

Julkaisu 83/2020



## Maanläjitysalueiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin Vantaan- joen valuma-alueella

Joona Clergeaud



Vantaanjoen ja Helsingin seudun  
vesiensuojeluyhdistys ry



Julkaisu 83/2020

Maanlajitusalueiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin Vantaanjoen valuma-alueella

1.7.2020

Laatija: Joonas Clergeaud

Hyväksyjä: Anu Oksanen

Kannen valokuvat: Joonas Clergeaud

## Esipuhe

Maanlajitysalueet Vantaanjoen valuma-alueella ja niiden vaikutukset vesiin sekä haittoja ehkäisevät kalataloudelliset kunnostukset -hanke 2018 – 2021 keskittyy pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitys- ja käsittelyalueiden tarkasteluun. Näiden vaikutuksista vesiympäristön tilaan ei ole juurikaan aiempaa tietoa. Tavoitteena on selvittää erityyppisten pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitys- ja käsittelyalueiden vaikutuksia sijoitusalueiden pienvesien, virtavesien ja pohjavesien laatuun. Osana hanketta tutkitaan myös läjitystoiminnan vaikutuksia vaelluskalakannoille, ja pyritään löytämään ratkaisuja mahdollisten haittojen vähentämiseksi.

Aihe on vähäisestä aiemmasta tutkimuksesta huolimatta erittäin ajankohtainen; Vantaanjoen valuma-alueella on suuri tarve lähellä taajamia ja kasvukeskuksia sijaitseville pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitysalueille.

Hankkeen esiselvitysvaiheessa kävi selkeästi ilmi, ettei läjitystoiminnan laajuudesta ympäristöluvanvaraisten läjitysalueiden lisäksi – vaikutuksista puhumattakaan – ole millään taholla selkeää käsitystä. Hankkeessa kartoitettiin yhdistyksen toiminta-alueelta 73 läjitysalueetta. Vain osalla näistä toteutetaan pintaveden ja pohjaveden laadun velvoitetarkkailua, ja tarkkailujen analyysiohjelma on usein varsin suppea. Hankkeessa otettiin kolme kohdetta tarkasteluun. Tutkimuksen tulokset auttavat arvioimaan läjitysalueiden haitta-ainekuormituksia vesiympäristöön ja suunnittelemaan riskienhallintatoimenpiteitä kuormituksen rajoittamiseksi. Toiminnan vaikutusten tunteminen on tärkeää, jotta maanlajitystoiminta voidaan jatkossa ohjata sellaisille alueille, joilla vesiin ja kalastoon kohdistuvat haitat voidaan hallita.

Maanlajityshankkeen toteutuksesta vastaa Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Hanke saa rahoitusta ympäristöministeriön Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta. Muita rahoittajia ovat Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Maa- ja vesitekniikan tuki ry ja vesiensuojeluyhdistyksen jäsenistö. Kiitos kaikille rahoittajatahoille tutkimuksen mahdollistamisesta ja erityiskiitoksen ansaitsee FM Joonas Clergeaud ansiokkaasta Pro gradu -tutkielmasta ja hanketyöhön osallistumisesta.

Helsinki 29.6.2020



Anu Oksanen  
toiminnanjohtaja



Anna-Liisa Kivimäki  
pohjavesiasiantuntija

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry

*Tämä julkaisu on Helsingin yliopistossa tehty Pro gradu -tutkielma, joka julkaistaan myös yhdistyksen julkaisusarjassa. Ulkoasu on muokattu julkaisusarjan mukaiseksi, eli tutkielma poikkeaa siltä osin alkuperäisestä työstä.*

Julkaisu 83/2020

# Maanläjitysalueiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin Vantaan- joen valuma-alueella



Vantaanjoen ja Helsingin seudun  
vesiensuojeluyhdistys ry

Joona Clergeaud

<b>Julkaisun nimi</b>	Maanlajitysalueiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin Vantaanjoen valuma-alueella		
<b>Tekijät</b>	Joonna Clergeaud		
<b>Sarja</b>	Julkaisu 83/2020	ISSN 0357-6671 ISBN pdf 978-952-7019-15-3	90 sivua + 14 liitettä
<p>Pro gradu -tutkielma on osa Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n hanketta, jossa tutkitaan maanlajitystoiminnan tyypillisiä pinta- ja pohjavesivaikutuksia sekä havainnoidaan lohikalojen lisääntymisalueille tapahtuvia haittoja Vantaanjoen valuma-alueella. Maanlajitystoiminnan moninaisen luonteen vuoksi, toiminnan laajuudesta ja sen vaikutuksista ei ole olemassa luotettavaa tutkimuksiin perustuvaa tietoa. Tutkielmassa selvitettiin millaisia vaikutuksia pilaantumattomien ylijäämämaiden välivarastoinnilla ja läjityksellä on lähiympäristön pohja- ja pintaveden laatuun.</p> <p>Pilaantumattomien ylijäämämaiden osalta tutkimuksia tehtiin kolmessa eri kohteessa Vantaanjoen valuma-alueella. Tutkielma keskittyi valuma-alueella sijaitsevien ympäristöluvanvaraisien- ja muilla luvilla toimivien maanlajitysalueiden velvoitetarkkailutulosten kokoamiseen, tarkasteluun ja paikkatietoanalyysin kehittämiseen. Näiden kriteerien avulla voidaan arvioida läjitysalueiden vesille aiheuttamia riskejä. Tutkimukseen kuului lisäksi pohjaveden purkautumispaikkojen ja luonnonpurojen kartoitusta, vedenlaadun kenttämittauksia ja vesinäytteenottoa.</p> <p>Esiselvitysten perusteella odotettiin maanlajitysalueiden läheisyydessä olevissa pinta- ja pohjavesissä olevan tausta-arvoista kohonneita raskasmetalleja, talousveden laatuvaatimuksista poikkeavia pH-arvoja sekä sähköjohtavuuden muutoksia. Tulosten perusteella pilaantumattomilla ylijäämämailla on lieviä haitallisia vaikutuksia niin pinta- ja kuin pohjaveden laadullisiin tekijöihin. Pinta- ja pohjavesissä todettiin alueittain kohonneita pitoisuuksia ja arvoja muun muassa sulfaatilla, sähköjohtavuudella, liukoisessa muodossa raudalla, mangaanilla, uraanilla, rikkillä sekä sinkillä.</p> <p>Tutkielman tulokset auttavat arvioimaan läjitysalueiden haitta-ainekuormituksia vesiympäristöön ja suunnittelemaan riskienhallintatoimenpiteitä kuormituksen rajoittamiseksi. Suppeita analyysipaketteja tulisi laajentaa raskasmetallien osalta, sillä vähäinen analyysivalikoima ei edusta kaikkia kohteita. Tavoitteena on ohjata maanlajitystoiminta sellaisille alueille, joilla vesiin kohdistuvat haitat voidaan hallita.</p>			
<b>Asiasanat</b>	Maanlajitys, paikkatietoanalyysi, pintavesi, pohjavesi, valuma-alue, velvoitetarkkailu, välivarastointi		

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Maanlajitustoiminnan haasteet</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Geologinen tausta</b> .....	<b>10</b>
3.1	Vantaanjoen valuma-alueen maaperä ja maankäyttömuodot .....	13
3.2	Kallioperän kivilajikoostumuksesta johtuvat geokemialliset provinssit.....	16
3.3	Litorina-meren raja ja happamat sulfaattimaat .....	18
3.4	Luokitellut pohjavesialueet Vantaanjoen valuma-alueella .....	21
3.5	Vantaanjoen valuma-alueen virtavedet ja pohjavesien yhteydet niihin.....	22
<b>4</b>	<b>Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>24</b>
4.1	Ympäristöluvalliset läjitysalueet.....	25
4.2	Muut luvalliset läjitysalueet .....	31
4.3	Paikkatietoanalyysi kartoitetuille kohteille .....	32
4.4	Velvoitetarkkailu.....	35
4.5	Seuranta-alueet ja näytteenotto .....	36
4.5.1	Arolampi, Mustajoki.....	37
4.5.2	Nurmijärvi, Metsä-Tuomela .....	38
4.5.3	Vantaa, Solbacka-Kiila-Myllykylä.....	39
4.6	Vantaanjoen sadanta.....	39
4.7	Vertailu- ja tilastollinen tarkastelu .....	40
<b>5</b>	<b>Tulokset</b> .....	<b>41</b>
5.1	Paikkatietoanalyysi .....	41
5.2	Velvoitetarkkailu.....	45
5.3	Seuranta-alueet .....	49
5.3.1	Mustajoen multajaloste .....	50
5.3.2	Metsä-Tuomelan maankaatopaikka .....	51
5.3.3	Solbacka-Kiila-Myllykylä .....	52
<b>6</b>	<b>Tulosten tarkastelu</b> .....	<b>53</b>
6.1	Paikkatietoanalyysin tarkastelu.....	54
6.2	Velvoitetarkkailutulosten tarkastelu .....	54
6.3	Seuranta-alueiden tulosten tarkastelu.....	66
<b>7</b>	<b>Johtopäätökset</b> .....	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>Kiitokset</b> .....	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>Viiteluettelo</b> .....	<b>87</b>

Liitteet 1-14

# 1 Johdanto

Tässä pro gradu –tutkielmassa on selvitetty, millaisia vaikutuksia pilaantumattomien ylijäämämaiden läjityksellä ja välivarastoinnilla on lähiympäristön pohjaveden ja vesistövesien laatuun. Mitä kriittisiä veden laadun muutoksia tavataan maanlajityksen seurauksena ja miten arvioida tarvittavia riskienhallintatoimenpiteitä läjitysalueiden aiheuttaman kuormituksen rajoittamiseksi. Tulosten perusteella voidaan antaa suosituksia niistä pohja- ja pintavesien laatuparametreista, joihin läjitysalueiden vaikutustarkkailussa kannattaa keskittyä. Tutkielma on osa Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n (VHVSY) hanketta Maanlajitysalueet Vantaanjoen valuma-alueella ja niiden vaikutukset vesiin sekä haittoja ehkäisevät kalataloudelliset kunnostukset.

Maanlajitystoiminnan moninaisen luonteen vuoksi ylijäämämaiden käsittely- ja varastointitoiminnan laajuudesta ja niiden vaikutuksista ei ole luotettavaa tutkittua tietoa. Tielaitoksen (1999) tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että ylijäämämassojen läjitys samensi pohjavettä ja pohjaveden happipitoisuus laski. Pohjavesillä todettiin myös kohonneita pitoisuuksia alumiinilla mangaanilla, raudalla ja sulfaatilla. Samanlaisia tuloksia on esitetty jo aikaisemmin Hatvan ja muut (1993) tutkimuksessa, jossa maanlajitystoiminnan seurauksena soranottoalueilla pohjaveden sameus ja orgaanisen aineksen määrä kasvoi, pohjaveden liuenneen hapen osuus väheni, indikaattoribakteerien määrä kasvoi sekä nitraattipitoisuudet nousivat.

Tutkielmassa on tehty Vantaanjoen valuma-alueella kartoitettujen ylijäämämaita sisältävien läjitysalueiden velvoitetarkkailutulosten kokoamista, tarkastelua ja vertailua. Valuma-alueelle tuotettiin paikkatietoanalyysi pohjaveden purkautumispaikkojen ja luonnonpurojen kartoittamiseksi sekä läjitysalueiden vesille aiheuttamien riskien arvioimiseksi. Tutkimusta varten tehdyt kenttätyöt muodostuivat vesien laadun kenttämittauksista ja vesinäytteenotosta muutamalla seurantaan valitulla läjitysalueella sekä veden laadun analyysitulosten tarkastelusta. Kenttätutkimukset antoivat tietoa vedenlaadullisista tekijöistä ja ilmensivät, mitä haitta-aineita maanlajitystoiminnasta voi joutua vesiin. Tutkimuksessa koottiin myös suurempi pinta- ja pohjavesien laadullinen aineisto, joka kuvaa vesien tilaa maanlajitysalueilla.

