueina.

Vuoden 2011 lämpökamerakuvien tulkinnessa voitiin digitaalisen videokuvausaineiston avulla varmistaa luokkien 3 ja 4 tulkintoja. Kuvassa 17 on esitetty lämpökamerakuvauksissa 2010 ja 2011 havaitut lämpötila-anomaliat. Niiltä jokiosuuksilta, joita ei kuvattu uudelleen kesällä 2011 (Vantaanjoen yläjuoksu, Tuusulanjoki ja Palojoki), on kuvaan 17 sisällytetty vain merkittävimmät ja luotettavasti tunnistetut kylmän veden purkautumisalueet.

Lämpökamerakuvauksissa 2011 havaitut ja varmistetut lämpötila-anomaliat esitetään kuvassa 17 jaoteltuna kolmeen luokkaan: **1)** lähde tai lähteitä, **2)** kylmää vettä purkava sivu-uoma tai sivuoja **3)** kosteikko. Näin ollen tässä raportissa esitettävistä lämpökamerakuvausten tuloksista (kuva 17 ja taulukko 5) on jätetty ulkopuolelle ne havainnot, joihin liittyi eniten epävarmuutta. Lisäksi ei-pistemäisissä purkautumispaikoissa eli uoman reunoilla havaituilla kosteikkopaikoilla on useissa peräkkäisissä lämpökamerakuvissa todetut lämpötila-anomaliat tulkittu yhtä kosteikkoaluetta kuvaaviksi havainnoiksi. Edellä selostetuilla tulkinnoilla vuosien 2010 ja 2011 lämpökamera-aineiston perusteella kuvatuilla jokiosuuksilla tunnistettiin 268 erilaista pohjaveden purkautumisaluetta (taulukko 5).



Kuva 17. Lämpökamerakuvauksissa 2010 ja 2011 havaitut lämpötila-anomaliat. (Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010, Valuma-alueet © SYKE 2010).

Taulukko 5. Lämpökamerakuvausaineistosta 2010 ja 2011 tulkitut pohjaveden purkautumisalueet.

Joki	Luokka 1 Lähde/lähteitä	Luokka 2 Sivu-uoma/puro	Luokka 3 Kosteikko	Yhteensä
Vantaa	32	26	32	90
Herajoki	0	2	10	12
Palojoki	12	5	14	31
Lepsämänjoki	14	5	3	22
Tuusulanjoki	5	7	13	25
Keravanjoki	39	38	11	88
Yhteensä	102	83	83	<u>268</u>

5.1.1 Vantaanjoen lämpökamerakuvausten tulokset

Vantaanjoen valuma-alueen pinta-alasta (1 680 km²) on kallioaluetta 7 %, moreenia 24,6 %, soraa-hiekkaa 20,3 %, silttiä-savea 38,7 % ja turvetta 9,4 % (Tikkanen 1989). Vuonna 2011 kuvattulla jokiosuudella (kuva 4) uoman välittömässä läheisyydessä on kolme pohjavesialuetta: etelässä Valkojoen pohjavesialue (kokonaispinta-ala 9,35 km²) ja Nukarin pohjavesialue (kokonaispinta-ala 1,94 km²), pohjoisessa Hyvinkään pohjavesialue (kokonaispinta-ala 29,06 km²) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Hyvinkäänkylästä ylävirtaan (Hyvinkään kaupungin länsipuolella) Vantaanjoen uoma kulkee pohjois-eteläsuuntaisena noin 1 km:n päässä Hyvinkään pohjavesialueen ulkorajasta, mutta Hyvinkään pohjavesialueen muodostavan reunamuodostuman ollessa mittava pohjavesivarasto, siitä purkautuvien pohjavesien vaikutus näkyy paikoitellen jokiuomassa. Hyvinkäästä pohjoiseen Vantaanjoen latvoilla jokiuoman välittömässä läheisyydessä on neljä pohjavesialuetta: Arolampi (kokonaispinta-ala 2,17 km²), Herajoki (kokonaispinta-ala 10,21 km²), Kekomäki (kokonaispinta-ala 2,16 km²) ja Kuru (kokonaispinta-ala 20,42 km²) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Herajoen pohjavesialue ulottuu pitkälle Herajoen sivu-uomaa ylävirtaan, ja siitä purkautuu pohjavesiä myös Epranojan haaraan.

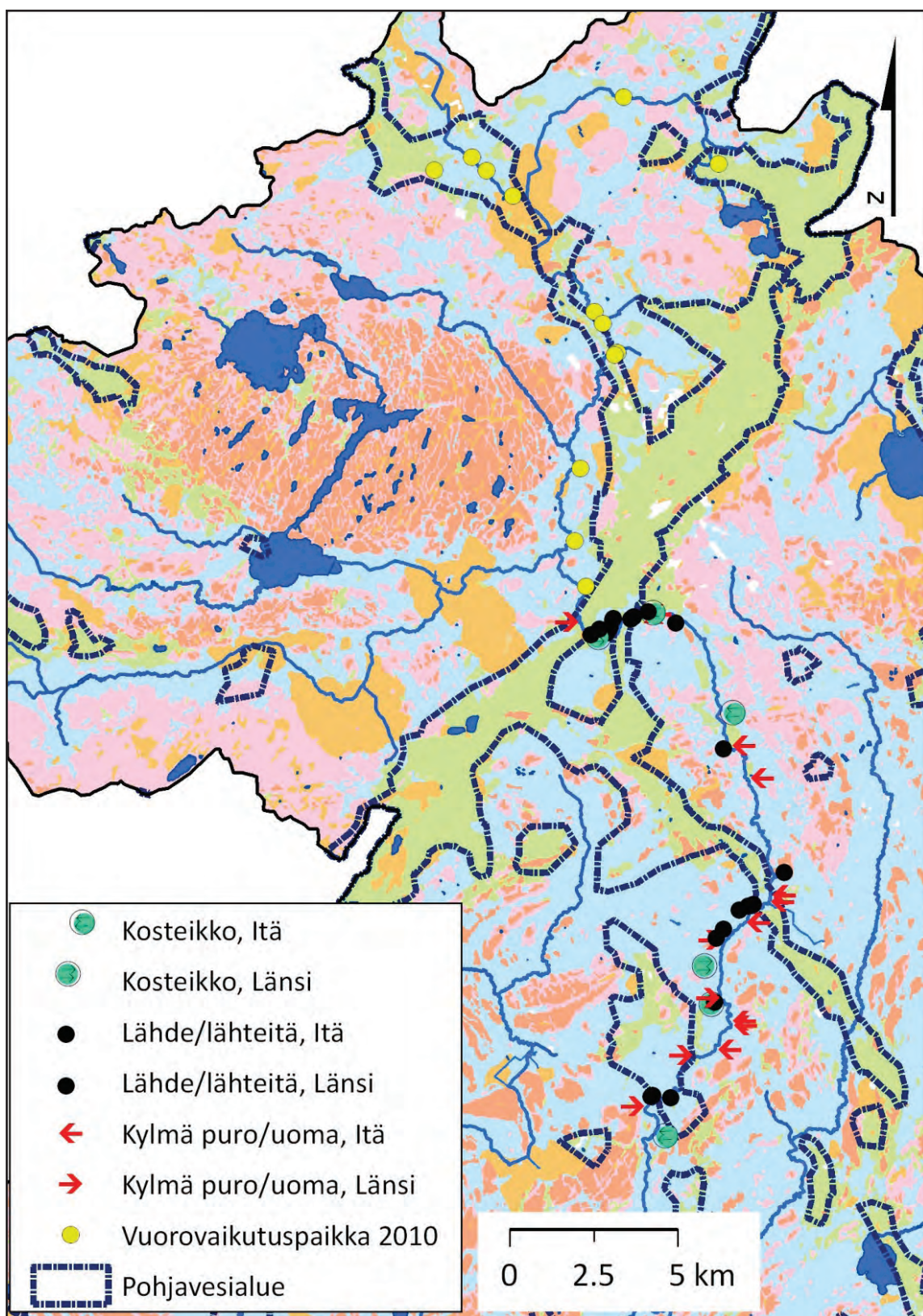
Pohjaveden purkautumisalueita Vantaanjoella tunnistettiin kesän 2011 kuvauslinjalla 43 kpl. Vuosien 2010 ja 2011 aineiston perusteella kylmän veden purkautumisalueita tunnistettiin yhteensä 90 kpl (taulukko 5). Lentorajoitusten ja tiheään rakennettujen taajama-alueiden vuoksi Vantaanjoen alajuoksua ei päästy kuvaamaan kumpanakaan kesänä. Kesän 2010 lentokuvat ulottuivat alajuoksulla Vantaanjoen ja Palojoen yhtymäkohtaan asti. Vantaanjoen alajuoksulla ei ole laaja-alaisia pohjavesialueita, joten kuvausaineiston puuttuminen ei aiheuta merkittävää virhettä pohjaveden purkautumisalueiden kartoituksessa.

Lämpökamerakuvausaineiston perusteella pohjavettä purkautuu Vantaanjokeen pääsääntöisesti pohjavesialueilla, joissa hiekka- ja sorakerrostumat leikkaavat jokiuomaa (kuva 18). Maaperä koostuu pohjavesialueiden välisillä alueilla pääasiassa savesta-siltistä, mikä rajoittaa pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusta näillä jokiosuuksilla. Yläjuoksulla tunnistettiin kuitenkin myös kylmiä kohtia, joihin purkautui pohjavettä jokiuomaan asti yltävistä moreenikerrostuksista. Pohjavesialueiden välisillä jokiosuuksilla pääsääntöisesti kylmät sivu-uomat ja purot purkavat kylmempää vettä pääuomaan. Laaja-alaisten pohjavesiesiintymien vaikutus veden

lämpötilaan jokiuomassa näkyi mm. ojien kautta purkautuvina kylmempinä vesinä myös etäämmällä pohjavesialueen ulkorajasta. Jokiveden pintakerroksen keskilämpötilassa ei kesän 2011 kuvauslinjan eteläpään (Myllykoski, 21 °C) ja pohjoispään (Hyvinkäänkylä, 21 °C) välillä ollut havaittavissa eroa.

Kesien 2010 ja 2011 lämpökamerakuvausaineiston tuloksia verrattiin tarkimmin Keravanjoella, joka lentokuvattiin koko uoman matkalta molempina kesinä, ja jossa tunnistettiin tiheimmin pohjaveden purkautumisalueita. Vantaanjoella Nukarin pohjavesialueella, jossa Vantaanjoki leikkaa harjumuodostuman, tunnistettiin Nukarin pohjavedenottamon kohdalla oleva lähde ja Lohenojasta purkautuva kylmemmän veden alue molempien vuosien aineistosta. Vuoden 2010 aineistosta tunnistettiin Nukarinkosken eteläpuolella jokiuoman länsirannalla lähdepurkauma (Nygård 2011), jota ei havaittu heinäkuun 2011 kuvauksissa. Nukarin alueella tunnistettiin 2010 aineistosta useita kylmiä kohtia sekä joessa että jokiuoman rantavyöhykkeessä joen molemmin puolin. Kaikki Nukarin alueella havaitut kylmät kohdat eivät sijainneet Nukarin pohjavesialueella, vaan kylmiä kohtia esiintyi myös pohjavesialueen rajojen ulkopuolella (Nygård 2011). Pohjavedenpinnat olivat heinäkuussa 2010 sekä Nukarin pitkittäisharjujaksolla että Uudenmaan alueella yleisesti useita kymmeniä cm ylempänä kuin heinäkuussa 2011 (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Nurmijärven vesilaitoksen omien tarkkailutulosten mukaan Nukarin ottamon vedenottoaivolla pohjavedenpinta oli heinäkuussa 2011 0,1 m alempana kuin heinäkuussa 2010 (Kivimäki ym. 2012).

Hyvinkäänkylässä, missä vedenottamon läheisyydessä on suuria lähteitä, vuosien 2010 ja 2011 kuvausaineiston perusteella tehdyt tulkinnat olivat lähes yhteneväisiä. Noin 2 km:n matkalla (Vantaanjoen kulkiessa poikki Hyvinkäänkylän pitkittäisharjun) tunnistettiin vuoden 2010 aineiston perusteella 13 pohjaveden purkautumispaikkaa, joista 7 oli lähteitä/lähteikköjä. Havaittu lämpötilaminimi oli +10,4 °C. Vuoden 2011 aineiston perusteella tunnistettiin samalla jokiosuudella 12 pohjaveden purkautumispaikkaa, joista 10 oli lähteitä, ja havaittu lämpötilaminimi oli +9,9 °C.



Kuva 18. Vantaanjoella ja Herajoella lämpökamerakuvauksissa havaitut lämpötila-anomaliat vuosina 2010 ja 2011. (Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010, Valuma-alueet © SYKE 2010).

5.1.2 Herajoen lämpökamerakuvausten tulokset

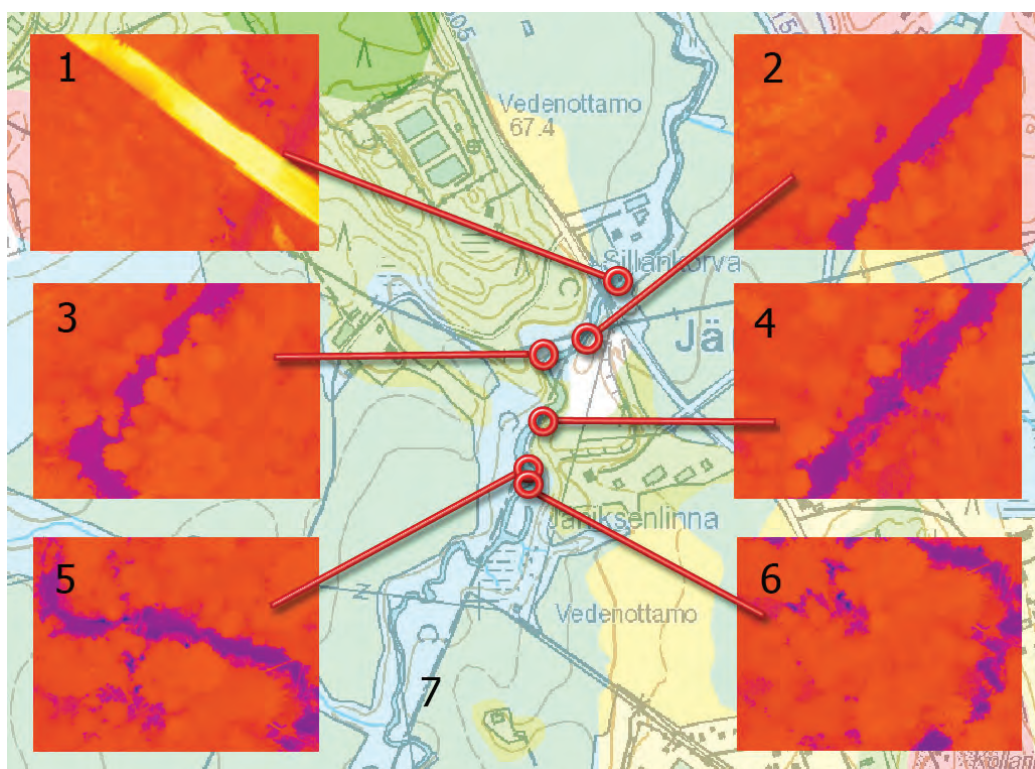
Herajoen ja Vantaanjoen liittymästä Herajokea ylävirtaan mentäessä ensimmäiset ja selkeimmin Herajoella kuvatusista lämpökamera-aineistosta havaitut kylmät kohdat sijaitsivat Herajoen pohjavesialueella Herajoen pumppaamon läheisyydessä (kuva 17). Herajokeen lounaasta laskevista ojista purkautui Herajokeen 2–3 °C kylmempää vettä (jokiveden pintakerroksen lämpötila +22 – +23 °C). Lisäksi Silmäkenevan alueella havaittiin kylmä kohta (+16,3 °C) joessa. Lämpötila laski ylävirtaan siirryttäessä koko uomassa ensin tasolle +19 – +20 °C, ja vähän ennen Epranojan ja pohjoisen haaran yhtymäkohta lämpötila laski tasolle +18 – +19 °C. Epranojan latvoilla lämpötila koko uomassa oli +16 – +17 °C (Nygård 2011).

Lämpötilan lasku koko Herajoen uomassa kohti latvaosia ilmentää sitä, että alivirtaamakaudella uomassa virtaava vesi oli pääosin pohjavesilähtöistä. Herajoen pohjavesiesiintymä on lähes koko jokilaakson alueella savikerrosten peittämä, ja merkittäviä lähdepurkauksia suoraan jokiuomaan ei alajuoksulla esiinny. Purkautumista indikoivia kosteikkoja uoman reunoilla havaittiin (taulukko 5), mutta merkittävimmin pohjavettä purkautuu latvaosiin sekä pohjoiseen kääntyvään haaraan että Epranojan haaraan. Herajoen pohjavesialueen savipeitteisellä harjujaksolla on yhteys myös pohjavesialueen länsipuolella sijaitsevalle Riutanharjulle (Ahonen ja Valjus 2009).

5.1.3 Palojoen lämpökamerakuvausten tulokset

Palojoen valuma-alueen pinta-alasta (92 km²) on kallioaluetta 2,9 %, moreenia 30,9 %, soraa-hiekkaa 18,0 %, silttiä-savea 44,6 % ja turvetta 3,6 % (Tikkanen 1991). Jokiuoman välittömässä läheisyydessä on kaksi pohjavesialuetta (taulukko 3). Jäniksenlinnan pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 2,95 km² ja Siippon pohjavesialueen kokonaispinta-ala 1,35 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Palojoella tunnistettiin yhteensä 31 pohjaveden purkautumisaluetta, joista luotettavimmin tunnistettavia lähteitä oli 12 ja kylmää vettä purkavia ojia 5. Kosteikkoalueiksi luokiteltiin 14 aluetta, joilla havaittiin kylmiä kohtia uoman reunoilla (taulukko 5).

Palojoen kuvauslinjan alkupisteessä joen yläjuoksulla jokiveden pintakerroksen lämpötila koko uomassa vaihteli välillä +24 – +25 °C (Nygård 2011). Yläjuoksulla esiintyi lähinnä kosteikoiksi luokiteltuja lämpötila-anomaliaita, joiden tunnistamisessa oli epävarmuutta. Sen sijaan Jäniksenlinnan pohjavesialueella tunnistettiin Palojoen uoman reunoilla lukuisia pistemäisiä kylmiä kohtia, jotka erottuivat poikkeuksellisen hyvin muusta ympäristöstä (kuva 19). Jäniksenlinnan pohjavesialueen itäreunalla havaittiin jokiuomassa ryhmä useita pistemäisiä kylmiä kohtia, joiden lämpötila oli alimmillaan +17,7 °C. Jokiosuudella, jossa Palojoen uoma kulkee harjun ydinosan poikki, tunnistettiin useita lähteitä, joissa lämpötila oli +12,3 – +18,7 °C. Kylmimmät pisteet sijaitsivat pääasiassa joessa tai uoman länsipuolella (Nygård 2011). Länsipuolella noin 300 m:n päässä jokiuomasta sijaitsevat tekopohjavesilaitoksen imeytysaltaat, mikä lisää pohjaveden purkautumista uoman länsireunalta. Jokiuomassa havaitut lämpötila-anomaliat viittaavat siihen, että pohjavettä purkautuu Palojokeen myös uoman pohjan kautta. Jokiveden lämpötila koko uomassa muuttui merkittävästi noin 100 m päässä Jäniksenlinnan sillalta alavirtaan mentäessä (eli pitkittäisharjun ydinosan alueella), missä jokiveden lämpötila koko uomassa vaihtui tasosta +23 – +24 °C tasoon +16 – +19 °C. Jokiveden lämpötila nousi > +20 °C vasta noin 1,5 km alavirtaan (Nygård 2011).



Kuva 19. Jänkäsenlinnan pohjavesialueella Palojoen uomaa pitkin kuvatun lämpökamera-aineiston merkittävimmät kylmät kohdat (erottuvat tumman sinisenä). © Maanmittauslaitos, © Geologian tutkimuskeskus. Kuvakohtaiset minimilämpötilat: kuva 1: +17,7 °C, kuva 2: +14,9 °C, kuva 3: +15,4 °C, kuva 4: +12,3 °C, kuva 5: +13,8 °C (Nygård 2011, Kivimäki ym. 2011).

Tuusulan Siippoonnummen alueella kuvatusta lämpökamera-aineistosta erottui noin 50 metrin pituinen jokiosuus, jossa esiintyi poikkeuksellisen kylmiä kohtia. Edellä mainitun alueen kylmimmän kohdan lämpötila oli +10,5 °C, kun jokiveden lämpötila vaihteli ylävirran puolella välillä +21 – +22 °C (Nygård 2011). Tällä jokiosuudella jokiuoma kulkee pohjois-eteläsuuntaisena 150–300 m:n päässä Siippoon pohjavesialueen ulkorajasta. Siippoon pohjavesialueen ohittavalla jokiosuudella esiintyi lähteitä, kylmempää (+18,4 °C) vettä syöttäviä ojaia ja koskeikkoja uoman rannoilla. Siippoon pohjavesialue on pohjois-eteläsuuntainen noin 2 km pitkä pitkittäisharju, jonka keskiosassa ja itäreunalla on kalliokohoumia (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Vaikka Palojoen uoman läheisyydessä on savikoita, purkautuu Siippoon pohjavesialueen pitkittäisharjun länsireunalta pohjavesiä jokiuomaan useissa kohdissa. Siippoon pohjavesialueelta alajuoksulle siirryttäessä jokiveden pintakerroksen lämpötila vaihteli välillä +20 – +21,5 °C aina Siippoontien lähetyville saakka, jonne kuvauslinja päättyi (Nygård 2011).

5.1.4 Tuusulanjoen lämpökamerakuvausten tulokset

Tuusulanjoen valuma-alueen pinta-alasta (128 km²) on kallioaluetta 4,6 %, moreenia 19,3 %, soraa-hiekkaa 20,2 %, silttiä-savea 48,8 % ja turvetta 7,0 % (Tikkanen 1989). Jokiuoman välittömässä läheisyydessä on 2 pohjavesialuetta (taulukko 3). Tuusulanjoki kulkee poikki Hyrylän pohjavesialueen A-osa-alueen, jonka kokonaispinta-ala on 3,71 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Ruotsinkylän pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 0,83 km². Kesän 2010 aineisto oli osittain epätarkkaa, joten luotettavasti tunnistettiin vain merkittävimmät pohja-

veden purkautumispaikat Hyrylän pohjavesialueella. Muulla kuvausosuudella (kuvaukset tehtiin Tuusulanjärveltä Ruotsinkylään asti) tunnistetut pohjaveden purkautumisalueet ovat siinä määrin epävarmoja, että ne tulisi varmistaa kenttämittauksilla.

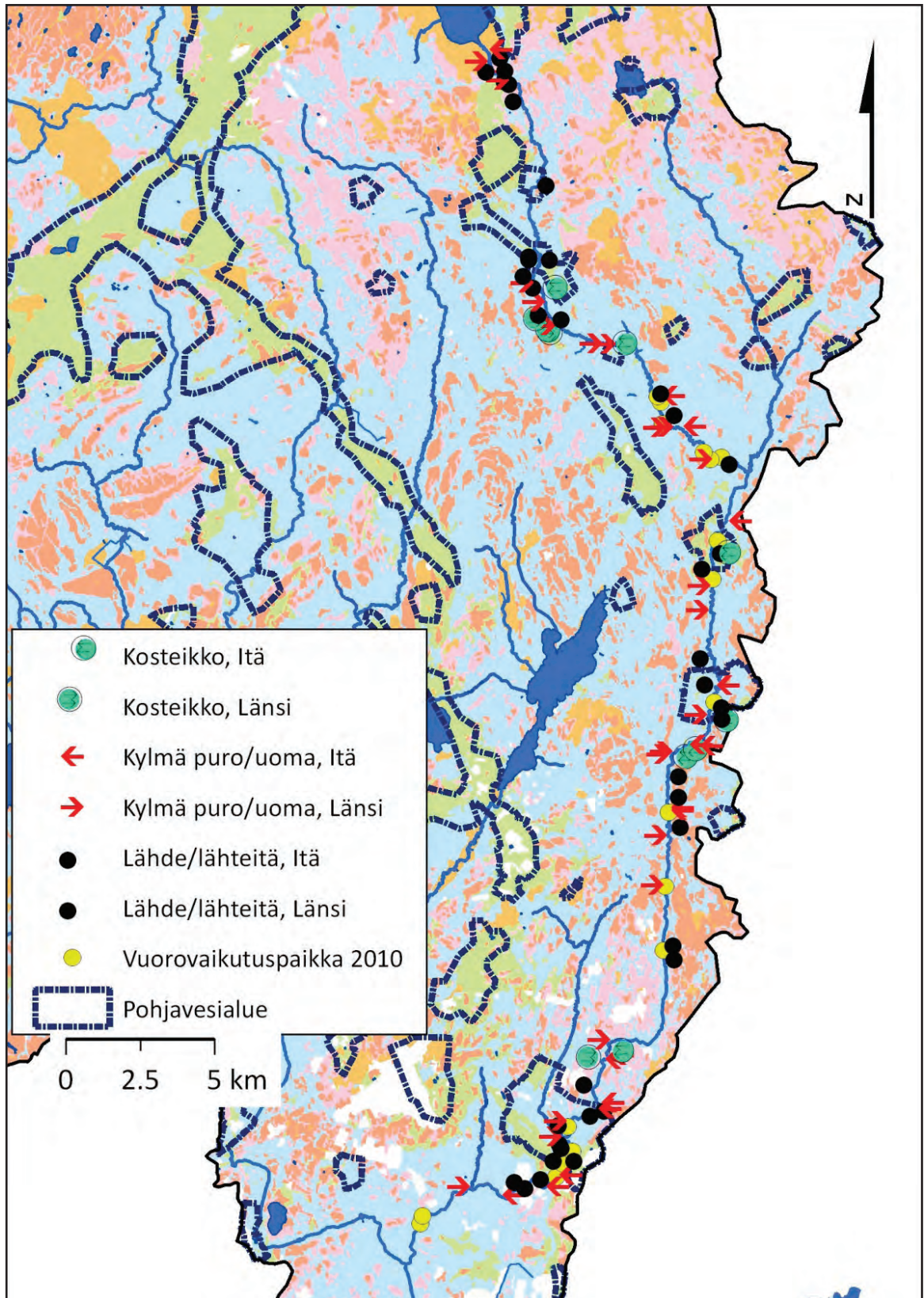
Hyrylän pohjavesialueella tunnistettiin kaksi lähdepurkaumaa ja yksi kosteikoksi luokiteltu kohta rannan tuntumassa. Hyrylän pohjavesialueen ja Ruotsinkylän välisellä alueella tunnistetut lämpötila-anomaliat luokiteltiin pääasiassa ojauomiksi tai kosteikoiksi. Lähteiden niukkuutta selittää se, että Tuusulanjoen varrella ei ole sora- ja hiekkamuodostumia, joilla olisi suora hydraulinen yhteys jokiuomaan. Lähes puolet valuma-alueesta on savipeitteistä (Tikkanen 1989). Myös Ruotsinkylän pohjavesialue koostuu savipeitteisistä kalliopainanteeseen kerrostuneista moreeni-, hiekka- ja sorakerrostumista. Näistä maakerroksista Tuusulanjoen luoteispuolella purkautuvat pohjavedet muodostavat jokiuoman reunoilla kosteikkoja (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

5.1.5 Keravanjoen lämpökamerakuvausten tulokset

Keravanjoen valuma-alueen pinta-alasta (395 km²) on kallioaluetta 7 %, moreenia 24,8 %, soraa-hiekkaa 21,1 %, silttiä-savea 38,2 % ja turvetta 10,9 % (Tikkanen 1989). Jokiuoman välittömässä läheisyydessä on 7 pohjavesialuetta (taulukko 3): alajuoksulla Valkealähteen pohjavesialue (kokonaispinta-ala 8,14 km²), keskijuoksulla Marjamäen pohjavesialue (kokonaispinta-ala 2,35 km²) ja Myllylän pohjavesialue (kokonaispinta-ala 1,94 km²) sekä yläjuoksulla Kellokosken pohjavesialue (kokonaispinta-ala 0,28 km²), Santakosken pohjavesialue (kokonaispinta-ala 3,26 km²), Kaukaan pohjavesialue (kokonaispinta-ala 0,68 km²) ja Käkinummen pohjavesialue (kokonaispinta-ala 1,34 km²) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Pohjaveden purkautumisalueita tunnistettiin Keravanjoella 88 kpl (taulukko 5, kuva 20). Keravanjoen jokiveden keskilämpötilassa ei lämpökamerakuvauksessa havaittu muutosta alajuoksun jokiveden keskilämpötilan (noin +22 °C) ja yläjuoksun jokiveden keskilämpötilan (+22 °C) välillä. Pohjaveden purkautumispaikoista (27 kpl) esiintyi pohjavesialueilla sora- ja hiekkakerrostumien leikatessa jokiuomaa ja loput 61 vuorovaikutuspaikkaa esiintyivät pohjavesialueiden rajojen ulkopuolella.

Lämpökamera-aineiston perusteella Keravanjoella on hydraulinen yhteys pohjaveteen koko uoman matkalla ja pohjavesialueiden välisillä jokiosuuksilla pohjavettä purkautuu pääuomaan ympäröivistä moreeni-, hiekka- ja sorakerrostumista (kuva 20).

Verrattaessa Keravanjoella eri vuosina kuvattua lämpökamera-aineistoa keskenään pohjaveden purkautumispaikoissa havaitaan vaihtelua. Tämä vaihtelu aiheutuu pohjavedenpinnan ja joenpinnan korkeuksien ajallisesta vaihtelusta toisiinsa nähden. Havaintojen eroavaisuuden Keravanjoen latvaosissa selittyy myös sillä, että kesän 2010 kuvausaineisto oli latvaosissa kuvausteknisistä syistä epätarkkaa, joten sen perusteella ei pystytty luotettavasti tunnistamaan purkautumispaikkoja.

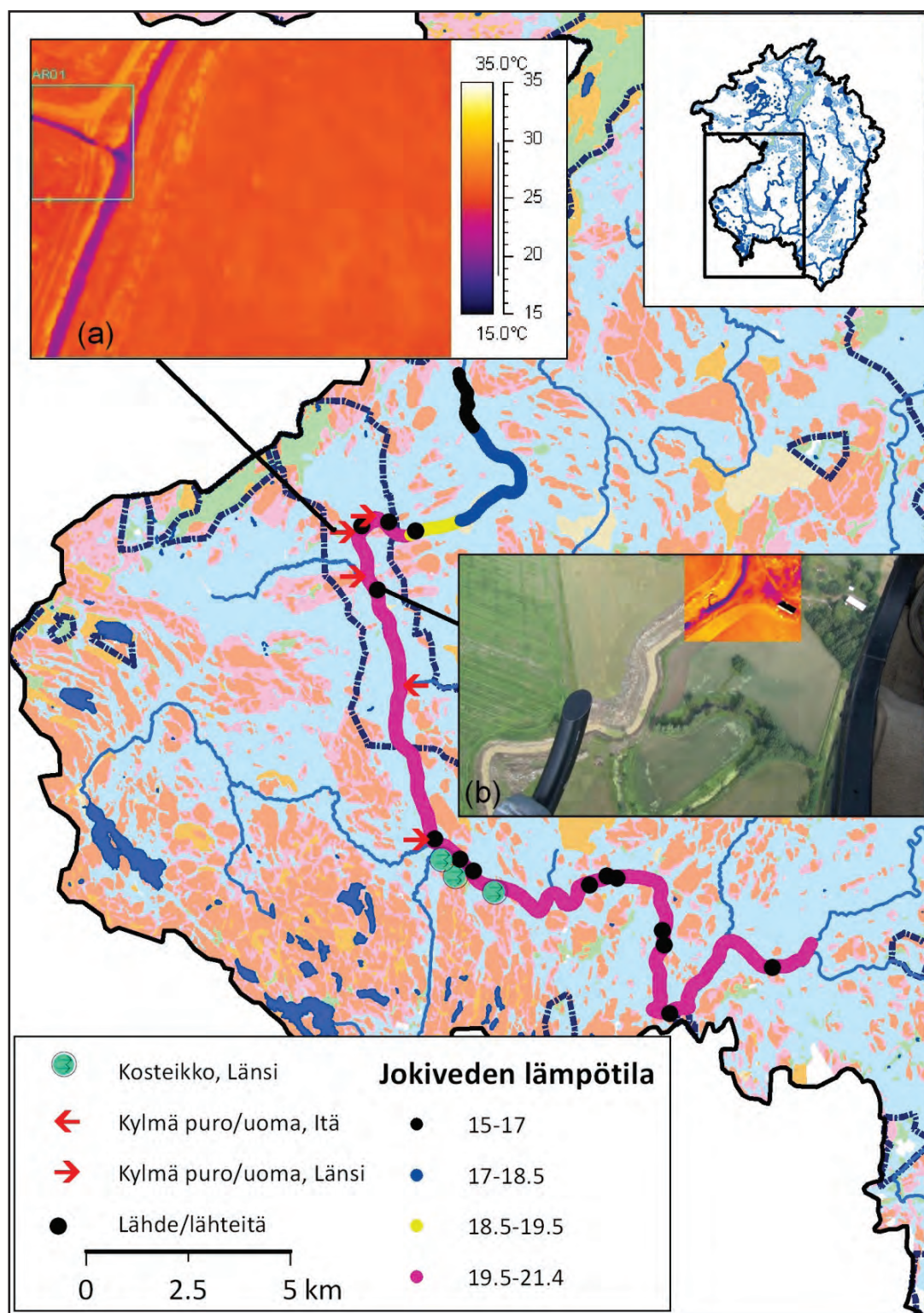


Kuva 20. Keravanjoella lämpökamerakuvausissa havaitut lämpötila-anomaliat vuonna 2011. + korkeusmalli (Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010, Valuma-alueet © SYKE 2010).

5.1.6 Lepsämänjoen lämpökamerakuvausten tulokset

Lepsämänjoen valuma-alueen pinta-alasta (213 km²) on kallioaluetta 21,3 %, moreenia 19,9 %, soraa-hiekkaa 12,0 %, silttiä-savea 38,1 % ja turvetta 8,7 % (Tikkanen 1991). Jokiuoman välittömässä läheisyydessä on kolme pohjavesialuetta (taulukko 3); alajuoksulla Vantaan Vestran pohjavesialue (kokonaispinta-ala 0,1 km²), ja yläjuoksulla Ali-Labbartin pohjavesialue (kokonaispinta-ala 4,31 km²) sekä Nummenpään pohjavesialue (kokonaispinta-ala 11,77 km²) (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Pohjaveden purkautumisalueita tunnistettiin Lepsämänjoella 22 kpl (taulukko 5 ja kuva 21). Purkautumisalueiden vähäisyys johtuu siitä, että jokilaakso on paksujen savi-silttikerrosten peittämä. Pohjavettä kerääntyy savenalaisiin hiekka- ja sora-kerroksiin jokilaaksoa ympäröivien kallioalueiden rinteiden moreeni- ja hiekkakerrosten kautta. Savipeitteisillä alueilla pohjavesi on paineellista (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Merkittävä havainto Lepsämänjoen lämpökamerakuvauksissa oli jokiveden lämpötilan lasku koko uomassa kohti latvaosia (kuva 21). Kuvauslinjan alussa jokiveden keskilämpötila oli +21 °C, vaihdellen välillä +19 – +21,4 °C. Jokiveden pintalämpötilassa tapahtui muutos Nummenpään pohjavesialueen pohjoispuolella, missä jokivesi alkaa kylmentyä. Kuvauslinjan pohjoisosissa jokiveden pintalämpötila on +15 °C paikkeilla. Lepsämänjoen lämpökamera-aineisto on katkonaista kuvauslinjan pohjoisosissa, johtuen jokiuoman kapeudesta sekä kasvillisuuden aiheuttamasta peitteisyydestä. Lepsämänjoen geologiset ominaispiirteet selittävät havaittua lämpötilajakaumaa. Lepsämänjoen vesi on alivirtaamakaudella yläjuoksulla pääosin pohjavesilähtöistä, ja jokiuoman sedimenttikerrostumat ovat hienojakoista ja huonosti vettä läpäisevää ainesta, joten jokiuomasta ei pääse imeytymään pintavettä pohjavesimuodostumaan eikä pohjavettä myöskään pääse purkautumaan jokiuomaan. Vesi virtaa ilman imeytymistä kohti alajuoksua ja lämpenee matkalla sekä auringon lämpösäteilyn vaikutuksesta, että sivu-uomien kuljettaman lämpimän veden sekoittumisen vaikutuksesta. Nummenpään pohjavesialueen pohjoisrajalta alajuoksulle päin jokiuoman rannoilla tunnistettiin kuitenkin useita lähteitä tai sivu-uomia, joista purkautuu kalliomäkien rinteille kerrostuneisiin moreeni-, hiekka- ja sora-kerroksiin varastoitunutta pohjavettä. Uoman reunoilla olevissa lähteissä veden pintalämpötila oli +17 – +20 °C, uoman keskellä +21 – +23 °C. Luokan 3 purkautumisalueet (kosteikko) esiintyivät yksittäisten tunnistettujen lähteiden (luokka 1) ympäristössä, ja siten myös niitä esiintyi pääasiassa joen alajuoksulla. Kosteikkoalueella veden pintalämpötila oli +19 – +20 °C.



Kuva 21. Lepsämänselällä lämpökamerakuvausissa havaitut lämpötila-anomaliat 2011. (Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohja-vesialueet © SYKE 2010, Valuma-alueet © SYKE 2010).

5.1.7 Yhteenveto lämpökamerakuvausten tuloksista

Vuosien 2010 ja 2011 lämpökamera-aineistosta tunnistettiin lähes 270 lämpötila-anomaliaa. Verrattaessa kahtena peräkkäisenä vuotena kuvattuja lämpökameratuloksia ei niissä havaittu suurta vaihtelua. Vuonna 2010 havaittiin enemmän pieniä lähteitä. Tämä johtunee siitä, että kesällä 2010 pohjavedenpinnat olivat heinäkuussa 2010 Uudenmaan alueella yleisesti useita kymmeniä cm ylempänä kuin heinäkuussa 2011. Vuorovaikutuspaikkojen määrä (lähteet/purot) ajallinen vaihtelu on riippuvaista pohjavedenpinnan tasojen ja jokiveden korkeuden muutoksista toisiinsa nähden eri ajankohtina (kuivat ja sateiset ajanjaksot). Eri jokien lämpökameratulosten erilaisuus aiheutuu jokiuomien erilaisesta morfologiasta, jokiuoman korkeustasosta verrattuna pohjaveden pintoihin ja geologiasta. Lämpökamera-aineistossa havaitut pohjaveden purkautumispaikat jokeen voitiin varmentaa maastomittauksilla jokiveden ja jokisedimenttien lämpötiloista (Nygård 2011). Lisäksi jokivedessä havaittiin vaihtelevia lämpötila-anomalioita maastomittauksilla, joita ei lämpökamerakuvauksissa voitu havaita.

Kuvausajankohdan säätila vaikuttaa huomattavasti lämpökamera-aineiston jälkikäsitteilyn helppouteen. Pilvipoutainen sää olisi paras mahdollinen säätila kuvaukselle, jolloin heijastumien ja varjojen aiheuttamien virhetulkintojen mahdollisuus vähenisi aineistosta huomattavasti. Toinen otollinen kuvausajankohta on auringonlaskun jälkeen (Ikäheimo ja Ristolainen 2010). Kesän 2011 aineistoa tulkittaessa pystyttiin virhetulkintoja vähentämään oleellisesti digitaalisen videokuvan avulla, koska visuaalisen kuvan ja karttapalvelun paikkatiedon avulla pystyttiin sekä sulkemaan varjot (virhetulkintana alue voidaan tulkita pohjaveden purkautumisvyöhykkeeksi) sekä rakennetun ympäristön kohteita (tiet, rakennukset) pois.

Tekemällä lämpökameralentokuvaukset käsivaraisesti, saatiin helikopterin kallistelun aiheuttamat kuvaussuunnan heilahtelut poistettua ja saatiin huomattavasti parempi ja yhtenäisempi kuvausaineisto. Uoman tarkka seuraaminen onnistui myös kapealla, mutkittelevalla ja paikoitellen puuston reunustamalla Lepsämänjoella. Ilmakuvauksien suorittaminen matalilla lentokorkeuksilla vaatii saumatonta yhteistyötä kuvaajan ja helikopterin pilotin kanssa. Käytetyllä kuvausjärjestelmällä kuvaukseen tarvitaan pilotin lisäksi kaksi henkilöä. Lämpökamera/FLIR-kuvaaja vastaa kuvauskulmasta ja kuvauskohteen pysymisestä kamerassa, ja navigaattori vastaa lentolinjan ja lentokorkeuden hienosäädön hoitamisesta, tietokoneesta ja lämpökamera-aineiston tallentumisesta PC:lle. Etukäteissuunnittelu ja huolellinen kuvaukseen valmistautuminen säästää kallista lentoaikaa, esim. helikopterityypistä riippuen jalakset sijoittuvat eri etäisyydelle rungosta, mikä vaikuttaa optimaaliseen kuvauslinjan sijaintiin eli siihen kuinka ulkona kuvaajan on kameraa pidettävä. Käsivaraisesti kuvatessa on olemassa putoamisriski sekä kameralla että kuvaajalla, joten turvavaljaat ovat välttämätön varuste kuvaajalle ja varmistuslenkki kameran ja kuvaajan välillä turvaavat myös kameran putoamiselta. Helikopterin turvavyötä ei ole suunniteltu kuvaustarkoitukseen, eikä sitä tule käyttää ainoana turvavarusteena kuvaajalle.