## 2 Maanlajitystoiminnan haasteet

Ympäristöministeriön (2014) mukaan ylimääräistä maa-ainesta, joka vaatii sijoituskohteen, kutsutaan ylijäämämaaksi. Ylijäämämaiden maanlajitystoiminta on hyvin vaihtelevaa ja uusia pilaantumattomia ylijäämämaita syntyy, kun kaivetaan maa-ainesta pois tai kun kallioperää louhitaan sekä murskataan. Kaivettua maa-ainesta, joka on luonnontilaista, tai ei sisällä haitallisia

aineita, kutsutaan pilaantumattomaksi maa-ainekseksi. Siitä ei tulisi aiheutua ympäristön pilaantumista tai vaaraa sen käyttö- tai sijoituspaikassa. Maa-aines, jonka haitta-ainepitoisuudet alittavat valtioneuvoston asetuksen 214/2007 kynnyksarvot, voidaan luokitella pilaantumattomaksi. Rakentamisen yhteydessä kaivettu pilaantumaton maa-aines, jolle voidaan osoittaa suunnitelmallinen ja varma käyttökohde ilman merkittäviä muutoksia, ei pääsääntöisesti ole jätettä. Näin ollen hyödyntämiseen ei liity myöskään ympäristönsuojelulain mukaisia hyväksymiskäytäntöjä. Kivimäki ja muut (2019) esiselvityksessä havaittiin, että pilaantumattomuuden ohella kaivettujen maa-ainesten jäteluokittelussa on useita muita kriteereitä, kuten jatkokäytön varmuus, suunnitelmallisuus ja jatkokäsittelytarve. Tämä voi aiheuttaa epäselvyyttä jätelain säännösten tulkinnassa ja soveltamisessa. Suomisen (2015) mukaan kaivumaa määritellään jätteeksi, kun se on sijoitettu maankaatopaikalle tai sille ei ole osoitettu hyötykäyttökohdetta. Ongelmana on, että kaivumaita ei seurata, tilastoida tai valvota järjestelmällisesti. Tutkielman aikana kerättyjen haastattelujen mukaan osa kunnista ottaa vastaan vain oman kunnan sisällä muodostuneita ylijäämaita, eikä kaikkien läjitettävien maiden alkuperää tiedetä. Ympäristöluvallisilla toimijoilla on yleensä arvio läjitettävien maiden laadusta ja määrästä, mutta muilla luvilla tehtävässä läjityksessä on havaittu puutteita.

Ympäristöministeriön (2014) mukaan ylijäämämaiden maanlajitystä on kahdenlaista: loppusijoittamista ja välivarastointia. Loppusijoittaminen tarkoittaa maa-aineksen lopullista sijoittamista maankaatopaikalle, joka maisemoidaan toiminnan päätyttyä. Välivarastoinnissa maa-ainesta varastoidaan väliaikaisesti maanlajitysalueella, josta se siirretään lopulliseen sijoituspaikkaan tai hyödynnetään maantäytössä.

Toiminnan tavat, kokoluokat ja läjitettävät materiaalit vaihtelevat laajasti Vantaanjoen valuma-alueella. Vantaanjoen valuma-alueella, pääkaupunkiseudun ja sitä ympäröivien kuntien lukuisat rakennustyömaat vaativat ja tuottavat vuosittain suuria määriä pilaantumattomia maa-aineksia. Vantaanjoen valuma-alueen keskeisen sijainnin takia alueella on suuri tarve pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitysalueille. Maanlajitystoiminta on lähtökohtaisesti keskittynyt taajamien ulkopuolelle, mutta joissakin tapauksissa pienimuotoisia maanlajitysalueita on taajamien sisälläkin. Suuren kokoluokan toiminta asettaa monia eri rajoitteita maanlajitykselle, kuten toimintaan vaadittavia lupia. Läjitettävät ainekset vaihtelevat hyvin hienon fraktion omaavista aineksista aina suuriin lohkarisiin saakka. Puhuttaessa pilaantumattomista ylijäämämaista läjitettävät maa-ainekset ovat usein hiekkaa, hietaa, hiesua, multaa, savea, soraa, sepeliä, louhetta ja lohkarkeitä. Mittavien rakennushankkeiden yhteydessä muodostuu ylijäämäkaita, joista osa on hyödyntämiskelpoisia, mutta muun muassa savipitoiset maat joudutaan yleensä loppusijoittamaan luvanvaraisille maankaatopaikoille. Maanlajitystoiminnassa hyödynnetään raskasta kalustoa: kauhakuormaajia ja puskutraktoreita. Maa-aineksen murskauksessa hyödynnetään murskaimia ja seurlontakoneita ja kuljetus hoidetaan kuorma-autoilla. Koneiden käyttö voi jo itsessään muodostaa uhkan ympäristölle niiden käyttämien polttoaineiden takia. Ympäristölupaa edellyttäviä ylijäämämaiden käsittelytoimia ovat muun muassa yli vuoden kestävä varastointi, maankaatopaikka, maa-ainespankki ja pilaantuneen maa-aineksen käsittely (Ympäristöministeriö 2014). Pienimuotoista ja/tai tilapäistä maanlajitystä voidaan kuitenkin tehdä myös esimerkiksi maisematyö- tai toimenpideluvalla (Kivimäki ja muut 2019).

Tielaitos (1999) on Vantaan Ruskeasannan alueella tehtyjen tutkimusten perusteella havainnut, että alueella tehdyt ylijäämämassojen läjitykset avolammikoihin 1980-luvun lopussa ja 1990-lu-



vun alussa vaikuttivat pohjaveden laatuun. Alueen pohjaveden huomattiin samentuneen ja happipitoisuuden alentuneen ja pohjaveden alumiini-, mangaani-, rauta- ja sulfaattipitoisuudet kohosivat. Hatvan ja muiden (1993) mukaan maanläjitystoiminnan seurauksena soranottoalueilla pohjaveden sameus ja orgaanisen aineksen määrä kasvoi, pohjaveden liunneen hapen osuus väheni, indikaattoribakteerien määrä kasvoi ja nitraattipitoisuudet nousivat.

Läjitettävien ylijäämämaiden haitta-ainepitoisuuksia ja koostumusta ei tutkita järjestelmällisesti (Kivimäki ja muut 2019). Rintala (2014) on todennut, että läjitettävä maa-aines olisi pilaantumaton, on kuitenkin mahdollista, että siitä voi liueta läjitysalueen taustapitoisuuksista poikkeavia alkuaineita ja yhdisteitä. Muualta tuodusta aineksesta voi uuttua muun muassa alumiinia, arseenia, kloridia, orgaanisia yhdisteitä, raskasmetalleja, rautaa, sulfaattia ja typpiyhdisteitä. Raskasmetalleja esiintyy merkittävästi enemmän hienoainesvaltaisissa maalajeissa kuin karkearakeisissa ja vähän orgaanista ainesta sisältävissä maalajeissa. Maaperässä luontaisesti esiintyvät metallit rikastuvat savifraktioon. Myös ihmistoiminnasta peräisin olevat epäorgaaniset ja orgaaniset haitta-aineet sitoutuvat tehokkaasti savimineraleihin. (Heikkinen 2000.) Muualta läjitysalueelle tuodut tutkimattomat hienoainespitoiset maa-ainekset saattavat siten sisältää läjitysalueen taustapitoisuutta korkeampia pitoisuuksia muun muassa haitta-aineita tai metalli-ioneja, jotka voivat esimerkiksi pH:n muuttuessa huuhtoutua ja kulkeutua pinta- ja pohjavesiin (Kivimäki ja muut 2019).

Ympäristöministeriöllä ja Suomen ympäristökeskuksella on valmistelussa yhteishanke koskien rakentamisessa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämistä (niin sanottu MASA-asetus). MASA-asetusluonnoksessa ehdotetaan maa-ainesjätteen ympäristönsuojeluväimäyksistä, joiden täytyessä rakentamisessa ja muussa vastaavassa toiminnassa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämiseen ja siihen kuuluvaan jätteen välivarastointiin ei tarvittaisi ympäristölupaa. Toimintaa voitaisiin harjoittaa valtion valvontaviranomaiselle tehtävän rekisteröinti-ilmoituksen perusteella. (Ympäristöministeriö 2018a, 2018b ja Kivimäki ja muut 2019.)

Kunnilla ja kaupungeilla on jatkuva tarve työmailta kertyvien ylijäämämaiden loppusijoituspaikoille (HS 2016). MASA (2016) taustaselvityksen mukaan valtaosalle kaivumassoista ei pystytä osoittamaan niiden noston yhteydessä hyödyntämiskohdetta ja vaihtoehdoksi jää silloin massojen välivarastointi myöhempää hyödyntämistä varten tai loppusijoitus maa-ainesjätteeksi. Näitä loppusijoitukseen joutuvia maita kutsutaan usein ylijäämämaiksi. Logistisesti toimiva ratkaisu on perustaa pilaantumattomien ylijäämämaiden maankaatopaikka jätteenkäsittelyalueiden yhteyteen. Samalle alueelle haetaan usein lupaa myös asfaltti-, tiili- ja betonijätteen varastointiin ja käsittelyyn. Laajamittakaavaisissa läjitysalueissa tyypillinen toimintamalli on, että ensin louhitaan kalliion kiviaines hyödynnettäväksi, ja louhinnan päätyttyä aluetta käytetään ylijäämämaiden loppusijoituspaikkana. Mahdollisten melu- ja pölyhaittojen sekä lisääntyvän raskaan liikenteen vuoksi ympäröivien alueiden asukkaat usein vastustavat näitä hankkeita. Rakentamisesta syntyvien jätteiden määriä tilastoi Suomessa Tilastokeskus ja monet kunnat seuraavat omien rakennustoimintojensa massataseita. Selvitysten ja tilastojen mukaan rakennustoiminnasta muodostuu vuodessa 20-30 miljoonaa tonnia maa-ainesjätteeksi kuuluvia ylijäämäkaita. Suominen (2015) mukaan vuoden 2010 pääkaupunkiseudun maa-aineshuoltoarvion mukaan rakentamisen osalta tarvitaan vuosittain noin 17 miljoonaa tonnia maa-aineksia. Rakentamiseen tarvittavat maamassat muodostuvat noin 50 % rakentamisen yhteydessä ja loput noin seitsemän miljoonaa tonnia tuodaan neitseellisiltä maanotto- ja kaivopaikoilta. Vastavuoroisesti maan vastaanotto- ja kaivopaikoille viedään noin kolme miljoonaa tonnia maa-aineksia vuosittain.

SITO (2013) kehittämisohjelman mukaan ylijäämämaiden loppusijoittamisessa on ollut haasteita Helsingissä, koska Helsingin kaupungilla ei ole omaa maankaatopaikkaa. Asian ratkaisemiseksi Helsingin kaupunki perusti massakoordinaattorin toimen ja maa-aineksia koordinoivan työryhmän. Vuonna 2014 käynnistettiin Helsingin kaivumaiden hyödyntämisen kehittämisohjelma 2014–2017. Kehittämisohjelman tavoitteena oli, että Helsingin kaupungin työmailla ei muodostuisi ylijäämämaita, vaan kaikelle kaivettavalle ja louhittavalle ainekselle löytyisi hyötykäyttökohde. Huhtinen ja muut (2018) ja Kivimäki ja muut (2019) mukaan merkittäviä kaivumaiden esikäsittely- ja välivarastointialueita on ollut Helsingin kaupungilla käytössä kahdeksan kappaletta muun muassa Hernesaassa, Jätkäsaassa, Kivikossa ja Kruunuvuorenrannassa. Suurien rakentamishankkeiden yhteydessä massojen esikäsittely ja välivarastointi tapahtuvat rakennettavalla alueella. Isoissa hankkeissa, joissa liikkuvat massamäärät ovat suuria, pyritään jalostukselle ja välivarastoinnille varaamaan alueita, joille haetaan ympäristölupa ennen rakentamisen aloitusta. Aluerakentamishankkeiden läjitysalueita Helsingissä ei ole niiden erityisluonteen sekä kaivettavien ja käsiteltävien jätteiden moninaisuuden vuoksi käsitelty tässä tutkielmassa tarkemmin.