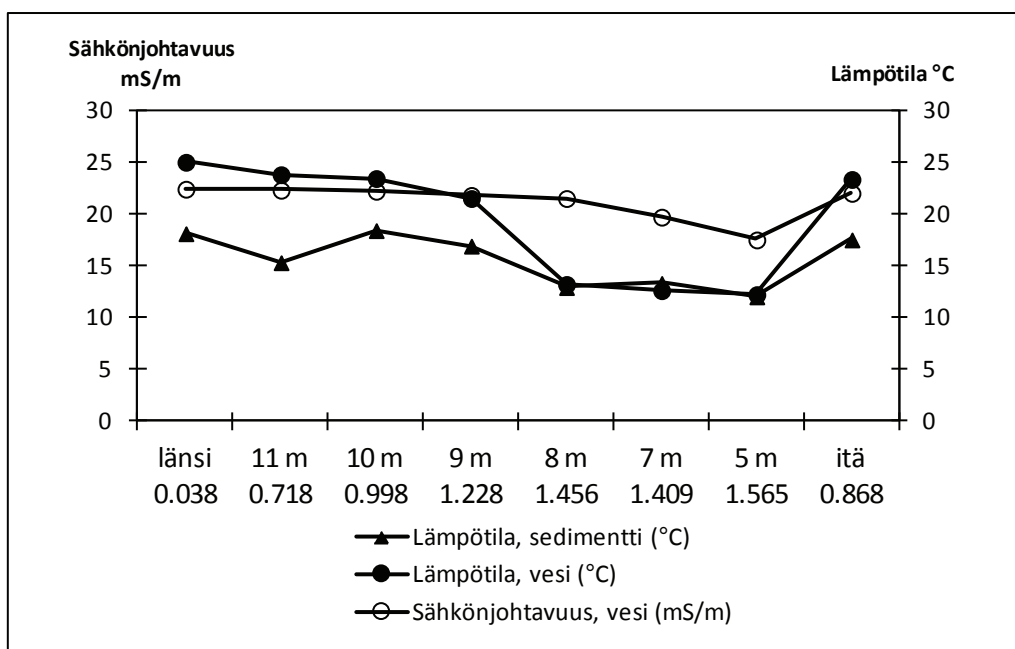
5.2 Kenttämittausten tulokset

Kenttämittausten tavoitteena oli koota referenssiaineistoa lentokuvauksia varten sekä saada yleiskuva pohjaveden ja jokiveden yhteyksistä geologisilta olosuhteiltaan erityyppisillä jokiosuuksilla. Tässä luvussa on raportoitu kenttämittausten tuloksia kahdelta kohdetutkimusalueelta, joilla tehtiin kenttämittauksia kesällä 2010 lukuisilla mittauslinjoilla, ja lentokuvausten ajankohtana myös jatkuvatoimisilla anturimittauksilla. Tulokset on esitetty Vantaanjoelta Hyvinkäänkylästä ja Palojoelta Jäniksenlinnasta. Molemmissa kohteissa jokiuoma kulkee poikki pitkittäisharjun ja sen vettä hyvin johtavan ydinosan. Jokiuomien muodossa ja pohjan koostumuksessa on kuitenkin eroa. Hyvinkäänkylässä Vantaanjoen uoman reunat viettävät jyrkästi ja pohjalle kerrostuneet sedimentit ovat pehmeätä liejuista savea. Jäniksenlinnassa Palojoella uoma on matala, uoman reunat loivat ja uoman pohja hiekkaa ja soraa.

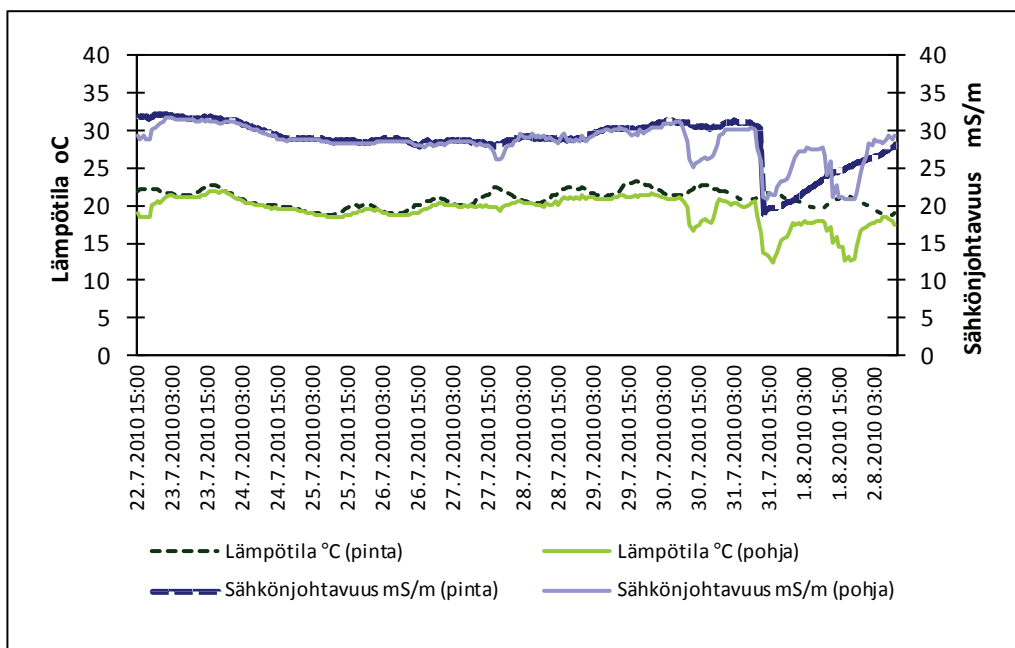
Kenttämittausten tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti Maria Nygårdin pro gradu -tutkielmassa Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitokselle (Nygård 2011).

5.2.1 Kenttämittausten tuloksia Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä

Hyvinkäänkylän pitkittäisharjun länsireunalla havaittiin lentokuvauksissa (Nygård 2011, Korkka-Niemi ym. 2012) useita suuria lähteitä, jotka muodostivat laajahkon lähteikköalueen. Lentokuvausten ajankohtana tehdyissä kenttämittauksissa lähteikköalueen kohdalla jokivesi oli pohjan tuntumassa lähteiden puoleisella rannalla +12 – +13 °C ja vastakkaisella rannalla +24 – +25 °C (kuva 22). Samassa mittauspaikassa tehdyissä jatkuvatoimisissa veden laadun mittauksissa (kuva 23) veden lämpötila oli vesikerroksen pohjalla ja pintaosassa lähes koko mittausjakson (22.7.–2.8.2010) samalla tasolla, +20 °C:n tuntumassa. Vasta mittausjakson loppupuolella 30.7.2010 lämpötilaerot vesipatsaan pinnassa ja pohjassa muuttuivat merkittäviksi (pinnalla +22 °C, pohjalla +17 °C). Jokiuoman pohjassa veden lämpötilassa ja sähkönjohtavuudessa havaittiin 30.7.–2.8.2010 useita pulssimaisia alenemia. Pintaosassa lämpötilan lasku oli vähäisempää, mutta sähkönjohtavuudessa todettiin myös merkittävä alenema 31.7.2010 tasolta 30 mS/m tasolle 20 mS/m. Veden pinnankorkeus jokiuomassa laski mittausjakson aikana 7–10 cm, minkä seurauksena pohjaveden purkautumismäärät itärannan läheisyydessä sijaitsevalta lähteikköalueelta ovat voineet kasvaa (Nygård 2011, Kivimäki ym. 2011).



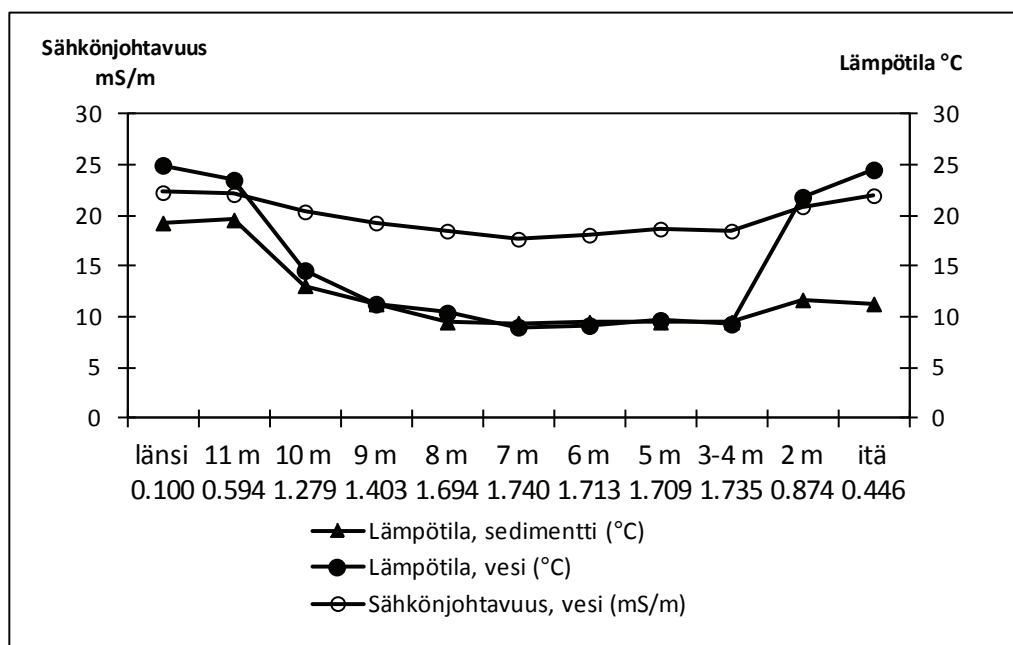
Kuva 22. Jokiveden lämpötila ja sähkönjohtavuus pohjan läheisyydessä sekä sedimentin lämpötila 15.7.2010 uoman poikki tehdyissä kenttämittauksissa lähteikköalueen läheisyydessä (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6719642.782; 381075.630.



Kuva 23. Jokiveden lämpötila ja sähkönjohtavuus vesikerroksen pinnalla ja pohjalla Hyvinkäänkylän lähteikköalueen läheisyydessä mittausjaksolla 22.7.- 2.8.2010 (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6719642.782; 381075.630.

Hyvinkäänkylän pohjavedenottomon kohdalla, missä jokiuoma leikkaa pitkittäisharjun ydin-osan, sekä sedimentin että veden lämpötila pohjan läheisyydessä uoman keskellä oli +9 – +10 °C, kun taas rannan läheisyydessä veden lämpötila oli +24 – +26 °C (kuva 24). Itärannalla sedimentin lämpötila oli +11 – +12 °C, johtuen pohjaveden jatkuvasta purkautumisesta jokiuomaan (Nygård 2011). Virtaamamittausten mukaan (Brander 2013) harjun alueella Van-

taanjoen kokonaisvirtaama kasvoi alivirtaamakaudella noin 0,1 m³/s. Vastakkaisella rannalla sedimentin lämpötila oli kuitenkin selvästi korkeampi (+19 – +20 °C). Tämä selittynee sillä, että Hyvinkäänkylän pohjavedenottamon vedenotto-kaivot sijaitsevat länsirannalla, keskimääräisen kokonaisvedenottomäärän ollessa 3 140 m³/d (Hyvinkään Veden tarkkailutiedot). Pohjaveden pumppaus vedenotto-kaivoista vähentää merkittävästi pohjaveden purkautumista uoman länsirannalta.

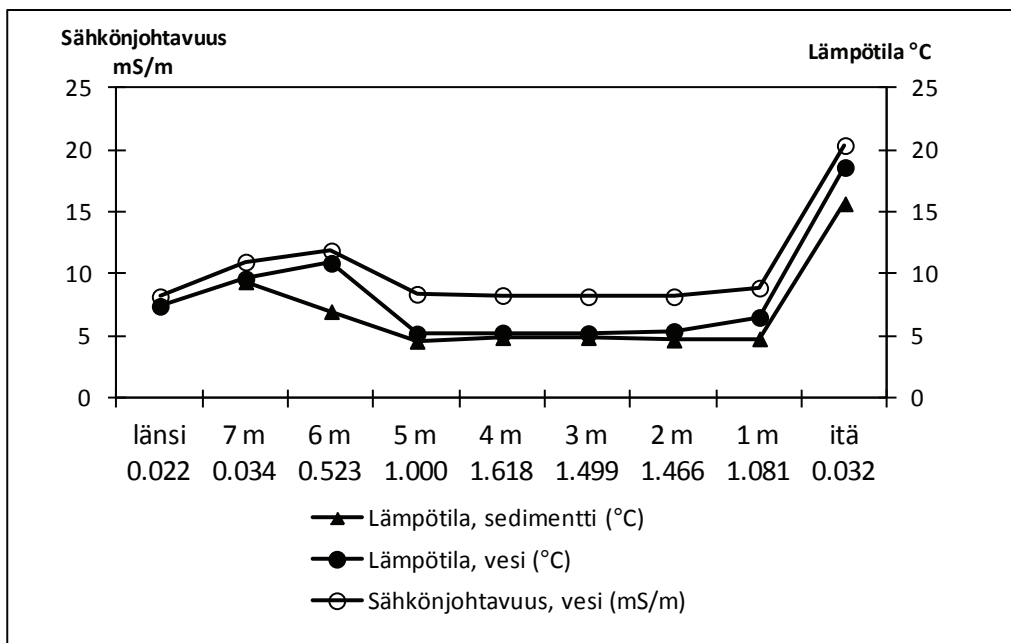


Kuva 24. Jokiveden lämpötila ja sähkönjohtavuus pohjan läheisyydessä sekä sedimentin lämpötila 15.7.2010 uoman poikki tehdyissä kenttämittauksissa Hyvinkäänkylän vedenottamon kohdalla (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6719642.782; 381075.630.

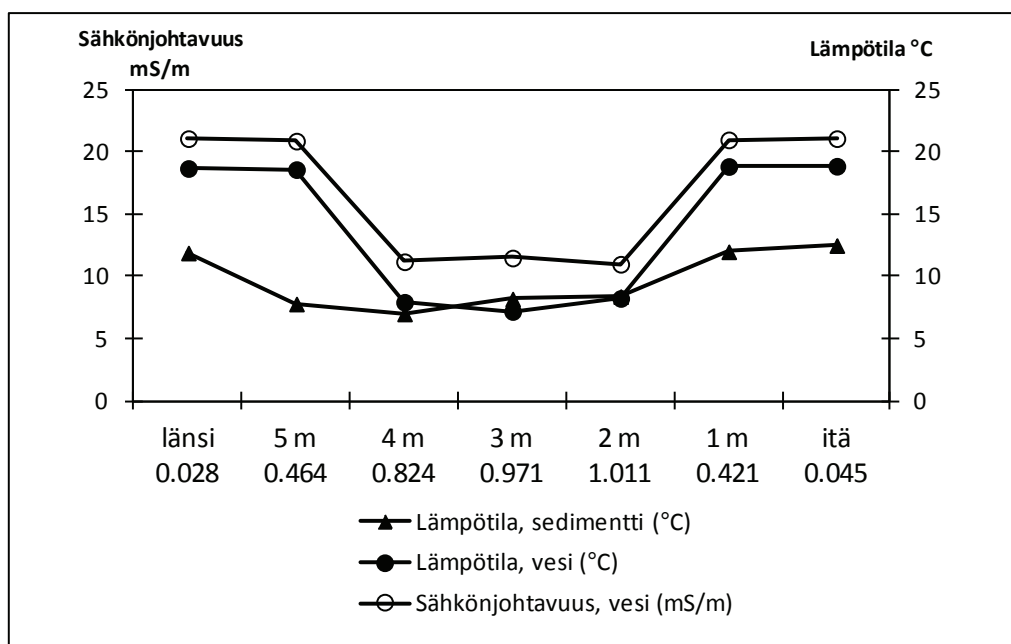
Pohjavesien ja järvivesien vuorovaikutustutkimuksissa sähkönjohtavuus on aikaisemmissa tutkimuksissa osoittautunut hyväksi pohjavesivaikutuksen indikaattoriksi, koska sähkönjohtavuus on pohjavesissä keskimäärin merkittävästi korkeampi kuin järvivesissä (Korkka-Niemi ym. 2009, Korkka-Niemi ym. 2012). Vantaanjoella jokiveden sähkönjohtavuus on kuitenkin paikoitellen korkea. Hyvinkäänkylän läheisyydessä sijaitsevassa tarkkailupisteessä jokiveden sähkönjohtavuuden mediaani vuonna 2010 oli 33 mS/m (Vahtera ja Männynsalonen 2011). Korkeimmat sähkönjohtavuuden arvot on havaittu jätevedenpuhdistamoiden läheisyydessä (Vahtera ym. 2012). Näin ollen sähkönjohtavuus ei jokisysteemeissä ole yhtä luotettava pohjavesivaikutuksen ilmentäjä, kuin järviympäristössä.

5.2.2 Kenttämittausten tuloksia Palojoella Jäniksenlinnassa

Palojoella Jäniksenlinnassa lämpötilat sedimentissä ja jokivedessä pohjaveden purkautumisalueella uuden kaivoalueen kohdalla olivat samalla tasolla uoman poikkilinjan eri kohdissa. Veden lämpötila oli useimmissa mittauskohdissa +5 – +6 °C (kuva 25). Myös veden sähkönjohtavuus noudatteli samansuuntaisia muutoksia linjan eri osissa kuin lämpötilat. Ylävirtaan jokiuomassa, missä pohjaveden purkautuminen jokiuomaan on merkittävästi vähäisempää, jokiveden lämpötila pohjan läheisyydessä oli minimissään +7,2 °C ja alhaisia lämpötiloja todettiin vain uoman keskiosassa missä vesikerros oli syvimmillään (kuva 26) (Nygård 2011).



Kuva 25. Jokiveden lämpötila ja sähkönjohtavuus pohjan läheisyydessä sekä sedimentin lämpötila 21.7.2010 uoman poikki tehdyissä kenttämittauksissa uuden vedenottoaivoalueen kohdalla (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatit 6707983.584, 388163.844

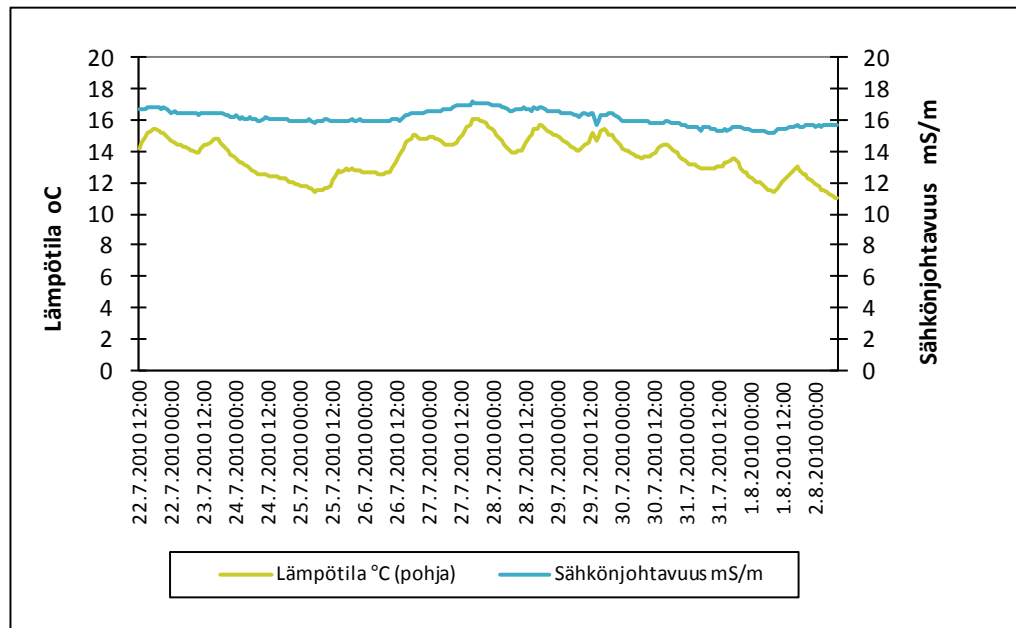


Kuva 26. Jokiveden lämpötila ja sähkönjohtavuus pohjan läheisyydessä sekä sedimentin lämpötila 21.7.2010 uoman poikki tehdyissä kenttämittauksissa ylävirtaan uudesta vedenottoaivoalueesta (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatit 6708020.569, 388200.829

Pohjaveden purkautumisalueella alavirtaan siirryttäessä jokiuoman vesikerroksen syvyys on 0,4–0,8 m ja jokiveden lämpötila +6 – +15 °C. Vastaavasti kuin Hyvinkäänkylässä Vantaanjoella, myös Palojoella havaittiin vedenottoaivojen vaikutus sedimentin ja jokiveden lämpötilamit-

tauksissa. Uusi kaivoalue sijaitsee jokiuoman itärannalla, ja keskimääräinen vedenotto uudella kaivoalueella on 5 520 m³/d (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymän tarkkailutiedot). Vedenotto vähentää pohjaveden purkautumista jokiuomaan itärannalta, mikä näkyy korkeampi-na sedimentin ja jokiveden lämpötiloina (+15 – +20 °C) itärannan tuntumassa (kuva 25).

Jokiveden lämpötila koko vesikerroksessa oli Palojoella merkittävästi alempi kuin Vantaanjoella, osoittaen että pohjaveden osuus jokiuomassa virtaavasta vedestä oli merkittävä. Kahden viikon anturimittausjaksolla (kuva 27) jokiveden sähkönjohtavuus pysyi melko tasaisesti tasolla 16 mS/m, mutta lämpötilassa esiintyi vaihteluita välillä +11 – +16 °C (Nygård 2011).



Kuva 27. Lämpötila ja sähkönjohtavuus Jäniksenlinnan lähteikköalueen läheisyydessä mittausjaksolla 22.7.–2.8.2010 (Nygård 2011). Mittauspaikan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6707856.635; 388100.871.

5.2.3 Yhteenveto kenttämittausten tuloksista

Jokiveden ja sedimentin lämpötilan kenttämittauksilla saatiin varmistettua ja tarkennettua lämpökameralentokuvauksilla havaittuja lämpötila-anomaliaita. Maaperän maalajikoostumus ja kerrosrakenteet, uoman muoto ja syvyys sekä sedimenttien koostumus aiheuttivat vaihteluita lämpötila-anomaliaihin vesikerroksen eri syvyyksissä. Jokiuoman reuna-alueilla pohjavettä purkavien lähteiden vaikutus ilmeni sekä sedimentin että jokiveden alentuneina lämpötiloina rannan tuntumassa. Pohjaveden purkautuminen uomaan reunojen ja pohjan kautta heijastuu selvemmin alentuneena lämpötilana koko vesikerroksessa poikki uoman.

Laaja-alaisissa pohjaveden purkautumisalueiden kartoituksissa lämpökamerakuvausten tulosten varmistaminen kenttämittauksilla tuo luotettavuutta lämpökamera-aineiston tulkintoihin. Lämpökamerakuvauksilla pystyttiin tunnistamaan vesikerroksen pintaan asti ulottuvat lämpötila-anomaliat, mutta useilla mittauslinjoilla jokiuoman vesikerroksen lämpötilassa esiintyy tietyissä virtausolosuhteissa kerroksellisuutta. Esimerkiksi lähteikköalueen läheisyydessä Van-

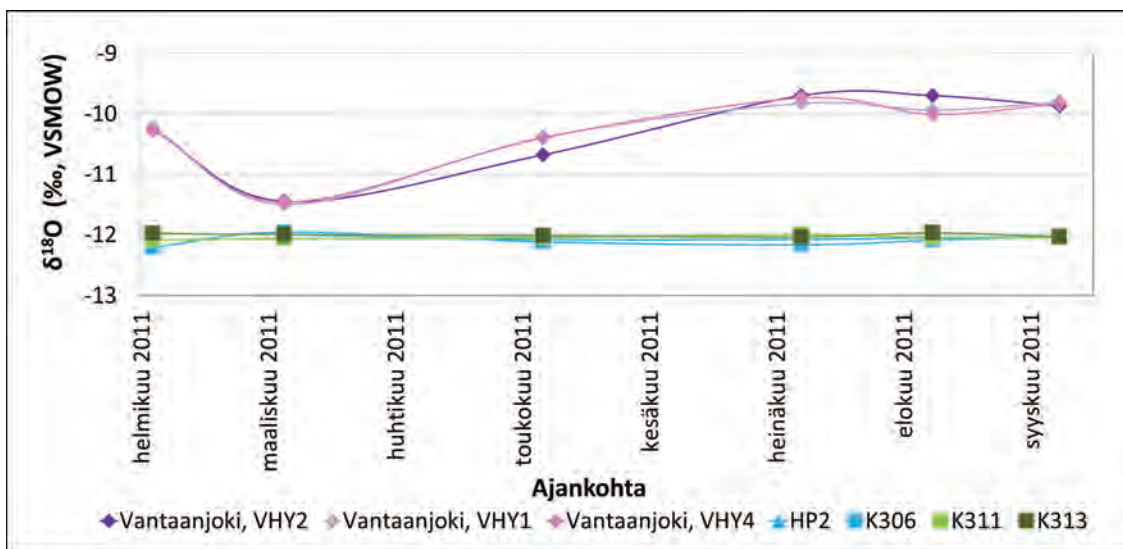
taanjoella alivirtaamakautena tehdyissä syvyysprofiilimittauksissa veden lämpötila pysytteli > +20 °C yhden metrin syvyyteen asti, yli 7 °C:n lämpötilan lasku tapahtui syvyydessä 1,0–1,2 m ja syvyydessä 1,2–1,8 m lämpötila laski edelleen tasolle +10 °C. Palojoen matalassa uomassa (kokonaissyvyys 0,7 m) lämpötila laski tasaisesti vähitellen, ollen pohjan läheisyydessä tasolla +11 °C (Nygård 2011). Jatkuvatoimisten anturimittausten tulosten perusteella lämpötilakerrostuneisuus kuitenkin vaihtelee, johtuen pohjaveden ja jokiveden pinnankorkeuksien välisten erojen sekä jokiuoman virtaaman muutoksista.

5.3 Vesinäytteiden analyysitulokset

5.3.1 Isotooppimääritysten tulokset

Vantaanjoki

Vantaanjoen jokiveden (n = 19) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot Hyvinkäänkylän kohdalla vaihtelivat välillä -11,50 ja -9,70 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -84,98 ja -72,03 ‰, poiketen alueen pohjaveden isotooppikoostumuksesta. Haihtuminen leimaa jokiveden isotooppikoostumusta, ja se havaitaan mittausarvojen sijoittumisena LMWL-suoran alapuolelle. Hyvinkäänkylän vedenottamon ottokaivojen (K306, K311 ja K313) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat vuonna 2011 välillä -12,21 ja -11,96 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -85,5 ja -87,40 ‰. Jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa ei havaittu eroja ala- ja yläjuoksun välillä, mutta isotooppikoostumuksissa esiintyi selvä kevätminimi huhtikuussa ja kesämaksimi elo-syyskuussa (kuva 28). Eri jokipisteiden arvojen vähäistä eroa selittää se, että pohjaveden purkautumista jokiuomaan tapahtuu myös Hyvinkäänkylästä ylävirtaan pohjaveden purkautuessa I Salpausselän reunamuodostumasta.



Kuva 28. Pohjaveden (havaintoputki HP2), vedenottokaivojen (K306, K311, K313) ja jokiveden hapen isotooppikoostumuksen vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä. VHY2 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, VHY1 = jokivesi ottamon kohdalla, VHY4 = jokivesi alavirtaan ottamolta.

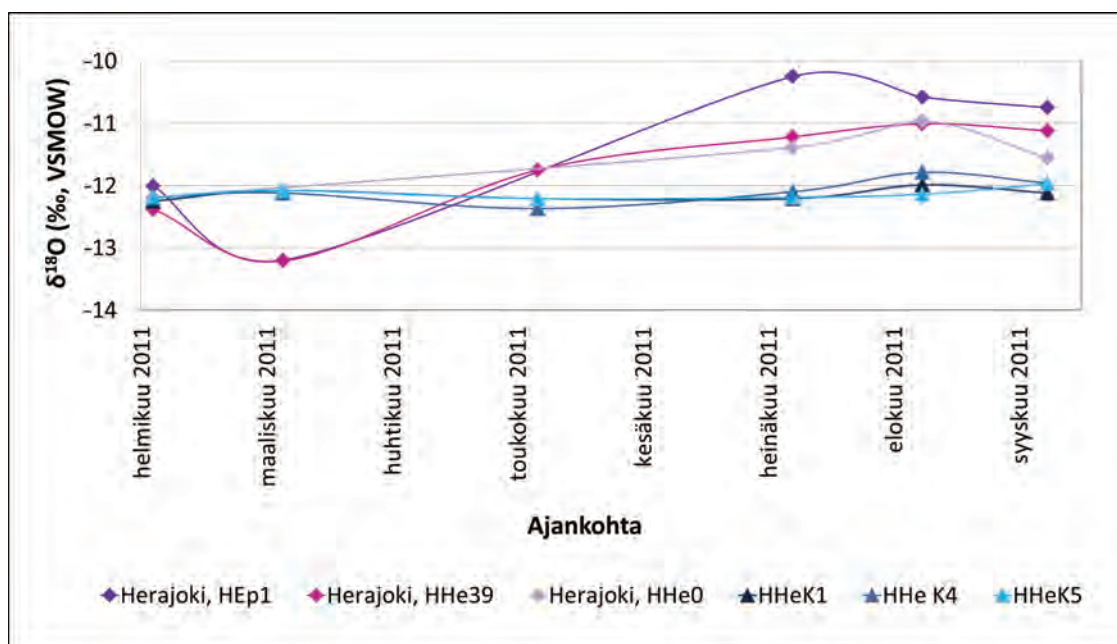
Aikaisempien tutkimusten mukaan Hyvinkään alueen pohjavesien $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelevat -12,0 ja -12,5 ‰ välillä (Kortelainen ja Karhu 2004, Huttunen 2004). Alueen pohjavesien $\delta^2\text{H}$ -arvot vaihtelevat -85,5 ja -89,5 ‰ välillä (Kortelainen ja Karhu 2004). Vuonna 2011 otetuissa Vapomix-pohjavesinäytteissä (24 kpl) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä -12,21 ja -11,83 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -87,40 ja -84,99 ‰. Havaitut arvot vastaavat aikaisempien tutkimusten tuloksia (Kortelainen ja Karhu 2004, Huttunen 2004).

Herajoki

Herajoen kohdetutkimusalueelta otettujen jokivesinäytteiden (20 kpl) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä -13,21 – -10,25 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -96,13 – -74,26 ‰. Näytteiden vedyn ja hapen isotooppikoostumukset asettuvat hyvin lähelle lokaalisten meteoristen vesien suoraa (LMWL = Local Meteoric Water Line) (suoran yhtälö on $\delta^2\text{H} = 7.67 * \delta^{18}\text{O} + 5.79$, Kortelainen 2007). Jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen maksimi- ja minimiarvot mitattiin elokuun ja syyskuun näytteistä ja minimiarvot huhtikuun näytteistä (lumien sulamisvedet ja pintavalunta). Herajoen veden isotooppikoostumuksen sijoittuminen LMWL-suoralle viittaa siihen, että jokivesi edustaa hyvin lyhyen viipymän vettä (sadannan nopea läpivirtaus) ilman mainittavaa haihduntaa (Backman ym. 2009). Toinen selitys jokiveden ja pohjaveden samanlaiselle isotooppikoostumukselle on pohjaveden merkittävä purkautuminen Herajokeen yläjuoksulla sekä Epranojan että pohjoiseen kohti Riuttantietä kääntyvän haaran latvaosissa.

Herajoen pohjavedenottamon vedenottoaivojen (K4, K5) näytteiden (18 kpl) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä -12,37 ja -11,79 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -88,14 ja -85,65 ‰. Kaivonäytteet edustavat alueen luonnollisen pohjaveden isotooppikoostumusta, eikä niissä havaittu kuin vähäistä reagoitua pintaveden isotooppikoostumusvaihteluun syyskuun näytteenotossa. Ottokaivojen ja jokiveden isotooppikoostumukset ovat lähellä toisiaan ja sekoittumisen havaitseminen on tällä menetelmällä vaikeaa, joskaan sekoittumista ei voida myöskään sulkea täysin pois (kuva 29).

Aikaisempien tutkimusten mukaan (Backman ym. 2009) Herajoen alueen pohjaveden hapen ja vedyn taustaisotooppikoostumus on hapella -12,21 ‰ ja vedyllä -87,8 ‰ (vuoden keskimääräiset arvot), ja isotooppikoostumuksen vaihtelu mittaustarkkuuksien rajoissa hyvin vähäistä. Herajoen vedessä vuodenaikainen isotooppikoostumuksen vaihtelu on hapella maksimissaan 1,88 ‰ (-12,48 – (-10,60) ‰) ja vedyllä 12,8 ‰ (-89,40 – (-76,60) ‰) (Backman ym. 2009). Backmanin ja muut (2009) raportoinnin mukaan talvella jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumus on lähellä pohjaveden vastaavaa koostumusta, mutta kevät/kesäkaudella jokiveden isotooppikoostumus poikkeaa selvästi pohjaveden koostumuksesta.

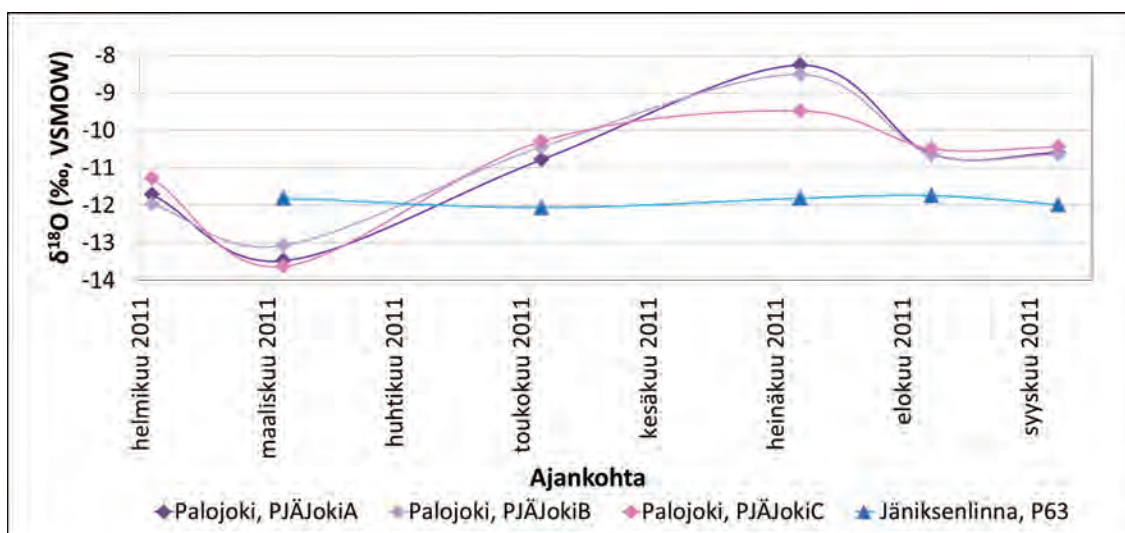


Kuva 29. Pohjaveden (ottamon kaivot K1, K4 ja K5) ja jokiveden hapen isotooppikoostumuksen vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Herajoella Herajoen ottamon alueella. HHe1 = joki-
vesi Epranojassa, HHe39 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, HHe0 = jokivesi ottamon kohdalla.

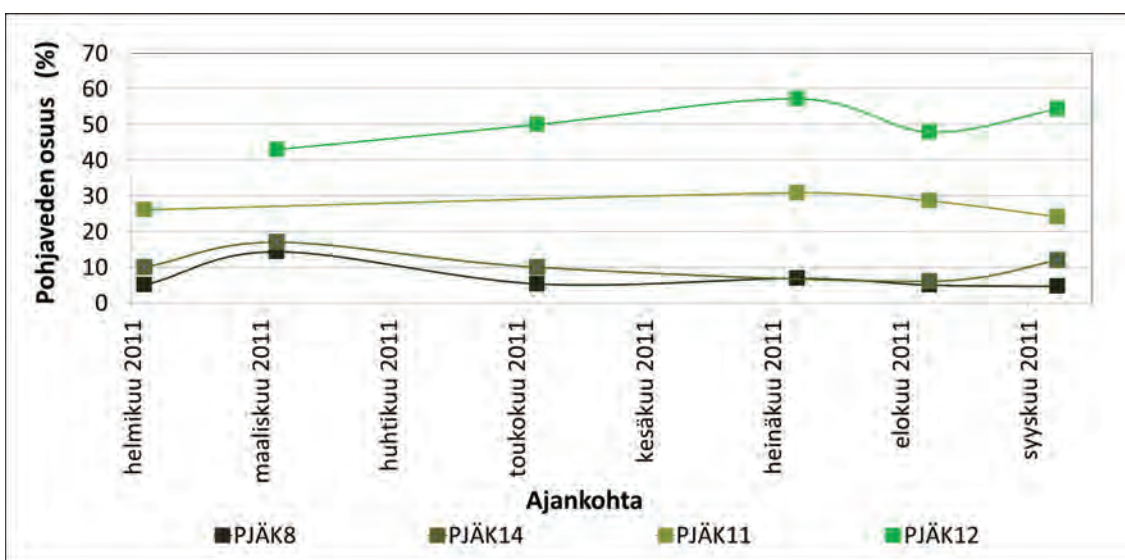
Palojoki

Jäniksenlinnan pohjavesialueella muodostetaan tekopohjavettä imeyttämällä Päijänne-tunnelin vettä pohjavesimuodostumaan. Päijänne-tunnelin raakaveden keskimääräinen hapen isotooppikoostumus on -9,44 ‰ ja vedyn -74,4 ‰ (Kortelainen ja Karhu 2006). Vapomix-tutkimuksessa vuonna 2011 otettujen Päijänne-tunnelin imeytysvesinäytteiden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen keskiarvot olivat -8,93 ‰ ja -71,54 ‰ (n = 6), mikä poikkeaa hieman Kortelainen ja Karhun (2006) tutkimuksen hapen ja vedyn keskimääräisestä koostumuksesta. Päijänne-tunnelin raakavesi on Tuusulan luonnolliseen pohjaveteen verrattuna haihtunutta ja siksi sen isotooppikoostumus sijoittuu LMWL-suoran alapuolelle.

Aikaisempien tutkimusten mukaan paikallisen pohjaveden $\delta^{18}\text{O}$ -arvo on -11,98 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvo on -85,2 ‰ (Kortelainen ja Karhu 2006). Vuoden 2011 tutkimuksissa pohjaveden (havaintoputki P63) isotooppikoostumus oli hyvin vakaa, vaihdellen hapella -12,06 ‰ ja -11,74 ‰ välillä ja vedyllä vastaavasti -86,17 ‰ ja -84,10 ‰ välillä, keskiarvon ollessa hapelle -11,91 ‰ ja vedylle -84,98 ‰ (n = 5)(kuva 30). Palojoki on hydraulisesti yhteydessä Jäniksenlinnan pohjavesimuodostumaan ja pohjavettä purkautuu lähteinä jokilaaksossa. Isotooppitulosten perusteella luonnollista pohjavettä, jossa ei ole todettavissa pintavesivaikutusta, esiintyi vain imeytysaltaiden pohjoispuolella sijaitsevassa havaintoputkessa (P63) ja yksityisen kaivon vesinäytteessä (ylävirran puolella sijaitseva Kaivo Kauneela). Muut näytteet (38 kpl) edustivat isotooppikoostumukseltaan kahden tai kolmen päätejäsenen seosta: Päijännevesi/pohjavesi (19 kpl) ja Palojoki/Päijännevesi/pohjavesi (19 kpl).



Kuva 30. Pohjaveden (havaintoputki P63) ja jokiveden hapen isotooppikoostumuksen vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Palojoella Jäniksenlinnassa. PJÄJokiB = jokivesi ottamolta ylävirtaan, PJÄJokiA = jokivesi ottamon kohdalla, PJÄJokiC = jokivesi ottamolta alavirtaan.



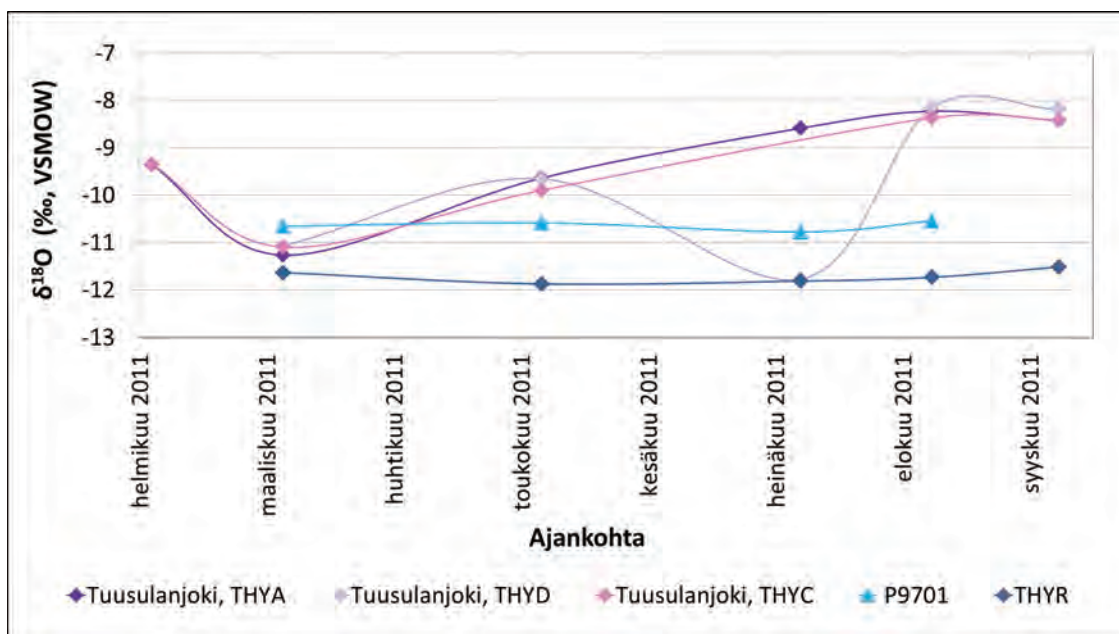
Kuva 31. Isotooppikoostumuksen perusteella arvioitu luonnollisen pohjaveden osuus Jäniksenlinnan vedenottoaivoissa K8, K14, K11 ja K12 eri näytteenottoajankohtina 2011.