Kinnusen ja muiden (2006) POSKI-raportin (pohjavesien suojelu ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen) mukaan, Uudenmaan ympäristökeskuksen alueella yli 90 prosenttia loppusijoitettavasta mineraaliperäisestä materiaalista on lievästi pilaantuneita maita tai ylijäämämaita. Näistä maankaatopaikoille sijoitettiin 2000-luvun alussa 70 prosenttia ja yhdyskuntajätteen kaatopaikoille 30 prosenttia. Alkuperäinen maaperä pääkaupunkiseudulla on vähenemässä etupäässä rakentamisen ja siihen tarvittavien maa-ainesten oton sekä puhtaiden ja pilaantuneiden ylijäämämaiden loppusijoittamisen seurauksena (Vaara 2011).

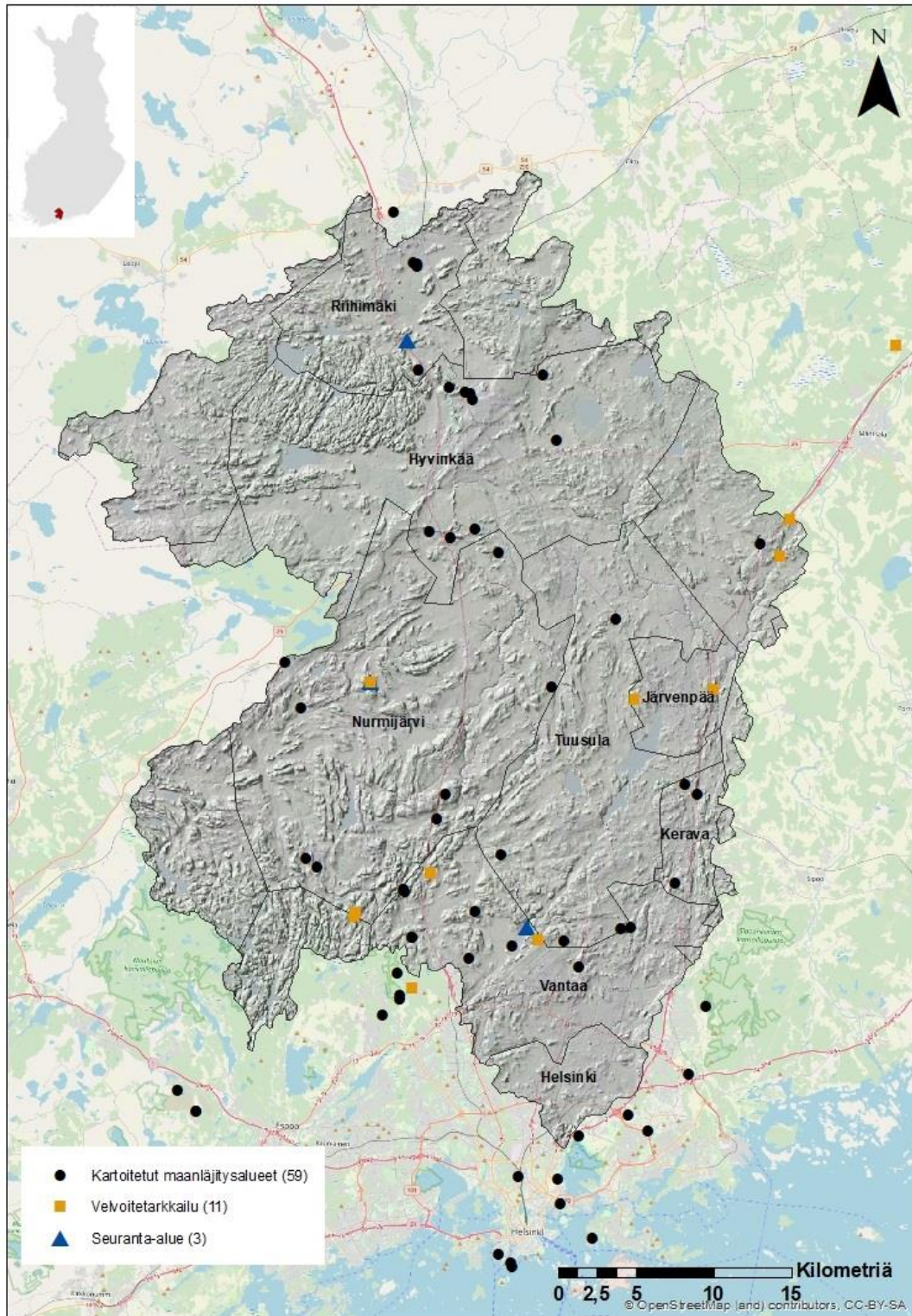
### 3 Geologinen tausta

Tikkasen (1992) mukaan Vantaanjoen vesistön valuma-alue kattaa 1680 km<sup>2</sup> kokoisen alueen ulottuen rannikolta Toisen Salpausselän vyöhykkeeseen asti. Ihmisen jälkeen Vantaanjoen valuma-alueen voimakkain maanpinnan muovaaja on virtaava vesi. Vesi kuluttaa ja kuljettaa maaperästä liuottamiaan, irrottamiaan tai veteen suoraan joutuneita aineita jatkuvasti kohti valuma-alueiden alajuoksua. Sadannan ja haihdunnan ohella valuma-alueiden muut ominaisuudet, kuten maaperän pinnanmuodot, pinta-ala, järvien määrä, koostumus, kasvillisuus sekä maankäyttö, vaikuttavat paitsi veden määrällisiin ja laadullisiin tekijöihin, myös veden virtaamaan ja sen myötä veden suorittamaan työhön.

Tikkanen (1992) on todennut, että Vantaanjoen valuma-alue laskee loivasti Suomenlahteen halkoen tiheästi asuttua rannikkovyöhykettä Etelä-Hämeessä ja Keski-Uudellamaalla. Vantaanjoen valuma-alue rajoittuu pohjoisessa Kokemäen jokeen, lännessä Espoonjokeen, Mankinjokeen ja Karjaanjoken sekä idässä Mustijoen ja Sipoonjoen valuma-alueisiin. Lännessä Vantaanjoen ja Karjaanjoen välisellä vedenjakaja-alueella sijaitsee suuri ja laskujoeton Säöksjärvi, jonka pohjavesi purkautuu molempiin vesistöihin. Vantaanjoen valuma-alue ulottuu 14 kunnan alueelle ja

sen vaikutuspiirissä olevissa kunnissa asuu yli miljoona ihmistä (Kuva 1) (Vahtera ja Männynsalo 2011). Vesistö laskee maan pinnan mukana Suomenlahtea kohti keskimäärin 1,7 m/km (Tikkanen 1992). Korkeimmat kohdat sijaitsevat vedenjakajaseuduilla valuma-alueen pohjois- ja luoteisosissa, jossa maanpinnan korkeus on noin + 100 m mpy (Suomalainen ja muut 2015.) Tikkanen (1991) mukaan valtaosa alueesta on mäkistä maastoa, jossa korkeuserot vaihtelevat 20 – 50 metrin välillä. Tasaisimmillaan maasto on valuma-alueen keski- ja itäosissa, missä savikerrostumien paksuudet ovat jopa kymmenien metrejä. Korkeusvaihtelua tasaisille savilakeuksille tuovat jopa yli 20 metriä syvät jokilaaksot. Uudenmaanliiton (1997) mukaan valuma-alue on vähäjärvinen ja pääasiassa järvet ovat pieniä sekä matalia. Valuma-alueen suurin järvi on Tuusulanjärvi (6,0 km<sup>2</sup>) ja muut suuret järvet sijaitsevat latvaosissa. Länsiosien kallioylängöillä on pieniä kirkasvetisiä ja niukkaravinteisia järviä. Savilakeuksilla sijaitsevat rehevät ja sameavetiset järvet. Virkistyskäyttösyistä alueen järvien vesitilannetta säännöstellään (Uudenmaan ELY-keskus 2010).

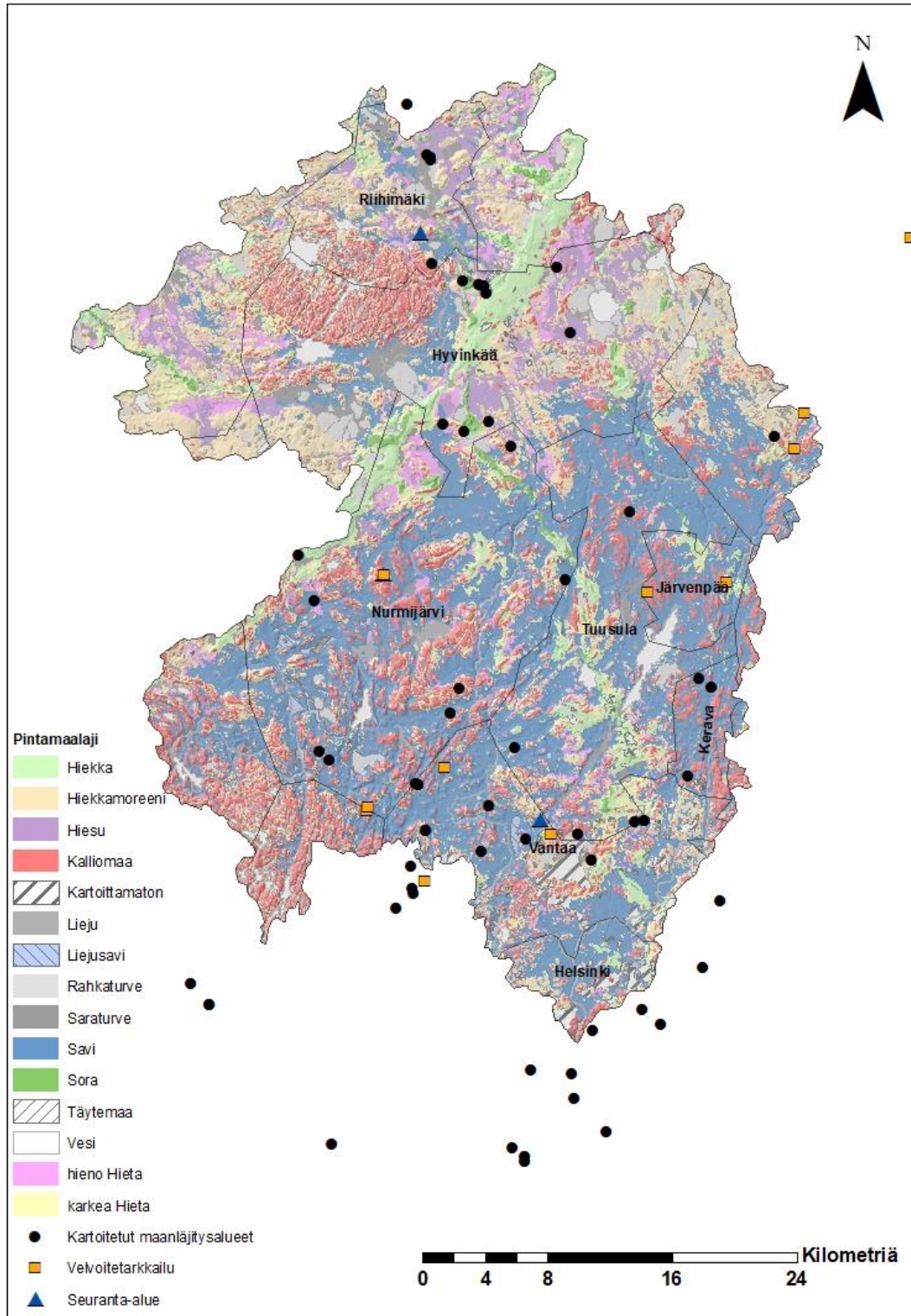
Kartoitetut maanlajitusalueet sijaitsevat tasaisesti eri puolilla valuma-aluetta, joskin velvoite-tarkkailuaineistoa ei ole saatu kerättyä valuma-alueen pohjoisosista. Valuma-alueen ulkopuolelle kartoitetut kohteet Espoossa ja Helsingissä ovat suuria alueita, joilla tapahtuu muun muassa loppusijoittamista, välivarastointia, käsittelyä ja lajittelua. Niiden moninaisen luonteen vuoksi alueet ovat jätetty tarkastelun ulkopuolelle.