Vuoden 2011 hapen ja vedyn tuloksista voidaan laskea vedenottoaivojen (K8, 11, 12 ja 14) päätejäsenten suhteelliset osuudet massatasapainoyhtälön avulla, kun päätejäsenet tunnetaan. Luonnollisen pohjaveden osuus ottokaivoissa vaihtelee 5 ja 57 %:n välillä, ollen pienempi uudella kaivoalueella (K8 ja K14/ vaihteluväli 5–17 %) ja luonnollisen pohjaveden osuuden kasvaessa etäisyyden kasvaessa imeytyskentältä vanhalle kaivoalueelle siirryttäessä (K11 ja K12/ vaihteluväli 24–57 %) (kuva 31). Pohjaveden ja vedenottoaivojen hapen isotooppikoostumuksen vuodenaikaisvaihtelu oli vähäistä. Tulokset olivat samansuuntaisia Kortelaisen ja Karhun (2006) tutkimuksen tulosten kanssa.

Palojoen jokiveden isotooppikoostumus vaihteli hapella -13,63 ‰ ja -8,26 ‰ (keskiarvo -10,91 ‰, n = 19) ja vedyllä -100,00 ‰ ja -58,47 ‰ (keskiarvo -79,43, n = 19) välillä. Vuodenaikaisvaihtelussa jokivedessä nähdään valunnan aiheuttamat isotooppikoostumuksen minimiarvot huhtikuun näytteenotossa, ja maksimiarvot elokuun näytteenotossa joko haihdunnan tai jokuomaan purkautuvan Päijänne-tunnelin veden vaikutuksesta. Todennäköisesti elokuussa jokiveden isotooppikoostumus oli seurausta kummankin ilmiön samanaikaisesta vaikutuksesta. Imeytettyä Päijänneveettä sekä tihkuu jokipenkköjen ja -pohjan läpi että purkautuu lähteinä maa-alueilla jokuoman reunoilla. Imeytettävän Päijänneveden osuus Palojoen vedessä on mahdollisesti sekä määrälliseltä että alueelliselta esiintymiseltään aikaisemmissa tutkimuksissa (Kortelainen ja Karhu 2006) arvioitua suurempaa.

Tuusulanjoki

Vuoden 2011 analysoitujen Vapomix-pohjavesinäytteiden (havaintoputki P9701) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat -10,78 ja -10,55 ‰ välillä ja $\delta^2\text{H}$ -arvot vaihtelivat -78,68 ja -77,58 ‰ välillä (keskiarvo -10,66 ‰ ja -78,11 ‰, n = 4), poiketen Kortelaisen ja Karhun (2004) mittaamista alueellisista keskiarvoista. Kesällä 2011 otettiin näyte suotomittarilla jokipohjasta pohjavesialueella, ja isotooppikoostumukseltaan ($\delta^{18}\text{O}$ -arvo/-11,85 ‰ ja $\delta^2\text{H}$ -arvo/-84,33 ‰) tämä näyte sekä samoin ottamon raakaveden $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvot -11,71 ja -84,37 ‰ (n = 5) olivat lähempänä alueellista pohjaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumusta kuin pohjavesiputkesta otettujen vesinäytteiden koostumus. Myös muut laatumuuttujat (DOC-pitoisuus, liuennut silikaatipitoisuus) ja näytteenoton yhteydessä tehty aistinvaraiset havainnot viittaavat siihen, että putken P9701 kohdalla pohjaveden laatu poikkeaa luonnontilaisesta pohjavedestä. Koskenmäen pohjavedenottamon raakaveden isotooppikoostumus asettuu LMWL-suoralle.



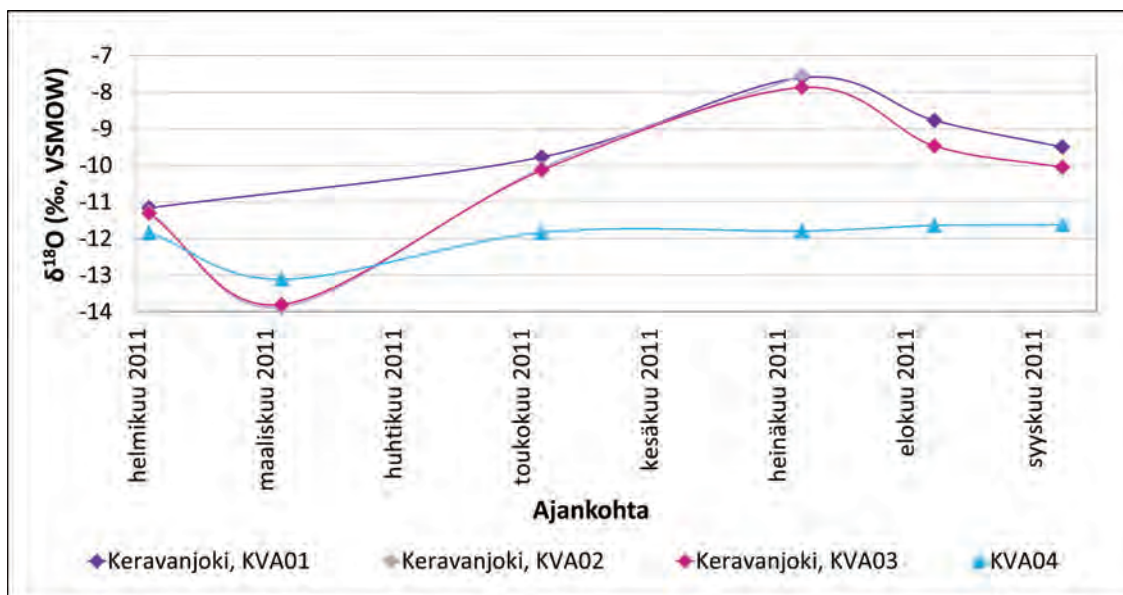
Kuva 32. Pohjaveden (havaintoputki P9701 ja ottamon raakavesi THYR) ja jokiveden hapen isotooppi-koostumuksen vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Tuusulanjoella Hyrylässä. THYA = jokivesi ottamolta ylävirtaan, THYD = jokivesi ottamon kohdalla, THYC = jokivesi ottamolta alavirtaan.

Tuusulanjoen jokiveden isotooppikoostumus vaihteli hapella -11,78 ‰ ja -8,16 ‰ ja vedyllä -85,84 ‰ ja -66,69 ‰ välillä (keskiarvo -9,58 ‰ ja -74,95 ‰, n = 19). Haihtuminen leimaa jokiveden isotooppikoostumusta, ja se havaittiin mittausarvojen sijoittumisena LMWL-suoran alapuolelle. Vuodenaikainen vaihtelu oli Hyrylän alueella vähäistä sekä pohjaveden että vedenottamon raakaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa. Tuusulanjoen jokiveden isotooppikoostumuksessa sen sijaan havaittiin kevätminimi ja kesä/syksymaksimi. Jokiuoman rannasta Koskenmäen vedenottamon kohdalta elokuussa 2011 otetussa jokinäytteessä havaittiin poikkeama isotooppikoostumuksessa (kuva 32). Poikkeava havainto selittyy sillä, että näytteenottokohdassa jokiuoma kulkee halki harjuselänteeseen, ja alivirtaamakaudesta jokiuomaan purkautui harjumuodostuman sora-hiekkakerrokseen varastoitunutta pohjavettä.

Keravanjoki

Vapomix-tutkimuksen lähdenäytteiden $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat -11,84 ja -11,62 ‰ välillä (keskiarvo -11,74 ‰, n = 5) ja $\delta^2\text{H}$ -arvot -93,53 ja -82,40 ‰ välillä (keskiarvo -83,51 ‰, n = 5). Lähdevesinäytteiden isotooppikoostumus vastaa koostumukseltaan aikaisempien tutkimusten (Kortelainen ja Karhu 2004) pohjavesien arvoja ja arvot asettuvat LMWL-suoralle. Huhtikuun 2011 lähdevesinäytteessä havaittiin keskiarvosta selvästi negatiivisempi hapen ja vedyn isotooppikoostumus ja se on jätetty tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle.

Keravanjokeen on vuodesta 1989 alkaen johdettu Ridasjärven kautta lisävetä Päijänne-tunnelista kesäisin virkistyskäyttöedellytyksien parantamiseksi (vuosina 2005–2009 lisäveden määrä oli 3,1–4,7 milj.m³/vuosi, Vahtera ym. 2010). Vuonna 2011 lisävetä johdettiin Ridasjärveen 24.5.–22.8. välisenä ajanjaksona, keskimääräisen lisävesimäärän ollessa noin 43 000 m³/d (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymän vuoden 2011 tilastot). Päijänne-tunnelin imeytysveden keskimääräinen hapen isotooppikoostumus on -9,44 ‰ ja vedyn -74,4 ‰ (Kortelainen ja Karhu 2006).



Kuva 33. Pohjaveden (lähde KVA04) ja jokiveden hapen isotooppikoostumuksen vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Keravanjoella Valkealähteen pohjavesialueella. KVA01 = jokivesi pohjavesialueelta ylävirtaan, KVA02 = jokivesi suljetulta ottamolta ylävirtaan, KVA03 = jokivesi pohjavesialueelta alavirtaan.

Valkealähteen pohjavesialueen läheisyydestä Keravanjoen alajuoksulta otettujen jokivesinäytteiden (19 kpl) $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat -13,87 ja -7,54 ‰ välillä, ja $\delta^2\text{H}$ -arvot -100,94 ja -63,88 ‰ välillä. Haihtuminen leimaa jokiveden isotooppikoostumusta elokuun näytteenotossa, ja se havaittiin mittausarvojen sijoittumisena LMWL-suoran alapuolelle. Elokuun jokivesinäytteiden $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvot (-7,69 ‰ ja -64,34 ‰, $n = 4$) edustavat Päijännevedestä (keskiarvo: -8,98 ‰ ja -71,82) haihtuneen veden isotooppikoostumusta. Koska Keravanjoen veden luonnollista tilaa isotooppikoostumuksen osalta ei tunneta, tämä ei ole ainoa mahdollinen selitys. Huhtikuun jokivesien isotooppikoostumusta leimaa kevätvalunnan aiheuttama laimentuminen, ja jokiveden $\delta^2\text{H}$ - ja $\delta^{18}\text{O}$ -arvot saavuttivat kyseisenä ajankohtana minimiarvonsa (kuva 33).

Lepsämänjoki

Lepsämänjoelta otettiin näytteitä lentokuvausten ajankohtana (21.7.2011) tehtyjen kenttämittausten yhteydessä. Jokivesinäytteitä otettiin seitsemästä (7) näytepisteestä ja lähdevesinäytteitä kahdesta (2) lähteestä. Lähdevesinäytteiden hapen ja vedyn isotooppikoostumus oli LMWL-suoralla, ja jokivesinäytteiden isotooppikoostumus oli haihtumisesta johtuen LMWL-suoran alapuolella. Lepsämänjoen jokivesinäytteiden $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä -10,53 ja -9,68 ‰, ja $\delta^2\text{H}$ -arvot välillä -78,06 ja -74,03 ‰. Lähdenäytteiden $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvot olivat vastaavasti -11,78 ja -84,05 ‰.

Yhteenveto isotooppimäärittysten tuloksista

Vapomix-tutkimuskohteiden pohjavesissä hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen vuodenaikaisvaihtelu oli vähäistä. Jokiveden isotooppikoostumuksessa havaittiin Vantaanjoella, Herra-joella, Palojoella, Keravanjoella ja Tuusulanjoella selvä vuodenaikoihin sidottu syklisyys ja eri

vuodenajoille tyypillinen isotooppikoostumus (Kivimäki ym. 2012). Hapen δ -arvojen minimi (sulamisvedet) sijoittuivat loppukevääseen (maalis-huhtikuu) ja maksimit (haihtuminen) saavutettiin elo-syyskuussa. Jokiveden isotooppikoostumuksessa havaittiin suurin muutos kesällä (Kivimäki ym. 2012). Sadannassa vastaavat hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen minimi- ja maksimikohdat sijoittuvat Etelä-Suomessa keskikesään ja keskitalveen, ja ne havaitaan jokivesissä viiveellä ja loiventuneina (Kortelainen ja Gustavsson 2004). Vuodenaikainen vaihtelu jokiveden isotooppikoostumuksessa on suurempaa sadannan ollessa jokiveden pääkomponentti (Kendall ja Coplen 2001, Rozanski ym. 2001) ja vastaavasti pienenee pohjaveden ollessa jokiveden pääkomponentti.

Vapomix-tutkimuksessa saatiin seuraavat keskiarvot ja keskihajonnat tutkimuskohteina oleville jokiosuuksille:

1. Vantaanjoen Hyvinkäänkylän jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-10,34 \pm 0,65 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-77,19 \pm 4,53 \text{ ‰}$;
2. Herajoen jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-11,63 \pm 0,80 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-83,62 \pm 5,96 \text{ ‰}$;
3. Palojoen jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-10,91 \pm 1,47 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-79,46 \pm 11,02 \text{ ‰}$;
4. Keravanjoen jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-9,98 \pm 1,79 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-76,04 \pm 10,71 \text{ ‰}$;
5. Tuusulanjoen jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-9,54 \pm 1,26 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-74,81 \pm 6,87 \text{ ‰}$;
6. Lepsämänjoen jokiveden $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo $-10,08 \pm 0,30 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo $-75,47 \pm 1,43 \text{ ‰}$.

Kaikkien Vapomix-tutkimuksessa olleiden jokivesinäytteiden ($n = 112$) $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo oli $-10,40 \pm 1,48 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo oli $-77,90 \pm 9,10 \text{ ‰}$.

Vantaanjoen valuma-alueen ($1\,680 \text{ km}^2$) jokivesien isotooppikoostumuksessa havaittiin suurempaa vaihtelua kuin valuma-alueeltaan suuremmassa Kokemäenjoen jokisysteemissä. Kokemäenjoki on valuma-alueeltaan (pinta-ala $27\,050 \text{ km}^2$) Suomen neljänneksi suurin, ja koko vesistöalueen järvisyys on 11 %, Kokemäenjoen keskivirtaamaksi on mitattu Äetsän voimalaitoksella $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Kortelainen ja Gustavsson raportoivat (2003) $\delta^2\text{H}$ keskiarvon $-75,40 \pm 2,10 \text{ ‰}$ ja $\delta^{18}\text{O}$ keskiarvon $-9,82 \pm 0,44 \text{ ‰}$. Kokemäenjoen jokivedelle kolmivuotisessa seurantaohjelmassa. Kortelaisen ja Gustavssonin (2003) mukaan vuodenaikainen minimi $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -arvoille esiintyi huhti- ja toukokuussa, ja Kokemäenjoen vesi oli haihtuneinta $\delta^{18}\text{O}$ - ja $\delta^2\text{H}$ -koostumukseltaan elo- ja syyskuun aikana.

Verrattaessa tuloksia Kokemäenjokeen on huomioitava, että Kokemäenjoen seurannassa jokinäytepisteitä oli yksi kappale verrattuna Vapomix-tutkimuksen 36 eri sijainnista otettuun näytteeseen. Tämä tekijä saattaa myös selittää Vapomix-tutkimuksen jokivesinäytteiden isotooppikoostumusten suuremman keskihajonnan. Säkylän Pyhäjärveen laskevalla Pyhäjoella $\delta^{18}\text{O}$ -keskiarvo oli $-11,47 \pm 0,60 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo oli $-82,44 \pm 4,43 \text{ ‰}$ ja Yläneenjoella $\delta^{18}\text{O}$ keskiarvo oli $-11,12 \pm 1,10 \text{ ‰}$ ja $\delta^2\text{H}$ -keskiarvo oli $-79,86 \pm 8,07 \text{ ‰}$ (seurantaohjelma 1 vuosi ja 2 kk, Rautio ja Korkka-Niemi / Manuscript).

Jokiosuuksittain tarkasteluna Vantaanjoen valuma-alueen jokivesien isotooppikoostumuksessa oli havaittavissa eroja. Vantaanjoen isotooppikoostumusta Hyvinkäänkylän kohdalla leimasi haihtuminen, mutta tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että jokivesinäytteitä ei otettu

uoman keskeltä ja pohjan läheisyydestä. Vuonna 2010 tehdyissä lämpötilamittauksissa (Nygård 2011 ja Kivimäki ym. 2011) havaittiin Vantaanjoessa Hyvinkäänkylän ottamon kohdalla lämpötilakerroksellisuutta. Lämpötila laski äkillisesti noin syvyydessä 1,0–1,2 m tasolta +21 °C tasolle +14 °C. Pohjan läheisyydessä lämpötila oli +10 – +11 °C. Em. havainto kuvastaa pohjan kautta tapahtuvaa pohjaveden purkautumista, tai jokiuoman reunoilla sijaitsevista lähteistä purkautuvan kylmän pohjaveden kerrostumista jokiuoman pohjalle (Nygård 2011).

Herajoen jokivesinäytteissä oli pienin vuodenaikoihin sidottu isotooppikoostumuksen vaihtelu. Herajoen jokiveden havaittiin olevan isotooppikoostumukseltaan lähinnä pohjaveden koostumusta. Tätä tukevat myös vuonna 2010 tehdyt kenttämittaukset (Kivimäki ym. 2011), joissa havaittiin sekä jokiveden että jokisedimentin alhaiset lämpötilat.

Palojoen tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava tekopohjaveden muodostaminen Päijänne-tunnelin vedestä. Jäniksenlinnan kohdalla Palojokeen purkautuu luonnollisen pohjaveden lisäksi Päijännevedestä muodostettua tekopohjavettä, mikä vaikuttaa jokiveden isotooppi-koostumukseen. Vuonna 2010 tehtyjen isotooppimääritysten perusteella jokisedimentistä purkautuva vesi vastaa koostumukseltaan Päijännevetä Jäniksenlinnan ottamon kohdalla. Lisäksi ottamolta alavirtaan lähdenäytteen isotooppikoostumus ei vastannut alueella tyypillisiä luonnollisen pohjaveden arvoja, vaan oli lähellä Päijänneveden koostumusta (Kivimäki ym. 2011).

Tuusulanjoen havaittuun isotooppikoostumukseen vaikuttaa Tuusulanjärvi näytteenottopisteiden yläjuoksun puolella, mikä siirtää veden isotooppikoostumusta pois LMWL-suoralta haihdunnasta johtuen.

Keravanjokeen juoksutetaan Päijännevetä kesäkuukausina, mikä vaikuttaa Keravanjoen isotooppikoostumukseen, siirtäen sitä haihtuneempaan päin. Päijänneveden imeyttämisen/juoksutuksen vuoksi Palojoen ja Keravanjoen jokiveden luonnollista isotooppikoostumusta ei voida arvioida luotettavasti.

Lepsämänjoella jokiveden isotooppikoostumusta leimasi haihtuminen. Myös Lepsämänjoen lämpökamera-aineistossa jokivesi oli latvaosissa koko uomassa kylmempää (+15 – +18,5 °C), mutta Nummenpään pohjavesialueen savipeitteisellä jokiosuudella, missä kaikki Lepsämänjoen vuoden 2011 jokivesinäyttepisteet sijaitsevat, jokiveden lämpötila nousi tasolle +19,5 – +21,4 °C).

Pohja- ja pintavesien vesikemiat poikkesivat toisistaan, joten suhteellisia osuuksia voidaan käyttää vuorovaikutussuhteiden olemassaolon varmistamiseen sekä määrän arvioimiseen. Kahden päätejäsenen systeemissä stabiileja isotooppeja voidaan käyttää seossuhteiden laskeamiseen, kun päätejäsenten isotooppikoostumukset eroavat toisistaan tarpeeksi. Palojoella Jäniksenlinnassa hapen ja vedyn isotooppikoostumustulosten perusteella voitiin laskea luonnollisen pohjaveden sekä imeytetyn Päijänne-tunnelin ja Palojoesta ajoittain imeytyvän jokiveden suhteelliset osuudet vedenottoaivoissa (Kivimäki ym. 2012). Jokisysteemeille massatasapainolaskujen hyödyntäminen on kuitenkin epävarmaa, koska määriteltäviä päätejäseniä on useampia kuin kaksi ja ne ovat tuntemattomia (valunta/sivu-uomat). Näin ollen tarkkoja

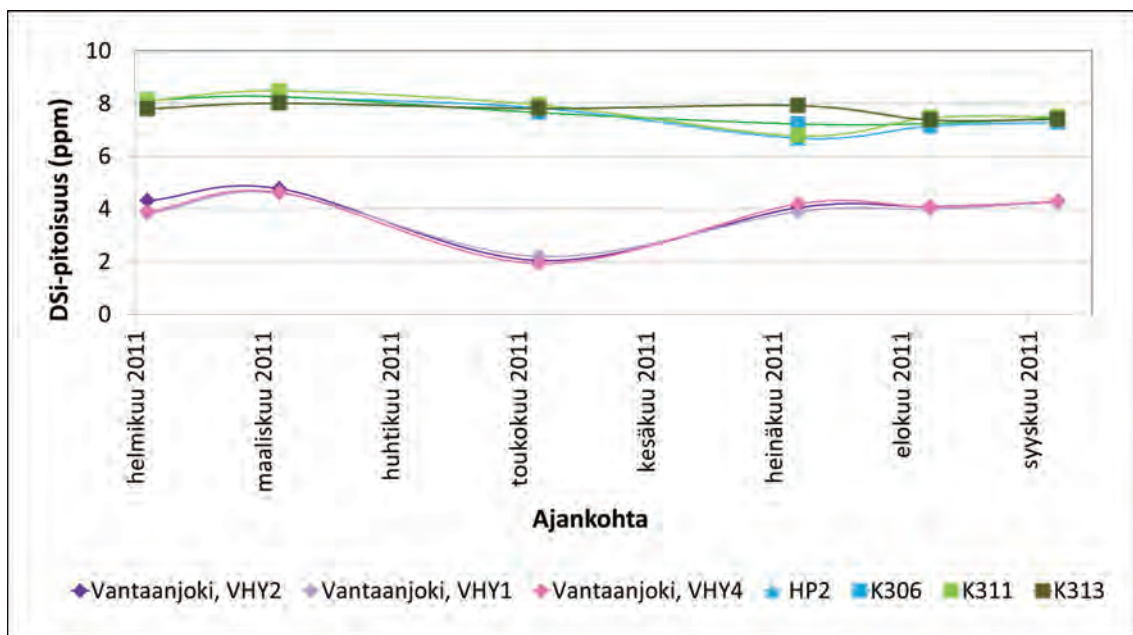
osuuksia pohjaveden osuudesta tutkituilla jokiosuuksilla ei voida määrittää, mutta jonkinlaisia arvioita pohjavesikomponentista voidaan laatia. Lisäksi tutkituista jokiosuuksista kolmella (Palojoki, Keravanjoki ja Tuusulanjoki) tutkittavaan jokiosuuteen vaikuttaa myös huomattavasti järvivesi, jolloin jokiosuuden luonnollisen isotooppikoostumuksen määrittäminen ei onnistu.

5.3.2 Silikaattimääritysten tulokset

Vantaanjoki

Hyvinkäänkylän alueella Vantaanjoen jokiveden DSi vaihtelivat välillä 1,92 ja 7,09 ppm, keskiarvon ollessa 4,02 ppm (n = 19). Pohjaveden ja ottokaivojen raakaveden silikaattipitoisuudet vaihtelivat välillä 6,68 ja 8,63 ppm, keskiarvon ollessa 7,55 ppm (n = 24). Pohjaveden ja ottokaivojen raakaveden silikaattipitoisuudessa havaittiin lievää vaihtelua elo-syyskuun näytteissä. Jokiveden DSi-pitoisuudet vaihtelivat vuodenajoittain, ja minimiarvot havaittiin kesäkuussa. Pohjavesinäytteissä DSi-pitoisuuden minimi havaittiin elokuussa 2011 (kuva 33).

DSi-tulokset osoittavat, että Hyvinkäänkylän vedenottamon kohdalla jokivesi ja pohjavesi muodostavat pitoisuuksiltaan kaksi toisistaan poikkeavaa ryhmää.



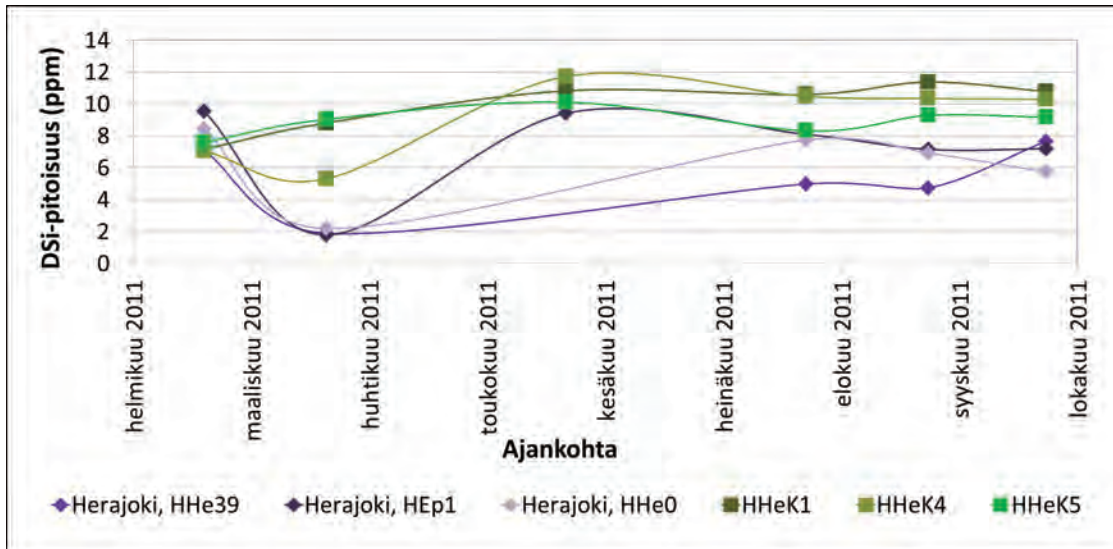
Kuva 34. Pohjaveden (havaintoputki HP2), vedenottokaivojen (K306, K311, K313) ja jokiveden liuenneen silikaattipitoisuuden vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Vantaanjoella Hyvinkäänkylässä. VHY2 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, VHY1 = jokivesi ottamon kohdalla, VHY4 = jokivesi alavirtaan ottamolta.

Herajoki

Herajoen jokiveden DSi vaihtelivat välillä 1,79–9,53 ppm (keskiarvo 6,28 ppm, n = 20), ollen pienimmillään huhtikuussa kevätvalunnan vaikutuksesta. Ottokaivojen DSi vaihtelivat välillä 5,31 ja 11,72 ppm (keskiarvo 9,35 ppm, n = 18) (kuva 35). Backman ja muut (2009) ovat mitanneet vastaavan DSi-pitoisuuden keskiarvon 6,53 ppm (n = 4) jokivesipisteessä ottamon sillan

läheisyydessä olevasta näytepisteestä kuin Vapomix-tutkimuksessa 5,96 ppm (n = 5). Backman ja muut (2009) analysoivat myös Dsi-pitoisuudet ottokaivoista K4 ja K5 ja mitattujen DSi-pitoisuuksien vaihteluväli oli pienempi (K5/0,15 ppm ja K4/2,05 ppm) kuin Vapomix-tutkimuksessa (K5/1,62 ppm) ja K4/6,41 ppm). Eroavaisuutta voivat selittää näytteenoton ajallinen eroavaisuus ja vuodenaikaiset erot.

Ottokaivo K4:ssä vaikuttaisi tapahtuvan pinta- ja pohjaveden sekoittumista huhtikuussa DSi perusteella.

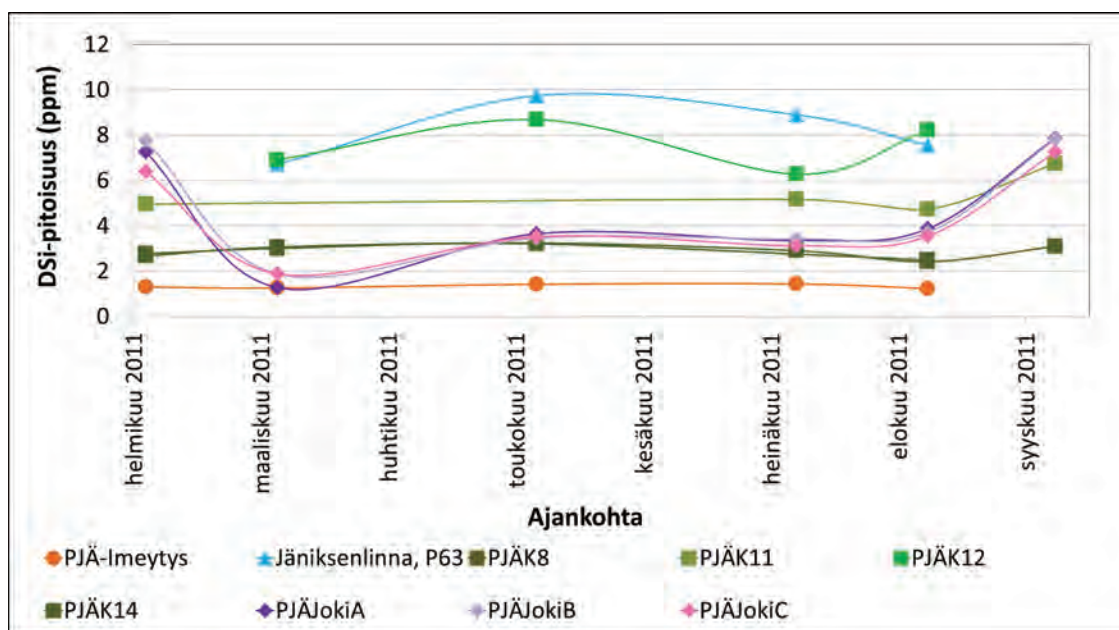


Kuva 35. Pohjaveden (ottamon kaivot K1, K4 ja K5) ja jokiveden liuenneen silikaattipitoisuuden vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Herajoella Herajoen ottamon alueella. HEp1 = jokivesi Epranojassa, HHe39 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, HHe0 = jokivesi ottamon kohdalla.

Palojoki

DSi vaihtelivat Päijännevedessä 1,14 ja 1,43 ppm:n välillä (keskiarvo 1,30 ppm, n = 6) ja pohjavedessä (havaintoputki P63) 6,72–9,75 ppm:n välillä (keskiarvo 8,29, n = 5). Vedenottokaivojen DSi vaihteli välillä 2,42 ja 8,69 ppm:n ja jokiveden 1,27–7,86 ppm (keskiarvo 4,45 ppm, n = 19). Kortelainen ja Karhu (2006) ovat analysoineet samansuuruisia DSi-arvoja pohjavedelle, Päijänne-tunnelin vedelle ja ottokaivo K8:n vedelle.

Jokivesinäytteiden DSi-pitoisuuksissa havaittiin minimi huhtikuun arvoissa. Päijänne-tunnelin imeytettävässä vedessä ja imeytyskenttiä lähinnä olevissa ottokaivoissa (K8 ja K14) DSi-pitoisuuksien vaihtelu vuodenajoittain oli vähäisempää (keskiarvo 2,89 ppm, vaihteluväli 0,82 ppm, minimi syyskuun näytteenotossa, n = 11) kuin vanhalla kaivoalueella (näytteenottokaivot K11 ja K12). Ottokaivoissa K11 ja K12 sekä DSi-pitoisuudet että pitoisuuksien vaihtelu oli suurempaa, keskiarvon ollessa 6,61 ppm ja vaihteluvälin 3,96 ppm (n = 9). Pohjaveden ja ottokaivojen DSi-pitoisuuksissa havaittiin vaihtelua vuodenajoittain, maksimipitoisuuksien ollessa pohjavedessä ja kaivoissa K8, K14 kesäkuussa, ja kaivoissa K11 ja K12 syys- ja lokakuussa (kuva 35).

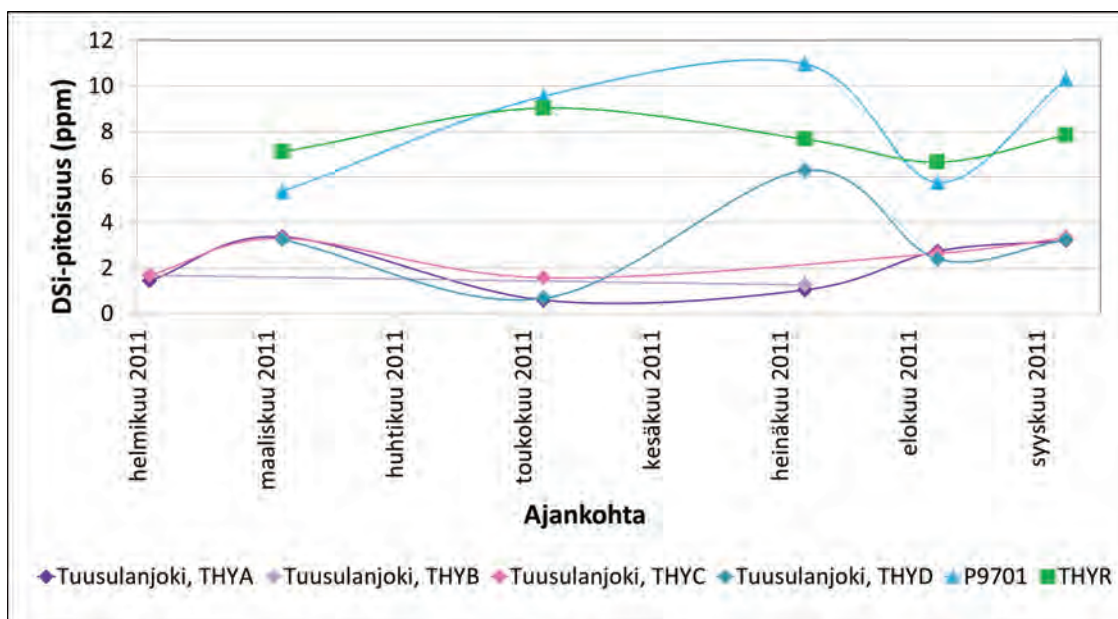


Kuva 36. Pohjaveden (havaintoputki P63), vedenottoaivojen (K8, K14, K11, K12) ja jokiveden liuenneen silikaattipitoisuuden vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Palojoella Jäniksenlinnassa. PJÄ-lmeytys = allasimeytysalueella imeytettävä vesi, PJÄJokiB = jokivesi ottamolta glävirtaan, PJÄjokiA = jokivesi ottamon kohdalla, PJÄJokiC = jokivesi ottamolta alavirtaan.

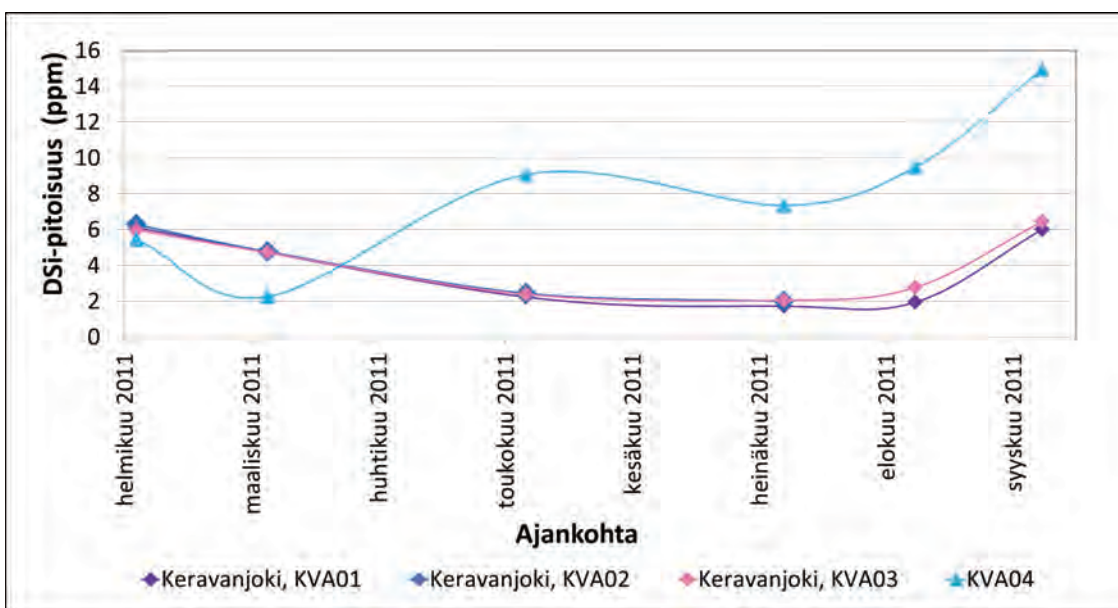
Tuusulanjoki

Tuusulanjoen jokiveden silikaattipitoisuudet vaihtelivat välillä 0,59 ja 6,29 ppm (keskiarvo 2,61 ppm, $n = 19$). Pohjaveden (havaintoputki P9701) ja Koskenmäen vedenottamon raakaveden silikaattipitoisuudet vaihtelivat välillä 5,37 ja 10,97 ppm (keskiarvo 7,89 ppm, $n = 10$). Pohjavesi ja pintavesi erottuvat DSi perusteella omiksi ryhmikseen (kuva 37). Jokiveden DSi ei havaittu samanlaista kevätminimiä kuin muissa tutkimuskohteissa, sen sijaan DSi-pitoisuuksien vaihtelu muistuttaa Keravanjokea. Yhteneväisyys voi aiheutua Keravanjoella ja Tuusulanjoella järvi-vedestä: Päijänneveden juoksutus Keravanjoella ja Tuusulanjärven läheisyydestä Tuusulanjoella.

Tuusulanjärven biologinen toiminta myös kuluttaa DSi-varastoja vedestä ja aikaansaa jokiveden pienehköt DSi-pitoisuudet. Tuusulanjoen valuma-alueen järvisyys on tutkituista jokiosuuksista korkein, 5,99 % (Ekholm 1993), ja jokiveden DSi-keskiarvo on myös alhaisin. Pohjavesinäytteissä havaittiin kohtuullinen vaihtelu DSi vuodenajoin, mitä ei havaittu vedenottamon raakavedessä yhtä voimakkaana.



Kuva 37. Pohjaveden (havaintoputki P9701 ja ottamon raakavesi THYR) ja jokiveden liuenneen siliikaattipitoisuuden vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Tuusulanjoella Hyrylässä. THYA = jokivesi ottamolta ylävirtaan, THYD = jokivesi ottamon kohdalla, THYC = jokivesi ottamolta alavirtaan.



Kuva 38. Pohjaveden (lähde KVA04) ja jokiveden liuenneen siliikaattipitoisuuden vaihtelu vuoden 2011 eri näytteenajankohtina Keravanjoella Valkeälähteen pohjavesialueella. KVA01 = jokivesi pohjavesialueelta ylävirtaan, KVA02 = jokivesi suljetulta ottamolta ylävirtaan, KVA03 = jokivesi pohjavesialueelta alavirtaan.

Keravanjoki

Keravanjoella Valkealähteen pohjavesialueella lähdevesinäytteiden DSi vaihtelivat välillä 5,45 ja 14,93 ppm (kuva 38) (n = 5, huhtikuun lähdenäyte on suljettu tuloksista pois). Lähdevesinäytteiden DSi suurehko vaihteluväli voi aiheutua pintavaluntaveden sekoittumisesta lähdeveetien näytteenottotilanteesta. Maalis- ja huhtikuussa otettiin myös Keravanjoen yläjuoksulla Santakosken vedenottamon vedenottokaivosta näytteet, joiden DSi olivat 6,75 ja 8,51 ppm.

Jokivesinäytteiden DSi vaihtelivat välillä 1,72–6,44 ppm, keskiarvon ollessa 3,75 ppm (n = 19). Jokiveden DSi olivat noin 6 ppm:n tasolla keväällä ja laskivat siitä aina syyskuuhun asti, kunnes lokakuussa DSi-pitoisuudet ovat jälleen saavuttaneet 6 ppm:n tason. Päijänneveden DSi keskiarvo on 1,29 ppm ja Keravanjoessa DSi on kesäkuukausien aikana noin 2 ppm. Päijänneveden pumppaus Keravanjokeen näkyy DSi tasaisena laskevana trendinä kesäkautena, ja pumppauksen loputtua syksyllä jokiveden DSi lähtevät uudelleen kasvamaan.

Lepsämänjoki

Korkeimmat DSi todettiin kahdessa lähdevesinäytteessä (7,55 ja 10,61 ppm). Jokivesinäytteissä silikaattipitoisuudet vaihtelivat 5,08 ja 7,15 ppm:n välillä, keskiarvon ollessa 6,07 ppm (n = 7). DSi laskivat tasolta 6,1–10,6 ppm tasolle 5,1–5,6 ppm, kun siirryttiin latvaosista Nummenpään pohjavesialueelta alavirtaan Lepsämän kylän kohdalle, mikä osoittaa pohjaveden purkautumisen vaikutusta jokiveden laatuun joen latvoilla ja pintavalunnan merkityksen kasvamisen alavirran suuntaan. Lepsämänjoen näytteet edustavat vain alivirtaamakautta kesällä 2011. Lepsämänjoen järvisyys on 3.3 % (Ekholm 1993) ja edustaa toiseksi suurinta järvisyyttä tutkituista jokiosuuksista.

Yhteenveto silikaattimääritysten tuloksista

Tutkituista jokiuomista Herajoella ja Lepsämänjoella jokivesinäytteiden DSi-keskiarvo oli selvästi suurempi (6,07–6,28 ppm) kuin muissa jokiuomissa (2,61–4,45 ppm). Korkeat silikaattipitoisuudet ilmentävät pohjaveden vallitsevaa osuutta jokiuomassa virtaavassa vedessä. DSi-pitoisuuksien käyttöä pohjaveden osuuden arvioinnissa Palojoella ja Tuusulanjoella rajoittaa järviveden vaikutus jokiveteen. Keravanjoella Ridasjärvien kautta juoksutettua Päijänne-tunnelin vettä voidaan käyttää merkkiaineena arvioitaessa juoksutusveden vaikutusta Keravanjoelle kesäkuukausien aikana.

Alivirtaamakautena kesäkuusta elokuuhun 2011 otettujen jokivesinäytteiden (n = 32) DSi-tuloksille tehtiin parittainen t-testi (Ranta ym. 1991) käyttäen STATISTICA 9.0 -ohjelmistoa. Jokivesien näytteenottopisteet ryhmiteltiin kahteen luokkaan. Ne näytteenottopisteet, jotka sijaitivat pohjavesialueella tai joiden kohdalla pohjaveden purkautumista oli havaittu tapahtuvan jokiuomaan, luokiteltiin luokkaan ”pohjavesivaikutus” (n = 16). Loput näytteenottopisteet luokiteltiin luokkaan ”ei pohjavesivaikutusta” (n = 16). Parittaisen t-testin tulosten mukaan em. luokkien mitatuissa DSi-arvoissa oli tilastollisesti merkittävä ero (p < 0.05). DSi-pitoisuuden keskiarvo jokivesille, jotka olivat pohjavesivaikutuksen alueella, oli 3,71 ppm, ja jokivesille, joiden lähistöllä ei ollut merkittäviä pohjavesiesiintymiä eikä pohjaveden purkautumisalueita, DSi-pitoisuuden keskiarvo oli 2,29 ppm (Rautio ym. 2013).

5.3.3 Pääionimääritysten tulokset

Pääionimääritysten tulokset on esitetty alla kohdetutkimusalueittain Piper-diagrammeissa, joiden avulla voidaan luokitella vedet pääionipitoisuuksien (kationit Ca-Mg-Na, K ja anionit $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$) määritystulosten perusteella. Piper-diagrammit on laadittu tutkituilta jokiuomilta erikseen sekä kaikkien ko. jokiuoman näytteiden tuloksilla että pelkästään alivirtaamakauden näytteiden tuloksilla.

Piper-diagrammeissa kuvataan veteen liuenneiden pääionien suhteita. Piper-diagrammien avulla voidaan luokitella vesiä sekä kuvailla erilaisten vesien sekoittumista ja tarkastella vesien kemiallista evoluutiota. Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ja K^+ (pääkationit) sekä HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ja NO_3^- (pääanionit) muodostavat n. 90 % veteen liuenneista ioneista. Jos K- ja NO_3^- -pitoisuudet ovat pienet, ne jätetään usein huomioimatta, koska ne eivät vaikuta oleellisesti ionisummiin. Piper-diagrammia laadittaessa muutetaan pitoisuudet ensin yksikköön meq/L. Pääanionit summataan yhteen (anionisumma) ja kationit samoin erikseen (kationisumma). Tässä vaiheessa analyysitulosten oikeellisuus tarkastetaan, sillä veden pääkationi- ja pääanionisummien tulee olla yhtä suuret. Hyväksyttävä ero on 5 %. Jokaisen pääanionin osuus koko anionisummasta lasketaan prosentteina ja samoin tehdään kationeille. Anioni- ja kationikolmioissa nämä suhteelliset osuudet on havainnollistettu graafisesti. Piper-diagrammin ylätimantissa anionikolmion ja kationikolmion tiedot yhdistyvät ja veden pääioniskoostumusta voi tarkastella kokonaisuutena (Piper 1953).

Suomen oloissa matalat pohjavedet ovat yleensä Ca- HCO_3 -tyypin vesiä ja sijoittuvat timantin vasempaan reunaan. Esimerkiksi sulfidikaivostoiminnan vaikutuksessa olevat vedet sijoittuvat usein Mg- SO_4 -tyypin vesinä timantin huipulle, kun taas meriveden tai tiesuolauksen vaikutuksen alaiset Na-Cl-tyyppiset vedet timantin oikeaan laitaan. Piper-diagrammi ei havainnollista todellisia pitoisuuksia, vaan kuvassa eri pitoisuustasoilla olevat vedet voivat sijoittua samaan kohtaan. Kaavio havainnollistaa pitoisuuksien suhteita ja vesikemian muutosten takana olevia mahdollisia prosesseja (ympäristön geokemialliset erot, ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset, veden viipymä jne.).

Vantaanjoki

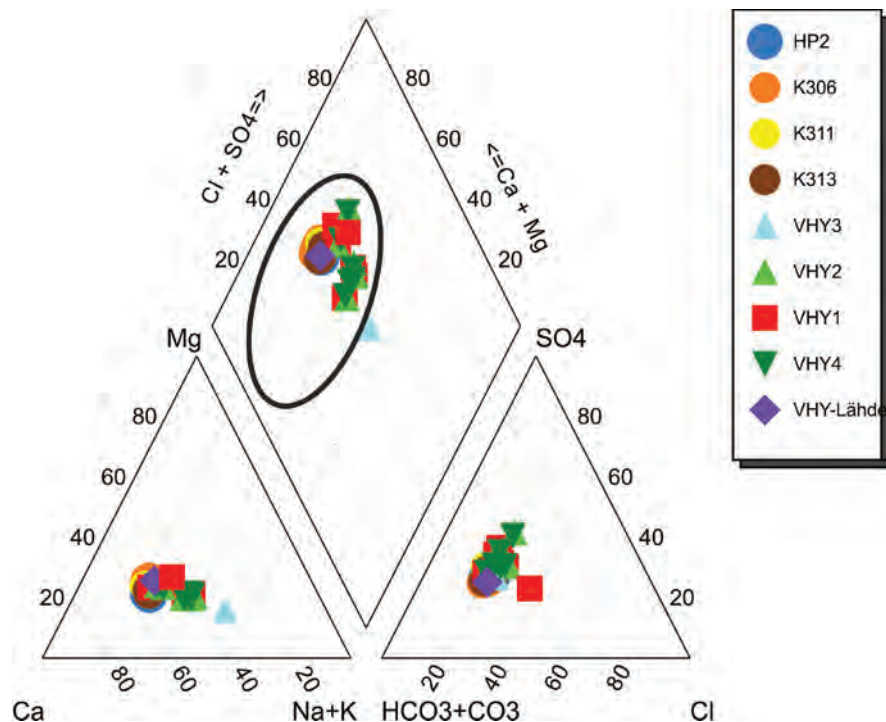
Päätyypiltään vallitsevinta anioni-kationiparia tarkasteltaessa Vantaanjoen, Hyvinkäänkylän vedenottamon raakavesikaivojen, pohjavesi sekä lähdevesinäytteet edustivat Ca- HCO_3 -tyypin vettä. Tarkasteltaessa kahta anioni-kationiparia vesinäytteiden kemiallisessa koostumuksessa havaittiin eroavaisuuksia. Pohjavesi- ja raakavesikaivojen vesikemia edusti tyyppillistä suomalaista Ca-Mg- $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ -tyypin pohjavettä (kuva 39). Esimerkiksi pohjavesinäytteessä (HP2/ huhtikuu 2011) kationeiden suhteelliset osuudet % meq/L ovat Ca/52 %, Mg/27 %, Na/ 17 % ja K/4 %, vastaavasti anioneiden HCO_3^- /47 %, SO_4^{2-} /27 %, Cl^- /19 % ja NO_3^- /8 %. Näytteen koostumus Piper-diagrammissa kuvassa 39 sijoittuu tyyppillistä suomalaista pohjavettä kuvaavan mustalla piirretyn ympyrän sisälle.

Pohjaveden (havaintoputki HP2) pääioniskoostumus edusti Ca- HCO_3 -vettä ja tarkasteltaessa kahta anioni-kationiparia Ca-Mg- $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä, poikkeuksena lokakuun vesinäyte, joka edusti Ca-Na- $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä (Kuva 39). Jokiuoman eteläpuolisella lähteikköalueella lähdevesinäyte edusti myös Ca-Mg- $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä.

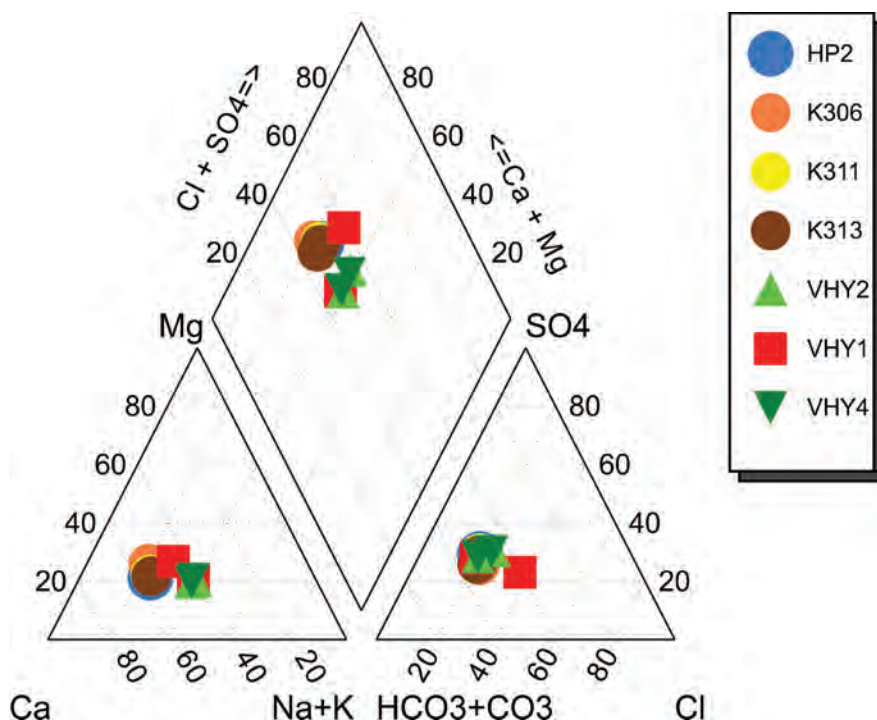
Hyvinkäänkylän vedenottamon vedenottoaivojen raakavesinäytteiden koostumuksessa oli vähäistä vaihtelua. Vedenottoaivon (K306) vesinäytteet olivat $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä, maaliskä-, kesä- ja elokuussa ottokaivon vedessä oli myös Na ja Cl. Vedenottoaivon (K311) vesikemia edusti $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä, maaliskä-, elo- ja lokakuussa ottokaivon vedessä oli myös Na ja Cl. Vedenottoaivon (K313) vesikemiassa oli eniten vaihtelua: vesi edusti $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä huhti- ja kesäkuussa, muina näytteenotokertoina ottokaivon vedessä havaittiin Na ja Cl.

Jokivesinäytteet edustivat vesikemialtaan: $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ / $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ / $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä. Huhtikuussa otetut ala- ja yläjuoksun vesinäytteet (VHY2 ja VHY4) edustivat muista Vantaanjoen vesinäytteistä poikkeavasti $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ -vesityyppiä. Vastaavaa muutosta ei havaittu Hyvinkäänkylän vedenottamon kohdalta otetuissa jokivesinäytteissä.

Verrattaessa jokivesinäytteitä ja pohjavesinäytteitä havaitaan alivirtaamakauden näytteiden sijoittuvan lähemmäs pohjaveden koostumusta (kuva 40) kuin ylivirtaamakausina otettujen näytteiden koostumuksen (kuva 39). VHY3 edustaa jokivesinäytettä, joka on otettu maaliskuussa 2011 Hyvinkäänkylän ottamolta ylävirran suuntaan seuraavalta pohjavesialueen sisäpuolelta. Tämä jokivesinäyte edustaa $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä.



Kuva 39. Vantaanjoelta Hyvinkäänkylästä otettujen pääioninäytteiden (kaikki näytekierrokset) koostumus esitettynä Piper-diagrammissa. HP2 = pohjaveden havaintoputki, K306, K311, K313 = vedenottoaivot, VHY2 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, VHY1 = jokivesi ottamon kohdalla, VHY4 = jokivesi alavirtaan ottamolta, VHY-Lähde = lähde jokiuoman eteläpuolella. Kuvassa on havainnollistettu mustalla soikiolla tyypillisten matalien pohjavesien koostumusta Suomessa.



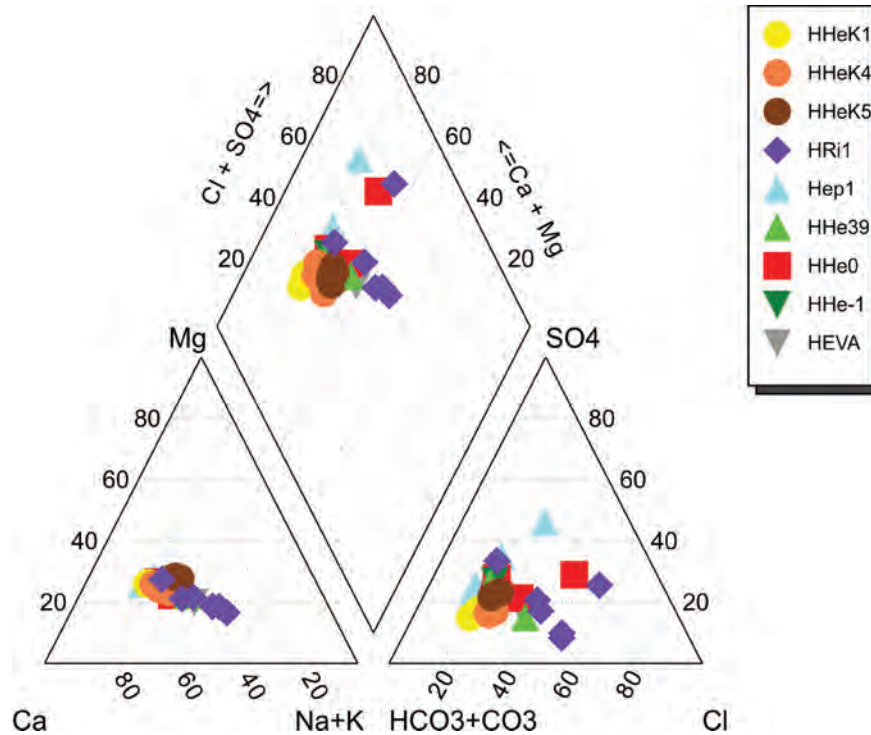
Kuva 40. Vantaanjoelta Hyvinkäänkylästä alivirtaamakaudella otettujen pääioninäytteiden koostumus esitettyä Piper-diagrammissa. HP2 = pohjaveden havaintoputki, K306, K311, K313 = vedenottokaivot, VHY2 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, VHY1 = jokivesi ottamon kohdalla, VHY4 = jokivesi alavirtaan ottamolta, VHY-Lähde = lähde jokiuoman eteläpuolella.

Herajoki

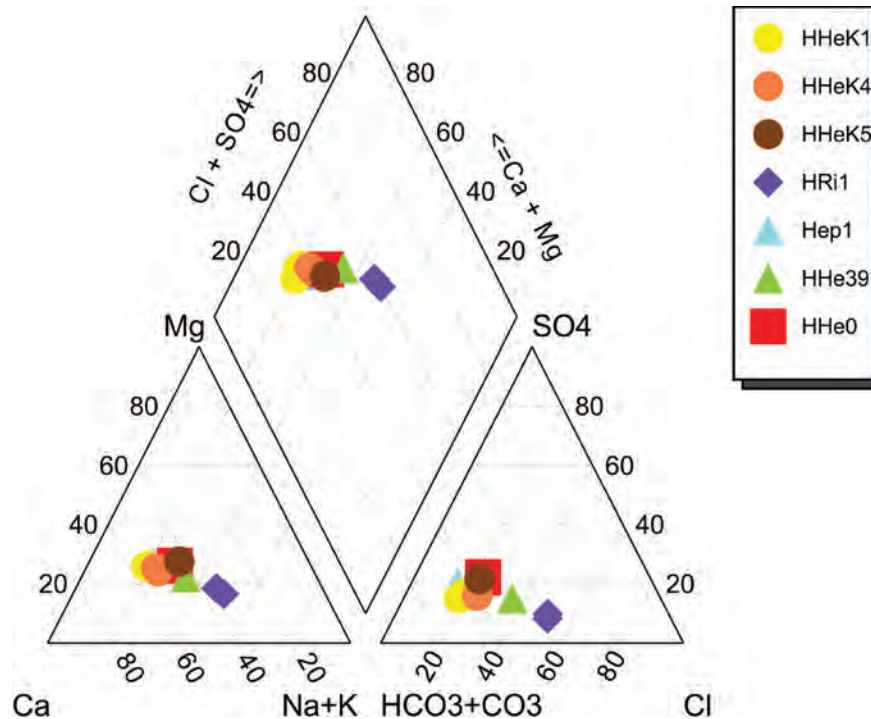
Jokiveden vesityypeissä havaittiin vuodenaikaista vaihtelua. Jokivesinäyte HEP1 edusti Ca-Mg-HCO₃-SO₄-tyypin vettä, paitsi huhtikuussa vesinäyte edusti Ca-Mg-NO₃-SO₄-vettä, mikä nähdään kuvassa 41 näytepisteen siirtymisenä ylös oikealle. Sama muutos (Ca-Mg-NO₃-SO₄) havaittiin myös Herajoen vedenottamon kohdalla otetussa jokivesinäytteessä (HHe0) huhtikuun näytteenotossa (kuva 41). Ottamon kohdalla jokivesinäytteiden koostumuksessa havaittiin eniten vaihtelua. Ylivirtaamakausina huhti/syys/lokakuussa jokiveden pääionikoostumuksessa oli lisääntyneestä pintavalunnasta johtuen vaihtelua (NO₃⁻, SO₄⁻ ja Cl-määrät kasvoivat) (kuva 41).

Alivirtaamakautena jokiveden koostumus oli lähempänä pohjaveden koostumusta (kuva 42), mikä nähdään jokiveden koostumuksen sijoittumisena lähemmäksi ottokaivojen vesikoostumusta. Lähdevesinäytteen (HRI1) koostumuksessa havaittiin myös vaihtelua, lähdenäytteen koostumus oli lähempänä pohjaveden tyyppillistä koostumusta maaliskuussa, syys- ja lokakuussa ja poikkesi tästä huhti-, kesä- ja elokuussa (Ca-Na-Cl-NO₃/Na-Ca-Cl-HCO₃) (kuva 41 ja 42).

Herajoen vedenottamon vedenottokaivojen raakavesien pääionikoostumukset vaihtelivat eri näytteenottoajankohtina. Kaivojen K1 ja K4 vesi edusti koostumukseltaan Ca-Mg-HCO₃-Cl-vettä. Kaivon K5 veden koostumus vaihteli Ca-Mg-HCO₃-Cl-vedestä (maaliskuussa ja elokuussa) Ca-Mg-HCO₃-SO₄-veteen (huhti-, kesä-, syys- ja lokakuussa). Raakavesikaivojen veden koostumus on tyyppinen suomalaisen pohjaveden koostumus (kuva 41). Herajoen raakavesikaivojen kemiallista laatua on käsitelty myös Backmanin ym. (2009) raportissa, jossa todettiin raakavesikaivojen veden kemiallisessa koostumuksessa olevan paljon vaihtelua.



Kuva 41. Herajoelta otettujen pääioninäytteiden (kaikki näytekierrokset) koostumus esitettynä Piper-diagrammissa. HHeK1, HHeK4, HHeK5 = ottamon kaivot, HRi1 = jokivesi Herajoen latvaosassa, Hep1 = jokivesi Epranojassa, HHe39 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, HHe0 = jokivesi ottamon kohdalla, HHe1, HEVA = jokivesi ottamolta alavirtaan.



Kuva 42. Herajoelta alivirtaamakaudella otettujen pääioninäytteiden koostumus esitettynä Piper-diagrammissa. HHeK1, HHeK4, HHeK5 = ottamon kaivot, HRi1 = jokivesi Herajoen latvaosassa, Hep1 = jokivesi Epranojassa, HHe39 = jokivesi ylävirtaan ottamolta, HHe0 = jokivesi ottamon kohdalla, HHe1, HEVA = jokivesi ottamolta alavirtaan.

Palojoki

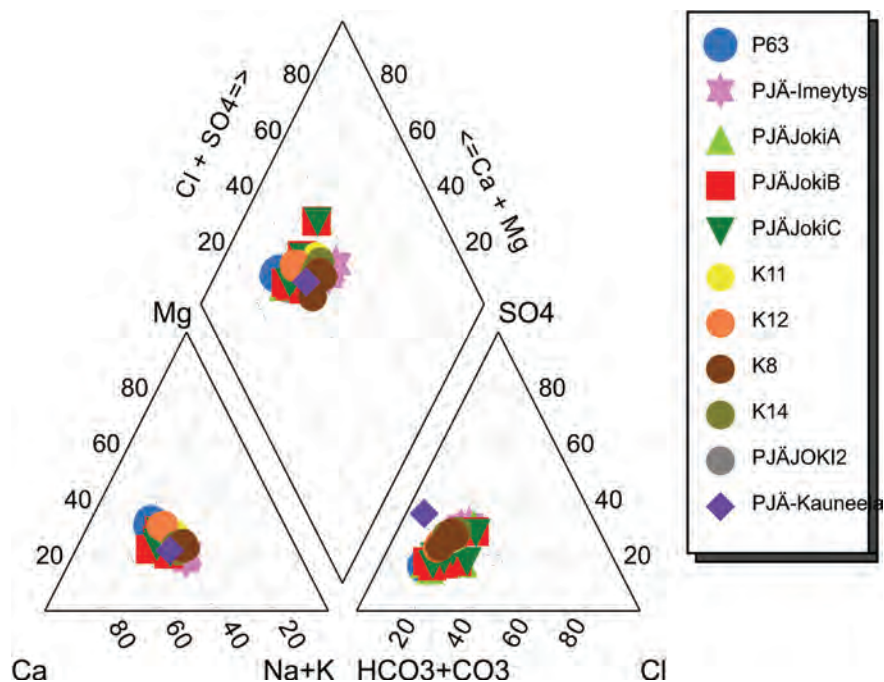
Pohjavesi Jäniksenlinnan imeytysaltaiden pohjoispuolella (havaintoputki P63) eli alueella, jossa pohjaveteen ei ole sekoittunut Päijänne-tunnelin vettä tai Palojoesta imeytynyttä vettä, oli vesityypiltään $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-}$ ja $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä (kuva 43)

Päijänne-tunnelista johdetun imeytysveden koostumus oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-}$ vettä, eikä merkittäviä poikkeamia havaittu.

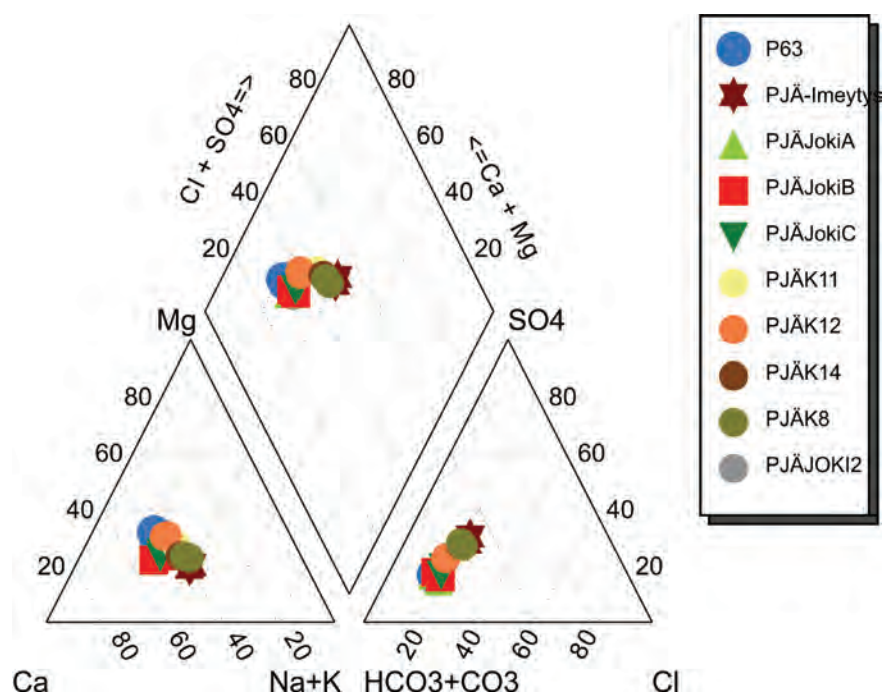
Jokiveden koostumus oli kaikissa näytepisteissä maalisi- ja syyskuussa $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ja loka-kuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$. Kaikki jokivesinäytteet olivat huhtikuussa koostumukseltaan $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ (kuva 43). Nitraatin vaikutus oli havaittavissa vain huhtikuussa. Jokiveden koostumus ylävirran näytepisteessä (PJÄJokiA) oli kesäkuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ ja elokuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$. Ottamon kohdalla jokiveden (PJÄJokiB) koostumus oli kesäkuussa ja $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ja elokuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$.

Verrattaessa kaikkien näytteenottokertojen ja alivirtaamakausien näytteiden pääionikoostumusta kuvissa 43 ja 44 havaitaan jokiveden koostumuksen olevan lähempänä pohjaveden koostumusta alivirtaamakautena ja muina näytteenottoaikoina koostumuksen olevan lähempänä imeytysveden koostumusta erityisesti ottamon alavirrasta otetuissa näytteissä. Ottamon ylävirrasta otettiin yksityiskaivosta vesinäyte (PJÄ-Kauneela), joka oli koostumukseltaan $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-}$ vettä.

Raakavesikaivonäytteiden koostumukset (K8, 11, 12 ja 14) olivat $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-}$ ja $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-}$ vettä. Vedenottokaivojen vesien koostumuksessa ei ollut havaittavissa nitraatin vaikutusta. Raakavesikaivojen K11 ja K12 veden luonnollisen pohjaveden suurempi osuus on nähtävissä myös pääionikoostumuksen sijoittumisena lähemmäksi pohjaveden (P63) koostumusta kuin imeytysveden (kuvat 43 ja 44). Happi-isotooppien massatasapainon avulla laskettuna kaivoissa K11 ja K12 luonnollisen pohjaveden osuus vaihteli 24–57 % välillä kaivoissa K8 ja K14 5–17 % välillä.



Kuva 43. Palojoelta otettujen pääioninäytteiden (kaikki näytekierrokset) koostumus esitettynä Piper-diagrammissa. P63 = pohjaveden havaintoputki, K8,K14,K11,K12 = vedenottokaivot, PJÄJokiB = jokivesi ottamolta ylävirtaan, PJÄjokiA = jokivesi ottamon kohdalla, PJÄJokiC = jokivesi ottamolta alavirtaan. PJÄ-Kauneela = kaivovesi, kaivon sijainti ottamolta ylävirtaan.

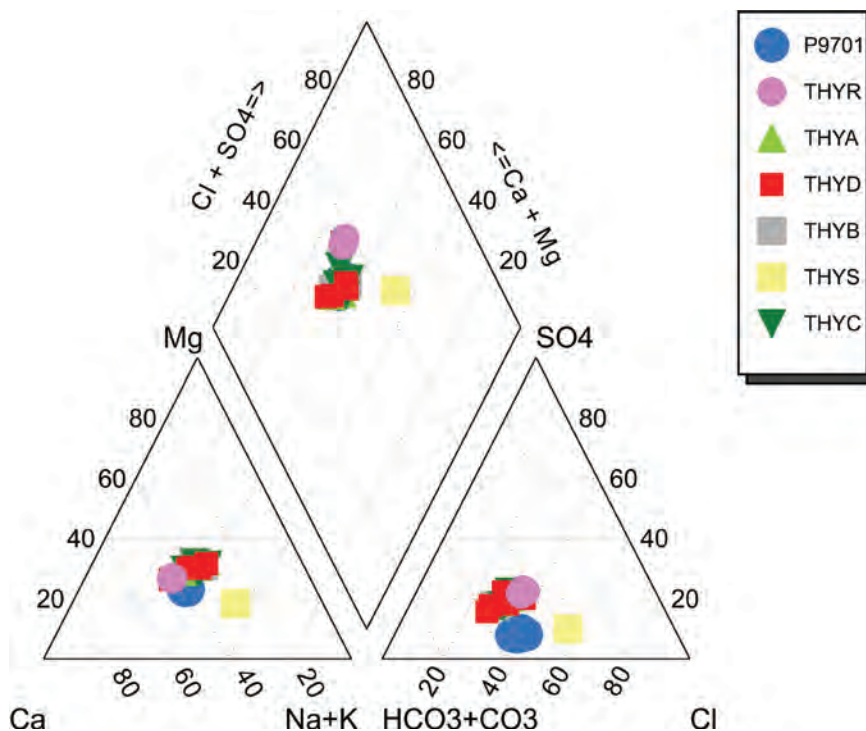


Kuva 44. Palojoelta alivirtaamakaudella otettujen pääioninäytteiden koostumus esitettynä Piper-diagrammissa. P63 = pohjaveden havaintoputki, K8,K14,K11,K12 = vedenottokaivot, PJÄJokiB = jokivesi ottamolta ylävirtaan, PJÄjokiA = jokivesi ottamon kohdalla, PJÄJokiC = jokivesi ottamolta alavirtaan. PJÄ-Kauneela = kaivovesi, kaivon sijainti ottamolta ylävirtaan.

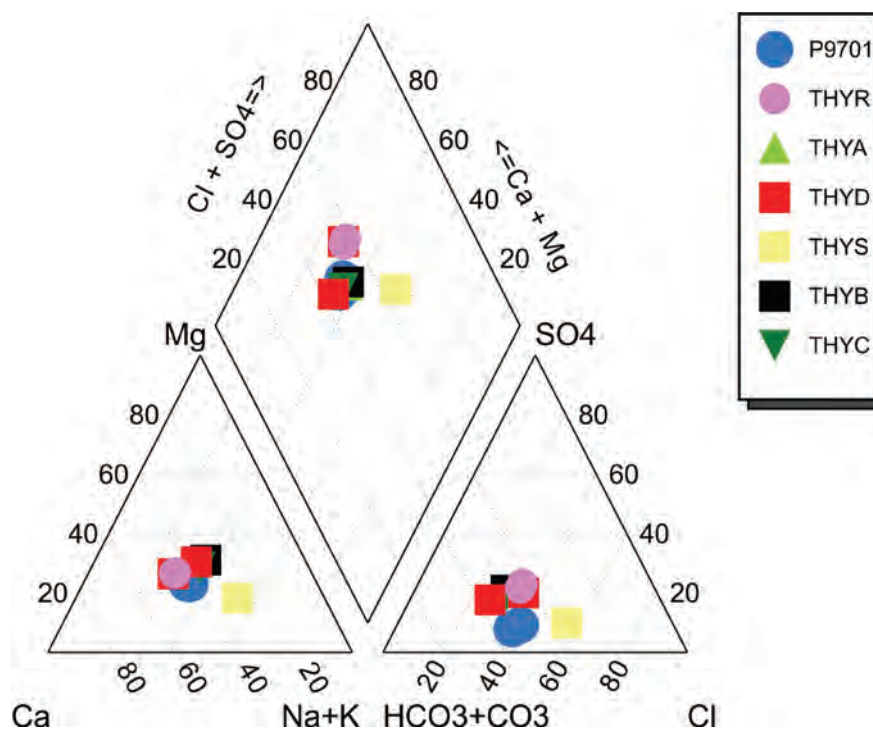
Tuusulanjoki

Pohjavesi (P9701) oli koostumukseltaan $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä kaikkina näytteenottoajankohtina. Koskenmäen vedenottamon vedenottoaivojen raakaveden koostumus oli $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä kaikkina näytteenottoajankohtina.

Ylävirralta otetut jokivesinäytteet olivat koostumukseltaan $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä. Pohjavesialueelta otettujen jokivesinäytteiden koostumus oli maaliskuussa ja elokuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä. Alavirralta otettujen jokivesinäytteiden koostumus vaihteli eniten ollen maaliskuussa ja huhtikuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$, kesä- ja lokakuussa $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$, syyskuussa $\text{Na-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$. Ottamon kohdalta otetuissa jokivesinäytteissä koostumus vaihteli seuraavasti: huhti-, kesä- ja elokuussa koostumus oli $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$, syyskuussa koostumus oli $\text{Na-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ ja lokakuussa koostumus oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$. Pohjavesialueella suotomittarilla otetun jokipohjan läpi suotautuneen veden koostumus oli Na-Ca-Cl-HCO_3 -vettä, mikä poikkeaa alueen luonnollisesta pohjavedestä (kuva 45 ja 46).



Kuva 45. Tuusulanjoelta otettujen pääioninäytteiden (kaikki näyttekierrokset) koostumus esitettyinä Piper-diagrammissa. P9701 = pohjaveden havaintoputki, THYR = vedenottoaivo, THYA = jokivesi ottamolta ylävirtaan, THYD = jokivesi ottamon kohdalla, THYB = jokivesi pohjaveden purkautumisalueella, THYS = jokeen pohjan kautta purkautuva pohjavesi, THYC = jokivesi ottamolta alavirtaan.



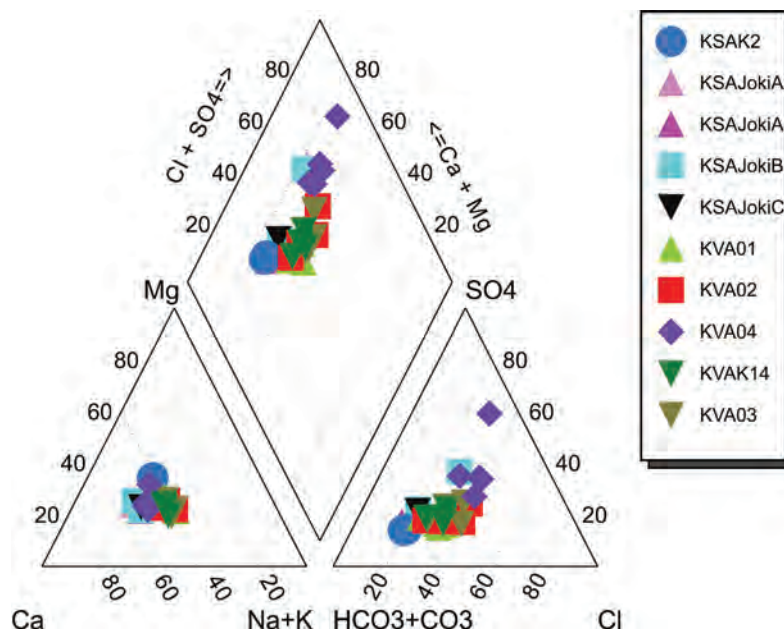
Kuva 46. Tuusulanjoelta alivirtaamakaudella otettujen pääioninäytteiden koostumus esitettyinä Piper-diagrammissa. P9701 = pohjaveden havaintoputki, THYR = vedenottoaivo, THYA = jokivesi ottamolta ylävirtaan, THYD = jokivesi ottamon kohdalla, THYB = jokivesi pohjaveden purkautumisalueella, THYS = jokeen pohjan kautta purkautuva pohjavesi, THYC = jokivesi ottamolta alavirtaan.

Keravanjoki

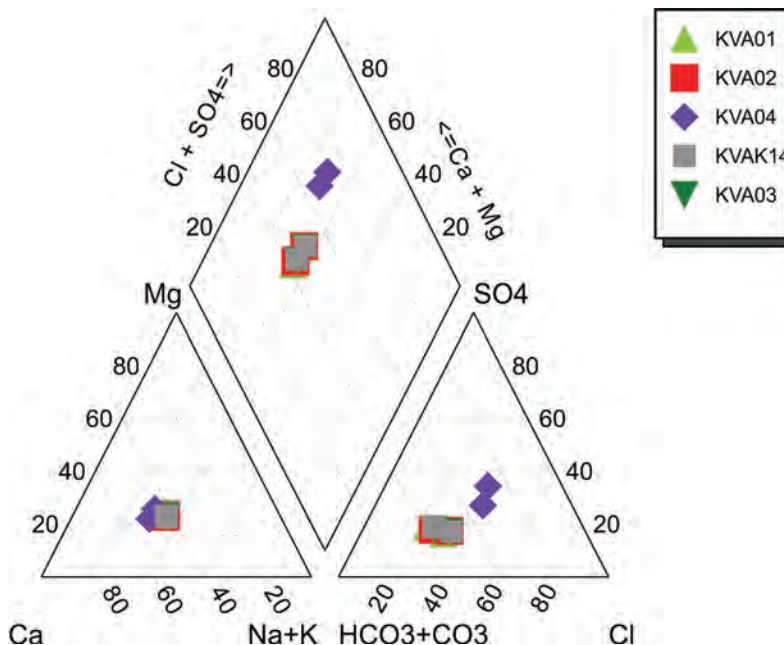
Keravanjoen alajuoksulla Valkealähteen pohjavesialueelta ylävirtaan sijaitsevan näytteenottopisteen (KVA01) vesi oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä kaikkina näytteenottoajankohtina. Jokivesinäyte pohjavesialueella (KVA02) oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä, paitsi huhtikuussa koostumus oli Ca-Na-Cl-HCO_3 . Alajuoksun näytepisteen (KVA03) koostumus oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä kaikkina näytteenottoajankohtina. Näytepisteen (KVAK14) vedenkoostumus oli $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä, paitsi lokakuussa näyte edusti $\text{Na-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä.

Valkealähteen suljetun pohjavedenottamon vieressä olevasta lähteestä otettujen näytteiden vesityypissä oli eniten vaihtelua (kuva 46). Eniten poikkesi lokakuussa otettu näyte (kuva 47), joka oli $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -vettä. Lähdevesinäyte oli maaliskuussa Ca-SO_4 -vettä, kesä- ja syyskuussa Ca-Cl -vettä ja elokuussa Ca-HCO_3 -vettä. Kuvista 47 ja 48 nähdään lähdevesinäytteiden anioni-koostumuksen poikkeavan ryhmästä. Lähdenäytteiden pääionikoostumuksen vaihtelua voi selittää sekoittuminen pintavaluntavesien kanssa näytteenottotilanteessa.

Kuvassa 47 on esitetty myös maalis- ja huhtikuussa Santakosken vedenottoaivo (KSAK2) ja sen läheisyydestä otettujen jokivesinäytteiden (KSAJokiA, KSAJokiB, KSAJokiC ja KSAJokiAA) pääionikoostumukset. Vedenottoaivo (KSAK2) edustaa koostumukseltaan $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ -vettä. Jokivesinäytteet edustivat maaliskuussa $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ ja $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ -vettä. Huhtikuussa jokivesinäytteet (KSAJokiAA ja KSAJokiB) olivat $\text{Ca-Mg-NO}_3\text{-SO}_4$ -vettä.



Kuva 47. Keravanjoelta Valkealähteen ja Santakosken pohjavesialueilta otettujen pääioninäytteiden (kaikki näytekierrokset) koostumus esitettyä Piper-diagrammissa. KVA04 = lähde Valkealähteen suljetun ottamon kohdalla, KVA01 = jokivesi Valkealähteen pohjavesialueelta ylävirtaan, KVA02 = jokivesi suljetulta Valkealähteen ottamolta ylävirtaan, KVAK14, jokivesi Valkealähteen pohjavesialueella suljetulta ottamolta alavirtaan, KVA03 = jokivesi Valkealähteen pohjavesialueelta alavirtaan, KSAK2 = Santakosken ottokaivo, KSAJokiA, KSAJokiAA = jokivesi Santakosken ottamolta ylävirtaan, KSAJokiB = jokivesi ottamon kohdalla, KSAJokiC = jokivesi ottamolta alavirtaan.



Kuva 48. Keravanjoelta Valkealähteen pohjavesialueelta alivirtaamakaudesta otettujen pääioninäytteiden koostumus esitettyä Piper-diagrammissa. KVA04 = lähde Valkealähteen suljetun ottamon kohdalla, KVA01 = jokivesi Valkealähteen pohjavesialueelta ylävirtaan, KVA02 = jokivesi suljetulta Valkealähteen ottamolta ylävirtaan, KVAK14, jokivesi Valkealähteen pohjavesialueella suljetulta ottamolta alavirtaan, KVA03 = jokivesi Valkealähteen pohjavesialueelta alavirtaan.

Yhteenveto pääionimääritysten tuloksista

Pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusta pääionikoostumuksen perusteella arvioitiin alivirtaamakaudella, koska silloin pohjavedellä pitäisi olla suurin vaikutus jokiveden pääionikoostumukseen. Oletuksena on, että niissä jokiuomissa, joissa pohjaveden vaikutus on suurin, myös vesikemia on vakain, koska pintaveden vaikutus on suhteessa vähäisempi kuin niissä uomissa, joissa pintavesi muodostaa pääasiallisen jokivesikomponentin.