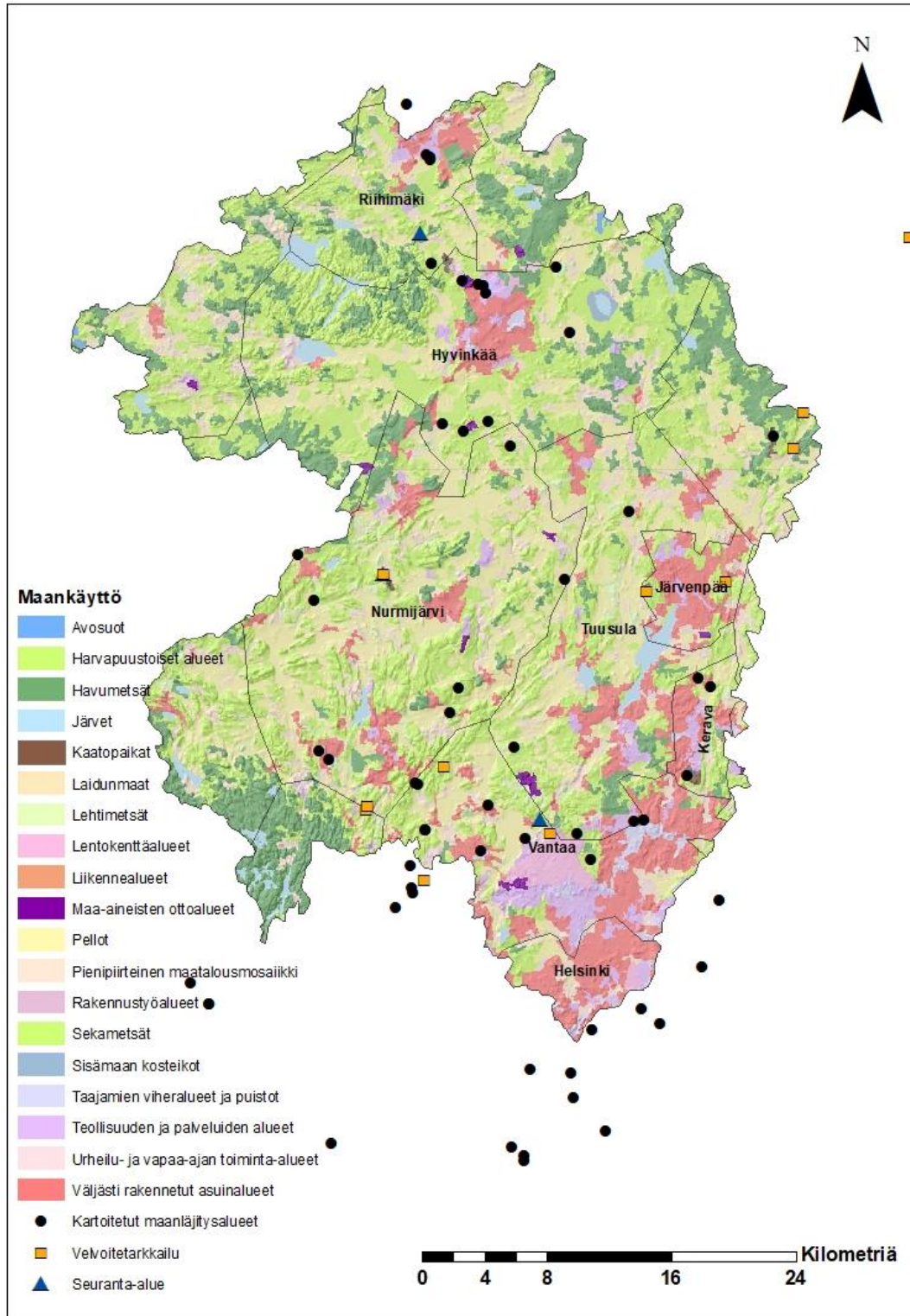
Kuva 1. Harmaalla on rajattu Vantaanjoen valuma-alue, johon on merkitty kartoitetut maanlajitysalueet. Osa kartoitetuista maanlajitysalueista on yhdistetty yhdeksi kohteeksi, mikäli toimijalla on käytössään useampia vierekkäisiä kiinteistöjä. Velvoitetarkkailutuloksia on myös kahdesta kohteesta valuma-alueen ulkopuolelta. Vantaanjoen valuma-alue on merkitty punaisella Suomen karttaan. Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-alue data: Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostus data: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos.

### 3.1 Vantaanjoen valuma-alueen maaperä ja maankäyttömuodot

Uudenmaan liitto (1997) mukaan Vantaanjoen valuma-alueen pinta-alasta 7 % on kallioalueita. Merkittävin osa pinta-alasta 39 %, on savi- ja silttikerrosten peittämiä (Kuva 2). 25 % pinta-alasta muodostuu moreenista ja sen erilaisista muodostumista, kuten drumliineista, kumpu- ja reuna-moreeneista. Jäätikköjokien sulamisvesien lajittelemat ja kerrostamat hiekka- ja soramuodostumat peittävät 20 % valuma-alueen pinta-alasta. Loput pinta-alasta on turvetta. Maankäytön ja rakentamisen muutokset ovat kasvattaneet valuma-alueen jokivesistöjen tulvaherkkyttä, sillä veden pintavalunta vesistöihin tapahtuu nopeammin rakennetuilta ja ojitetuilta alueilta kuin luonnontilaisilta alueilta (Kuva 3) (Uudenmaan ELY-keskus 2010 ja Kivimäki ja muut 2013). Tämä voi johtaa lyhytkestoisiin ja suuriin virtaamahuippuihin.



Kuva 2. Maaperäkartta Vantaanjoen valuma-alueelta. Kuvasta huomataan, että pintamaalajina savi on hallitseva lajite. Hiekkaa ja sora käsittävät muodostumat ovat pääosin pohjavesialueita. Kallionpinta on myös näkyvillä ympäri valuma-alueita. Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-alue data: Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostus data: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Pintamaalajid data: Maaperä 1:20 000 / 1:50 000 © Geologian tutkimuskeskus.



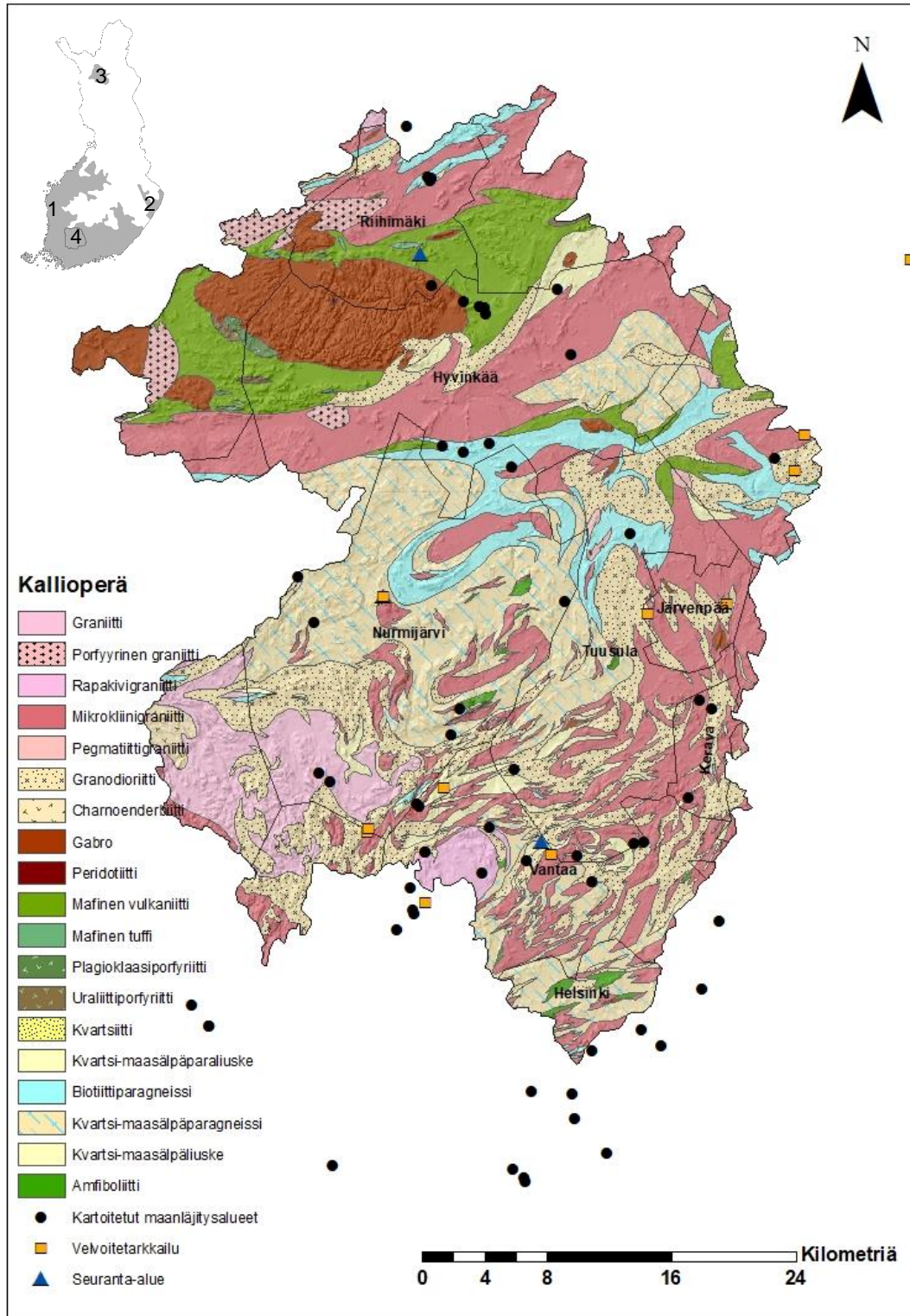
Kuva 3. Maankäyttömuodot Vantaanjoen valuma-alueella. Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Teemarasteridata: Maankäyttö 1:10 000 © Maanmittauslaitos.

## 3.2 Kallioperän kivilajikoostumuksesta johtuvat geokemialliset provinssit

Vantaanjoen valuma-alueen kallioperä on hyvin vaihtelevaa ja koostuu pääosin syväkivistä ja metamorfisista kivistä. Valuma-alueen pohjoisosissa on suurempi vulkaanisten kivien alue (Kuva 4) Geokemiallisesti Vantaanjoen valuma-alue kuuluu Etelä-Suomen arseeniprovinssiin (Kuva 6). Eilu ja Lahtinen (2004) mukaan Suomen kallioperästä vain 1 – 2 % sisältää arseenia yli 10 mg/kg. Normaalisti arseenin taustapitoisuudet jäävät tämän alle, mutta sedimenttikivissä tavataan suurempia pitoisuuksia kuin muissa kivilajeissa. Keskimäärin pitoisuudet ovat noin 2,7 mg/kg, mikä on lähtökohtaisesti peräisin yleisimmästä arseenimineraalista eli arseenikiisusta. Hallanaro ja Loukola-Ruskeeniemi (2014) Asrocks tutkimusten mukaan Pirkanmaalla kivilajien suurimmat arseenipitoisuudet ovat gabrolla ja kiillegneissillä, joita esiintyy myös Vantaanjoen valuma-alueella (Kuva 4). Kuvassa 4 esitettynä myös Suomen arseeniprovinssit, jotka ovat 1. Etelä-Suomen arseeniprovinssi, 2. Ilomantsin arseeniprovinssi, 3. Kittilän arseeniprovinssi ja 4. Etelä-Pirkanmaan-Kanta-Hämeen arseeniprovinssi (Tapir 2019). Backman ja Lahermo (2004) toteavat, että arseenipitoisuuksiin vaikuttavat muun muassa kallioperän rakenne, kalliopohjaveden pitkä viipymä, kiviaineksen vuorovaikutuksen pituus sekä kallioperän rapautuminen. Ruhjevyöhykkeissä ja rakopinnoilla arseenilla on parhain mahdollisuus olla veden kanssa kosketuksissa, jolloin arseenia vapautuu veteen. Pohjaveden arseenipitoisuuteen, ja sen geokemialliseen käyttäytymiseen, vaikuttavat myös kallioperässä olevien maarakeiden sekä kalliorakojen seinämissä olevat sekundääriset raudat, ja muiden metallien saostumat ja kiteytymät.

Maaperän pohjaveden arseenipitoisuuteen vaikuttaa myös maaperän laatu, eli sisältääkö maa-aines ylipäättään arseenimineraaleja. (Hallanaro ja Loukola-Ruskeeniemi 2014). Hiekkakerrostu-  
missa, joissa maa-aineksen vedenjohtavuus on korkea, havaitaan pienempiä pitoisuuksia kuin huonommin vettä johtavilla moreenialueilla (Backman ja Lahermo 2004). Hallanaro ja Loukola-Ruskeeniemi (2014) mukaan rannikoilla savimaiden arseenipitoisuudet selittyvät savikoiden syntyhistorialla. Entisen merenpohjan sedimentit sisältävät erilaisia aineita, kuten arseenia, raskasmetalleja ja rikkiä.

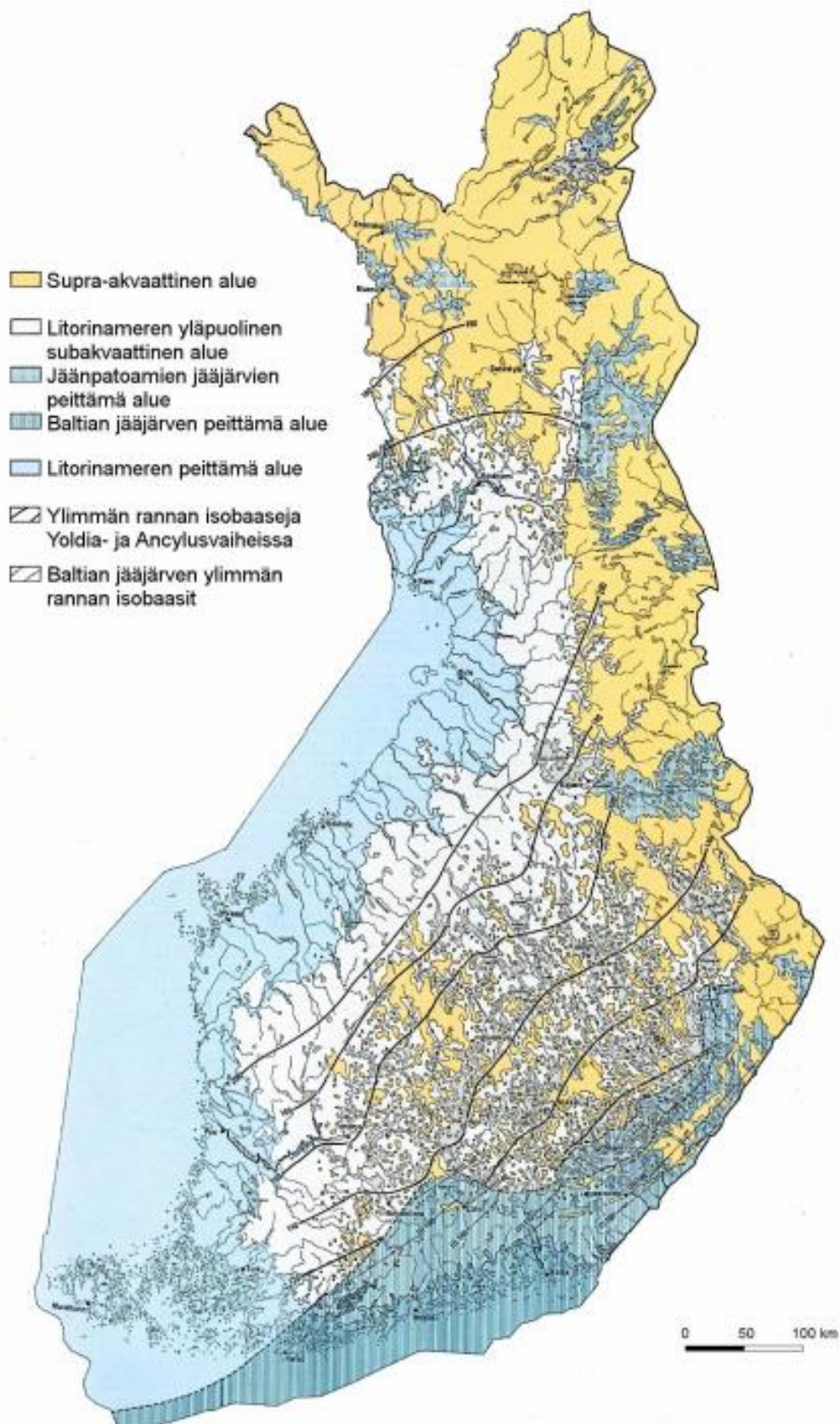




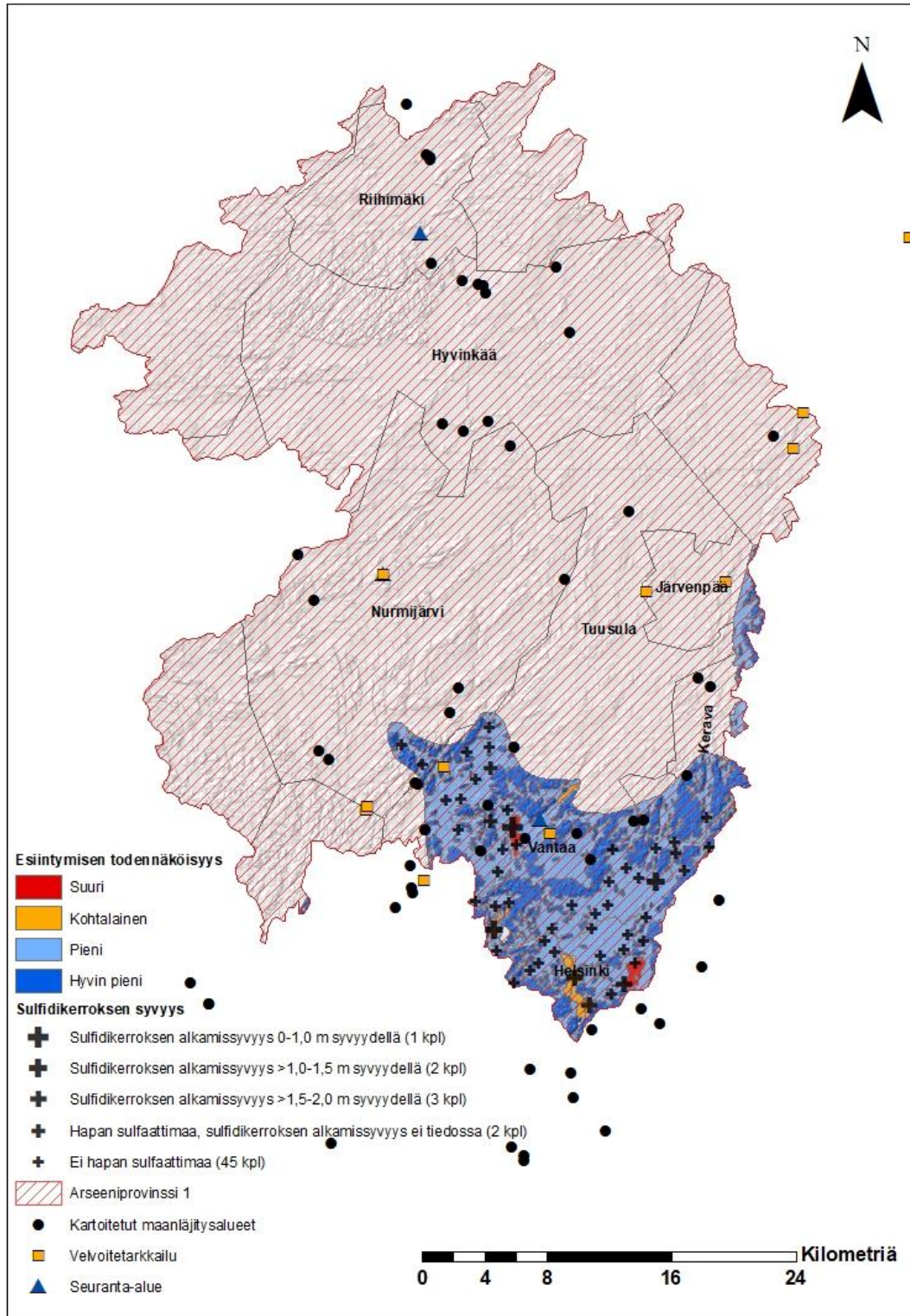
Kuva 4. Vantaanjoen valuma-alueen kallioperä. Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Kallioperädata: Kallioperä 1:200 000 © Geologian tutkimuskeskus. Suomen arseeniprovinssit vasemmalla yläkulmassa kuva muokattu © Geologian tutkimuskeskus.

### 3.3 Litorina-meren raja ja happamat sulfaattimaat

Litorinameri (Kuva 5) peitti Suomen rannikkoseudut noin 8000 – 4000 vuotta sitten (Heikkinen 2009, Åberg 2013). Heikkinen (2009) mukaan lämmin ilmasto mahdollisti runsaan kasvillisuuden, minkä seurauksena veteen kuolleet ja maatuneet kasvinosat rehevöittivät vesiä. Hapettomat olosuhteet merenpohjassa käynnistivät bakteeritoiminnan, jonka seurauksena alkoi muodostua rikkiyhdisteitä. Maankohoamisen myötä vanhat rikkipitoiset sulfidisavet ovat nousseet merenpinnan yläpuolelle noin 80 metrin korkeudelle. Sulfidisavia tavataan Perämeren rannikolta aina itäiselle Uudellemaalle. Näissä sulfaattimaissa on happamia suoloja ja metalleja. Åberg (2013) mukaan Litorinameren ylimmän rannan taso rajaa karkeasti happamat sulfaattimaat. Maankäytön ja rakentamisen osalta on olennaista tuntea niiden sijainnit (Kuva 6). Nämä happamat sulfaattimaat aiheuttavat haitallisia ympäristövaikutuksia, kun sulfidipitoiset maat joutuvat pohjaveden pinnan yläpuolelle ja hapen valunta tulee mahdolliseksi (MMM 2011). Vuoden 2019 haastattelujen mukaan maankaatopaikoille läjitetään ja on läjitetty suuria määriä savimaita. Koska Vantaanjoen valuma-alueella esiintyy jonkin verran sulfidisavia, savien kemiallinen tila tulisikin olla tiedossa ennen läjitystä. MMM:n (2011) julkaisun mukaan sulfidisavien reagoissa hapen kanssa sen rikkipitoiset mineraalit hajoavat muodostaen rikkihappoa. Vahvana happona rikkihappo liuottaa maaperästä luontaisesti sisältämiä metalleja kuten alumiinia, kadmiumia, kobolttia, kuparia, mangaania, nikkeliä ja sinkkiä. Vesistöissä ongelmat tulevat esiin sateiden jälkeen ja sulamisvesien aikaan, jolloin maaperästä huuhtoutuu helpommin haitallisia aineita. Heikkisen (2009) tulosten perusteella valumien pH voi laskea alle kolmen, mikä on yli tuhatkertainen muutos Suomen vesien yleiseen pH-tasoon (pH:6). Viljelykäytössä näitä maita onkin kalkittava alhaisen pH:n vuoksi. Tyypillisesti happo- ja metallihuuhtoumat esiintyvät vesistöissä nopeina korkeina pitoisuuspiikkeinä kevättulvien ja kuivien jaksojen aikana tapahtuvien sateiden jälkeen, mikä lisää haittavaikutuksia. Pienikin prosentuaalinen osuus sulfaattimaita valuma-alueen maaperästä riittää pilaamaan pintaveden. Sulfidisavet ovat selvästi heikentäneet läntisen rannikon pintavesien kemiallista ja ekologista tilaa (MMM 2011).



Kuva 5. Vaalean sinisellä nähtävillä Litorinameren rajat, jonka seurauksena on muodostunut sulfidisavia. Kuva lainattu Åberg 2013.



Kuva 6. Koko valuma-alue kuuluu ensimmäiseen arseeniprovinssiin. Kuvassa on samalla havainnoitu sulfidisavien esiintymisen todennäköisyyttä sekä sulfidisavikerroksien syvyyksiä. Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Sulfidisavidata: Happamat sulfaattimaat 1:250 000 © Geologian tutkimuskeskus. Geokemiallinen provinssidata: Arseeniprovinssit 1:1 000 000 © Geologian tutkimuskeskus.