Alivirtaamakaudella jokivesien koostumuksessa oli vähäisempi vaihtelu ja niiden koostumus oli vesityypiltään lähempänä pohjaveden vesityyppiä kuin ylivirtaamakaudella otettujen jokivesinäytteiden, joissa pintavalunnan osuus on suurempi. Alivirtaamakauden pääionipitoisuuksien perustella ei kuitenkaan pystytä arvioimaan purkautuvan pohjaveden määriä jokiuomaan, vaan antamaan karkea arvio vuorovaikutuksen laadusta. Ylivirtaamakausina pintavalunnan osuus kasvaa suhteessa pohjavesikomponenttiin jokiuomassa. Jokiveden noustessa yli pohjavedenpinnan tason voi pintavettä suotautua myös pohjaveteen ja raakavesikaivoihin. Ylivirtaamakaudella pääionikoostumuksen avulla voidaan kaivovesinäytteistä arvioida mahdollista pintaveden pääsyä raakavesikaivoihin.

5.4 S::can-anturimittausten tulokset

Kevään 2012 ylivirtaamakaudeksi tulvariskialueilla sijaitsevien pohjavedenottamoiden vedenotto-kaivoihin asennetuilla S::can-antureilla pystyttiin jäljittämään kaivovesien laadussa lyhytaikaisia muutoksia, joita on mahdoton havaita perinteisellä tarkkailunäytteenotolla. Anturit oli ohjelmoitu mittaamaan veden laatua kerran tunnissa, ja mittausjakson aikana tuloksia pystyttiin tarkastelemaan päivittäin Luode Consulting Oy:n online-palvelun kautta.

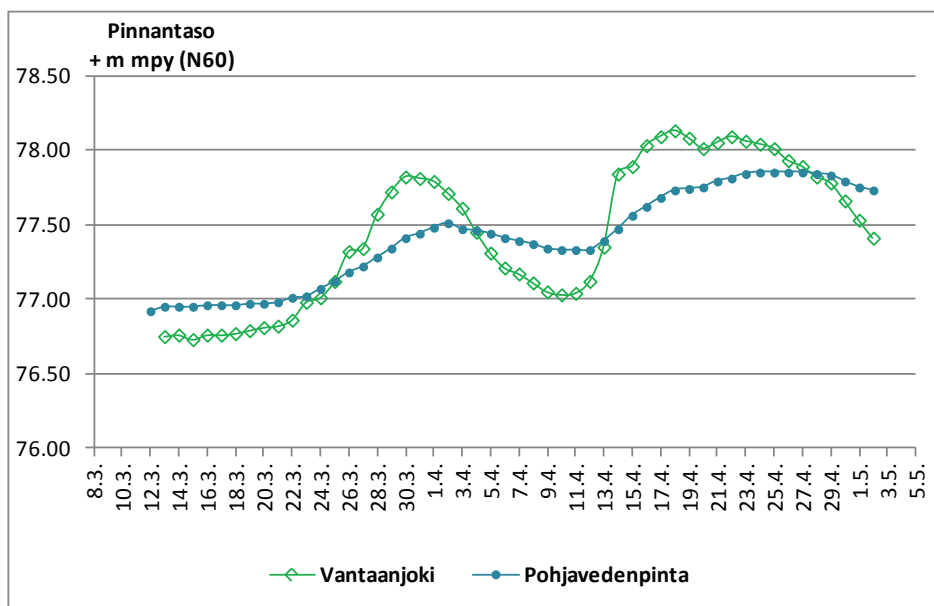
Luvuissa 5.4.1 ja 5.4.2 on esitetty Vantaanjoen varrella sijaitsevien Hyvinkäänkylän ja Nukarin pohjavedenottamoiden S::can-anturimittausten tulokset. Herajoen pohjavedenottamolla savipeitteisellä alueella virtaavan Herajoen vedenpinta on jatkuvasti ottamoalueen pohjavedenpintaa ylempänä, ja ottokaivojen veden laadun vaihtelut selittyvät pitkälti kaivojen K1, K4 ja K5 pumppausmäärien vaihteluilla. Vuonna 2011 kaivoa K5 käytettiin jatkuvasti ja kaivoa K4 jaksottaisesti. Vuonna 2012 kaivojen K4/K5 pumppausmäärät olivat lähes 50 % / 50 %, ja kaivosta K1 pumpattiin yöaikaan, kun kaivojen K4 ja K5 pumppaus ei ollut päällä. Palojoen Jäniksenlinnan vedenottamolla tarkkailussa olleen vedenotto-kaivon K11 veden laadussa ei tapahtunut mittausjaksolla 14.3.–2.5.2012 merkittäviä muutoksia, ja kaivoveden DOC-pitoisuus ja NO₃-N-pitoisuus pysyttelivät koko jakson ajan samalla tasolla. Palojoen vedenpinta oli jo mittausjakson aloitusvaiheessa (sekä koko mittausjakson ajan) ko. kaivoalueen pohjavedenpintaa ylemmällä tasolla (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymän tarkkailutiedot). Lumien sulamiskauteen liittyvä kevään 2012 maksimivirtaama esiintyi Palojoella jo maaliskuun lopussa (www.ymparisto.fi; Vesistöennusteet ja vesitilannekartat). Lumien sulamiskauden varhainen alkamisajankohta ja siihen liittyvä jokiveden pinnan nousu selittänee, miksi mittausjaksolla ei havaittu merkittäviä muutoksia kaivon K11 veden laadussa. Pintaveden vaikutus näkyi kuitenkin pohjaveden taustapitoisuuksia hieman suurempina liuenneen orgaanisen aineksen (DOC) pitoisuuksina: taustapitoisuus alueella on 1,0–1,2 mg/l, jokiveden DOC-pitoisuus mittausjaksolla oli 9–12 mg/l ja vedenotto-kaivon K11 veden DOC-pitoisuuden keskiarvo oli 1,8 mg/l (minimipitoisuus 1,76 mg/l).

Herajoen, Hyvinkäänkylä, Nukarin ja Jäniksenlinnan S::can-anturimittauten tulokset raportoidaan yksityiskohtaisesti vesilaitoskohtaisissa raporteissa.

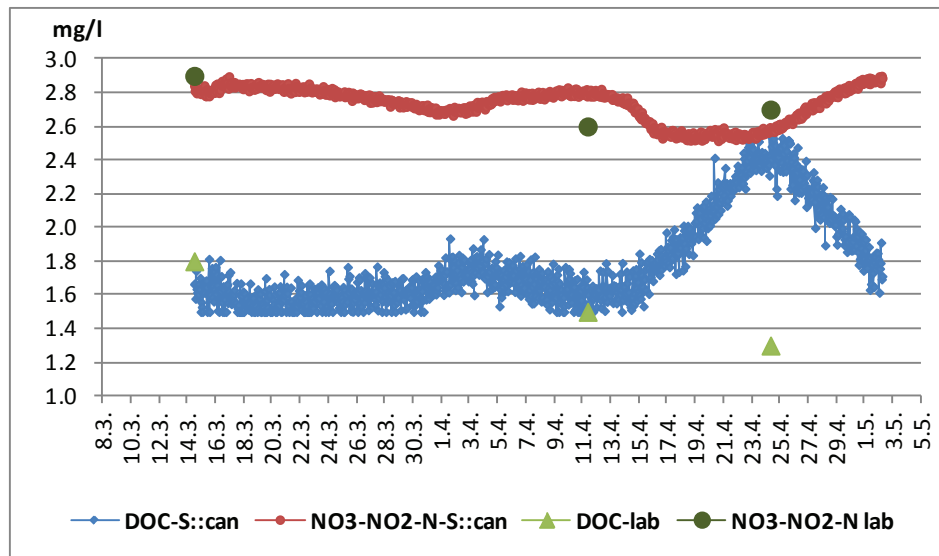
5.4.1 S::can-anturimittauten tulokset Hyvinkäänkylässä

Mittaukset tehtiin vedenottokaivossa K311, jonka laadussa aikaisempien tarkkailutulosten perusteella näkyi tulvakaushina selvimmin jokiveden vaikutus (Kivimäki ym. 2012). Kaivo K311 sijaitsee noin 40 m jokiuomasta karkearakeisen harjuselänteiden alueella (merkitty karttaliitteessä tunnuksella K-311). Vedenottokaivojen pumppausmääriä ei rekisteröidä ottamolla kaivoittain, mutta kaikkien kolmen vedenottokaivon yhteenlaskettu vedenottomäärä maaliskuusta huhtikuuhun 2012 oli 2 970 – 3 050 m³/d (Hyvinkään Veden tarkkailutiedot).

Lumien sulamiskausi ja siihen liittyvät jokiveden pinnankorkeuden nousu ja virtaamien kasvu alkoivat keväällä 2012 tavanomaista aikaisemmin maaliskuun puolivälissä. Säiden kylmenemisen seurauksena sulaminen kuitenkin välillä hidastui, jatkuen huhtikuussa. Säätilojen vaihteluiden seurauksena jokiveden pinnantasossa oli kaksi maksimijaksoa, ylimmän ja alimman pinnankorkeuden erotuksen ollessa 1,4 m (kuva 49). Tämä poikkesi kevään 2011 sulamiskaudesta, jolloin jokiveden pinta Vantaanjoessa Hyvinkäänkylän kohdalla alkoi nousta jyrkästi 2.4.2011, ja vesi oli jokiuomassa korkeimmillaan viikon sisällä (9.4.2011), jolloin pinta oli noussut lähtötasosta 1,95 m (Kivimäki ym. 2012).



Kuva 49. Jokiveden ja pohjaveden pinnankorkeudet Hyvinkäänkylässä anturimittausjaksolla 2012. Pohjaveden pinnankorkeuden mittauspisteinä joen rannassa sijaitseva kuilukaivo.

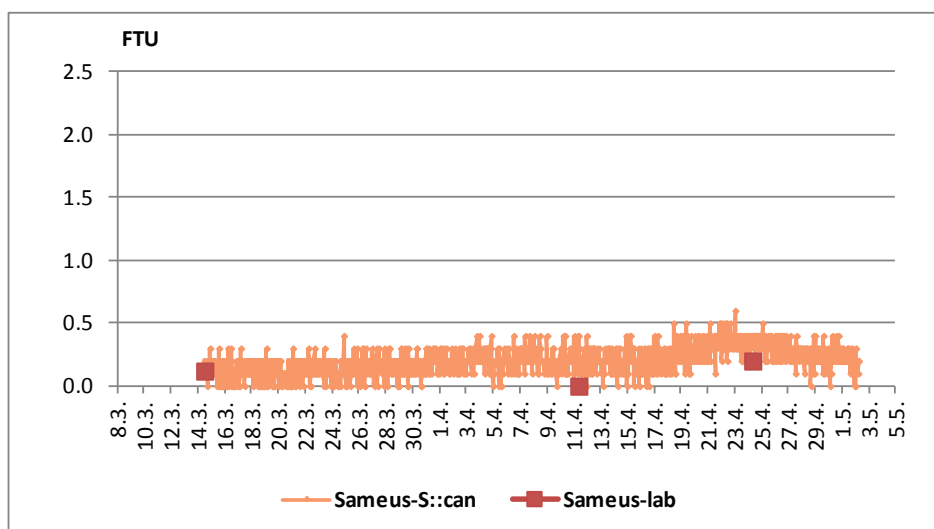


Kuva 50. DOC- ja $\text{NO}_3\text{-NO}_2\text{-N}$ -pitoisuudet vedenottokaivossa K311 anturimittausjaksolla 2012.

Jokiveden pinta nousi molempien tulvahuippujen aikana vedenottoalueen pohjaveden pintaa ylemmälle tasolle. Jokiveden vaikutus näkyi vedenottokaivossa K311 2–5 vrk:n kuluessa siitä, kun jokiveden pinta rannan läheisyydessä sijaitsevassa tarkkailupisteessä oli noussut yli pohjavedenpinnan. Ensimmäisen tulvahuipun aikana vedenottokaivon K311 DOC-pitoisuus nousi tasolta 1,5 mg/l tasolle 1,8 mg/l. Toisen tulvahuipun aikana, jolloin myös jokivedessä oli DOC-pitoisuus lähtötilannetta selvästi korkeampi (taulukko 6), DOC-pitoisuus nousi vedenottokaivossa tasolta 1,7 mg/l tasolle 2,5 mg/l. DOC-pitoisuus vedenottokaivossa alkoi laskea nopeasti toisen tulvahuipun jälkeen, jokiveden pinnan laskettua noin tasolle +78 m mpy. Poikkeuksellisen korkeita DOC-pitoisuuksia esiintyi vedenottokaivossa K311 tulva-aikana noin kahden viikon ajan. Havaittu maksimipitoisuus oli 2,54 mg/l (kuva 50).

Vedenottokaivon nitraattityppipitoisuudessa ei tapahtunut mittausjaksolla merkittävää muutosta, mutta pitoisuudessa oli lievä lasku molempien tulvahuippujen aikana. Muutoksessa ei havaittu vastaavaa viipymää kuin DOC-pitoisuuden nousussa, vaan nitraattityppipitoisuus lähti lievään laskuun suunnilleen samana ajankohtana kuin Vantaanjoen pinta kääntyi jyrkkään nousuun. Pohjaveden nitraattityypin taustapitoisuus on alueella korkea (taulukko 6), joten jokiveden, jonka nitraattityppipitoisuus toisen tulvahuipun aikaan oli 2,8 mg/l, sekoittuminen pohjaveteen ei nostanut pitoisuuksia. Sameus oli vedenottokaivossa koko mittausjakson ajan alle 0,6 FTU (kuva 51).

Kuviin 50 ja 51 on merkitty myös laboratoriossa tehtyjen rinnakkaismääritysten tulokset. 24.4.2012 aamulla otetun laboratorionäytteen DOC-pitoisuus 1,3 mg/l erosi merkittävästi S::can-anturin samana ajankohtana mitaamasta arvosta 2,54 mg/l. Analyysituloksen oikeellisuus tarkistettiin analyysilaboratoriosta. Liuenneen orgaanisen hiilen määrä määritettiin laboratoriossa akkreditoidulla menetelmällä SFS-EN 1484:1997 (MetropoliLab, 25.4.2012 testausseleste 2012-6072). Menetelmän epävarmuus > 1,0 mg/l pitoisuuksissa on 15 %, ja < 1,0 mg/l pitoisuuksissa 20 % (Inkeri Kuningas, suullinen tiedonanto 2.5.2012), eli menetelmän epävarmuus-% ei selitä poikkeamaa. S::can-anturin mitaamat muutokset DOC-pitoisuudessa tulkittiin kuitenkin todellisiksi, vaikka pitoisuustasossa on epävarmuutta.



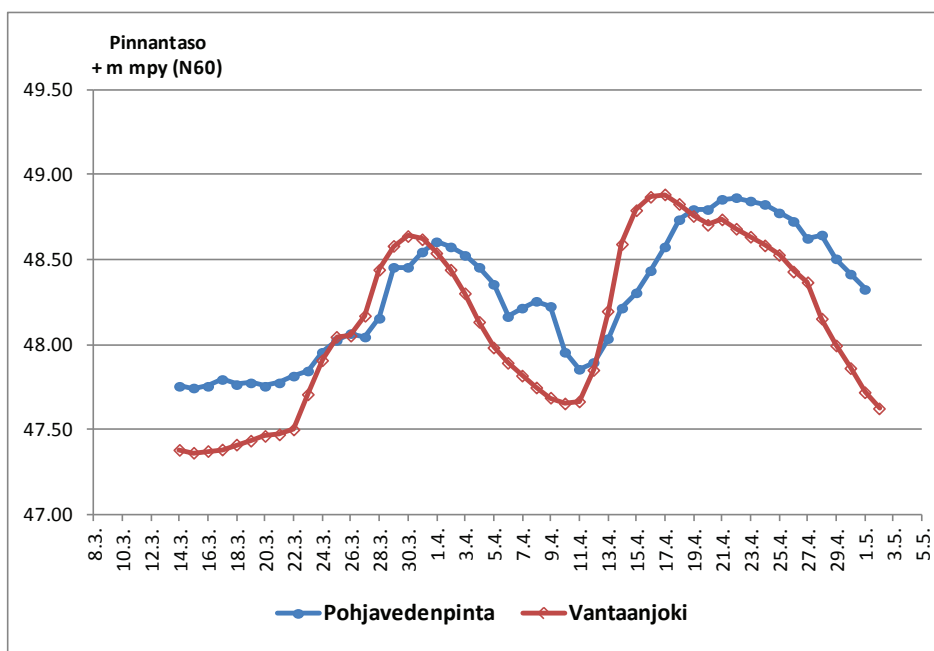
Kuva 51. Sameudet vedenottokaivossa K311 anturimittausjaksolla 2012.

Taulukko 6. DOC- ja NO₃-N-pitoisuudet jokivedessä mittausjaksolla ja pohjaveden taustapitoisuudet Hyvinkäänkylässä.

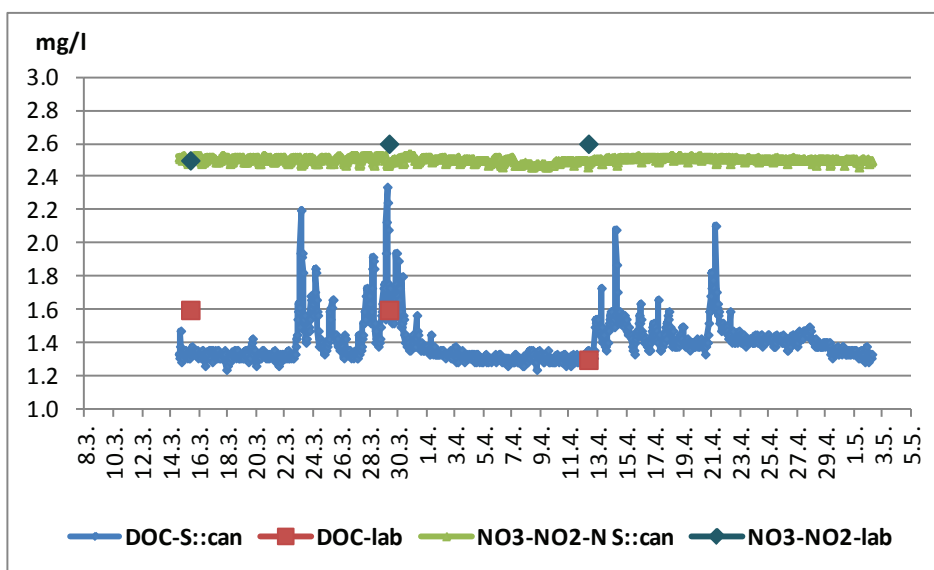
	DOC (mg/l)	NO3-N (mg/l)
Pohjavesi (taustapitoisuus)	1,0 - 1,7	2,5 - 2,7
Vantaa jokivesi 13.3.2012	13	1,3
Vantaa jokivesi 16.4.2012	22	2,8

5.4.2 S::can-anturimittausten tulokset Nukarissa

Nukarin pohjavedenottamolla on käytössä vain yksi vedenottokaivo, johon S::can-anturi asennettiin. Vedenottokaivo (merkitty karttaliitteessä tunnuksella K-Nu) sijaitsee noin 40 m jokiuomasta, Nukarinkosken jälkeisen alasuvannon kohdalla. Vedenottokaivo sijaitsee jyrkästi kohti jokiuomaa viettävässä rinteessä, jokilaakson savipeitteisellä alueella. Pohjaveden pinnankorkeuden mittauspisteinä oli noin 25 m vedenottokaivosta ylärinteeseen sijaitseva havaintoputki (merkitty karttaliitteessä tunnuksella Hp-Nu), johon on asennettu paineanturi. Vedenotto mittausjaksolla oli keskimäärin 1 180 m³/d. Pumppaus ei ole jatkuvaa; pumput ovat pääasiassa pysähdyksissä yöllä, mutta aamusta iltaan pumppausteho on keskimäärin 60–70 m³/h (Nurmijärven Veden tarkkailutiedot).



Kuva 52. Jokiveden ja pohjaveden pinnankorkeudet Nukarissa anturimittausjaksolla 2012. Pohjaveden pinnankorkeuden mittauspisteenä 25 m vedenotto-kaivosta ylärinteeseen sijaitseva havaintoputki (Hp-Nu).



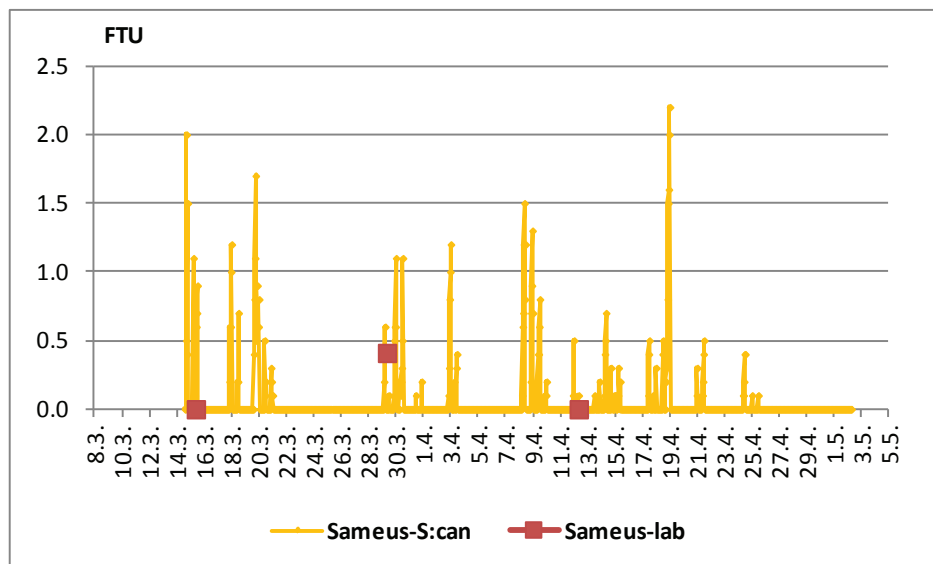
Kuva 53. DOC- ja $\text{NO}_3\text{-NO}_2\text{-N}$ -pitoisuudet Nukarin vedenotto-kaivossa anturimittausjaksolla 2012.

Taulukko 7. DOC- ja NO₃-N-pitoisuudet jokivedessä mittausjaksolla ja pohjaveden taustapitoisuudet Nukarissa.

	DOC (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
Pohjavesi (taustapitoisuus)	1,0 -1,6	2,5
Vantaa jokivesi 13.3.2012	13	1,9
Vantaa jokivesi 16.4.2012	22	2,7

Nukarissa mittausjaksolla havaitun jokiveden pinnan ylimmän ja alimman tason erotus oli 1,5 m. Jokiveden pinta lähti jyrkkään nousuun 22.3.2012. Vedenottokaivon DOC-pitoisuus alkoi nousta jo saman vuorokauden aikana, ja seuraavana päivänä (23.3.2012) mitattiin ensimmäinen DOC-pitoisuuden nousu lähtöpitoisuutta 1,2–1,4 mg/l selvästi korkeammalle tasolle 2,2 mg/l (kuva 53). Lyhytaikaisia DOC-piikkejä havaittiin kahtena jaksona: 22.3.–1.4.2012 sekä 12.–22.4.2012 eli yhteensä lähes kolmen viikon ajan. Edellä mainituilla jaksoilla Vantaanjoen pinta oli kaivoalueen pohjavedenpintaa ylemmällä tasolla, minkä seurauksena pohjaveteen sekoittunutta jokivettä kulkeutui vedenottokaivoon. Suurin havaittu DOC-pitoisuus oli 2,34 mg/l. DOC-pitoisuuden muutokset olivat nopeita; havaitut DOC-pitoisuuden nousut ja laskut lähtötasolle tapahtuivat 4–35 tunnissa. Lyhytaikaiset muutokset veden laadussa selittyvät pumppauksen jaksottaisuudella.

Kuten Hyvinkäänkylässä, ei myöskään Nukarin vedenottokaivon nitraattityypipitoisuudessa tapahtunut mittausjaksolla merkittäviä muutoksia. Sameus Nukarin vedenottokaivossa vaihteli, suurin mitattu arvo oli 2,2 FTU (kuva 54).



Kuva 54. Sameudet Nukarin vedenottokaivossa anturimittausjaksolla 2012.

5.4.3 Yhteenveto S::can-anturimittauksista

Anturimittauksilla saatiin jäljitettyä tulvariskialueilla sijaitsevista vedenottokaivoista ylivirtaamakautena esiintyviä lyhytaikaisia, muutamasta tunnista pariin päivään kestäneitä veden laadun muutoksia. Jokiveden vaikutus näkyi selvimmin vedenottokaivojen veden DOC-pitoisuudessa. DOC-pitoisuudet palautuivat vedenottokaivoissa nopeasti lähtötasolle jokiveden pinnan palaututtua alle pohjavedenpinnan tason. Mitatut DOC-pitoisuudet eivät olleet siinä määrin korkeita, että ne olisivat havaittuina lyhyinä tulvajaksina aiheuttaneet veden käytön rajoituksia talousvetenä (Vantaanjoen varrella sijaitsevista kohteista korkein mitattu DOC-pitoisuus oli 2,54 mg/l). Havaitut DOC-pitoisuuden vaihtelut kuitenkin osoittivat, että pohjaveden sekoittunutta jokivettä kulkeutui vedenottokaivoon. Jos jokivedessä esiintyy tulvakausiin taudinaiheuttajamikrobeja tai korkeita pitoisuuksia hitaasti hajoavia haitta-aineita, ne voivat aiheuttaa riskin veden laadulle vedenottoilla. Koska tulvatilanteissa kaivovedessä tapahtuvat veden laadun muutokset ovat nopeita, ei kaivoveden terveydelle haitallisia muutoksia pystytä välttämättä havaitsemaan yksittäisillä tarkkailunäytteillä.

5.5 Virtaamamittausten tulokset

Vuoden 2012 virtaamamittaukset tehtiin suurimman virtaaman aikaan huhtikuussa sekä pienimmän virtaaman aikaan heinäkuussa. Virtaamamittauksia tehtiin Vantaanjoella Hyvinkään kylässä, Herajoella, Palojoella Jäniksenlinnassa ja Tuusulanjoella Hyrylän pohjavesialueella Koskenmäen pohjavedenottamon läheisyydessä. Jokaiselle kohteelle valittiin useampi linja, jotka sijoitettiin niin, että ensimmäinen linja oli aikaisemmissa tutkimuksissa havaitun pohjaveden purkautumiskohdan yläpuolella, ja muut linjat tästä alavirtaan. Linjojen sijoittamisessa tavoitteena oli selvittää havaitulla pohjaveden purkautumiskohdalla tapahtuvan pohjaveden purkautumisen vaikutus jokiuoman kokonaisvirtaamaan. Ylimmän ja alimman mittalinjan väliin sijoitetuilla linjoilla pyrittiin havaitsemaan tarkemmin kokonaisvirtaaman asteittaista muutosta purkautumisalueen sisällä sekä havaitsemaan mahdolliset kohdat, jossa pohjavettä ei purkaudu, vaan jokivettä imeytyy pohjavesimuodostumaan (Brander 2013).

Linjojen sijoittamisessa otettiin huomioon aikaisemmat tutkimustulokset pohjaveden purkautumisesta sekä käytettyjen menetelmien vaatimukset hyvälle linjalle. Linjat sijoitettiin kohteisiin joissa ei esiinny joen virtaamaan merkittävästi vaikuttavia pintavesilähteitä tutkittavien linjojen välissä. Linjojen lopullisessa sijoittamisessa otettiin huomioon käytettyjen mittauslaitteistojen vaatimukset, jotka molempien laitteistojen tapauksessa tarkoittivat pääasiassa jokiuoman suoruutta ja selkeää profiilia sekä joen virtausta häiritsevien esteiden vähyyttä. Jokaisella neljällä kohteella mittaukset tehtiin hyvin erilaisissa olosuhteissa, ja linjojen ominaisuudet erosivat toisistaan myös eri tutkimuskohteiden sisällä. Tämä mahdollisti käytettyjen menetelmien käyttökelpoisuuden ja luotettavuuden arvioinnin erilaisissa jokiuomissa ja olosuhteissa (Brander 2013).

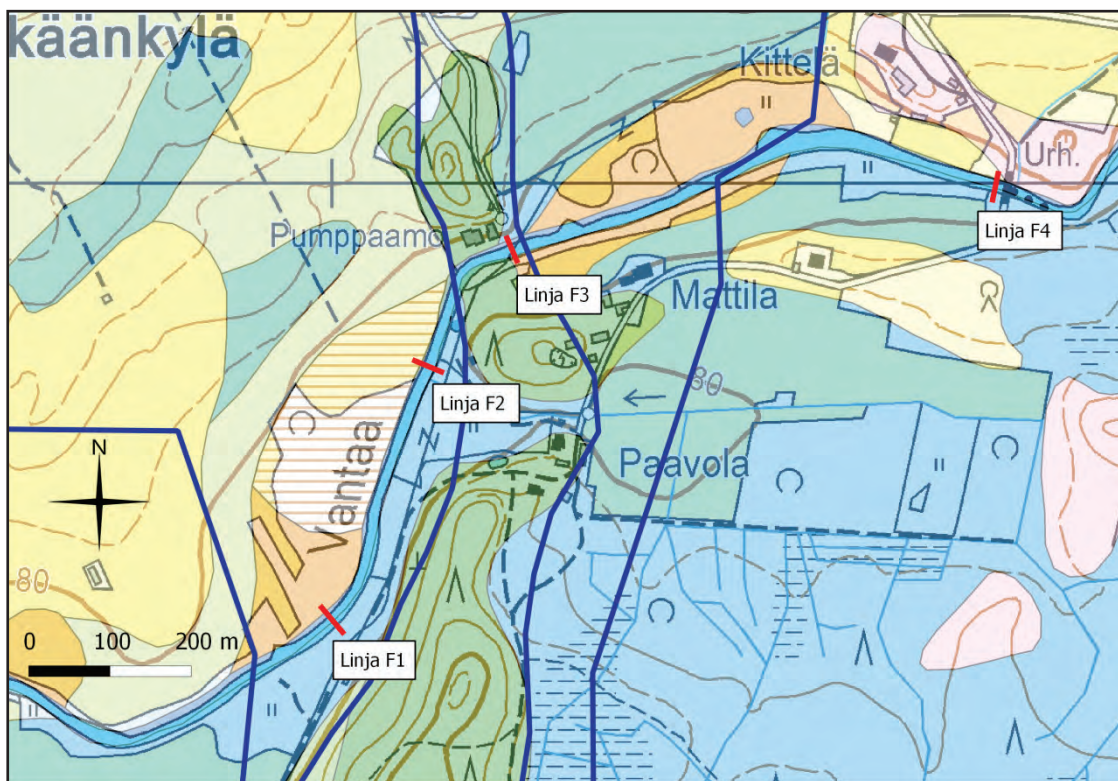
Jokiuoman kokonaisvirtaama muuttuu merkittävästi jokiveden pinnankorkeuden vaihteluiden mukana, joten tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi mittaukset eri linjoilla oli tehtävä mahdollisimman lyhyen ajan sisällä. Käytännössä tämä tarkoitti mittauksen suorittamista saman päivän sisällä, koska jokiveden pinnankorkeus saattaa muuttua merkittävästi päivän aikana varsinkin kevään ylivirtaamakautena. Jokiveden pinnankorkeutta tarkkailtiin jokaisessa

kohteessa useaan kertaan mittauspäivän aikana. Pinnankorkeuden tarkkailu tapahtui kolmessa kohteessa omatoimisesti seuraamalla pinnankorkeuden muutosta saman kiinteän pisteen, kuten sillan tai siltarummun reunan suhteen. Yhdessä kohteessa jokiveden pinnankorkeustiedot mittauspäivän aikana saatiin vedenottamon henkilökunnalta. Pinnankorkeuden tarkkailu suoritettiin manuaalisesti mittanauhan avulla, joten tarkkuuden voidaan arvioida olleen noin ± 1 cm (Brander 2013).

Virtaamamittausten tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti Mikko Branderin pro gradu -tutkielmassa Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitokselle (Brander 2013).

5.5.1 Vantaanjoen virtaamamittausten tulokset

Hyvinkäänkylässä tehtiin mittauksia kaikkiaan neljällä linjalla (kuva 55). Linjoista kaksi sijaitsi ennen Hyvinkäänkylän vedenottamoa, yksi vedenottamon edustalla ja yksi vedenottamon jälkeen. Mittauksia tehtiin keväällä 17.4.2012 linjoilla F3 sekä F4 ja kesällä 24.7.2012 kaikilla neljällä linjalla. Ylävirran linjoja F1 ja F2 ei voitu mitata keväällä Vantaanjoen tulvimisen takia (Brander 2013).

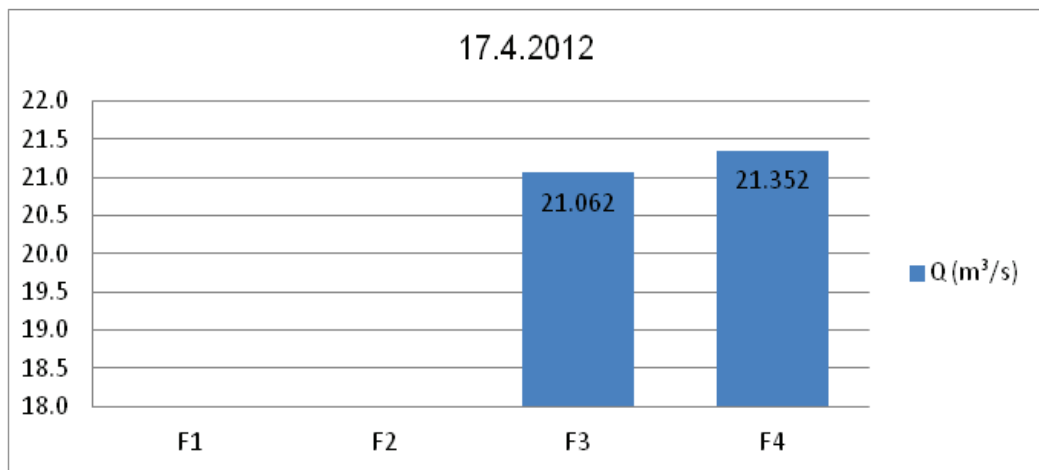


Kuva 55. Hyvinkäänkylän virtaamamittauslinjojen F1, F2, F3 ja F4 sijainti (Brander 2013). Karttaan on merkitty lisäksi ulommalla viivalla Hyvinkään (0110651) I-luokan pohjavesialueen osittainen raja-
rajaus sekä sisemmällä sinisellä viivalla pohjavesialueen muodostumisalueen osittainen raja-
aus. Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskes-
kus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010.

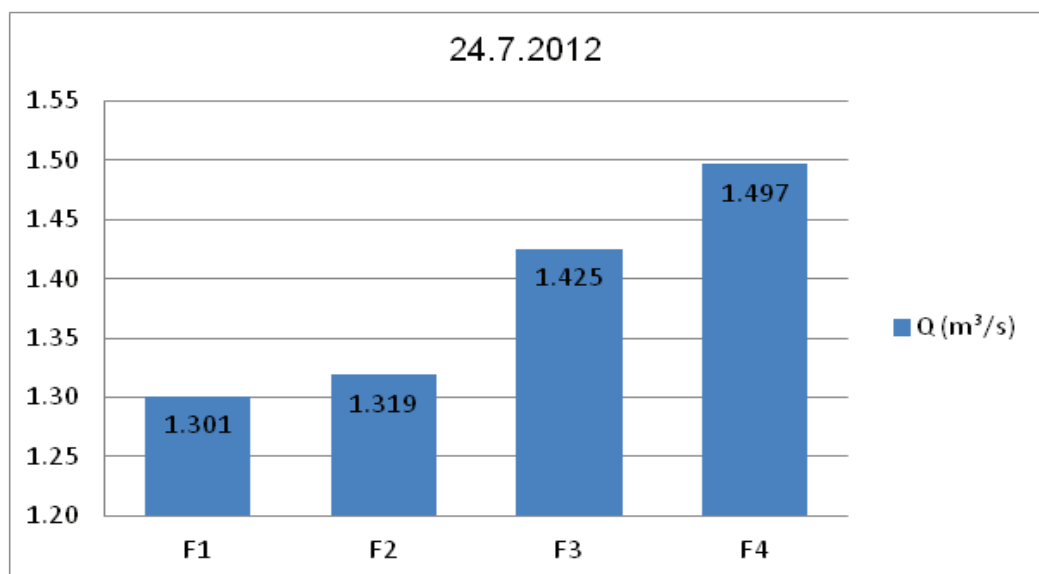
Hyvinkäänkylässä suoritettiin mittauksia jokiuoman koon takia ainoastaan RiverSurveyor® -laitteistolla. RiverSurveyor® -laitteistolla jokiuoman virtaaman mittaus on huomattavasti no-

peampaa kuin FlowTracker®-laitteistolla, joten jokainen linja mitattiin yhteensä neljä kertaa. Lopullisena virtaamatuloksena käytetään näiden neljän mittauskerran keskiarvoa (Brander 2013).

Ylivirtaamakautena (17.4.2012) tehdyissä mittauksissa joen virtaama kasvoi linjojen F3 ja F4 välillä 1,4 % eli 0,290 m³/s (kuva 56). Neljän mittauskerran tulosten keskihajonta oli linjalla F3 2,88 % eli 0,607 m³/s, ja linjalla F4 2,85 % eli 0,608 m³/s. Virtaaman kasvu oli siis noin puolet mittauskertojen tulosten keskihajonnasta, joten tulosten perusteella virtaaman ei voi todeta kasvavan tällä matkalla. Pohjavesialueella suoritettujen rakennetutkimusten (Breilin ym. 2004) perusteella pohjaveden virtaussuunta on kohti jokilaaksoa ja Hyvinkäänkylän vedenottamoa, joten pohjaveden purkautumista voi kuitenkin tapahtua myös keväällä. Käytetyn tutkimusmenetelmän tarkkuus ei kuitenkaan riittänyt mahdollisen virtaaman kasvun havaitsemiseen. Joen pinnankorkeudessa ei todettu merkittävää vaihtelua mittauspäivän aikana (Brander 2013).



Kuva 56. Hyvinkäänkylän mittaustulokset 17.4.2012 RiverSurveyor®-laitteistolla (Brander 2013).



Kuva 57. Hyvinkäänkylän mittaustulokset 24.7.2012 RiverSurveyor®-laitteistolla (Brander 2013).

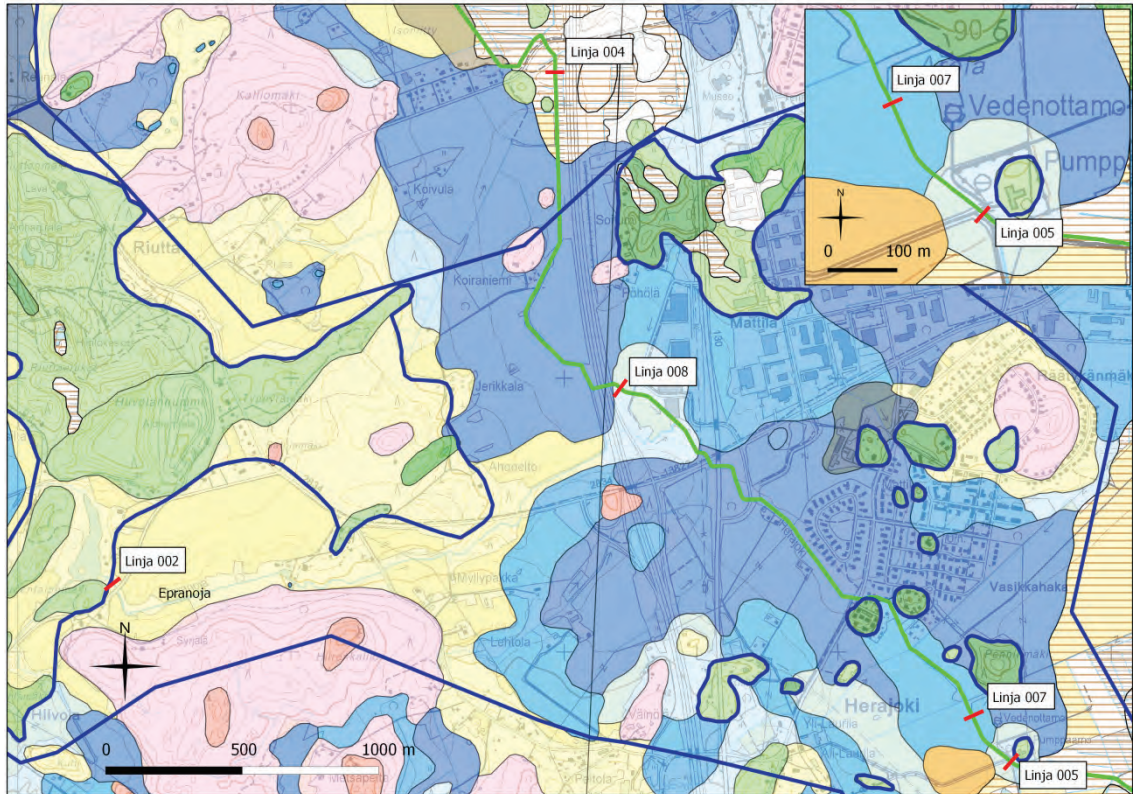
Alivirtaamakautena (24.7.2012) mittauksia suoritettiin kaikilla neljällä linjalla (kuva 57). Linjoilla F3 ja F4 suoritettiin neljä peräkkäistä mittausta ja linjoilla F1 ja F2 kolme mittausta. Kaikkien linjojen lopullisina tuloksina käytetään näiden mittauskertojen keskiarvoja. Heinäkuussa Vantaanjoen pinnankorkeus oli noin 1,5 metriä alemmalla tasolla kuin huhtikuun ylivirtaaman aikaan, joten joki oli normaalissa uomassaan. Joen pinnankorkeudessa ei todettu merkittävää vaihtelua mittauspäivän aikana. Linjojen F1 ja F2 välillä virtaama kasvoi ainoastaan 1,4 % eli 0,018 m³/s, mutta linjojen F2 ja F3 välillä 8,0 % eli 0,106 m³/s. Linjojen F3 ja F4 välillä virtaamaa kasvoi 5,1 % eli 0,072 m³/s. Tulosten keskihajonnat linjoilla F1 ja F2 olivat 3,69 % eli 0,048 m³/s ja 3,71 % eli 0,049 m³/s sekä linjoilla F3 4,63 % eli 0,066 m³/s ja F4 2,27 % eli 0,034 m³/s. Keskihajontojen perusteella ylävirran linjojen F1 ja F2 välillä tapahtuvaa virtaaman kasvua ei voi pitää merkitseväenä. Linjojen F2 ja F3 välillä virtaama kasvaa 8,0 %, joka on noin kaksi kertaa linjojen F2 ja F3 keskimääräisen keskihajonnan, joten tällä välillä joen virtaaman kasvua voi pitää todellisena. Linjojen F3 ja F4 välillä virtaama kasvaa 5,1 %, joka on hieman enemmän kuin näiden linjojen keskihajonnan keskiarvo. Tulos ei ole yhtä selvä kuin linjojen F2 ja F3 välillä, mutta mitattu virtaaman kasvu on kuitenkin noin puolitoista prosenttiyksikköä suurempi kuin linjojen keskimääräinen keskihajonta, joten virtaaman kasvua voidaan tälläkin linjalla pitää todellisena.

Linjat F1 ja F2 sijaitsevat harjumuodostuman ydinosaan ja pohjavesialueen varsinaisen muodostumisalueen ulkopuolella, joka saattaa selittää virtaaman pienen kasvun suhteessa myöhempiin linjoihin (Brander 2013). Vaikka harjun länsireunalla jokiuoman läheisyydessä on havaittu useita lähteitä, kesän 2010 anturimittausten tulokset antoivat viitteitä siitä, että pohjavettä purkautuu lähteistä jokiuomaan pulssimaisina purkaumina pohjaveden ja jokiveden pinnankorkeuksien vaihteluiden seurauksena (Kivimäki ym. 2011). Pohjaveden purkautuminen jokiuomaan ei näin ollen ole jatkuvaa, kuten harjumuodostuman ydinosaan linjan F3 kohdalla. Suurin virtaaman kasvu todettiin linjojen F2 ja F3 välillä, joka oli odotettavissa koska tälle välille sijoittuu harjumuodostuman ydinosa. Linja F3 sijaitsee aivan pohjavesialueen muodostumisalueen reunalla. Pohjavesialueen pohjaveden virtaussuunta on kohti jokilaaksoa ja vedenottamo, joten pohjavesialueen ja joen leikkauskohtaa voi pitää alueena, jossa tapahtuu suurin osa pohjaveden purkautumisesta jokeen. Virtaaman kasvu linjojen F3 ja F4 välillä on mahdollisesti seurausta lähinnä linjan F3 kohdalla tapahtuvasta pohjaveden purkautumisesta jokeen. Lisäksi linjojen F3 ja F4 välillä jokiuomaan laskee uoman pohjoisreunalta oja, jonka vesi on osittain pohjavettä (Nygård 2011), mutta siihen sekoittuu myös peltoalueen pintavaluntavesiä. Kaikkiaan Vantaanjoen kokonaisvirtaama kasvoi linjojen F1 ja F4 välillä 15,1 % eli 0,196 m³/s (Brander 2013).

5.5.2 Herajoen virtaamamittausten tulokset

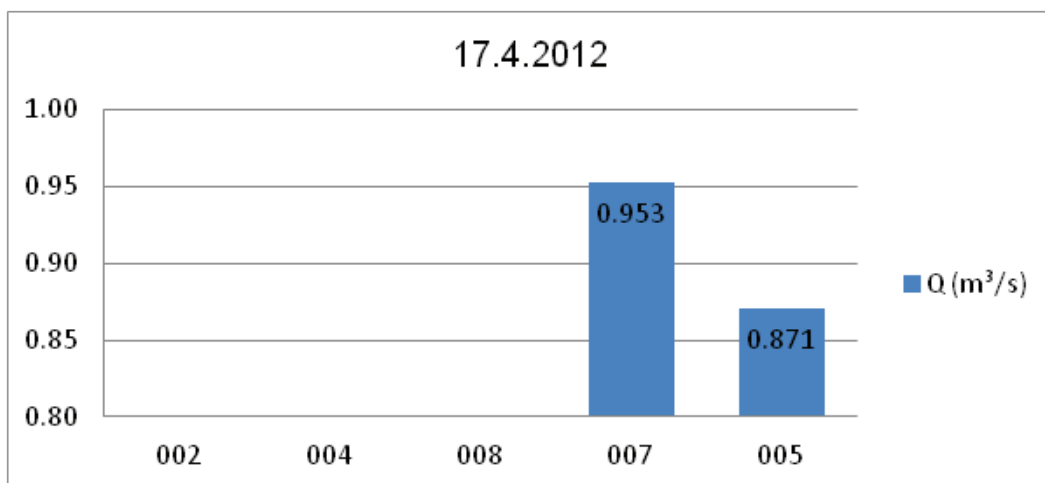
Herajoella tehtiin mittauksia kaikkiaan viidellä linjalla (kuva 58). Mittauksia tehtiin keväällä 17.4.2012 ja kesällä 24.7.2012. Keväällä mittauksia tehtiin kahdella linjalla ja kesällä kaikilla viidellä linjalla. Herajoen pinnankorkeudessa ei havaittu merkittävää muutosta mittauspäivien aikana. Mittauspäivien aikana alueelle ei myöskään osunut vesisateita. Herajoki oli ainoa tutkimuskohde, jolla tehtiin mittauksia molemmilla laitteistoilla. FlowTracker®-laitteistolla tehtiin mittauksia jokaisella viidellä linjalla ja RiverSurveyor®-laitteistolla kahdella, lähinnä vedenottamo sijaitsevalla, linjalla. Herajoki oli myös ainoa tutkimuskohde, jossa linjat sijaitsevat selvästi

erillään toisistaan. Kohteen linjat voidaan jakaa ylivirran kohteisiin ja alavirran kohteisiin. Ylivirran kohteita ovat linjat 002, 004 ja 008. Näistä linja 002 sijaitsee Epranojassa, joka yhdistyy Herajokeen hieman ennen mittalinjaa 008. Alavirran mittalinjat 005 ja 007 sijaitsevat lähellä Herajoen vedenottamoa.

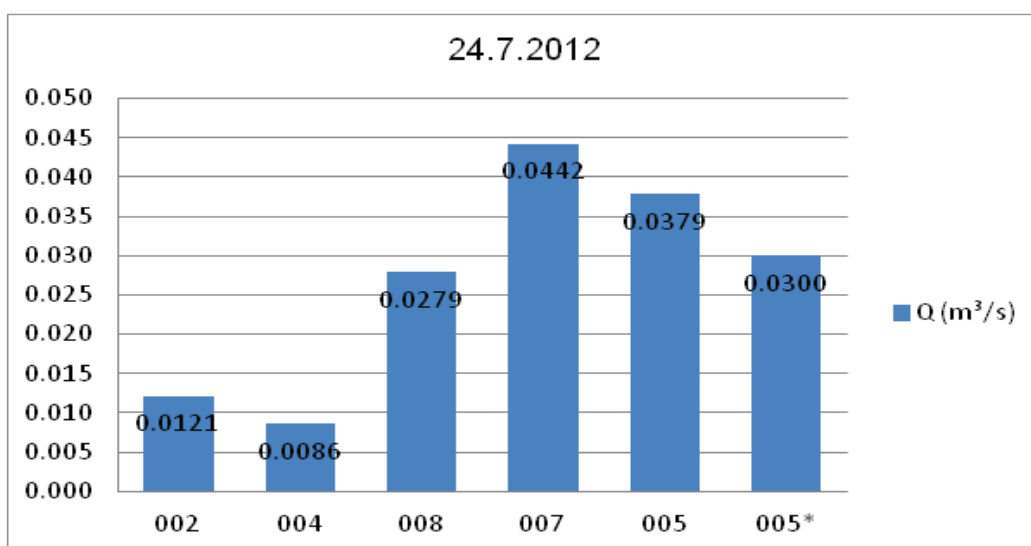


Kuva 58. Herajoen virtaamamittauslinjojen 002, 004, 005, 007 ja 008 sijainti (Brander 2013). Karttaan on merkitty lisäksi Herajoen (0469451) I-luokan pohjavesialueen raja us ulommalla sinisellä viivalla ja varsinaisen muodostumisalueen raja us sisemmällä sinisellä viivalla. Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010.

Ylivirtaamakauden (17.4.2012) mittauksissa Herajoen virtaama väheni linjojen 007 ja 005 välillä 9,4 % (kuva 59). Virtaaman vähenemistä osattiin odottaa aikaisempien tutkimustulosten perusteella, joissa on havaittu vedenottamon kaivojen vedenlaadun heikkenemistä ylivirtaamakaudella (Kivimäki ym. 2012). Laadun huononeminen viittaa Herajoen veden imeytymiseen pohjavesimuodostumaan, ja nyt mitattu virtaaman väheneminen vahvistaa tätä käsitystä. Jokiveden imeytymiselle on hyvät edellytykset, koska alueella sijaitsevien pohjavesiputkien pintatietojen mukaan pohjavesi on useita metrejä Herajoen jokilaaksoa alemmalla tasolla. Vaikka Herajoen pohjavesimuodostumaa peittääkin jokilaakson alueella yleisesti savinen kerros, on alueella suoritetuissa rakennetutkimuksissa (Ahonen ja Valjus 2009) todettu saven alapuolisen karkeamman materiaalin nousevan paikoin kumpareina savikerroksen yläpuolelle. Onkin mahdollista, että joki on linjojen välillä jossakin kohdassa tällaisen karkeamman kerroksen kautta hydraulisessa yhteydessä pohjavesimuodostumaan. Heinäkuussa suoritetuissa mittauksissa todettiin linjan 007 pohjan koostuvan hiekasta (Brander 2013).



Kuva 59. Herajoen 17.4.2012 mittaustulokset Rive rSurveyor® -laitteistolla (Brander 2013).



Kuva 60. Herajoen 24.7.2012 mittaustulokset FlowTracker®-, ja RiverSurveyor®-laitteistolla. * = RiverSurveyor-laitteistolla mitattu tulos. (Brander 2013).

Alivirtaamakauden mittauksissa 24.7.2012 linjojen 007 ja 005 välillä joen virtaama väheni 14,4 % (kuva 60). Tällä välillä joen virtaama väheni siis sekä kevään ylivirtaamakautena että kesän alivirtaamakautena. Linjan 007 pohjan todettiin olevan hiekkaa, joten joen ja pohjavesimuodostuman välinen hydraulinen yhteys ei ole riippuvainen ainoastaan jokiveden pinnankorkeudesta, vaan yhteys on ainakin tällä kohtaa myös joen pohjan läpi. Tulos sopii yhteen vedenottamon kaivojen K4 ja K5 kohonneiden DOC-pitoisuuksien kanssa, jotka olivat vuoden 2011 kaikilla näytteenotto-kerroilla alueen taustapitoisuuksia korkeammalla tasolla (Kivimäki ym. 2012). Pohjavesimuodostumaan imeytyvän jokiveden kokonaismäärä saattaa kuitenkin olla suurempi ylivirtaamakaudella, johon viittaisi kaivojen typpipitoisuuksien selvä nousu hieman joen vedenpinnan nousun jälkeen (Kivimäki ym. 2012). Jokiveden imeytymisen seurauksena virtaama kuitenkin pienenee kesällä prosentuaalisesti enemmän kuin keväällä, koska joen kokonaisvirtaama on kesällä pienempi (Brander 2013).

Ylävirran linjojen mittaustuloksia ei voi suoraan verrata vedenottamon lähistön linjojen tuloksiin, koska linjat sijaitsevat niin kaukana toisistaan. Lisäksi Epranojaan ja Herajokeen laskee näiden kahden mittausalueen välillä useita ojia, jotka kasvattavat virtaamaa. Epranojan ja Herajoen pohjoisen haaran latvaosilla tehtyjen kenttämittausten ja lähdehavaintojen perusteella latvaosilla pääosa uomissa virtaavasta vedestä on alivirtaamakautena pohjavettä. Ahosen ja Valjuksen (2009) mukaan Riutanharjun merkittävän pohjavesivaraston pohjavesiä purkautuu myös alueella, jossa Epranoja liittyy Herajoen pohjoiseen haaraan. 24.7.2012 mittaustulosten mukaan latvaosilla sijaitsevien linjojen eli linjojen 002 ja 004 yhteenlaskettu virtaama oli 0,021 m³/s (Brander 2013). Kun verrataan Herajoen latvaosien virtaamia alajuoksun linjan 007 virtaamaan (0,044 m³/s), voidaan arvioida, että alivirtaamakautena Herajoen uomassa virtaavasta vedestä vähintään 50–60 % oli peräisin latvaosien pohjavesipurkaumista.

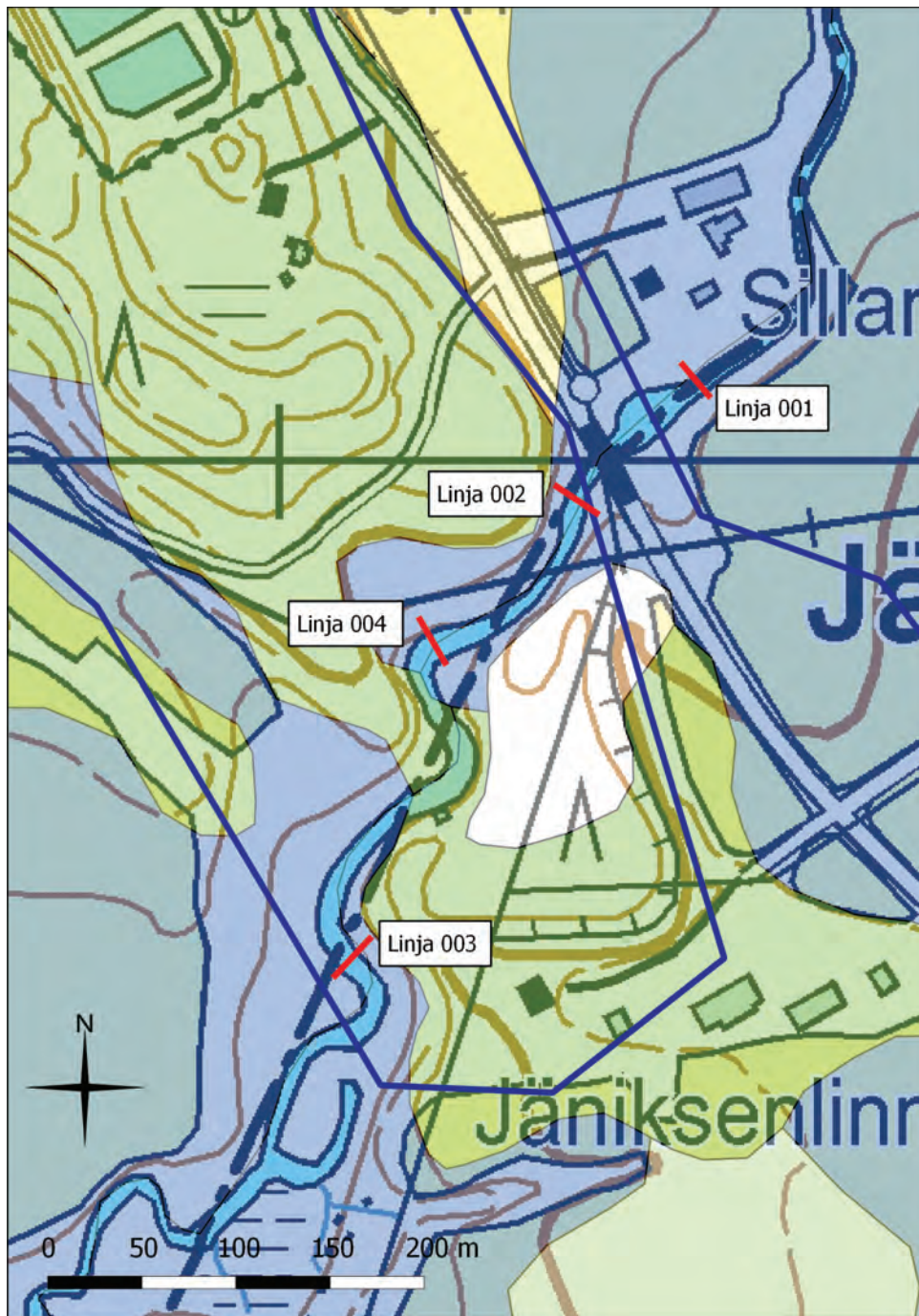
5.5.3 Palojoen virtaamamittausten tulokset

Palojoella Jäniksenlinnassa tehtiin mittauksia FlowTracker®-laitteistolla kaikkiaan neljällä linjalla (kuva 61). Linjojen numerot olivat ylävirrasta alavirtaan mentäessä 001, 002, 003 ja 004. Tutkimuksia tehtiin keväällä kahtena eri päivänä 13.4. ja 19.4.2012. Näiden kahden päivän aikana tehtiin mittauksia ainoastaan linjoilla 002 ja 003. Kesällä virtaamamittauksia tehtiin kaikilla neljällä linjalla yhden päivän aikana 17.7. Heinäkuussa suoritettiin lisäksi toistomittaus linjalla 003. Mittauspäivien aikana jokiveden pinnankorkeutta seurattiin linjojen 001 ja 002 välissä sijaitsevalta sillalta (pinnankorkeus mitattiin mittanauhan avulla suhteessa sillan reunaan). Jokiveden pinnankorkeudessa esiintyi huomattavaa vaihtelua mittauspäivien aikana, joten pinnankorkeutta seurattiin mittauspäivien aikana tiheämmin kuin muissa tutkimuskohteissa. Heinäkuun mittauksien aikana pinnankorkeus muuttui ensimmäisen ja viimeisen korkeusmittauksen välisenä aikana noin 6 cm, jolla on selvä vaikutus joen kokonaisvirtaamaan. Suurin osa jokiveden pinnankorkeuden kasvusta tapahtui kuitenkin mittauksien loppupuolella, joten sen vaikutus näkyy lähinnä viimeisen mittauksen tuloksissa. Joen pinnankorkeuteen vaikuttaa jossain määrin viereisessä tekopohjavesilaitoksessa imeytettävän veden määrä. Mittauspäivänä tutkimusalueelle osui vajaan tunnin pituinen sadekuuro noin kaksi tuntia ennen viimeisen linjan mittausta, joka saattoi aiheuttaa suurimman osan päivän aikana havaitusta jokiveden pinnankorkeuden muutoksesta (Brander 2013).

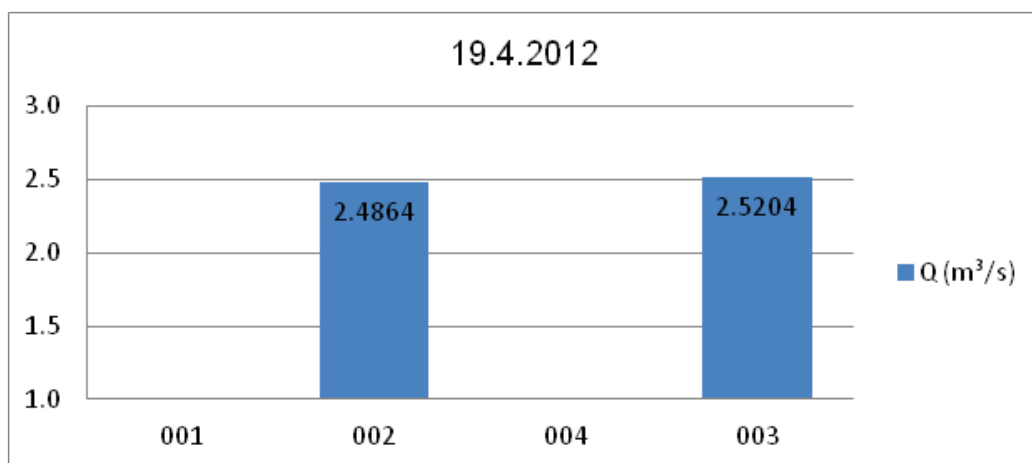
Ylivirtaamakauden (19.4.2012) mittausten tulosten mukaan joen virtaama nousi linjojen 002 ja 003 välillä 1,4 % (kuva 62). Näin pientä virtaaman kasvua ei kuitenkaan voida pitää merkittävänä, koska tulos on FlowTracker-laitteiston molempien linjojen mittauksille laskeman noin 5 % epävarmuuden sisällä.

Alivirtaamakauden (17.7.2012) mittausten tulosten mukaan oli näkyvissä virtaamassa selvä kasvutrendi siirryttäessä linjalta 002 alavirtaan päin (kuva 63). Virtaama kasvoi linjojen 002 ja 004 välillä 13,2 % ja linjojen 004 ja 003 välillä 14,2 %. Kaikkiaan joen virtaama kasvoi linjojen 002 ja 003 välillä 31,5 %. Hiekkapohjaiset linjat 002, 004 ja 003 sijaitsevat Jäniksenlinnan pohjavesialueen muodostavan harjujakson sisällä, joten tällä alueella joella ja pohjavesimuodostumalla on hyvä hydraulinen yhteys. Pohjavesialueella suoritettujen rakennetutkimusten (Ahonen ym. 2011) perusteella myös tiedetään, että pohjaveden päävirtaussuunta alueella on kohti Palojoen laaksoa. Lisäksi joen luoteispuolella sijaitsee Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksen imeytysaltaat, joissa imeytettyä vettä purkautuu Palojokeen. Näiden tekijöiden

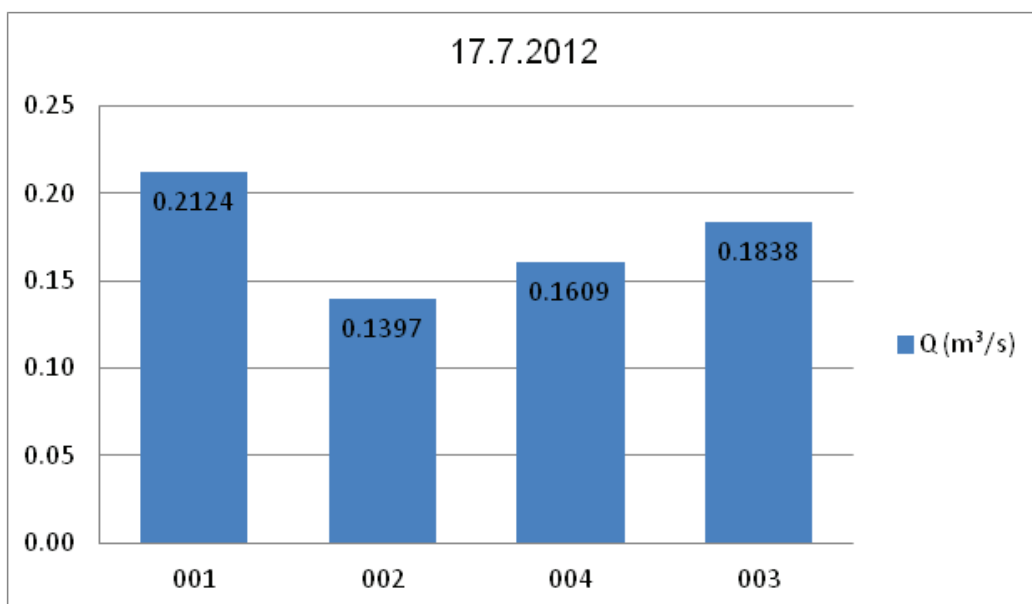
ja suoritettujen virtaamamittausten tulosten valossa näyttää siltä, että Jäniksenlinnan pohjavesimuodostumasta purkautuva pohjavesi lisää tutkimusalueella merkittävästi Palojoen virtaamaa (Brander 2013).



Kuva 61. Jäniksenlinnan virtaamamittauslinjojen 001, 002, 003 ja 004 sijainti (Brander 2013). Karttaan on lisäksi merkitty sinisellä Jäniksenlinnan (0185851) I-luokan pohjavesialueen osittainen raja us ulommalla ja pohjavesialueen muodostumisalueen raja us sisemmällä sinisellä viivalla. Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010.



Kuva 62. Jäniksenlinnan 19.4.2012 mittaustulokset FlowTracker®-laitteistolla (Brander 2013).



Kuva 63. Jäniksenlinnan 17.7.2012 mittaustulokset FlowTracker®-laitteistolla (Brander 2013).

Viimeisenä 17.7.2012 suoritettu mittaus linjalla 001 aloitettiin noin 7 tuntia ensimmäisen linjan aloittamisen jälkeen. Tänä aikana Palojoen pinnankorkeus nousi noin 5 cm, joka vaikutti viimeisen linjan tuloksiin. Palojoen virtaama pieneni mittaustulosten mukaan 34 % linjojen 001 ja 002 välillä. Linjojen välimatka on alle 100 metriä, joten näin merkittävä virtaaman muutos näin lyhyellä matkalla on hyvin epätavallista. Lisäksi näillä linjoilla vuonna 2011 suoritettujen virtaamamittausten mukaan (Kivimäki ym. 2012) joen virtaama kasvaa siirryttäessä linjalta 001 linjalle 002. Aikaisempien tulosten sekä vuoden 2012 mittauspäivän aikana havaitun Palojoen pinnankorkeuden huomattavan nousun perusteella vuonna 2012 näiden linjojen välillä havaittu virtaaman pieneneminen on todennäköisesti seurausta joen kokonaisvirtaaman selvästä kasvusta jokiveden pinnankorkeuden nousun seurauksena. Mittauspäivänä Jäniksenlinnan tutkimusalueelle osui vajaan tunnin pituinen sadekuuro noin kaksi tuntia ennen viimeisen linjan (linja 001) mittausta (Brander 2013). Kesä-heinäkuussa 2012 sademäärät olivat yleisesti suurempi kuin vuosina 2000–2011 vastaavina kuukausina (Ilmatieteen laitoksen säähavainto-

asemien sademäärätiedot). Kesän runsaiden sateiden seurauksena maankerrosten huokostila oli suurelta osin veden kyllästämä, minkä vuoksi mittauspäivän sadekuuron sadanta kulkeutui pääasiassa pintavaluntana jokiuomaan, mikä selittää nopean jokiveden pinnannousun mittauspäivän lopussa.

5.5.4 Tuusulanjoen virtaamamittausten tulokset

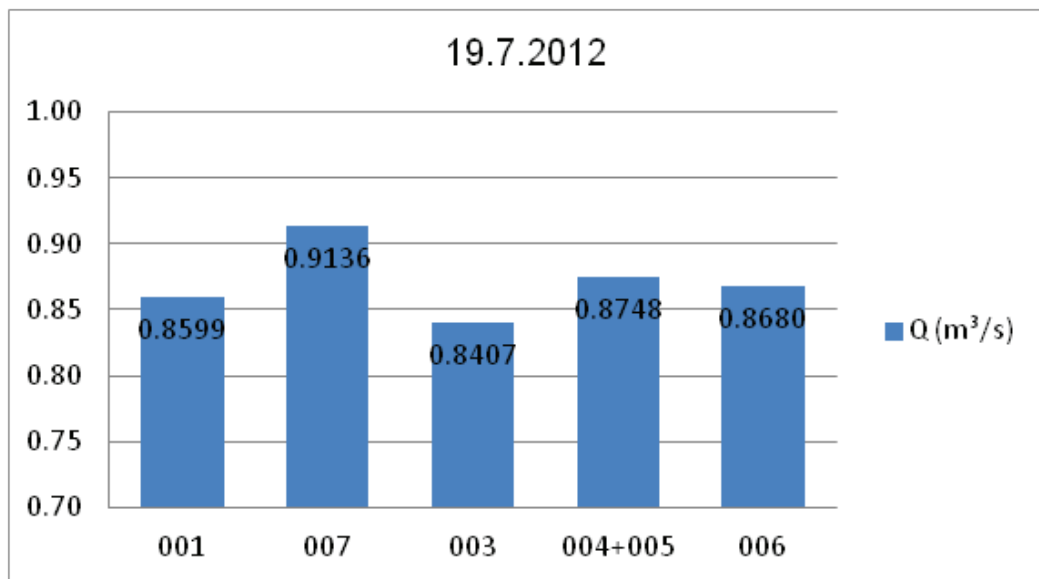
Hyrylässä tehtiin FlowTracker®-laitteistolla mittauksia kaikkiaan kuudella linjalla (kuva 64). Keväällä mittauksia pystyttiin tekemään vain yhdellä linjalla (linja 006). Muita linjoja ei pystytty mittaamaan jokiuoman syvyyden tai virtaaman voimakkuuden takia. Kesällä mitattiin kaikki kuusi linjaa. Linjat mitattiin heinäkuun mittauspäivän aikana järjestyksessä ylimmältä mittalinjalta kohti alavirtaa. Jokiveden pinnankorkeuksia seurattiin hieman linjan 001 yläpuolella sijaitsevan Tuusulanjärven säännöstelypadon mitta-asteikolta. Pinnankorkeudessa ei havaittu vaihtelua mittauspäivän aikana. Mittauspäivän aikana alueelle ei myöskään osunut sadekuuroja.



Kuva 64. Hyrylän virtaamamittauslinjojen 001, 003, 004, 005, 006 ja 007 sijainti (Brander 2013). Karttaan on merkitty lisäksi Hyrylän (0185801 A) I-luokan pohjavesialueen osittainen raja- ulommalla ja pohjavesialueen muodostumisalueen raja sisemmällä sinisellä viivalla. Peruskartta © Maanmittauslaitos 2010, Maaperäkerrostumat © Geologian tutkimuskeskus 2008, Pohjavesialueet © SYKE 2010.

Mitattu virtaama 19.4.2012 mittauslinjalla 006 oli 5,2 m³/s. Muiden linjojen mittaaminen ei onnistunut joen liian voimakkaan virtauksen tai veden suuren syvyyden vuoksi. Kesän alivirtaamakautena 19.7.2012 tehdyissä mittauksissa todettiin Tuusulanjoen virtaamassa kasvun lisäksi myös väliaikaista pienenemistä (kuva 65). Suurin virtaama todettiin toiseksi ylimmällä linjalla 007, jonka jälkeen virtaama pieneni siirryttäessä linjalle 003. Linjojen 001 ja 007 välillä

virtaama kasvoi 6,2 %. Linja 007 sijaitsee Hyrylän pohjavesialueen muodostavan harjujakson ytimen alueella kohdassa, jossa esiintyy myös harjujakson karkein maa-aines. Linjan vieressä sijaitsee myös Koskenmäen pohjavedenottamo. Tuusulanjoella ja pohjavesimuodostumalla on tällä kohtaa hyvä hydraulinen yhteys näiden harjujakson karkeimpien aineksien ansiosta. Pohjavesialueella tehtyjen rakennetutkimusten (Breilin ym. 2005) mukaan pohjaveden päävirtaussuunta on kohti Tuusulanjoen laaksoa ja Koskenmäen vedenottamoa. Näiden havaintojen ja virtaamamittausten tulosten perusteella onkin todennäköistä, että pohjaveden purkautuminen tällä kohtaa lisää Tuusulanjoen kokonaisvirtaamaa. Virtaamamittausten tulosten mukaan joen virtaama kuitenkin pieneni 8,0 % linjojen 007 ja 003 välillä. Tämän perusteella näyttäisi siis siltä, että pohjaveden purkautuminen jokeen voi vaihtua hyvinkin lyhyellä matkalla jokiveden imeytymiseksi pohjavesimuodostumaan. Vesilaitoksen jokiveden ja pohjaveden pinnan korkeuksien tarkkailutulosten mukaan jokiveden pinta oli huhtikuussa 2012 korkeammalla tasolla kuin alueen pohjaveden pinta. Heinäkuussa jokiveden pinta oli alemmalla tasolla kuin pohjaveden pinta, mutta jokiveden pinta nousi taas syksyn sateiden seurauksena pohjaveden pintaa ylemmälle tasolle. Linjan 003 alueella maakerrokset koostuvat karkeasta aineksesta, joten hydraulinen yhteys pohjavesimuodostuman ja joen välillä on hyvä. Pohjaveden purkautumisen vaihtumiseen jokiveden imeytymiseksi voivat mahdollisesti vaikuttaa maaperän paikalliset raekoon muutokset (maalajin vaihtuminen hiekasta-sorasta saveksi), jolloin maaperän hydraulinen johtavuus paikallisesti muuttuu tai paikalliset sekä pienialaiset muutokset pohjaveden virtausolosuhteissa (Brander 2013).



Kuva 65. Hyrylän 19.7.2012 mittauksien tulokset FlowTracker®-laitteistolla (Brander 2013).

Linjan 003 jälkeen Tuusulanjoki haarautuu väliaikaisesti kahdeksi uomaksi, joista pienemässä haarassa sijaitsee linja 005 ja isommassa linja 004. Linjalla 004 virtaama oli heinäkuun mittauksissa 0,6759 m³/s ja linjalla 005 0,1989 m³/s. Näiden uomien yhteenlaskettu virtaama (0,8748 m³/s) oli 4,1 % suurempi kuin linjalla 003. Tällä kohtaa jokeen purkautuva pohjavesi on pääasiassa peräisin linjojen 004 ja 005 luoteis- ja pohjoispuolelle jatkuvalta harjujaksolta. Tältä suunnalta jokeen purkautuvasta pohjavedestä saatiin myös viitteitä mittauspäivänä suoritetuista pohjasedimentin lämpötilamittauksista. Jokeen purkautuva pohjavesi kasvatti linjan

003 jälkeen erityisesti isomman haaran virtaamaa. Haarojen yhdistymisen jälkeen sijaitsevalta linjalta 006 saatujen tulosten mukaan joen virtaama muuttui linjojen 004 ja 005 sekä linjan 006 välillä ainoastaan 0,8 %. Näin pientä virtaaman muutosta ei voida kuitenkaan pitää merkitseväenä, ja joen virtaaman ei voida todeta muuttuvan merkittävästi tällä matkalla. Kaikkiaan Tuusulanjoen virtaama kasvoi mittausten mukaan linjojen 001 ja 006 välillä ainoastaan noin 0,9 %.

5.5.5 Yhteenveto virtaamamittausten tuloksista

Vuoden 2012 virtaamamittaukset suunniteltiin tehtäväksi samalla laajuudella sekä huhtikuussa että heinäkuussa. Näin purkautuvan pohjaveden määriä eri linjoilla sekä sen vaikutusta jokiuoman kokonaisvirtaamaan olisi voitu vertailla kevään ylivirtaamakaudella sekä kesän alivirtaamakaudella. Kevään 2012 ylivirtaama Vantaanjoen valuma-alueella oli kuitenkin niin voimakas, että jälkimmäisen virtaamahuipun aikana joki tulvi jokaisessa tutkimuskohteessa. Tutkimusten tähän tulvahuippuun ajoittamisen seurauksena mittauksia ei pystytty suorittamaan suunnitellussa laajuudessa, koska joki oli usealla linjalla tulvimisen (kuvat 66 ja 67) lisäksi myös liian syvä tai virtausnopeus oli liian suuri (kuva 68). Lisäksi jokiveden pinnankorkeus vaihteli niin nopeasti, että vertailukelpoisten tulosten saaminen saman päivän aikana usealta mittalinjalta, käytettävissä olevilla laiteresursseilla, oli lähes mahdotonta. Kevään 2012 ylivirtaamakautena virtaamamittauksia pystyttiin tekemään vain alle puolella suunnitelluista linjoista, jonka seurauksena kokonaisvirtaaman muutoksia ylivirtaamakautena ei onnistuttu selvittämään (Brander 2013).



Kuva 66. *Tulviva Palojoki Jäniksenlinnassa 13.4.2012, kuva otettu sillalta ylävirtaan kohti mittalinjaa 001 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry 2012).*



Kuva 67. *Tulviva Vantaanjoki Hyvinkäänkylässä 17.4.2012 (kuva: Anna-Liisa Kivimäki, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry 2012).*



Kuva 68. *Tuusulanjoen voimakas virtaus linjan 001 kohdalla 18.4.2012 (kuva: Mikko Brander, Helsingin yliopisto, 2012).*

Heinäkuussa 2012 virtaamamittaukset suoritettiin suunnitelmien mukaisesti eri kohteiden jokaisella linjalla, jonka seurauksena tutkimuskohteiden jokiuomien virtaaman vaihteluista saatiin parempi kuva kuin kevään mittauksissa. Vantaanjoen valuma-alueen virtaamat olivat mittausten aikaan lähellä pitkän ajan keskiarvoja, mutta kuitenkin hieman isommat kuin vastaavaan aikaan vuonna 2011. Kesän 2012 sadanta oli pitkäaikaisia keskiarvoja korkeampi kesäkuun aikana, joka vaikutti valuma-alueen heinäkuun virtaamiin. Runsaat sateet ovat kesällä pienimmän virtaaman aikaan suoritettavien mittausten onnistumiselle isoin riskitekijä, koska kesän lyhytaikaiset mutta voimakkaat sateet voivat nostaa nopeasti joen virtaamaa. Heinäkuun mittausten aikaan satoi ainoastaan yhtenä mittauspäivänä, jolla saattoi olla vaikutusta yhden kohteen päivän viimeisiin mittauksiin (Brander 2013).

Virtaamamittausten tutkimuskohteet vaihtelivat uoman leveyden ja syvyyden lisäksi paljon myös muodoltaan sekä pohjan koostumuksen osalta. Jäniksenlinnassa ja Hyrylässä joki leikkasi harjumuodostuman poikki, joten jokiuoman pohja oli usealla mittalinjalla pääasiassa hyvin kantavaa soraa tai hiekkaa. Herajoella joen pohjan koostumus vaihteli hienojakoisen saven ja mudan sekä hiekan tai isompien kivien välillä. FlowTracker®-laitteistolla suoritetuissa mittauksissa olikin ongelmia sellaisilla mittauslinjoilla, joiden pohja koostui hienojakoisesta ja upottavasta sedimentistä. Näillä linjoilla FlowTracker®-laitteiston kahluutanko upposi joitakin senttimetrejä pohjan sedimenttiin, jonka seurauksena mitatut veden syvyydet olivat hieman todellista veden syvyyttä suurempia. RiverSurveyor®-laitteistolla mitatessa ei ole vastaavia ongelmia, koska laitteisto sijaitsee kelluvalla lautalla (Brander 2013).

FlowTracker®- ja RiverSurveyor®-mittauksilla pystyttiin vahvistamaan aikaisemmat havainnot, joiden mukaan pohjavesimuodostumalla ja joella on tutkimuskohteilla hydraulinen yhteys, jonka kautta tapahtuu pohjaveden purkautumista tai jokiveden imeytymistä. Lisäksi alivirtaamakauden mittauksilla pystyttiin määrittämään purkautumisen/imeytymisen aiheuttamat muutokset joen virtaamassa. Virtaamamittausten tulosten perusteella jokaisella tutkitulla kohteella pohjavesimuodostumasta jokeen purkautuva pohjavesi kasvatti suhteellisen lyhyellä matkalla merkittävästi joen kokonaisvirtaamaa. Kohteissa, jossa jokiuoma kulkee poikki pitkitäisharjumuodostuman, alivirtaamakaudella tehdyissä mittauksissa kokonaisvirtaama kasvoi karkearakeisen harjun ydinosan alueella (130–200 m:n jokiosuudella) 6–15 %. Kahdella tutkimuskohteella joen virtaus väheni 8–14 % 140–280 m:n jokiosuudella, mikä osoittaa jokiveden imeytyvän pohjavesimuodostumaan. Pohjaveden purkautuminen voi myös väliaikaisesti vaihtua jokiveden imeytymiseksi, jonka jälkeen pohjaveden purkautuminen kasvattaa jälleen joen virtaamaa. Tämän seurauksena joen virtaama voi vaihdella merkittävästi lyhyelläkin matkalla (Brander 2013).