### 3.4 Luokitellut pohjavesialueet Vantaanjoen valuma-alueella

Soverin ja muut (2001) mukaan pohjaveden pinnan muutokset voivat vaihdella maaperäolosuhteiden, vuodenajan ja lähiaikojen sademääristä riippuen yli metrin pohjaveden pinnan keskiarvosta. Korkeimmillaan pohjaveden pinta on keväällä ja syksyllä ja alimmillaan keskitalvella ja keskikesällä. Ahomäen ja Pitkärannan (2007) mukaan alueilla, joilla maanpinta muodostuu pääasiassa moreenista pohjaveden muodostumiseen vaikuttaa moreenin rakeisuus. Hienoainespitoisessa moreenissa pidättäytyminen on suurempaa kuin karkea-aineksisessa moreenissa ja sadannasta imeytyy pohjavedeksi yleensä 10 – 30 %, karkeilla moreenimailla jopa 50 %. Maaperän pintakerrosten koostuessa hienorakeisista maalajeista, kuten savesta pohjavesi voi esiintyä paineellisenä, vettä heikosti johtavien kerrosten alla (Leppäranta ja muut 2017). Ahomäen ja Pitkärannan (2007) mukaan näillä hienoainespitoisilla mailla, pohjavesi esiintyy usein hapettomana, mikä nostaa alumiini-, mangaani-, rauta- ja sulfaattipitoisuuksia. Muita tyypillisiä piirteitä ovat liuenneiden suolojen suuri määrä, korkea alkaliteetti ja kovuus sekä matala pH. Hienoainespitoisilla mailla myös korkeat bakteeriarvot ovat tyypillisiä. Karkeilla pintamaa-alueilla, kuten hiekka- ja sora-alueilla, pohjavesi on tyypillisesti laadultaan parempaa kuin hienoainesvaltaisilla alueilla. (Ahomäki ja Pitkäranta 2007, J. Sabel 2011.) Ahomäen ja Pitkärannan (2007) mukaan kalliopohjavedessä, jossa veden viipymä on suuri, pohjavesi muodostaa reaktioita kallioperän mineraaliaineksen kanssa. Tämä johtaa tyypillisesti korkeisiin liuenneiden aineiden, alkaliteetin ja sähkönjohtavuuden arvoihin.

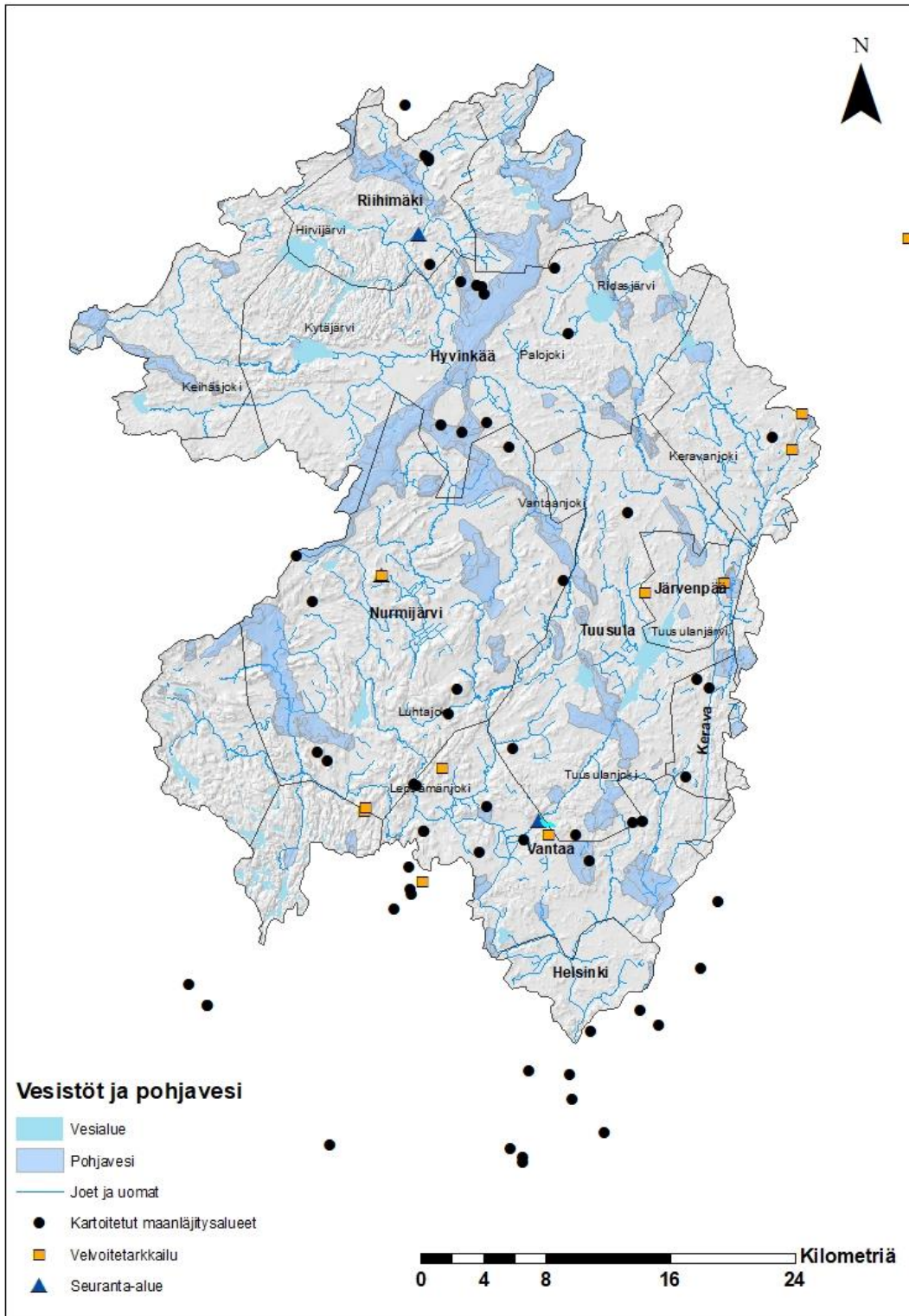
Britschgin ja muiden (2018) mukaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus on luokitellut pohjavesialueet kolmeen luokkaan käyttökelpoisuuden ja suojelutarpeen perusteella. 1-luokka muodostuu vedenhankintaa varten tärkeästä pohjavesialueesta, 2-luokka muusta vedenhankintaan soveltuvasta pohjavesialueesta ja E-luokka pohjavesialueesta, jonka pohjavedestä pinta-vesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen. Kumpikin 1- tai 2-luokka voi saada lisäksi E-luokituksen. MARA (2018) soveltamisohjeen mukaan läjitystoiminnassa tai muussa maanrakentamistoimessa pohjaveden suojaetäisyyden vaatimusten täyttymistä voidaan osoittaa kohdetutkimuksilla tai kohteesta jo saatavilla tiedoilla. Kyseiset tiedot ja tutkimukset voivat olla alueen tai sen läheisyydessä olevista pohjavedenhavaintoputkien tai talousvesikaivojen pinnankorkeustiedoista, alueen pohjatutkimuksista tai rakentamisen yhteydessä tehdyistä havainnoista koe-kuopissa tai kairareikiin kertyvästä vedestä, alueellisista maaperä- ja pohjavesikartoitusten tuloksista sekä alueelle toteutetuista rakenteiden pysyvistä kuivatustasoista. Pohjaveden suojelulle on tiukat määräykset. Ympäristönsuojelulain (527/2014) yksi tärkeimmistä pykälistä pohjaveden suojelulle on pohjaveden pilaamiskielto.

### 3.5 Vantaanjoen valuma-alueen virtavedet ja pohjavesien yhteydet niihin

Winter ja muut (1998) ovat todenneet, että pinta- ja pohjavedet ovat lähes aina vuorovaikutuksessa keskenään. Tämän vuorovaikutuksen ajalliseen ja paikalliseen vaihteluun vaikuttavat alueen geologia, ilmasto ja topografia. Winter ja muut (1998), Sophocleous (2002), Rosenberry ja LaBaugh (2008), Brander (2013) ja Kivimäki ja muut (2013) tutkimusten mukaan on tärkeää määrittää näiden kahden vesivaraston välisiä vuorovaikutuksia, sillä pohjaveden laadun huonontuminen ja pilaantuminen voidaan havaita pintavesien laadun huonontumisena. On myös mahdollista, että pintavesien pilaantuminen voidaan havaita pohjaveden laadussa. Nygård (2011) mukaan kevään sulamisvesien tai sadejaksojen aikana jokiveden pinnan korkeuden vaihdellessa on mahdollista, että ravinnepitoinen jokivesi ja pohjavesi sekoittuvat jokiveden pinnan korkeuden kohotessa pohjaveden pintaa korkeammalle. Pohjaveden pintojen lasku kuivuuden tai veden virtaussuuntien muuttuessa edellä kuvatut muutokset jokiveden ja pohjaveden välisessä vuorovaikutuksessa ovat myös mahdollisia.

Kivimäen ja muiden (2013) mukaan Vantaanjoen valuma-alueella on 29 pohjavesialuetta, jotka sijaitsevat jokiuomien läheisyydessä (Kuva 7). Jokiuomat kulkevat paikoitellen hiekka- ja soraselänteiden poikki. Kaiken kaikkiaan Vantaanjoen valuma-alueella on havaittu olevan noin 350 kohdetta, joissa pohja- ja jokivesi vuorovaikuttavat ja ovat hydraulisessa yhteydessä (Brander 2013). Woessnerin (2000) mukaan jokiuomat, tai niiden osat, voidaan luokitella pohjavettä kerääviksi, vettä luovuttaviksi, läpivirtausuomiksi ja uomiksi, joissa pohjaveden virtaus on jokiuoman suuntainen. Alivirtaamakausilla pohjaveden vaikutuksella on suuri merkitys joen virtaaman ylläpidossa. Kivimäen ja muiden (2013) mukaan vedenpinnan korkeuden vaihdellessa, hydraulisen yhteyden suunnat voivat muuttua, ja tämä voi johtaa hapetus-pelkistys-olosuhteiden muutoksiin sekoittumisvyöhykkeessä. Hapetus-pelkistys-olosuhteiden vaikutus voidaan havaita sekoittumisvyöhykkeen sedimentissä ja maakerroksissa, geokemiallisten prosessien muuttuessa. Winter ja muut (1998) toteavat, että fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien ymmärtäminen pinta- ja pohjavesien vuorovaikutuksessa on oleellista, jotta tutkimuksista saatuja tuloksia voidaan tulkita oikein. Sekoittumisvyöhykkeissä, joissa pinta- ja pohjavedet vuorovaikuttavat hapen, hiilen ja muiden kemiallisten yhdisteiden sekä ravinteiden kanssa, saatavuus vaihtelee. Pinta- ja pohjaveden vuorovaikutusta voidaan havainnoida ainakin lämpötila-, pH- ja sähkönjohtavuus tutkimuksilla (Rautio ja Korkka-Niemi 2011). Kivimäki ja muut (2013) ovat todenneet, että jokiuomaan purkautuva pohjavesi voi parantaa sen vedenlaatua laimentamalla hulevesien kuljettamia haitta-ainepitoisuuksia. Tilanteen ollessa päinvastainen, pohjaveden korkeat haitta-ainepitoisuudet voivat purkautuessaan aiheuttaa ei-toivottuja muutoksia pohjavesiriippuvaisissa lähteissä ja ekosysteemeissä.

Sabelin (2011) mukaan maanlajityksen vaikutukset voivat muuttaa pintavesien virtausolosuhteita ja se voidaan havaita väliaikaisesti pintaveden laadussa, joista näkyvin on veden samentuminen. Pintaveden laadulliset muutokset ovat usein väliaikaisia, mutta jos läjitystoiminta estää pintavesien virtauksen, saattaa ympäristön vettyminen vaikuttaa alueen kasvillisuuteen ja maankäyttöön. Jokien ja järvien rannoille tulee jättää riittävä suojaetäisyys sekä maisemallisista ja vesiensuojelullisista syistä, sillä pienetkin uomat voivat olla osa suurempaa pinta- ja pohjaveden vuorovaikutusta.