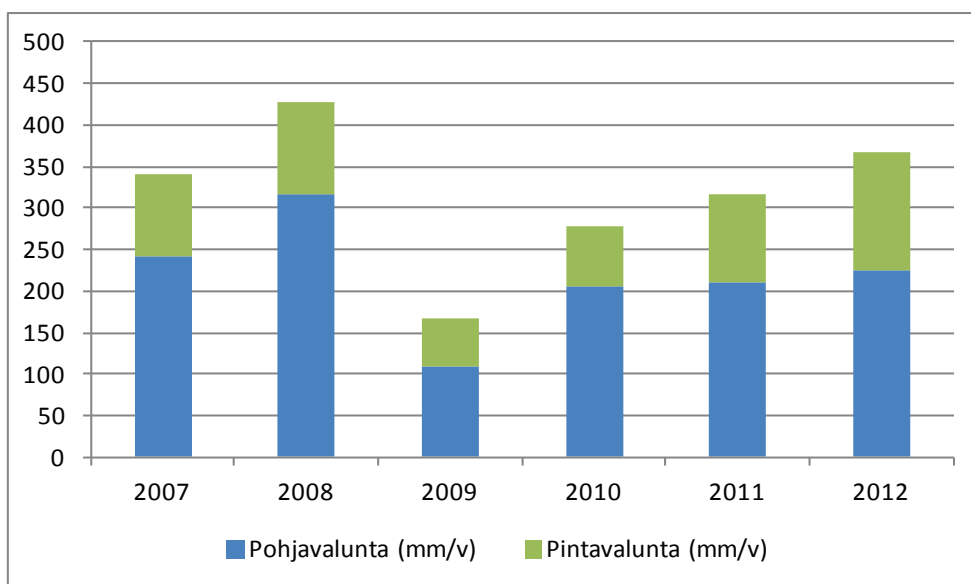
FlowTracker®-laitteiston mittauksille ilmoittamissa epävarmuusprosentteissa näkyy millä osatekijöillä on merkittävin vaikutus kokonaisepävarmuuteen. Mitta-asemien lukumäärän epävarmuusprosentti oli jokaisella linjalla suurin yksittäinen epävarmuutta aiheuttava tekijä. Suoritetuissa tutkimuksissa asemien lukumäärään vaikutti pääasiassa uoman leveys ja syvyys, sekä sen perusteella valittu mitta-asemien välinen etäisyys. Toiseksi suurin vaikutus on kullakin mitta-asemalla käytetyllä mittausmenetelmällä, johon vaikutti ainoastaan joen syvyys. Veden syvyydestä riippuen yhdellä mitta-asemalla tehtiin yksittäisiä mittauksia 1–5 eri syvyydellä. Mitta-asemien välinen etäisyys eli mitta-asemien lukumäärä päätettiin jokaisen linjan

osalta erikseen, koska leveän ja syvän uoman mittaaminen hyvin tiheällä mitta-asetavälillä on erittäin aikaa vievää. Joen pinnankorkeuden vaihtelun vaikutuksen minimoimiseksi kohteen jokainen linja mitattiin saman päivän aikana, joten mitta-asetavien lukumäärän valinnassa jouduttiinkin ottamaan huomioon tutkimusten suorittamiseen käytettävissä ollut aika. Mitta-asetavien lukumäärän merkittävä vaikutus kokonaisepävarmuuteen on ongelmallinen, koska asemien pieni lukumäärä ei välttämättä tarkoita mittauksen epävarmuuden kasvua kaikissa joki-omissa. Häiriöttömästi ja suoraan virtaavan sekä poikkileikkaukseltaan selkeän jokiuoman virtaus on mahdollista mitata luotettavasti myös vähäisellä asemien lukumäärällä. Tässä tapauksessa asemien lukumäärän kasvattaminen ei merkittävässä määrin nosta mittausten luotettavuutta. FlowTracker®-laitteiston epävarmuusprosenttien laskemisessa käyttämä menetelmä ei ota yksittäisen jokiuoman ominaisuuksia huomioon, vaan epävarmuuden suuruus perustuu suoraan mitta-asetavien lukumäärään, ja on näin sama jokaiselle mittaukselle, jossa asemien lukumäärä vastaa toisiaan (Brander 2013).

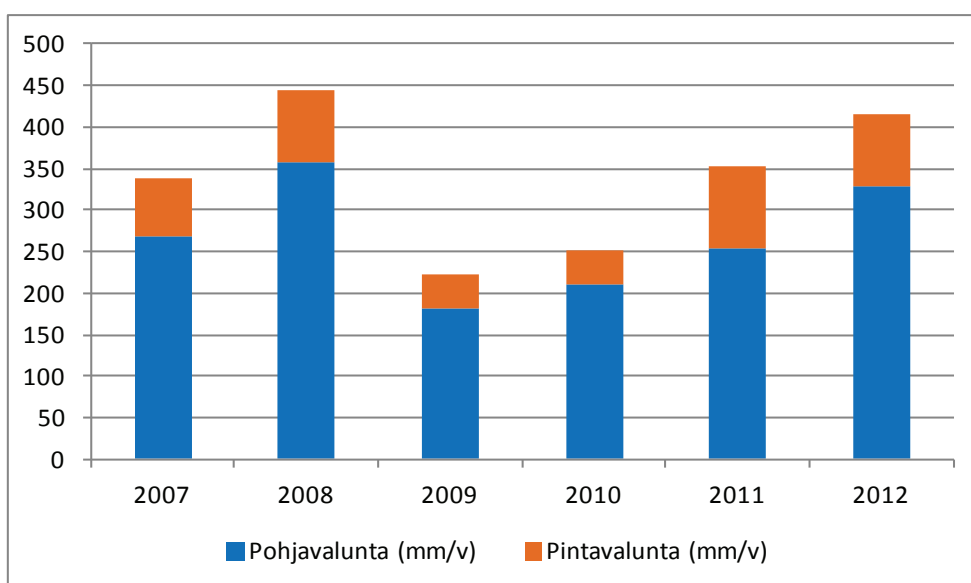
5.5.6 Lepsämänjoen virtaamahavaintojen tarkastelu PART-menetelmällä

Lepsämänjoen päivittäisiä virtaamahavaintoja analysoitiin PART-menetelmällä (Rutledge 1998). Tarkasteluun otettiin Lepsämänjoen kahden virtaamahavaintoaseman tiedot vuosilta 2007–2012, joilta oli käytettävissä lähes aukoton aineisto päivittäisiä virtaamahavaintoja em. kuuden vuoden ajalta. Jos aineistosta puuttui yhden yksittäisen päivän virtaamahavainto, käytettiin virtaama-arvona edeltävän ja seuraavan päivien virtaamahavaintojen keskiarvoa. Jos aineistosta puuttui virtaamahavainto useana peräkkäisenä päivänä, arvioitiin ko. jakson virtaamat jaksoa edeltävän ja seuraavan virtaamien erotuksen perusteella oletuksena, että virtaama muuttui tasaisesti mainittuina päivinä.

Lepsämänjoen alaosan virtaamahavaintoaseman aineisto poimittiin OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelusta. Havaintoasema sijaitsee Lepsämänjoen alajuoksulla (ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6692219.927, 377882.098) ja sen valuma-alueen pinta-ala on 213,71 km² (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu). Lepsämänjoen yläosan virtaamahavaintoasema sijaitsee latvaosissa Nummenpään pohjavesialueella (ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit 6702543.689, 369501.485) ja sen valuma-alueen pinta-ala on 23,0 km². Yläosan havaintoasemalta saatiin käyttöön virtaamahavaintotietoja, jotka liittyvät erilliseen tutkimushankkeeseen (Valkama ym. 2013).



Kuva 69. PART-menetelmällä arvioidut pohjavalunnan ja pintavalunnan osuudet Lepsämänjoen yläjuoksulla vuosina 2007–2012.



Kuva 70. PART-menetelmällä arvioidut pohjavalunnan ja pintavalunnan osuudet Lepsämänjoen alajuoksulla vuosina 2007–2012.

PART-laskennalla saadut pohjavalunnan ja pintavalunnan osuudet uomavalunnasta on esitetty kuvissa 69 ja 70. Yläjuoksulla pohjavalunnan (pohjavesikomponentti) keskimääräinen osuus vuositason tarkasteltuna oli 68,8 % (vaihteluväli 61,6–74,2 %). Alajuoksulla pohjavalunnan keskimääräinen osuus oli 79,2 % (vaihteluväli eri vuosina 71,8–83,7 %). Pohjaveden suuren osuuden selittää se, että latvaosissa on antoisuudeltaan suuria pohjavesiesiintymiä, joista purkautuu jatkuvasti pohjavettä Lepsämänjoen latvaosiin. Nummenpään pohjavesialueen muodostaa luode-kaakkosuuntaiseen kallioperän murroslaaksoon kerrostunut pitkittäisharju, joka luoteessa liittyy Salpausselän reunamuodostumaan (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

Reunamuodostumasta purkautuvan pohjaveden merkittävä osuus Lepsämänjoen kokonaisvirtaamassa näkyy latvaosissa lämpötilan alenemisena koko jokiuomassa (kts. luku 5.1.6 kuva 21).

Vaikka Lepsämänjoen keski- ja alajuoksulla ei juurikaan esiinny varsinaisia pohjavesialueita (taulukko 3), purkautuu ko. jokiosuudella pohjavettä jokiuomaan ojia pitkin ja uoman reunamilla sijaitsevista pienistä lähteistä. Nämä lisäävät pohjaveden osuutta kokonaisvirtaamassa kohti alajuoksua siirryttäessä.

Kuukausitasolla tarkasteltuna (taulukko 8) pohjaveden osuus jokiuoman virtaamasta vaihtelee noin 50 %:sta 100 %:iin. Tarkastelujaksolla 2007–2012 huhtikuun osuudet (63–88 %) erottuivat muita pienempiä. Tämä selittyy lumien sulamisella, joka yleisimmin keskittyy huhtikuulle. Poikkeuksena mainittakoon kevät 2012, jolloin lumien sulaminen alkoi jo maaliskuun puolivälissä. Tämä näkyi myös poikkeuksellisen pienenä pohjaveden osuutena (46 %) maaliskuussa 2012. Elokuussa 2008 esiintynyt poikkeama (53 %) selittyy kuukauden suurella sadesummalla (94 mm/kk, poikkeama vuosien 1970–2010 sadetilastoista +20 %). Myös joulukuussa 2007 ja 2011 esiintyvät poikkeamat (54–58 %) selittyvät mainittujen ajankohtien suurella sademäärällä (sadesumma joulukuussa 2011 138 mm, poikkeama sadetilastoista +147 %). Yleisestikin syyskaudella havaitut poikkeuksellisen pienet pohjavesivalunnan osuudet selittyvät useissa tapauksissa syksyn sademäärillä (sademäärätiedoissa lähteenä Ilmatieteen laitos).

Heinäkuussa 2011, jolloin tehtiin Vapomix-tutkimuksen lämpökamerakuvaukset ja otettiin jokivesinäytteitä useasta näytepisteestä isotooppikoostumus- ja silikaattimääritystä varten, pohjavalunnan osuus oli PART-laskennan mukaan 90 %. Tulosten tulkinnassa on otettava huomioon, että tarkasteltava oli vain kuuden vuoden virtaama-aineisto. Esimerkiksi Wieben (2012) tekemissä Pyhäjoen ja Yläneenjoen vastaavissa tarkasteluissa käytettävissä oli virtaama-aineisto yli 30 vuoden ajalta.

Taulukko 8. PART-menetelmällä lasketut pohjavalunnan osuudet Lepsämänjoen virtaamasta kuukausitasolla tarkasteltuna. Laskennassa käytetty Lepsämänjoen alaosan virtaamahavaintoaseman aineistoa (OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu).

	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
2007	80	99	84	88	96	95	97	90	84	90	69	58
2008	80	83	89	72	94	80	77	53	78	70	74	89
2009	96	98	92	63	97	76	88	90	90	77	73	98
2010	100	100	87	76	87	95	100	89	83	96	78	97
2011	100	90	98	69	98	94	90	88	79	74	82	54
2012	94	94	46	82	93	82	95	91	66	78	83	96

Lämpökamerakuvauksista 2010–2011 kertynyt kokemus ja niiden tulosten täydentämien kenttämittauksilla paransivat lämpökamerakuvausaineiston laatua ja tulkinnan luotettavuutta. Tekemällä lämpökameralentokuvaukset käsivaraisesti saatiin helikopterin kallistelun aiheuttamat kuvaussuunnan heilahtelut poistettua ja saatiin huomattavasti yhtenäisempi kuvausaineisto. Ilmakuvauksien suorittaminen matalilla lentokorkeuksilla vaatii saumatonta yhteistyötä kuvaajan ja helikopterin pilotin kanssa. Kuvaukseen tarvitaan pilotin lisäksi kaksi henkilöä. Lämpökamera/FLIR-kuvaaja vastaa kuvauskulmasta ja kuvauskohteen pysymisestä kamerassa, ja navigaattori vastaa lentolinjan ja lentokorkeuden hienosäädön hoitamisesta, tietokoneesta ja lämpökamera-aineiston tallentumisesta PC:lle.

Kuvausajankohta määritellään hyvissä ajoin ennen kuvauksia kuvaushelikopterin vuokrausvarustusten, lentoluvat jne. vuoksi. Näin ollen kuvausajankohtaa ei useinkaan voida merkittävästi muuttaa sääolosuhteiden mukaan. Kuvausajankohdan säätila vaikuttaa kuitenkin huomattavasti lämpökamera-aineiston jälkikäsitteilyn helpouteen. Pilvipoutainen sää olisi paras mahdollinen säätila kuvaukselle, koska silloin heijastumien ja varjojen aiheuttamien virhetulkintojen mahdollisuus vähenee huomattavasti. Virhetulkintoja pystytään vähentämään oleellisesti myös digitaalisen videokuvan avulla, koska visuaalisen kuvan avulla pystytään sulkemaan varjot (virhetulkintana alue voidaan tulkita pohjaveden purkautumisvyöhykkeeksi) sekä rakennetun ympäristön kohteet (tiet, rakennukset) pois.

Lämpökamerakuvauksilla saatiin kohdistettua jatkotutkimukset pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutuksista alueilla, joilla pohjavettä purkautuu merkittäviä määriä. On kuitenkin otettava huomioon, että lämpökamerakuvauksilla pystytään tunnistamaan vain jokiveden pintaosaan asti ulottuvat lämpötila-anomaliat. Jokuoman syvempiin kerroksiin tapahtuvia pohjaveden purkautumiskohtia ei niillä havaittu, jollei kylmä vesi sekoittunut koko vesikerrokseen.

6.2 Purkautumisalueiden varmistus ja sekoittumisvyöhykkeiden tunnistus jokiveden ja sedimentin lämpötilamittauksilla

Laaja-alaisissa pohjaveden purkautumisalueiden kartoituksissa lämpökamerakuvausten tulosten varmistaminen kenttämittauksilla tuo luotettavuutta lämpökamera-aineiston tulkintoihin. Maaperän maalajikoostumus ja kerrosrakenteet, uoman muoto ja syvyys sekä sedimenttien koostumus aiheuttivat vaihteluita lämpötila-anomalioiden vesikerroksen eri syvyyksissä. Jokuoman reuna-alueilla pohjavettä purkavien lähteiden vaikutus ilmenee sekä sedimentin että jokiveden alentuneina lämpötiloina rannan tuntumassa. Pohjaveden purkautuminen uomaan reunojen ja pohjan kautta heijastuu selvemmin alentuneena lämpötilana koko vesikerroksessa poikki uoman. Kenttämittausten ja anturimittausten tulokset antoivat viitteitä, että syvemmissä uomissa jokuomaan purkautuneen kylmän pohjaveden lämpötilakerrostuneisuus ja sekoittuminen voivat vaihdella nopeasti purkautumismäärien ja jokiveden virtausnopeuksien vaihdellessa.

Veden laadun kenttämittausten ja jokisedimentin lämpötilan tulosten perusteella pystytään luonnehtimaan pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutuksia ja sekoittumisvyöhykkeessä tapahtuvia ilmiöitä, jotka vaihtelevat kohdekohtaisesti. Kenttämittausten suunnittelussa oleellista on ensin laatia hydrogeologinen rakennemalli pohjaveden varastoitumisesta ja virtauskuvasta ja mahdollisista vuorovaikutusalueista. Riittävä kenttämittaustietämys saadaan, kun tehdään

useita mittausrinjoja jokiuoman poikki ja syvyysprofiilimittauksia useilla linjoilla. Vapomix-kohdetutkimusalueilla tehtiin kullakin merkittävällä pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusalueella kenttämittauksia vähintään kymmenellä jokiuoman poikki ulottuvalla mittausrinjalla. Jatkuva-toimisilla anturimittauksilla saatiin arvokasta lisätietoa nopeasti muuttuvista sekoittumisolosuhteista.

6.3 Pohjaveden ja pintaveden osuuksien määrittäminen veden laadun perusteella

Pohjaveden ja pintaveden osuuksia vuorovaikutusten sekoittumisvyöhykkeissä pyrittiin selvittämään hapen ja vedyn isotooppikoostumusmäärittäyksillä, liuenneen silikaatin pitoisuuksien perusteella sekä pääionikoostumuksella. Vantaanjoen valuma-alueen jokivesien isotooppikoostumuksesta ja silikaattipitoisuuksista ei ole olemassa tausta-aineistoa, joten näyttöä otettiin 1–2 kuukauden välein noin vuoden ajan jokiveden ja pohjaveden laadun vuodenaikaisvaihteluiden selvittämiseksi.

Jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa havaittiin Vantaanjoella, Herajoella, Palojoella, Keravanjoella ja Tuusulanjoella selvä vuodenaikoihin sidottu syklisyys ja eri vuodenaajoille tyypillinen isotooppikoostumus. Pienin vuodenaikoihin sidottu isotooppikoostumuksen vaihtelu oli Herajoen jokivesinäytteissä. Herajoen jokivesi olikin isotooppikoostumukseltaan lähinnä pohjaveden koostumusta. Yleisesti hapen δ -arvojen minimi (sulamisvedet) sijoittuivat loppukevääseen (maalis-huhtikuu) ja maksimit (haihtuminen) saavutettiin elo-syyskuussa. Jokiveden isotooppikoostumuksessa havaittiin suurin muutos kesällä. Pohjavesissä isotooppikoostumuksen vuodenaikaisvaihtelu oli vähäistä.

Vantaanjoen ja Lepsämänjoen jokivesien isotooppikoostumusta leimasi haihtumisen vaikutus. Muissa jokiuomissa isotooppikoostumukseen vaikuttivat sulamiskauden ja haihtumisen lisäksi selvästi myös muut tekijät. Palojoella Päijänne-tunnelin vedestä muodostetun tekopohjaveden purkautuminen jokiuomaan vaikuttaa jokiveden isotooppikoostumukseen. Myös Keravanjokeen juoksetaan Päijänne-tunnelin vettä kesäkuukausina, mikä vaikuttaa Keravanjoen isotooppikoostumukseen siirtäen sitä haihtuneempaan päin. Näin ollen Palojoen ja Keravanjoen jokiveden luonnollista isotooppikoostumusta ei voida arvioida luotettavasti. Tuusulanjoella Hyrylässä isotooppikoostumukseen vaikuttaa Tuusulanjärvi. Jokisysteemeille massatasapainolaskujen hyödyntäminen pohjavesiosuuksia arvioitaessa on epävarmaa, koska määriteltäviä päätejäseniä on useampia kuin kaksi ja ne ovat tuntemattomia (valunta/sivu-uomat). Näin ollen tarkkoja osuuksia pohjaveden osuudesta tutkituilla jokiosuuksilla ei voida määrittää isotooppikoostumusten perusteella.

Tutkituista jokiuomista Herajoella ja Lepsämänjoella jokivesinäytteiden DSi-keskiarvo oli selvästi suurempi (6,07–6,28 ppm) kuin muissa jokiuomissa (2,61–4,45 ppm). Korkeat silikaattipitoisuudet ilmensivät pohjaveden vallitsevaa osuutta jokiuomassa virtaavassa vedessä. DSi-pitoisuuksien käyttöä pohjaveden osuuden arvioinnissa Palojoella ja Tuusulanjoella rajoittaa järveden vaikutus jokiveteen. Keravanjoella Ridasjärven kautta juoksetettua Päijänne-tunnelin vettä voidaan käyttää merkkiaineena arvioitaessa juoksetusveden vaikutusta Keravanjoelle kesäkuukausien aikana. Jokiosuuksilla, joilla pohjavesikomponentin osuus jokivedessä on merkittävä, kuten Herajolla ja Lepsämänjoella, silikaattipitoisuutta voidaan käyttää isotooppikoostumuksen sijasta sekoittumisosuuksien arvioimisessa. Pääionipitoisuuksien perusteel-

la jokivedet ja pohjavedet pystytettiin luokittelemaan erityyppisiin vesiin. Niiden perusteella ei kuitenkaan pystytäkään arvioimaan purkautuvan pohjaveden määriä jokiuomaan, vaan antamaan karkea arvio vuorovaikutuksen laadusta. Ylivirtaamakaudella pääionikoostumuksen avulla voidaan kaivovesinäytteistä arvioida mahdollista pintaveden pääsyä raakavesikaivoihin.

6.4 Pohjaveden lyhytaikaisten veden laadun muutosten jäljittäminen S::can-anturimittauksilla

S::can-anturimittauksilla saatiin jäljitettyä tulvariskialueilla sijaitsevista vedenottokaivoista ylivirtaamakautena esiintyviä lyhytaikaisia, muutamasta tunnista pariin päivään kestäneitä veden laadun muutoksia. Jokiveden vaikutus näkyi selvimmin vedenottokaivojen veden DOC-pitoisuudessa. DOC-pitoisuudet palautuivat vedenottokaivoissa nopeasti lähtötasolle jokiveden pinnan palaututtua alle pohjavedenpinnan tason. Jos jokivedessä esiintyy tulvakausiin taudinaiheuttajamikrobeja tai korkeita pitoisuuksia hitaasti hajoavia haitta-aineita, ne voivat aiheuttaa riskin veden laadulle vedenottamoilla. Koska tulvatilanteissa kaivovedessä tapahtuvat veden laadun muutokset ovat nopeita, ei kaivoveden terveydelle haitallisia muutoksia pystytä välttämättä havaitsemaan yksittäisillä tarkkailunäytteillä.

6.5 Purkautuvien ja imeytyvien vesimäärien määrittäminen virtaamamittauksilla

FlowTracker®- ja RiverSurveyor®-virtaamamittauksilla pystytettiin vahvistamaan aikaisemmat havainnot pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutuksista. Lisäksi alivirtaamakauden mittauksilla pystytettiin määrittämään purkautumisen/imeytymisen aiheuttamat määrälliset muutokset joen virtaamassa. Tutkituissa kohteissa Vantaanjoella, Tuusulanjoella ja Palojoella pohjavesimuodostumasta jokeen purkautuva pohjavesi kasvatti suhteellisen lyhyellä matkalla merkittävästi joen kokonaisvirtaamaa. Kohteissa, jossa jokiuoma kulkee poikki pitkittäisharjumuodostuman, alivirtaamakaudella tehdyissä mittauksissa kokonaisvirtaama kasvoi karkearakeisen harjun ydinosa-alueella 6–15 %.

Herajoen virtaamamittauksilla arvioitiin pohjavesikomponentin osuutta jokivedestä, ja lisäksi vahvistettiin veden laadun perusteella tehty havainnot jokiveden imeytymisestä pohjavesikerrokseen vedenottamon kaivoalueelle. Virtaamamittausten tulosten perusteella imeytymistä tapahtuu sekä yli- että alivirtaamakautena.

FlowTracker®-virtaamamittausten haasteena on se, että mittausten tekeminen on hidasta (ja siten mittaustyöhön käytetyn työajan huomioon ottaen kallista). Jotta pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutusten määriä pystyttäisiin arvioimaan, pitäisi virtaamamittauksia tehdä usealla mittauslinjalla ennen ja jälkeen purkautumisen/imeytymisalueen. Lisäksi tulosten luotettavuutta lisäisi, jos linjoilla tehtäisiin toistomittauksia. Vertailukelpoisia tuloksia saadaan ainoastaan, jos kaikkien yhden tutkimuskohteen mittauslinjojen mittaukset tehdään muuttumattomissa virtaamaolosuhteissa, eli jokiveden pinnassa ei saa mittausjakson aikana tapahtua muutoksia. Tämä osoittautui mahdottomaksi ylivirtaamakautena, jolloin jokiveden pinnankorkeus muuttui muutamassa päivässä sisällä lähes 0,4 m, vaihdellen suuresti myös yhden mittauspäivän aikana. Yllättävän haasteelliseksi vertailukelpoisten mittausten tekeminen muuttumattomissa jokiveden pinnankorkeuden lukemissa osoittautui myös runsassateisen heinäkuun 2012 aikana. Heinäkuussa tehdyissä mittauksissa yksittäinen sadekuuro yhden mittauspäivän

aikana nosti jokiveden pintaa 5 cm, tehden ennen ja jälkeen sadekuuron tehtyjen mittauksen tulosten vertailun mahdolliseksi. RiverSurveyor®-laitteistolla virtaamamittauksia pystytään tekemään nopeasti; yhden mittauksen tekeminen 15–20 m poikkilinjalla kestää 2–4 min, joten toistoja voidaan tehdä jokaisella mittauslinjalla tarvittava määrä. Vantaanjoen valuma-alueen matalampien ja kapeampien uomien (Herajoki, Lepsämänjoki, Palojoki) virtaamamittauksiin RiverSurveyor®-laitteisto ei kuitenkaan sovellu.

Lähdeluettelo

- Ahonen, I. ja Valli, T. 1998. Painovoimamittaukset ja kallio- ja pohjavesipinnan mallinnus. Hakkila – Hiekkaharju – Koivukylä, Vantaa. Vantaan kaupunki / Uudenmaan ympäristökeskus. Geologian tutkimuskeskuksen raportti. 3 s. + liitteet.
- Ahonen, J. ja Valjus, T. 2009. Yhteenvetoraportti Herajoen vedenottamon valuma-alueen geologisen rakenteen selvityksistä. Geologian tutkimuskeskus, Etelä-Suomen yksikkö, tutkimusraportti 21.2.2009, 120 s.
- Ahonen, J., Sallasmaa, O. ja Valjus, T. 2011. Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys Tuusulan Jäniksenlinnan, Kailan ja Palaneenmäen pohjavesialueilla. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, tutkimusraportti 19.8.2011, 55 s.
- Anderson, M. 2005. Heat as a ground water tracer. *Ground Water*, Vol. 43, No. 6.
- American Public Health Association (APHA). 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation: Washington, DC.
- Asano, Y., Uchida, T. & Ohte, N. 2003. Hydrologic and geochemical influences on the dissolved silica concentration in natural water in a steep headwater catchment. *Geochimica et cosmochimica Acta* 67, 1973–1989.
- Backman, B., Kortelainen, N., Ahonen, J. & Pullinen, A. 2009. Herajoen vedenottamon ympäristön hydrogeokemia. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 27 s. + liitteet.
- Beschta, R.L., Bilby, R.E., Brown, G.W., Holtby, L.B. & Hofstra, T.D. 1987. Stream temperature and aquatic habitat: Fisheries and forestry interactions. In *Streamside management: Forestry and fishery interactions*. Salo, E.O. and Cundy, W. (eds). University of Washington, Institute of Forest Resources: Seattle, USA: 191–232.
- Brander, M. 2013. Virtaamamittaukset tutkimusmenetelmänä pohja- ja pintaveden välisen vuorovaikutuksen arvioinnissa Vantaanjoen valuma-alueen jokiuomissa. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto. 2.5.2013. 87 s. + liitteet.
- Breilin, O., Paalijärvi, M. ja Valjus, T. 2004. Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys I Salpausselällä Hyvinkään kaupungissa Nummenjärki-Suomiehensuo alueella. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 14.12.2004, 89 s.
- Breilin, O., Paalijärvi, M. ja Valjus, T. 2005. Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys Tuusulanharjulla Mätäkiivennummen-Vaunukankaan välisellä alueella. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 17.6.2005, 82 s.
- Chen, C.Q., Shi, P. & Mao, Q.W. 2003. Application of remote sensing techniques for monitoring the thermal pollution of cooling-water discharge from nuclear power plant. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 38 (8), 1659–1668.
- Clark, I.; Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. 328 p.
- Conant, B. Jr., Kennedy, C.C. & Parker, B.L. 2012. Locating groundwater discharge from fractured bedrock along the Eramosa River using infrared thermography. 39th IAH Congress. Niagara Falls, Canada, 16–21 September 2012. Program and abstracts.
- Conley, D.J. 1997. Riverine Contribution of Biogenic Silica to the Oceanic Silica Budget. *Limnol. Oceanogr.* 42, 774–777.
- Conley, D.J., Stalnacke, P., Pitkänen, H. & Wilander, A. 2000. The transport and retention of dissolved silicate by rivers in Sweden and Finland. *Limnol. Oceanogr.* 45, 1850–1853.
- Eaton, Andrew, D., Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. 20th edition.
- Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A. 126, 166 s.
- Gibson, J.J., Edwards, T.W., Birks, S.J., St Amour, N.A., Buhay, W.M., McEachern, P., Wolfe, B.B. & Peters, D.L. 2005. Progress in isotope tracer hydrology in Canada. *Hydrol. Process.* 19, 303–327.

- Handcock, R.N., Torgerser, C.E., Cherkauer, K.A., Gillispie, A.R., Tockner, K., Faux, R.N. & Tan, J. 2012. Thermal infrared remote sensing of water temperature in riverine landscapes. *Fluvial Remote Sensing for Science and Management*, First Edition. Edited by Patrice E. Carbonneau and Hervé Piégay. © 2012 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2012 by John Wiley & Sons, Ltd.
- Hietala, J. 2009. Tuusulanjoen kunnostuksen seuranta vuosina 2006–2009. II Väliraportti vedenlaadusta ja virtaamista. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä. 14 s. + liitteet.
- Hinton, M.J., Schiff, S.L. & English, M.C. 1994. Examining the contributions of glacial till water to storm runoff using two- and three-component hydrograph separations. *Water Resour. Res.* 30, 983–993.
- Huttunen, M., 2004. Hyvinkään kaivosvesien laatu ja siihen vaikuttavat geologiset ja ympäristölliset tekijät. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geologian laitos, 67s.
- Ikäheimo, J. & Ristolainen, P. 2010. Lämpötilakuvaukset pohjavesitutkimuksen apuna. *Vesitalous* 5/2010. s. 35–38.
- Karhu, J.A. 2001. Hapen & vedyn isotooppivaihtelut meteorisissa vesissä: Suomen pintavedet & matalat pohjavedet. In: Kirjoituksia pohjavedestä, 3. Ympäristögeologian päivät. Turku, 13–14.3.2000 (V.-P. Salonen & K Korkka-Niemi, eds.). University of Turku, Department of Geology, pp. 35–42.
- Kendall, C. & Coplen T. B. 2001. Distribution of Oxygen-18 and deuterium in river waters across the United States. *Hydrol. Process.* 15, 1363–1393.
- Kløve B., Ala-aho P., Bertrand G., Boukalova Z., Ertürk A., Goldscheider N., Ilmonen J., Karakaya N., Kupfersberger H., Kværner J., Lundberg A., Mileusnić M., Moszczynska A., Muotka T., Preda E., Rossi P., Siergieiev D., Šimek J., Wachniew P., Widerlund A. 2011. Groundwater Dependent Ecosystems: Part I - Hydroecology, threats and status of ecosystems. *Environmental Science and Policy* 14, 770–781.
- Kløve B., Ala-aho P., Allan A., Bertrand G., Druzyńska E., Ertürk A., Goldscheider N., Henry S., Karakaya N., Karjalainen T.P., Koundouri P., Kværner J., Lundberg A., Muotka T., Preda E., Pulido Velázquez M., Schipper P. 2011. Groundwater Dependent Ecosystems: Part II - Ecosystem services and management under risk of climate Change and Land-Use Management. *Environmental Science and Policy* 14, 782–793.
- Kivimäki, A.-L., Korkka-Niemi, K., Nygård, M., Rautio, A. & Karhu, J. 2011. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Vapomix-tutkimushankkeen väliraportti 04.02.2011. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 28 s.
- Kivimäki, A.-L., Rautio, A., Korkka-Niemi, K., Vahtera, H., Karhu, J. Salonen, V.-P. & Lahti, K. 2012. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Vapomix-tutkimushankkeen väliraportti 30.03.2012. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 42 s. + liitteet.
- Kivimäki, A.-L., Korkka-Niemi, K., Brander, M. & Lindfors, A. 2012. Virtaamamittauksen menetelmät kehittyneet. *Aquarius – Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry:n tiedotuslehti* 1/2012. s. 18–19.
- Korkka-Niemi, K., Rautio, A. & Wiebe, A. 2009. Methods for investigating groundwater surface water interaction at Lake Pyhäjärvi, SW Finland. In: 6th National Geological Colloquium 4.–6.3.2009, [Helsinki] : program and abstracts. Publications of the Department of Geology. Series A 3. Helsinki: University of Helsinki, 28.
- Korkka-Niemi, K., Kivimäki, A.-L., Lahti, K., Nygård, M., Rautio, A., Salonen V.-P. & Pellikka, P. 2012. Observations on groundwater-surface water interaction, River Vantaa, Finland. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. Vol. 23 No. 2, 2012. pp. 222–231.
- Kortelainen, N. & Gustavsson, N. 2003. Raportti Virtaankankaan pohjaveden ja Kokemäenjoen jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumusseurannasta: Tulokset kesäkuusta 2000 toukokuuhun 2003; seossuhteiden virhetarkastelusimuloinneilla. *Geologian tutkimuskeskus*. Espoo.
- Kortelainen, N. & Gustavsson, N. 2004. Virtaankankaan pohjaveden & Kokemäenjoen jokiveden hapen & vedyn isotooppikoostumusseuranta: seossuhteiden virhetarkastelu simuloinneilla. *Turun Seudun Vesi Oy:n julkaisu* 1/2004. 30 p.
- Kortelainen, N.M. & Karhu, J.A. 2004. Regional and seasonal trends in the oxygen and hydrogen isotope ratios of Finnish groundwaters: a key for mean annual precipitation. *Journal of Hydrology* 285: 143–157.

- Kortelainen, N. ja Karhu J. A. 2006. Tracing the decomposition of dissolved organic carbon in artificial groundwater recharge using carbon isotope ratios, *Applied Geochemistry* 21, s. 547–562.
- Kortelainen, N. 2007. Isotopic Fingerprints In Surficial Waters: Stable Isotope Methods Applied In Hydrogeological Studies. Espoo, Geological Survey of Finland 41, 55 p. <http://arkisto.gtk.fi/ej/ej66synopsis.pdf>.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. The Geochemical Atlas of Finland, Part 1. The Geological Survey of Finland, Espoo.
- Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R.; 1996. Geochemical atlas of Finland. Part 3: Environmental geochemistry – stream waters and sediments. Geological Survey of Finland.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U., & Suomela, P. 2003. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis- kemiallinen laatu vuonna 1999 [One thousand wells - the physical-chemical quality of Finnish well waters in 1999]. Report of Investigation 155, The Geological Survey of Finland, Espoo. [In Finnish with English abstract].
- Lahti, K. ja Männynsalo, J. 15.3.2012. Jätevedenpuhdistamoiden yhteistarkkailu, Riihimäen puhdistamo. Käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2011 ja raportti 4/2011. 10 s. + liitteet.
- Lahti, K. ja Männynsalo, J. 12.4.2012. Jätevedenpuhdistamoiden yhteistarkkailu, Hyvinkää, Kaltevan puhdistamo. Käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2011 ja raportti 4/2011. 8 s. + liitteet.
- Lahti, K. ja Männynsalo, J. 19.4.2012. Jätevedenpuhdistamoiden yhteistarkkailu, Nurmijärvi, Kirkonkylän puhdistamo. Käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2011 ja raportti 4/2011. 10 s. + liitteet.
- LeDrew, E.F. & Franklin, S.E. 1985. The use of thermal infrared imagery in surface current analysis of a small lake. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, 565–573.
- Loheide, S.P. & Gorelick, S.M. 2006. Quantifying Stream_aquifer Interactions through the Analysis of Remotely Sensed Thermographic Profiles and In Situ Temperature Histories. *Environ. Sci. Technol.* 40, 3336–3341.
- Marchand, G. 2001. Groundwater-surface water interaction and nitrate origin in municipal water supply aquifers, San José, Costa Rica. MSc thesis, University of Calgary.
- McCullough, D.A. 1997. A review and synthesis of effects of alterations to the water temperature regime on freshwater life stages of salmonids, with special reference to Chinook salmon. Project Report, U.S. Environmental Protection Agency, Seattle, WA
- Mäntylä, K. & Saarelainen, S. 2008. Rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutoksen aiheuttamille tulvavaikutuksille. Tutkimuskohteena Vantaanjoki. VTT. 180 s. + liitteet.
- Neal, C., Neal, M., Reynolds, B., Maberly, S.C., May, L., Ferrier, R.C. Smith, J. & Parker, J.E. 2005. Silicon concentrations in UK surface waters. *J. of Hydrol.* 304, 75–93.
- Niinikoski, P. 2009. Hapen ja hiilen isotooppikoostumusten vaihtelut ja vedenlaatu Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksella Nurmijärvellä imeytysveden vaihtamisen yhteydessä. Gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, Geologian laitos. 47 s.
- Nygård, M. 2011. Jokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin Vantaanjoen valuma-alueella lämpötila- ja vedenlaatuaineistojen perusteella. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto. 23.9.2011. 115 s.
- Piper, A.M. 1953. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis, Washington D.C., United States Geological Survey. ISBN ASIN: B0007HRZ36.
- Pöyry Oy ja Helsingin yliopisto. Hyvinkäänkylän pohjavesien happi- ja vetyisotooppikoostumustutkimukset 2007, keuhkälä 2010 ja elokuussa 2010. Analyysiselosteet Karhu, J. 16.11.2007, 3.5.2010 ja 15.9.2010.
- Pöyry Environment Oy, Nurmijärven kunta ja Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010. Nukarin pohjavesialueen suojeluun suunnitelma päivitys 2010. 25 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1991 Biometria, tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino. Helsinki. 569 s.

- Rautio, A. 2009. Characterization of groundwater lake water interactions at Lake Pyhäjärvi, SW Finland. 2009. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos, 92 s.
- Rautio, A., Kivimäki, A.-L., Korkka-Niemi, K., Salonen, V.-P., Lahti, K. and Vahtera, H. 2013. Methods to identify groundwater interaction with river water in the catchment of the River Vantaa, southern Finland (manuscript).
- Rosenberry, D.O., and LaBaugh, J.W., 2008. Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4-D2, 128 p.
- Rossi, P. M., Ala-aho P., Ronkanen, A-K. & Kløve, B., 2012. Groundwater–surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology* 432-433: 52-60.
- Rozanski, K., Froehlich, K. & Mook, W.G. 2001. Surface water, Vol. III In: Environmental isotopes in the hydrological cycle: principles and applications (W.G. Mook, Ed.). IHP-V, Technical Documents in Hydrology No. 39, UNESCO, Paris.
- Rutledge, A.T. 1998. Computer Programs for Describing the Recession of Ground-Water Discharge and for Estimating Mean Ground-Water Recharge and Discharge from Streamflow Records—Update. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 98-4148. 43 p.
- Rutledge, A.T. 2007. Program User Guide for PART. 8 p.
- Sallasmaa, O. ja Valjus, T. 2008. Pohjavesialueiden geologisen rakenteen selvitys Teilinummen–Nukarinkosken alueella. 3.6.2008. Geologian tutkimuskeskus, Nurmijärven vesi ja Uudenmaan ympäristökeskus. 12 s.
- Sallasmaa, O. ja Valjus, T. 2009. Pohjavesialueiden geologisen rakenteen selvitys Salmelanmäen–Patamäen alueella. 13.3.2009. Geologian tutkimuskeskus, Nurmijärven vesilaitos ja Uudenmaan ympäristökeskus. 13 s.
- Sinokrot, B.A., Stefan, H.G., McCormick, J.H. & Eaton, J.G. 1995. Modeling of climate change effects on stream temperatures and fish habitats below dams and near groundwater inputs. *Climate Change* 30, 181–200.
- SonTek/YSI. 2007. RiverSurveyor System Manual.
- SonTek/YSI. 2009. FlowTracker Technical Manual.
- Sophocleous, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *J. of Hydrol.* 10, 52–67.
- Soveri, J., Mäkinen, R. & Peltonen K. 2001. Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975–1999. Suomen ympäristökeskus 420. ISBN 952-11-0746-4. ISSN 1238-7312. Helsinki 2001.
- Suunnittelukeskus Oy, 1994, Jäniksenlinnan ja Kaikulan pohjavesialueiden suojelusuunnitelma, Tuusulan seudun vesilaitos Ky, 73 s.
- Tikkanen, M. 1989. Geomorphology of the Vantaanjoki drainage basin, southern Finland. *Fennia* 167:1.
- Tikkanen, M. 1991. Vantaanjoen valuma-alueen geomorfologia. Helsingin seutukaavaliiton julkaisu C 26. 22 s.
- Torgersen, C.E., Faux, R.N., McIntosh, B.A., Poage, N.J. & Norton, D.J. 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sens. Environ.* 76, 386–398.
- Uudenmaan liitto. 1997. Vantaanjoen kehittämisohjelma. Uudenmaan liiton julkaisu B18.1997. 94 s. + liitteet.
- Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2010. Tulvariskien alustava arviointi, Vantaanjoen vesistöalue.
- Uudenmaan liitto. 1997. Vantaanjoen kehittämisohjelma. Uudenmaan liiton julkaisu B 18-1997. 94 s. + liitteet.
- Vahtera, H., Männynsalo, J. ja Lahti, K. 2010. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Vedenlaatu vuosina 2005–2009. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Julkaisu 64/2010. 100 s. + liitteet.
- Vahtera, H. & Männynsalo, J. 2011. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Veden laatu vuonna 2010. Vantaanjoen & Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Julkaisu 66/2011. 71 s. + liitteet.

- Vahtera, H., Männynsalo, J. ja Lahti, K. 2012. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Vedenlaatu vuonna 2011. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Julkaisu 67/2012. 50 s. + liitteet.
- Valkama, P., Lahti, K. ja Särkelä, A. 2013. Impact of variable climate conditions on nutrient flux and erosion – Five years' on-line measurements in a small agricultural river (manuscript).
- Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 1965. Toimialueen pohjavesivarat. Helsinki. 57 s.
- Vantaan kaupunki. 2000. Valkealähteen ja Koivukylän pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Vantaan kaupunki, Ympäristökeskus, Julkaisu A 12 / 2000. 65 s. + liitteet.
- Vesihallitus. 1976. Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet. Vesihallitus, Tiedotus 109. Helsinki. 94 s. + liitteet.
- Viljakainen, J. 2000. Vantaanjoen vesitase. Vantaanjoki-projekti. Uudenmaan liiton julkaisuja E60-2000. 52 s. + liitteet.
- Virkanen, J., Reijola, H. & Vaahtojärvi, T. 2012. Geotieteiden ja maantieteen laitoksen ympäristölaboratorion toimintakäsikirja. Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto. 26.10.2012. 199 s.
- Wiebe, A., Rautio, A. & Korkka-Niemi, K. 2009. Methods for Investigating Groundwater – Surface Water Interaction at Lake Pyhäjärvi, SW Finland. University of Turku, Department of Geology. 43 p. + appendices.
- Wiebe, A. 2012. Quantifying the Groundwater Component within the Water Balance of a large Lake in a Glaciated Watershed: Lake Pyhäjärvi, SW Finland. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Earth Sciences. Waterloo, Ontario, Canada. 111 p. + appendices.
- Winter, T.C. 1995. Recent advances in understanding the interaction of groundwater and surface water. Reviews of Geophysics 33, 985–994.
- Winter, T.C. 1999. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. J. of Hydrol. 7, 28–45.
- Winter, T.C., Harvey, J.W, Franke, O.L. & Alley, W.M. 1998. Ground Water and Surface Water A Single Resource. U.S Geological Survey circular 1139. 87 p.
- Woessner, W. 2000. Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. Ground Water 38, 423–429.
- Ympäristöministeriö. 17.12.2012. Pohjavesien suojeluun liittyvän sääntelyn kehittämistä valmistelevan työryhmän raportti. 71 s.

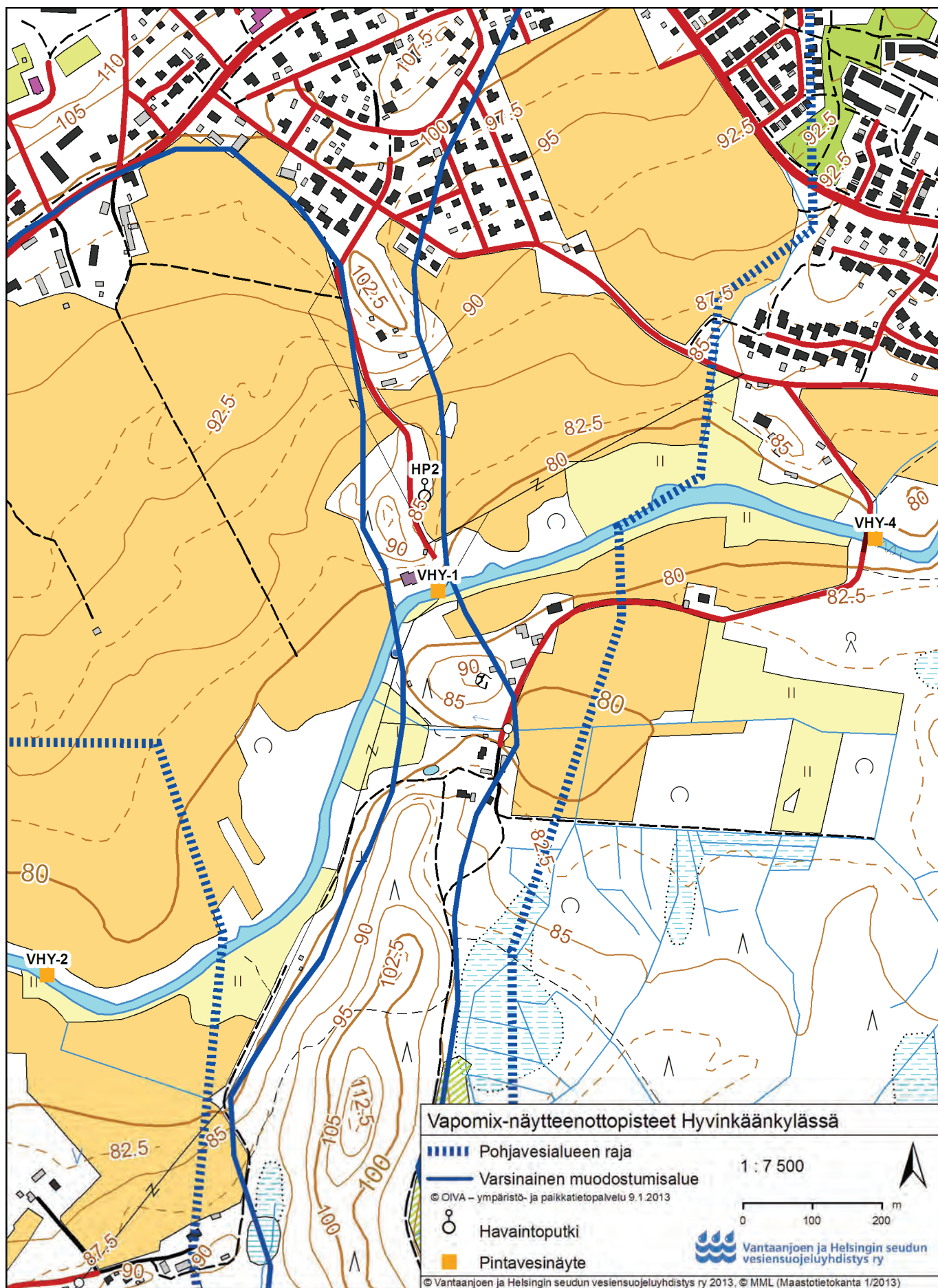
Liitteet

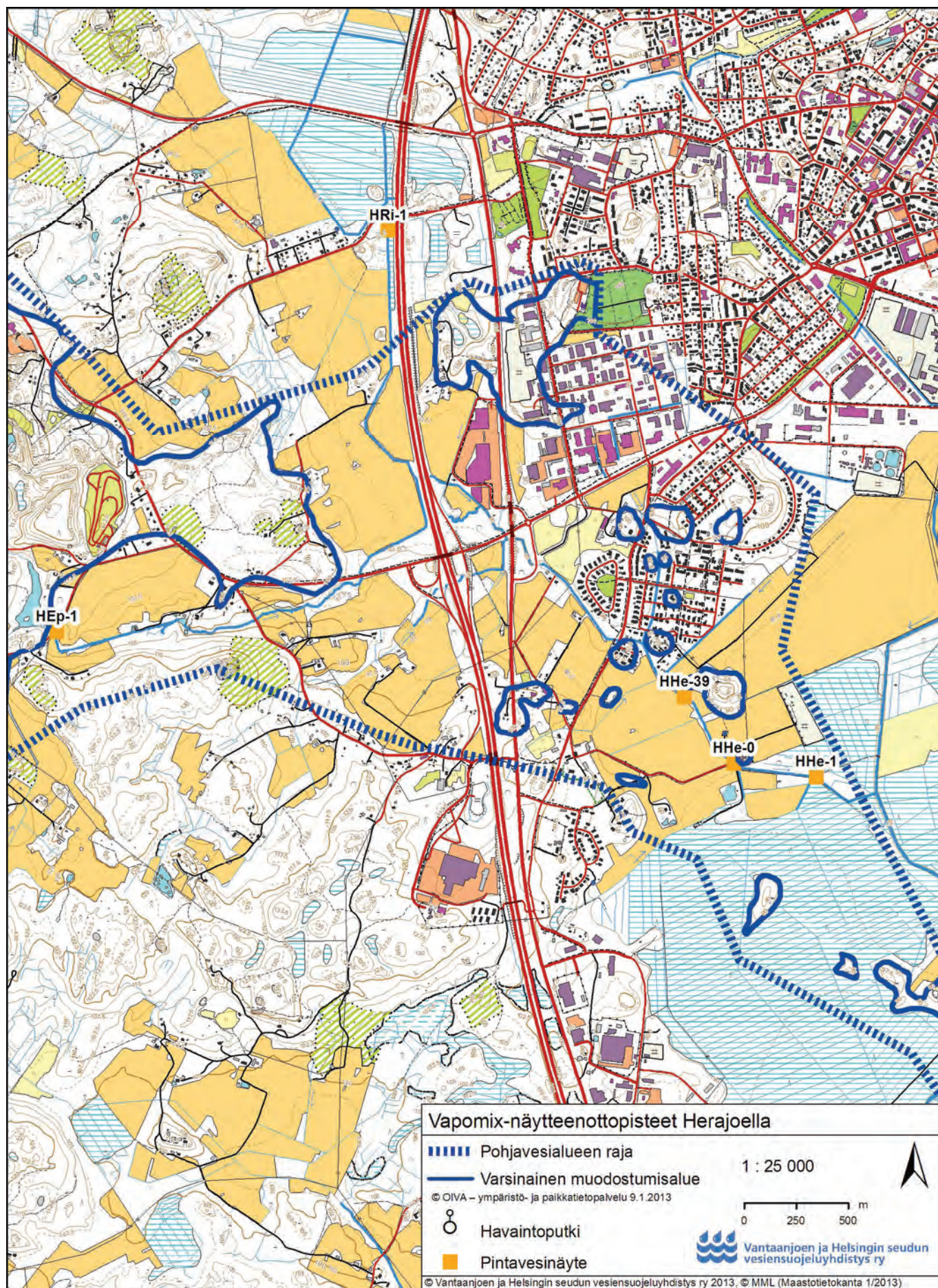
Liiteluettelo

Kartat kohdetutkimusalueista ja näytteenottopisteiden sijainnista

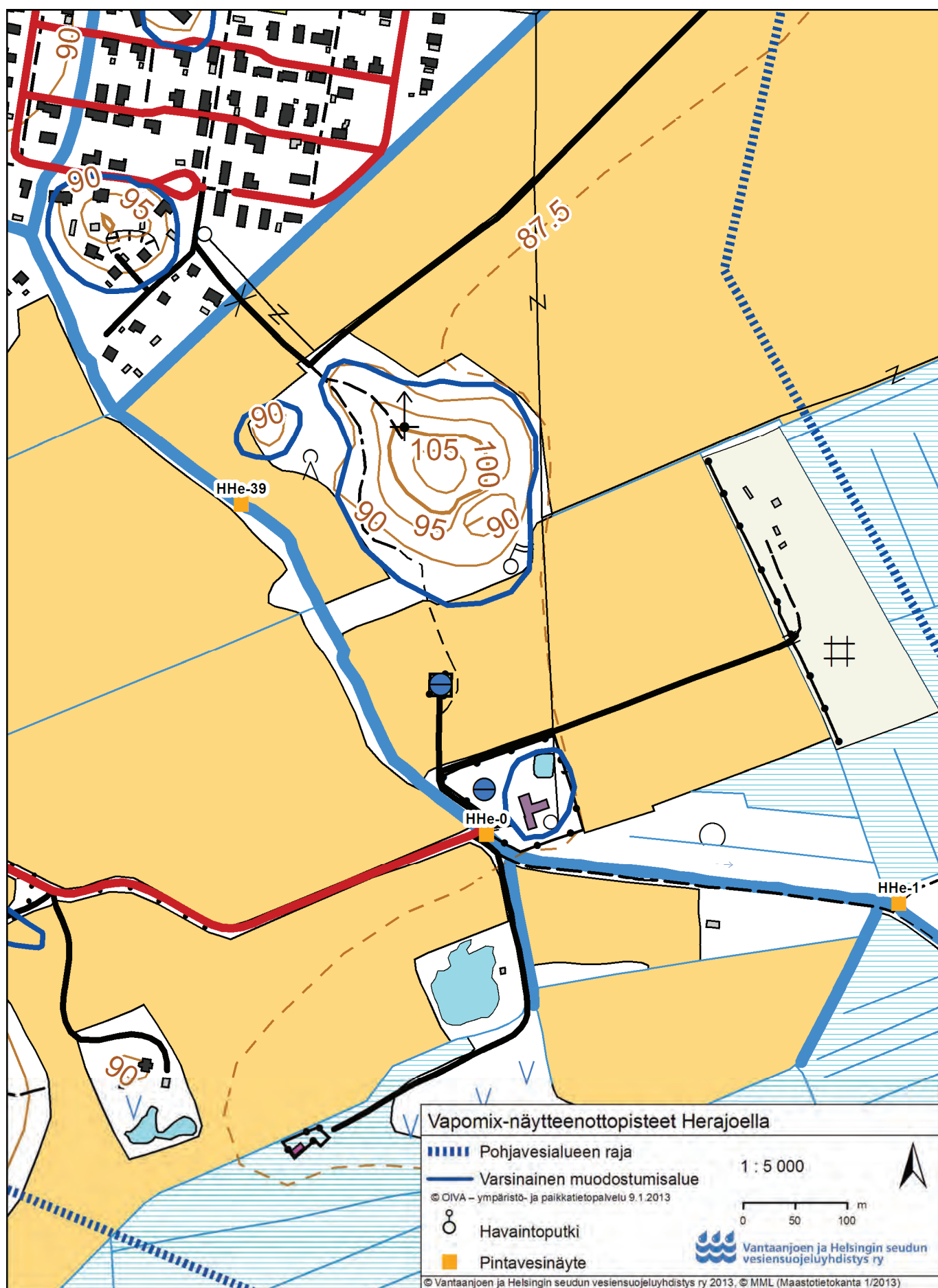
Liite 1.	Hyvinkäänkylän tutkimusalue Vantaanjoella 1:7 500
Liite 2.1.	Herajoen tutkimusalue 1:25 000
Liite 2.2.	Herajoen tutkimusalue 1:5 000
Liite 3.	Nukarin tutkimusalue Vantaanjoella 1:5 000
Liite 4.	Jäniksenlinnan tutkimusalue Palojoella 1:10 000
Liite 5.	Koskenmäen Hyrylän tutkimusalue Tuusulanjoella 1:5 000
Liite 6.	Valkealähteen tutkimusalue Keravanjoella 1:20 000
Liite 7.	Lepsämänjoen tutkimusalue 1:40 000

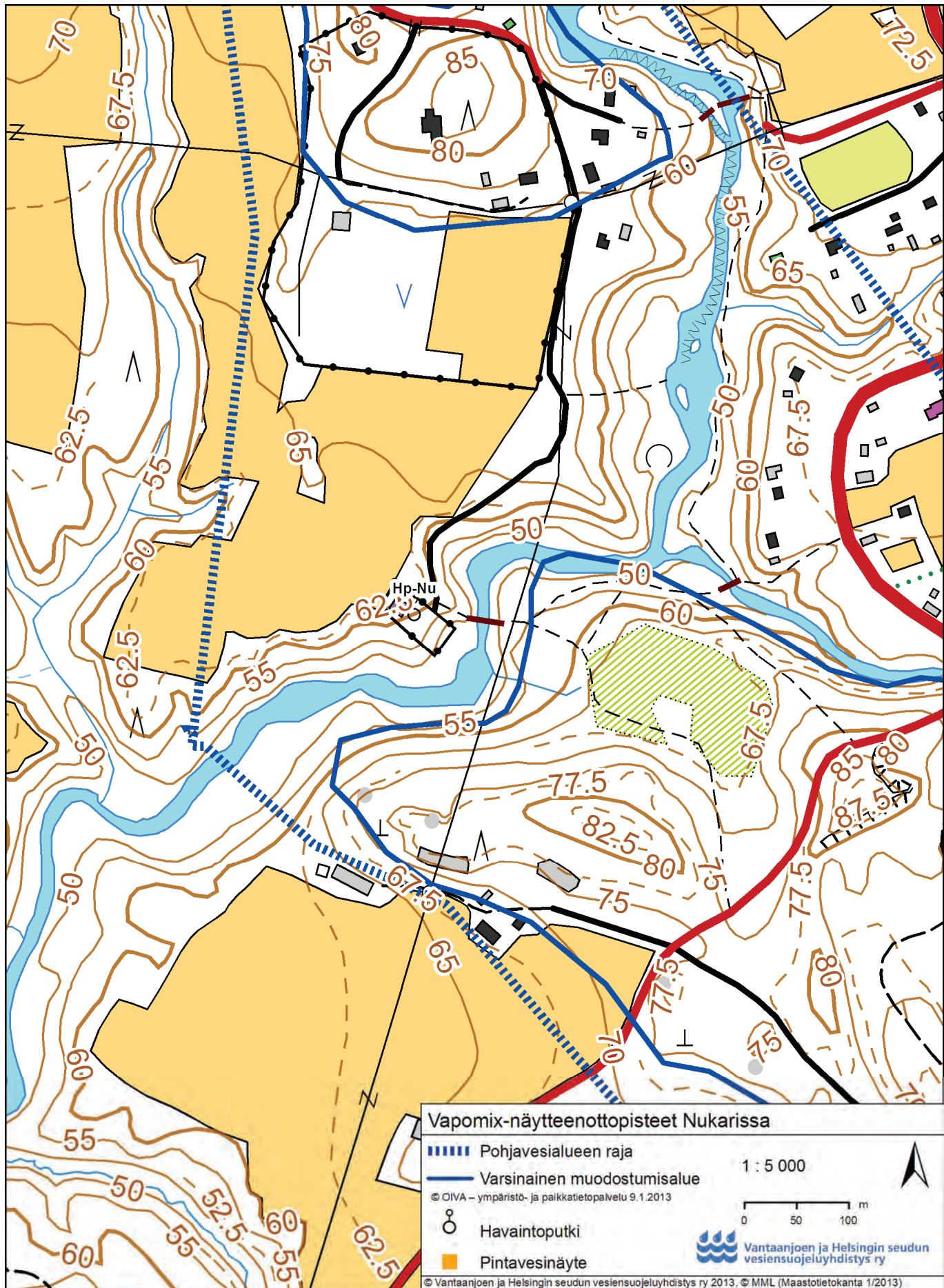
Hyvinkäänkylän tutkimusalue Vantaanjoella 1:7 500



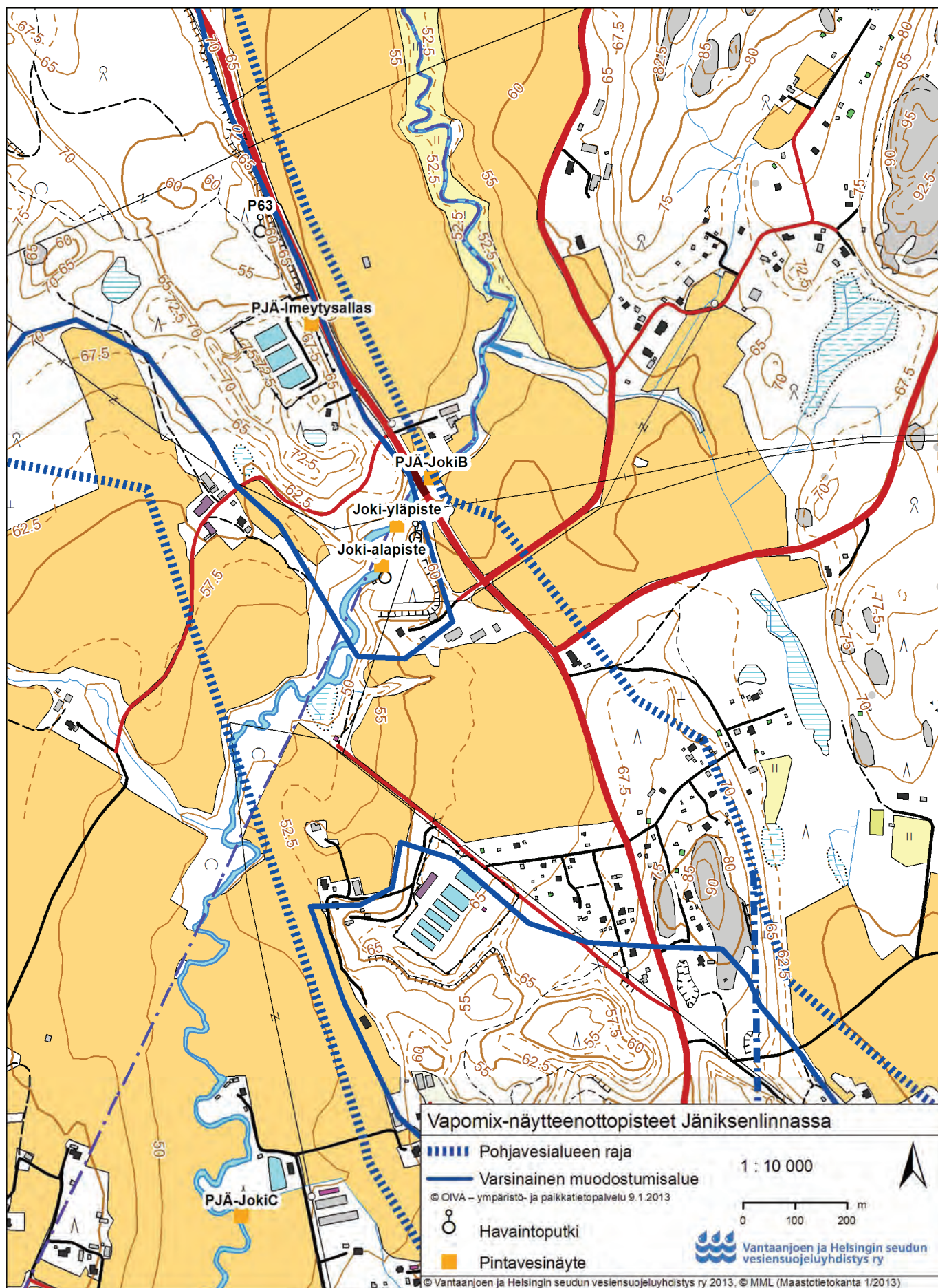


Herajoen tutkimusalue 1:5 000

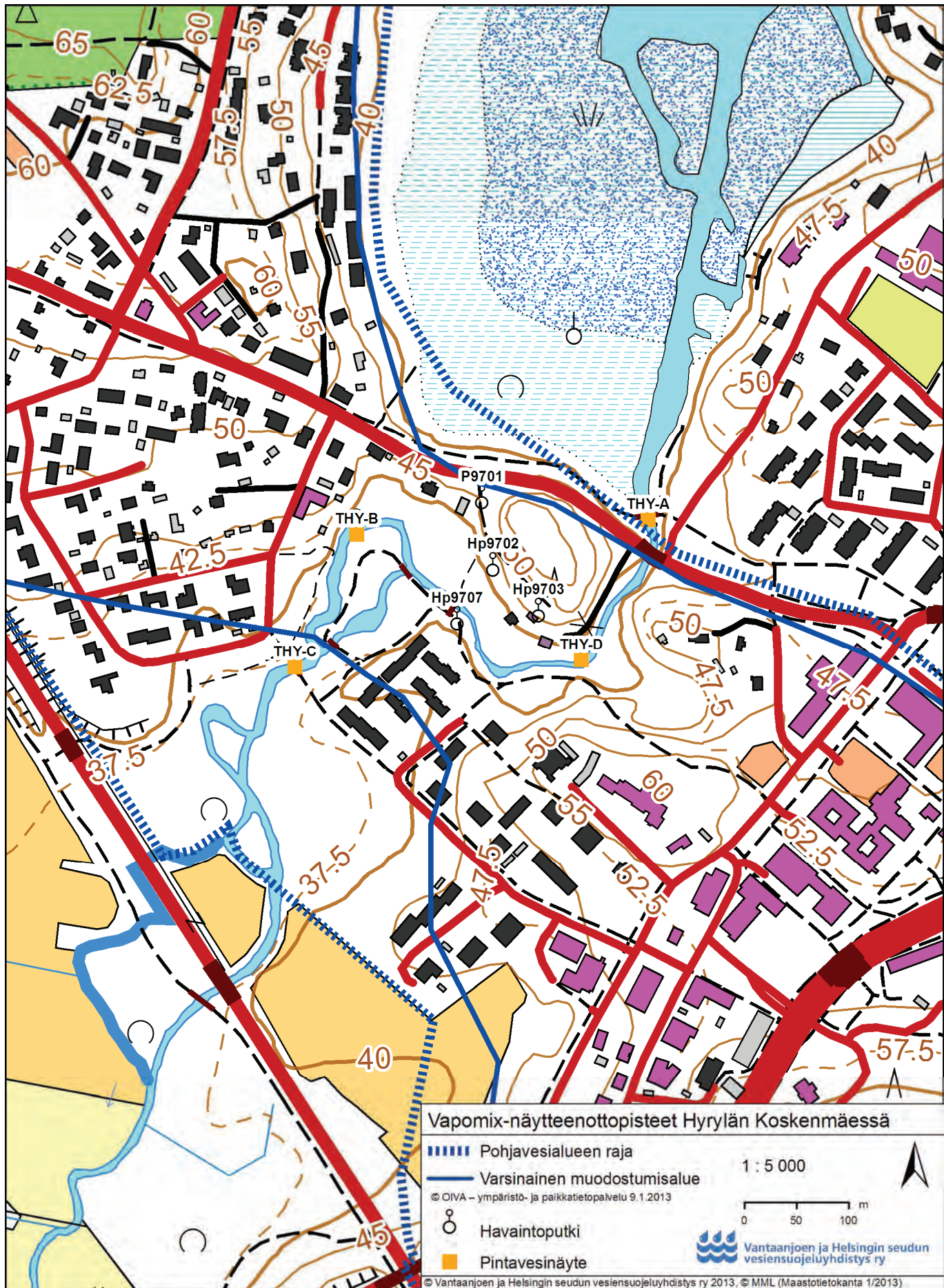




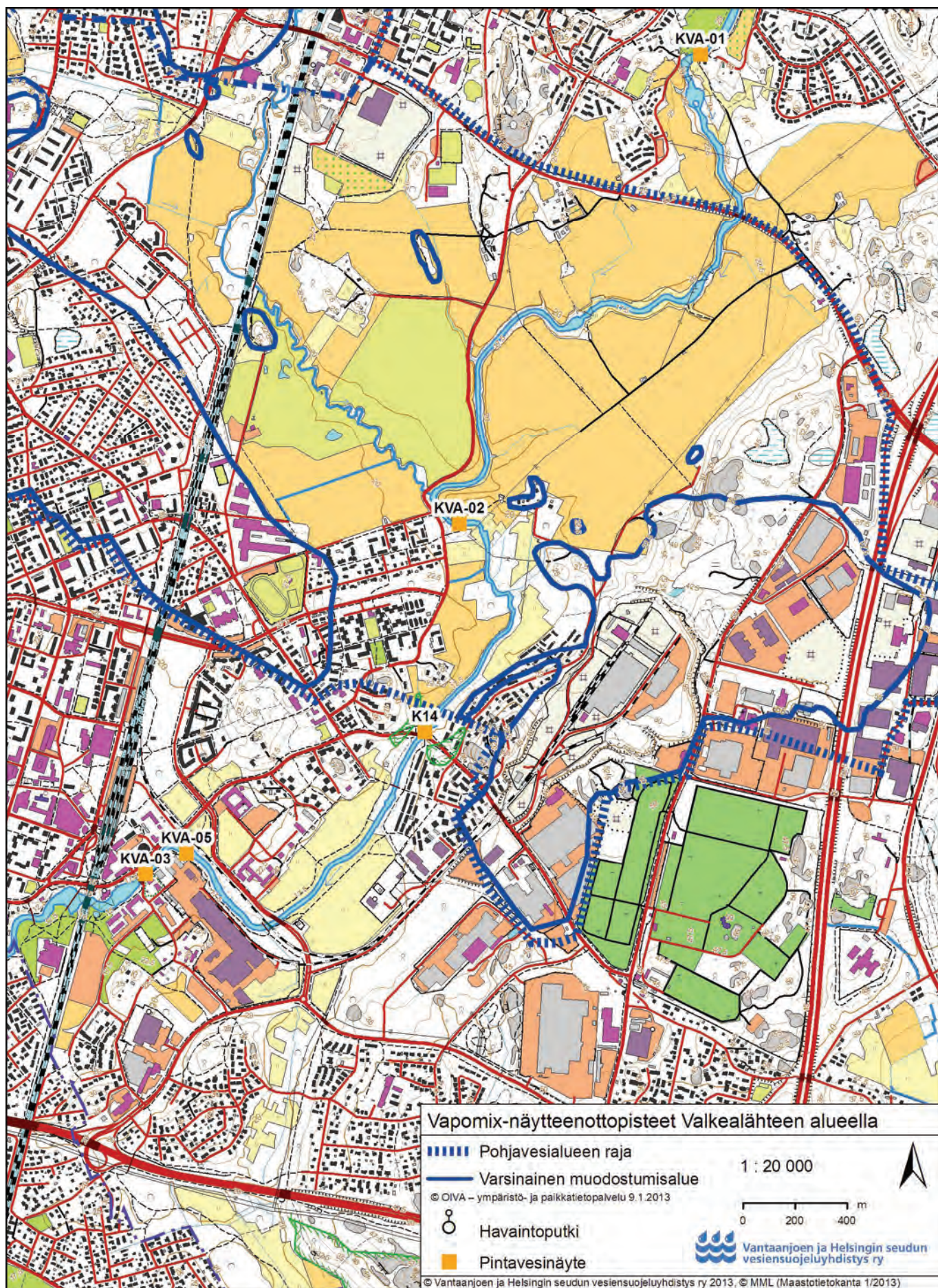
Jäniksenlinnan tutkimusalue Palojoella 1:10 000

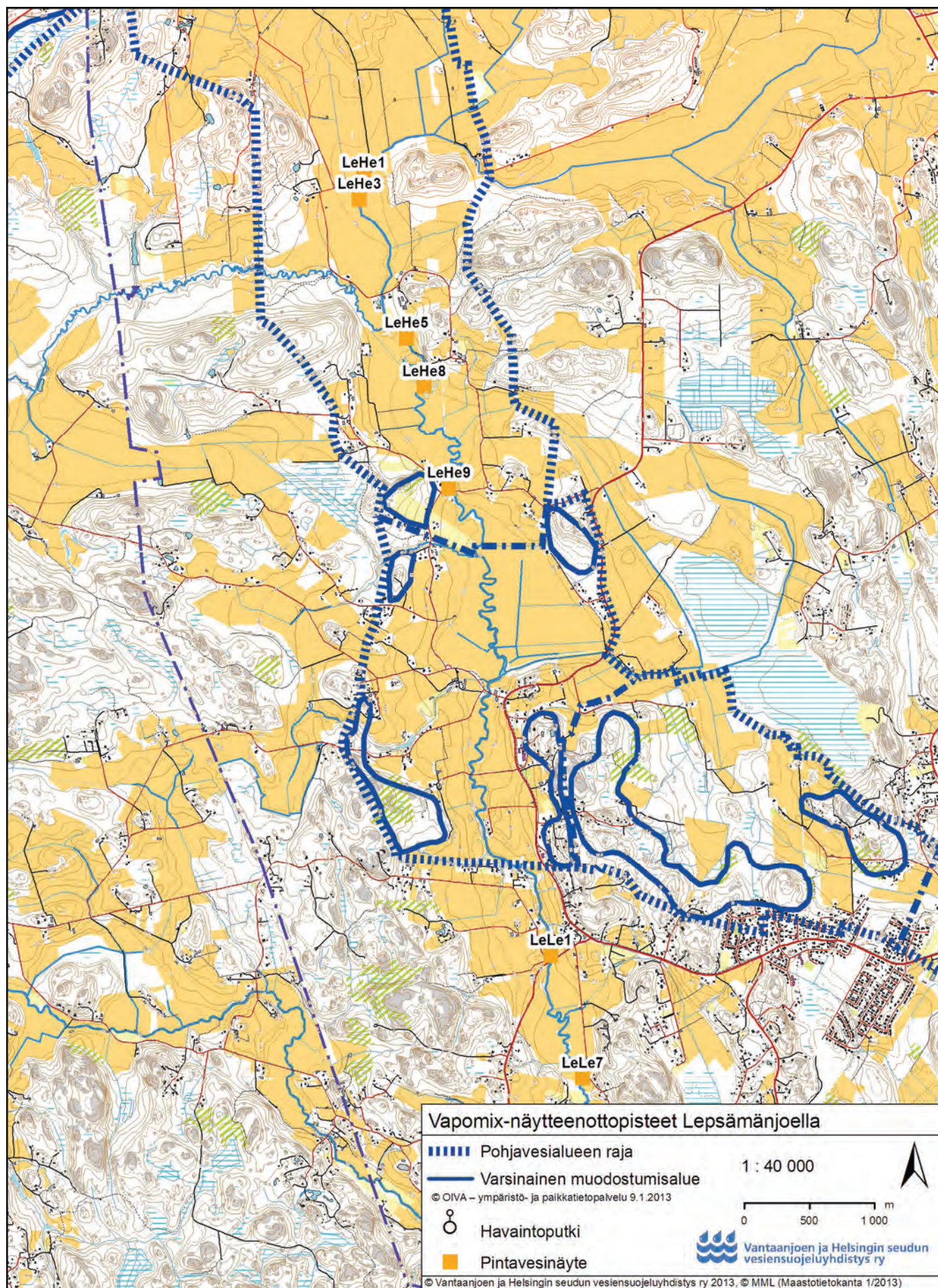


Koskenmäen Hyrylän tutkimusalue Tuusulanjoella 1:5 000



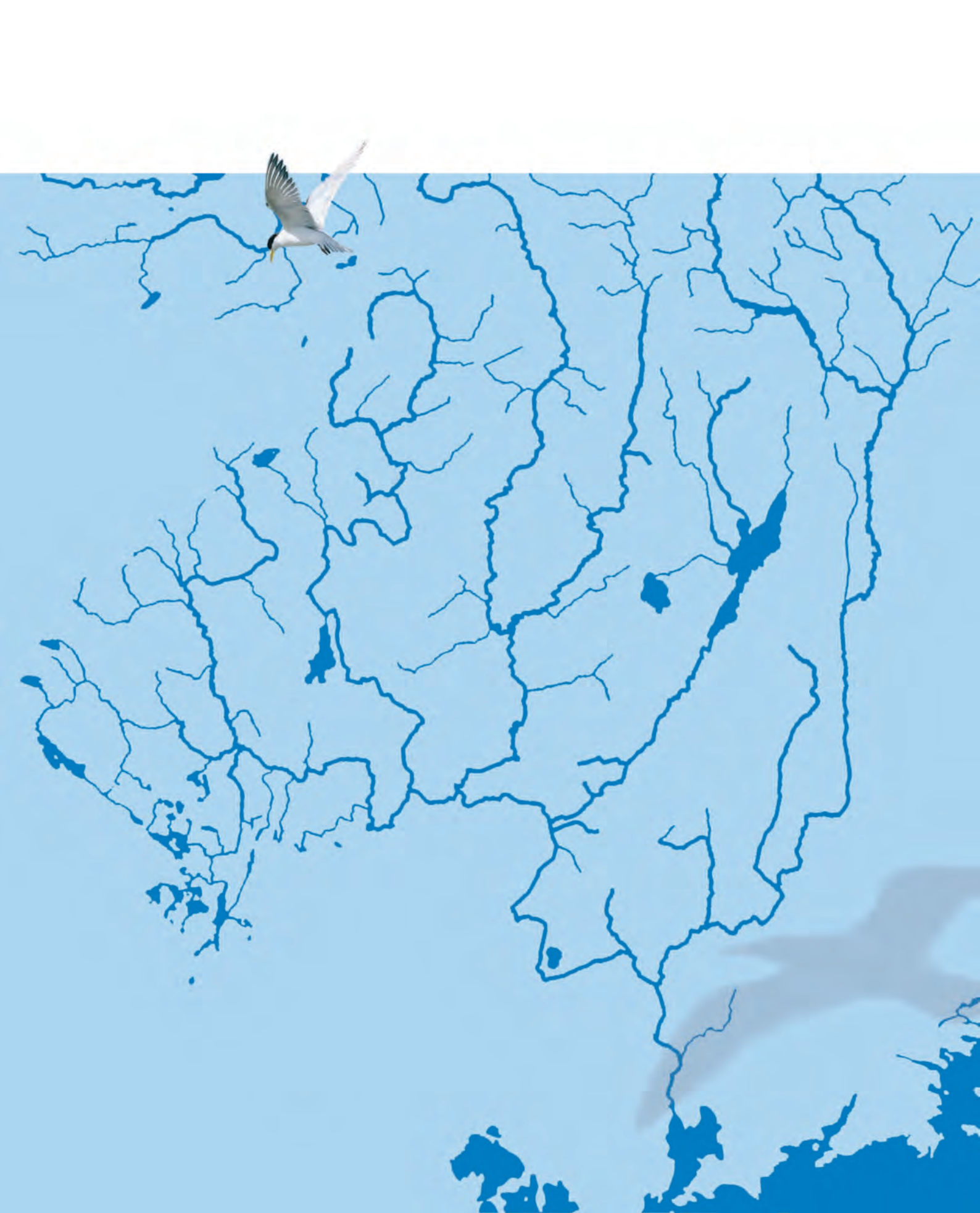
Valkealähteen tutkimusalue Keravanjoella 1:20 000





Kuvailulehti

	Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry Asemapäällikönkatu 12 B, 00520 Helsinki Puh. (09) 272 7270 Sähköposti: vhvsv@vesiensuojelu.fi www.vhvsv.fi		Julkaisuaika 05/2013	
Tekijä(t)	Anna-Liisa Kivimäki, Anne Rautio, Kirsti Korkka-Niemi, Mikko Brander, Maria Nygård, Heli Vahtera, Juha Karhu, Veli-Pekka Salonen, Mikko Kiirikki ja Kirsti Lahti			
Julkaisun nimi	Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n julkaisuja, Julkaisu 69/2013			
Tiivistelmä	Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry tutki vuosina 2010 – 2013 yhteistyössä Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitoksen kanssa pohjavesien ja jokivesien vuorovaikutuksia Vantaanjoella, Herajoella, Lepsämänjoella, Palojoella, Tuusulanjoella ja Keravanjoella. Tässä loppuraportissa on esitelty yksityiskohtaisesti käytetyt tutkimusmenetelmät, niiden toimintaperiaatteet ja arvioitu menetelmien soveltuvuutta pohjavesien ja jokivesien yhteyksien tutkimiseen sekä esitetty päätulokset tutkituilla jokiosuuksilla. Lämpökameralentokuvaukset osoittautuivat käyttökelpoiseksi menetelmäksi kartoittaa koko valuma-alueen laajuudessa jokiuomien varrella sijaitsevat pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutusalueet. Luotettavimmin pystyttiin tunnistamaan pistemäiset pohjaveden purkautumispaikat eli lähteet, lähteikköalueet ja kylmää vettä jokiuomaan purkavat ojat. Näitä tunnistettiin heinäkuussa 2010 ja 2011 kuvatuilla jokiosuuksilla yhteensä 185 kpl. Jokiuoman reuna-alueilla pohjavettä purkavien lähteiden vaikutus ilmeni sekä sedimentin että jokiveden alentuneina lämpötiloina rannan tuntumassa. Pohjaveden purkautuminen uomaan reunojen ja pohjan kautta heijastui selvemmin alentuneena lämpötilana koko vesikerroksessa poikki uoman. Kenttämittausten ja anturimittausten tulokset antoivat viitteitä, että syvemmissä uomissa jokiuomaan purkautuneen kylmän pohjaveden lämpötilakerrostuneisuus ja sekoittuminen voivat vaihdella nopeasti purkautumismäärien ja jokiveden virtausnopeuksien vaihdelllessa. Jokiveden virtaamamittauksilla selvitettiin pohjaveden purkautumisen / jokiveden rantaimeytymisen aiheuttamia määrällisiä muutoksia jokien virtaamisessa. Kohteissa, jossa jokiuoma kulkee poikki pitkittäisharjumuodostuman, alivirtaamakaudella kokonaisvirtaama kasvoi karkearakeisen harjun ydinosaan alueella jopa 15 %. Pohjaveden ja pintaveden osuuksia sekoittumisvyöhykkeissä pyrittiin selvittämään hapen ja vedyn isotooppikoostumusmäärityksillä, liuenneen silikaatin pitoisuuksien perusteella sekä pääionikoostumuksella. Jokiveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa havaittiin selvä vuodenaikoihin sidottu syklisyys ja eri vuodenaajoille tyypillinen isotooppikoostumus. Yleisesti hapen δ-arvojen minimi sijoittuivat loppukevääseen ja maksimit saavutettiin elo-syyskuussa. Pohjavesissä isotooppikoostumuksen vuodenaikaisvaihtelu oli vähäistä. Herajoella ja Lepsämänjoella jokivesinäytteiden liuenneen silikaattipitoisuuden keskiarvo oli selvästi suurempi (6,07 – 6,28 ppm) kuin muissa jokiuomissa (2,61 – 4,45 ppm). Korkeat silikaattipitoisuudet ilmensivät pohjaveden vallitsevaa osuutta jokiuomassa virtaavassa vedessä. Pääionipitoisuuksien perusteella jokivedet ja pohjavedet pystyttiin luokittelemaan erityyppisiin vesiin. Niiden perusteella ei kuitenkaan pystytty arvioimaan purkautuvan pohjaveden määriä jokiuomaan, vaan antamaan karkea arvio vuorovaikutuksen laadusta. Tulvariskialueilla sijaitsevilla pohjavedenottamoilla tehtiin vedenottokaivojen veden laadun anturimittauksia. Tunnin välein tehdyillä vedenottokaivon veden liuenneen orgaanisen hiilen, nitraattityppipitoisuuden ja sameuden mittauksilla saatiin jäljitettyä ylivirtaamakautena esiintyviä lyhytaikaisia, muutamasta tunnista pariin päivään kestäneitä veden laadun muutoksia. Perinteisellä tarkkailunäytteenotolla näitä nopeita veden laadun muutoksia ei pystytty havaitsemaan. Ne saattavat kuitenkin olla riski pohjavedenottamoiden veden laadulle.			
Asiasanat	Vantaanjoen valuma-alue, pohjavesimuodostumat, pohjaveden purkautuminen, pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutukset, veden laatu			
Julkaisun teema				
Projektihankkeen nimi ja projektinnumero	Vapomix-hanke			
Toimeksiantaja				
	Sivuja 133	Kieli Suomi		



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

www.vhvsy.fi
Asemapäällikönkatu 12 B, 00520 Helsinki
puh. (09) 272 7270