Kuva 7. Valuma-alueen järvet, pohjavesialueet, joet ja suurimmat uomat kuvattuna (leveys > 2m). Kuvan koordinaatit ovat EUREF-FIN ETRS-TM35FIN muodossa. Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Pohjavesidata: Pohjavesialueet 1:20 000 © Suomen ympäristökeskus. Vesistödata: Ranta10 1:10 000 © Suomen ympäristökeskus.

## 4 Aineisto ja menetelmät

Aineisto on muodostettu VHVS:n hankkeen Maanlajitusalueet Vantaanjoen valuma-alueella ja niiden vaikutukset vesiin esiselvitysvaiheen aineistosta. Aineisto koostuu tiedoista, joiden avulla pyrittiin selvittämään maanlajitustoiminnan laajuutta, läjitettäviä pilaantumattomia ylijäämämaita ja sijoituspaikkoja. Olemassa olevien veden laadun analyysitulosten perusteella voitiin arvioida eri tyyppisten läjitysalueiden mahdollisia vaikutuksia sijoitusalueiden pienvesien, virtavesien ja pohjavesien laatuun. (Kivimäki ja muut 2019.) Tutkielmassa on hyödynnetty myös veden laadun velvoitetarkkailutuloksia, joille on tehty tilastollisia analyyssejä. Velvoitetarkkailu- ja seuranta-alueiden tuloksia on verrattu paikkatietoanalyysiin, jonka avulla on arvioitu maanlajitustoiminnan mahdollisia riskejä ympäristön vesille.

Aineisto on muodostettu pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitys-, käsittely- ja varastointialueista sekä maankaatopaikoista. Kohteita kartoitettaessa ei olla huomioitu valmiiksi rakennettuja meluvalleja, puistorakentamiskohteita tai muita pienempiä valmiita täyttöjä. Keskeisimpänä valintakriteerinä oli se, että alue on edelleen käytössä tarkoittaen sitä, että alueelle toimitetaan edelleen ylijäämämaita ja alueella on läjitettynä raekokokoostumukseltaan erilaisia maa-aineksiä (Kivimäki ja muut 2019.) Suurimpien kaupunkien läjitysalueet ovat keskittyneet jätehuoltoalueille, joilla sijaitsevat vierekkäin jätteenkäsittelylaitos, erilaisten materiaalien kierrätyslaitos ja maankaatopaikka. Tästä johtuen ympäristöluvanvaraisten läjitysalueiden kartoituksessa huomioitiin myös kierrätysalueet, joilla käsitellään ja varastoidaan pilaantumattomien ylijäämämaiden ohella haitallisia aineita sisältäviä maa-aineksiä ja purkumateriaaleja. Valituissa tutkimuskohteissa pilaantumattomat ylijäämämaat varastoidaan erillisillä alueilla, mutta joskus voi olla vaikea erottaa eri massajakeiden vaikutuksia kyseisen valuma-alueen vesiin.

Kivimäki ja muut (2019) mukaan ylijäämämaista, niin pilaantuneista kuin pilaantumattomista ja niiden läjitysalueista ei ole aikaisemmin koottu tietoa tietojärjestelmiin. Läjitysalueita on lisäksi kooltaan ja toiminnaltaan hyvin erilaisia. Maisematyölupa-, toimenpidelupa- ja suunnittelutarveratkaisupäätöksiä tekevät kuntien rakennusvalvontayksiköt, eikä kaikkiin pienempiin kohteisiin liittyen pyydetä ympäristöyksiköiltä lausuntoa lainkaan. Rakennusvalvontaviranomaisilta saatujen kommenttien mukaan pienialaisia läjitysalueita on lukuisa määrä, ja tietojen kokoaminen niistä on edellä mainituista syistä johtuen työlästä. Tämän tutkielman aineisto ei näin ollen muodosta täysin kattavaa luetteloa läjitysalueista Vantaanjoen valuma-alueella.

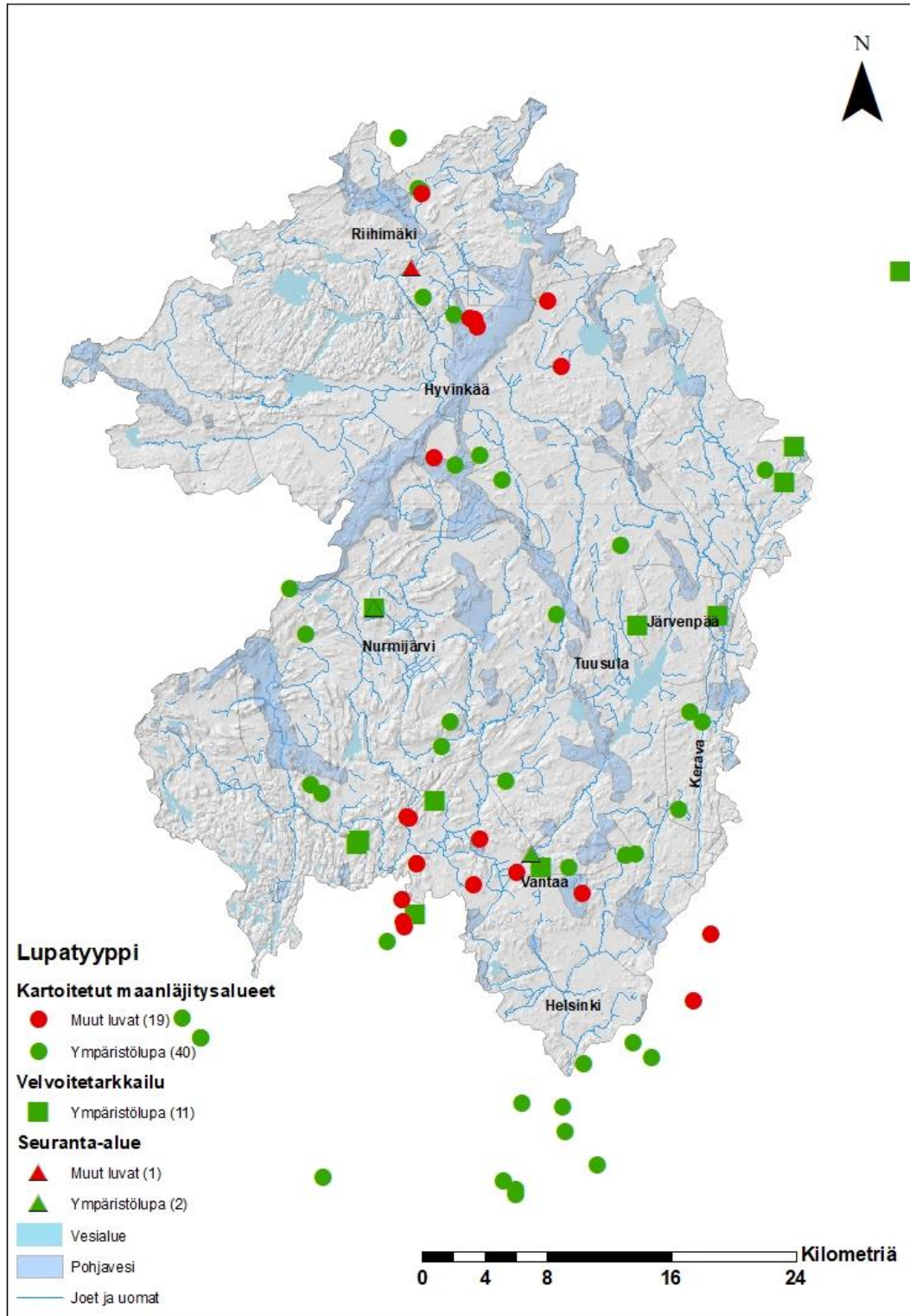
Ympäristöluvanvaraisten ylijäämämaiden vastaanottopaikkojen aineisto on koottu Lupa-Tietopalvelun Etelä-Suomen aluehallintoviraston myöntämistä ympäristöluvista vuosilta 2010-2018, ympäristöhallinnon sivustolta entisen Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ja Uudenmaan ympäristökeskuksen antamista ympäristölupapäätöksistä vuosina 2004 – 2009, Keski-Uudenmaan ympäristökeskuksen sivustolta Keski-Uudenmaan ympäristölautakunnan myöntämistä ympäristöluvista vuosina 2016 – 2019 ja lisäksi Keski-Uudenmaan ympäristökeskuksen ympäristövalvontayksikön täydentämistä tiedoista.



Muut kuin ympäristöluvanvaraisten ylijäämämaiden tiedot vastaanottoaikoista on koottu Hyvinkään, Riihimäen ja Vantaan kaupunkien myöntämistä lupapäätöksistä viimeisiltä viideltä vuodelta ympäristölautakuntien kokousten pöytäkirjoista. Lisäksi kaupunkien ympäristöyksiköt ja rakennusvalvontayksiköt täydensivät maisematyöluvalla, toimenpideluvalla tai viranhaltijapäätöksellä toimivia läjitysalueita.

## 4.1 Ympäristöluvalliset läjitysalueet

Ympäristöluvallisia läjitysalueita, joilla toiminta on käynnissä, suunnitteilla tai päättynyt, kartoitettiin olevan 53 (Kuva 8). Läjitysalue toiminta ulottuu monissa tapauksissa usean kiinteistön alueelle, joten paikkatietoanalyysissä tarkasteltavien kiinteistöjen määrä oli edellä mainittua suurempi. Yhteenveto alueista on esitetty taulukossa 1, jossa on mukana myös kohteita, joissa läjitystoiminta on päättynyt. Suurimmalle osalle näistä kohteista ympäristölupa on haettu ja myönnetty toimintatypille pilaantumattomien ylijäämämaiden maankaatopaikka, mutta mukana on myös ylijäämämaiden varastointi- ja käsittelyalueita sekä välivarastointi- ja käsittelykenttiä.



Kuva 8. Maanlajitusalueet jaettuna kartoitettuihin maanlajitusalueisiin, velvoitetarkkailualueisiin ja seuranta-alueisiin sekä kartoitettuihin ympäristöluvanvaraisiin maanlajituskohteisiin ja muihin luvallisiin kohteisiin. Muut luvat muodostuvat maisematyöluvista, toimenpideluvista tai viranhaltijapäätöksellä toimivista lajitusalueista. Valuma-alueidat: Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Pohjavesidat: Pohjavesialueet 1:20 000 © Suomen ympäristökeskus. Vesistödata: Ranta10 1:10 000 © Suomen ympäristökeskus.

Taulukko 1. Kartoitetut ympäristöluvanvaraiset kohteet. Lyhenteiden selitykset sivustolta <https://www.raiku2.fi/tuotetiedot/massamuunnokset/>, ( $m^3ktr$ ) Teoreettinen kiintotilavuus, ( $m^3rtr$ ) Teoreettinen rakennetilavuus. Läjitetävien aineksien lyhenteet GTK:n maalajiluokitukselta (<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maalajiluokitus2.htm>) ja Maapörssin maalajiluokitukselta (<https://www.maaporssi.fi/maalajikuvaukset>). MKP = maankaatopaikka. TP=Toiminta päättynyt. Hk = hiekka. hkMr = hiekkamoreeni. Hm = humusmaat. Ki = kivi. Lo = louhe. Mr = moreeni. Mm = multa. Sa = Savi. Si = Siltti. Sr = Sora. Tv = Turve.

Ympäristöluvalliset kohteet			
Sijainti-kunta	Toimintatyyppinimike	Läjitetävät ainekset	Max. massamäärä
Espoo	MKP	Mr, Sa, Lo	20000 tn/v, yht. 150000 tn
Espoo	Varastointi ja käsittely	Lo, Ki, Sr, betoni, asfaltti	Ylijäämämaita 50000 tn/v, louhetta 22000 tn/v, betoni-jätettä 2000 tn/v, asfalttijätettä 1000 tn/v
Espoo	MKP (TP)	Tuhka	-
Espoo	MKP	Sa, Lo, Mr ja pintamaa	850000 m3/v
Espoo	Varastointi	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	yht. 200500 tn
Espoo	MKP	Sa, Hm, Mr, Lo	1,5 milj. m3 rtr/v, yht. 18,8 milj. m3 rtr
Helsinki	Välivarastointi ja käsittelykenttä	Purkumateriaaleja sekä maa-aineksia, jotka voivat sisältää haitta-aineita, kompostoitavia ja märkiä maa-aineksia	Kompostoitavia massoja kerrallaan max. 12000 m3
Helsinki	Varastointi, käsittely ja kompostointi (TP)	Puhtaat maa-ainekset, puutarhajäte, kannot ja risut	Puhtaita maa-aineksia max. 50000 tn/v
Helsinki	Massojen välivarastointi ja käsittely	Puhtaat ja pilaantuneet maa-ainekset, Lo, ruoppausmassat, betoni-, tiili- ja asfalttijäte, kivihiilen pohjatuuhka, lentotuuhka, masuunikuona, raidesepeli, hiekoi-tushiekka	Puhtaita maa-aineksia kerrallaan max. 1 milj. tn, louhetta 1,6 milj.tn ruoppausmassoja 80000 m3, PIMA-maita 15000 m3, betoni-, tiili- ja asfalttijätettä 30 000 m3, pohjatuuhkaa 30000 tn, lentotuuhkaa 15000 m3

Helsinki	Massojen välivarastointi ja esikäsittely	Ylijäämämaita, pilaantuneita maita, Lo, merihiekka, asfaltti-, betoni- ja tiilijäte, ruoppausmassat	Puhtaita maa-aineksia kerrallaan max. 600000 tn, louhetta 600000 tn, ruoppaus sedimenttejä 30000 tn, PIMA-maita 60000 tn, asfaltti-, betoni- ja tiilijätettä 75000 tn, pohjatuhkaa 35000 tn
Helsinki	Välivarastointi ja esikäsittely	Purkubetonia, tiiltä, asfalttia, Lo, pilaantumattomia ylijäämämaita ja PIMA-maita, sedimenttejä ja koheesiomaita	-
Helsinki	Varastointi ja käsittely	Pilaantumaton ja pilaantunutta maa- ja kiviainesta, Lo, tuhka, betoni, tiili ja asfaltti	-
Helsinki	Välivarastointi ja esikäsittely	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta, Hu, Mm, asfaltti-, betoni- ja tiilijäte	Kerrallaan max. 100000 m3
Helsinki	Maa-ainesten käsittelyalue	Pilaantumattomia maa-aineksia, seassa asfalttia	max. 30000 tn/v, kerrallaan 9000 tn
Helsinki	Välivarastointi ja esikäsittely	Betoni, tiili, asfaltti, Lo, ylijäämämaat, PIMA-maat ja ruopattavat sedimentit	Kerralla max. 100000 m3 louhetta, 60 000 m3 pilaantumaton maata, 20 000 m3 pilaantunutta maata, 40 000 m3 sedimenttejä, 50 000 m3 asfaltti-betoni-tiili, 20 000 m3 muuta rakennusjätettä
Helsinki	Maa-ainesten ja purkumateriaalien välivarastointi ja käsittely	Lo, pilaantumattomia ylijäämämaita, PIMA-maita, ruopattavia sedimenttejä, purkujäte	Kerralla max. 400 000 m3 louhetta, 100 000 m3 pilaantumaton maata, 20 000 m3 pilaantunutta maata, 60 000 m3 sedimenttejä, 50 000 m3 asfaltti-betoni-tiili, 60 000 m3 muuta rakennusjätettä, 15 000 m3
Hyvinkää	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita, asfalttijätettä ja lunta	yht. 3,7 milj. tn
Hyvinkää	Kompostointilaitos	Seosmulta (kompostoitu lanta, seulottu hiekka ja pintamaa, multa)	< 2 000 m3/v
Hyvinkää	Varastointi ja käsittely	Hk, Sr	10 000 m3/v
Järvenpää	MKP ja mullan valmistus (TP)	Sa, Hk, Mm, Sr	yht. 180000 m3

Järvenpää	MKP, kantojen ja maa- ja kiviaineksen murskaus, maa- ja kiviainesten seulonta	Pilaantumattomia maa- ja kiviainesjätteitä	104000 tn/v, yht. 2,44 milj. m3
Kerava	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	110000 tn
Kerava	MKP (TP)	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	yht. 85000 m3
Kerava	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	yht. 95000 m3
Mäntsälä	MKP	Puhdas maa- ja kiviaines	-
Mäntsälä	MKP, kallion louhinta ja murskaus	Pilaantumaton maa- ja kiviainesjäte	-
Mäntsälä	MKP, välivarastointi ja käsittely	Puhdas maa- ja kiviainesjäte, risut ja kannot	-
Mäntsälä	Louhinta ja murskaus, MKP, käsittely ja välivarastointi	Pilaantumaton maa- ja kiviainesjäte, mineraalimaa, puujäte, betoni, tiili, lasi ja tuhka	Pilaantumaton ylijäämämaa 500000 tn/v, kerrallaan 80000 tn, ylijäämälouhetta 200000 tn/v, yht. 11,3 milj.m3
Nurmijärvi	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	30000 tn
Nurmijärvi	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta	50000 tn/v, yht. 514000 m3rtr
Nurmijärvi	MKP (TP)	Sr, Hk, Sa, Mr, Lo	yht. 250000 tn
Nurmijärvi	MKP (TP)	Sa, Si	20700 tn
Nurmijärvi	Ylijäämämaa-ainesten hyödyntäminen (TP)	Sa, Mm, Mr	10386 tn
Nurmijärvi	MKP	Rakennustoiminnasta tulevia puhtaita maa- ja kiviaineksia	
Nurmijärvi	Kallion louhinta, murskaus ja MKP	Sa, Si, Mr, Ki, Lo, Hm	49000 tn/v, yht. 539000 m3ktr
Nurmijärvi	Murskaus, kierrätys, loppusijoitus ja välivarastointi	Ylijäämämaat, Lo, betoni, tiili	300000 tn/v, yht. 2500000 m3
Nurmijärvi	Käsittely, loppusijoitus ja välivarastointi	Pilaantumattomia ylijäämämaita, Lo, Sr, Mm, betoni, tiili, asfaltti	49000 tn/v, yht. 1280000 m3ktr

Nurmijärvi	MKP	Pilaantumattomia maa- ja kiviaineksia	75000 tn
Riihimäki	MKP, lumenkaatopaikka ja puutarhajätteen kompostointi	Pilaantumattomia ylijäämämaita, lumi	25000 m3/v, yht. 520000 m3
Riihimäki	Louhinta ja murskaus	Hk, Sr, Kalliomurske	Kerrallaan 30000 tn
Riihimäki	Louhinta ja murskaus sekä puhtaiden maa- ja kiviainesten vastaanotto ja kierätys	Hk, Mr, Ki, Lo	49 000 tn/v
Riihimäki	Välivarastointi	Kivi- ja maa-aines, betoni ja asfaltti	1500 tn/v
Tuusula	MKP	Sa, Si, Mr, Ki, Lo, Hu, betoni, tiili ja lumi	49000 tn/v, yht. 325000 m3
Tuusula	MKP (TP)	Hk, Mr, Mm, Hm, Si, Sa	max. 20 000 m3/v
Tuusula	Maanlajitysalue	Sa, Tv, Si	20 000 m3/v, yht. 360 000 m3
Tuusula	Ylijäämämaa-ainesten hyödyntäminen (TP)	Hk, Sa-Si, Hm	17000 m3
Tuusula	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta ja Lo	480000 tn/v
Vantaa	MKP (TP)	Hk, Mr, Mm, Hm, Si, Sa	
Vantaa	Maanlajitysalue	Sa, Tv, Si	
Vantaa	Maanlajitysalue	Sa, Tv, Si	yht. 270000 m3
Vantaa	Maa-ainesten käsittelyalue (TP)	Mm, Lo, kantoja	
Vantaa	Pilaantumattoman maa-aineksen hyödyntäminen	Sa, Si, hkMr	64000 tn/v, yht. 215000 m3
Vantaa	MKP:n laajennus	Mr, Lo	650000 m3/v
Vantaa	MKP	Pilaantumattomia ylijäämämaita työmailta ja Lo	-

## 4.2 Muut luvalliset läjitysalueet

Ympäristöluvanvaraisten läjitysalueiden lisäksi kartoitettiin 20 muuta pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitysalueita (Taulukko 2). Osalla alueista toiminta perustuu toimenpidelupaan tai maisematyölupaan, osalla toiminta on niin pienimuotoista ja sen luonteista, että sille ei ole vaadittu viranomaispäätöstä. Vuodessa alle 50 000 tonnia käsittävään läjitystoimintaan ei vaadita ympäristölupaa (Ympäristöministeriö 2014). Toiminnan luonne näillä alueilla vaihtelee ja ylijäämämailla muun muassa täytetään ja maisemoidaan käytöstä poistettuja maa-aineksen ottoalueita tai rakennetaan varasto- tai harrastuskenttiä. Jatkuvampia toimintamuotoja ovat muun muassa mullanvalmistuskentät ja vaihtuvien massojen välivarastointikentät.

**Taulukko 2.** Kartoitetut muut luvalliset kohteet, joissa läjitetään pilaantumattomia ylijäämämaita. Läjitettävien aineksien lyhenteet GTK:n maalajiluokituksesta (<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maalajiluokitus2.htm>) ja Maapörssin maalajiluokituksista (<https://www.maaporssi.fi/maalajikuvaukset>). TP=Toiminta päättynyt. hkMr = hiekkamoreeni. Hm = humusmaat. Mr = moreeni. Mm = multa. Sa = Savi. Si = Siltti. Tv = Turve.

Muut luvalliset kohteet			
Sijaintikunta	Toimintatyyppinimike	Läjitettävät ainekset	Max. massamäärä
Hyvinkää	Varastointi ja käsittely	Ylijäämämaat	1 000 - 2 000 m <sup>3</sup> /v
Hyvinkää	Välivarastointi (TP)	Tv	15 000 m <sup>3</sup>
Hyvinkää	Välivarastointi	Ylijäämämaat	-
Hyvinkää	Välivarastointi	Tv	-
Hyvinkää	Pienimuotoista maa-ainesten käsittelyä ja seulontaa	-	-
Hyvinkää	Pienimuotoista maa-ainesten käsittelyä	Ylijäämämaat	-
Riihimäki	Ylijäämämaiden varastointi	-	-
Riihimäki	Puhtaiden maiden loppusijoittaminen, betonimurske maarakentamisessa, mullan jalostus	Mr, Sa, Si, Betoni	30 000 tn maa-ainesta, 19 000 tn betonimursketta
Vantaa	Golfkenttä (TP)	Sa, kitkamaat	1.3 milj. m <sup>3</sup>
Vantaa	Vanhan Hk-kuopan täyttö (TP)		4900 m <sup>3</sup>
Vantaa	Vanhan Hk-kuopan täyttö	Sa, Kiviaines	70000 m <sup>3</sup>
Vantaa	Metsän kasvuolosuhteiden parantaminen, varastokentän rakentaminen (TP)	-	-
Vantaa	Hakatun metsän rakentaminen pelloksi	Sa, Si, hkMr	200 000 m <sup>3</sup>
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm	-

Vantaa	Mullanvalmistus (TP)	Mm, Hm	Joitakin satoja - tuhansia m <sup>3</sup> /v
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm, kompostoitu orgaaninen aines	6000-8000 m <sup>3</sup> /v
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm	n. 60 000 m <sup>3</sup> /v
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm	Muutama sata m <sup>3</sup> /v
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm	Muutama sata m <sup>3</sup> /v
Vantaa	Mullanvalmistus	Mm, Hm	n. 1000 m <sup>3</sup> /v

### 4.3 Paikkatietoanalyysi kartoitetuille kohteille

Kartoitetuille kohteille tehtävällä paikkatietoanalyysillä pyritään erottelamaan kohteet, jotka sijaitsevat pohjavesi- ja pintavesivaikutusten kannalta herkillä alueilla. Läjitystoiminnan ollessa aktiivista, välivarastointialueet ja niillä varastoitavien maa-ainesten määrät voivat muuttua lyhyessä ajassa. Paikkatietoanalyysi perustuu vuoden 2018 lopussa vallinneeseen tilanteeseen.

Paikkatietoanalyysin tekoon käytettiin Esri ArcGIS 10.2.2-ohjelmaa ja QGIS 2.18/3.40 ohjelmistoa. Kaikessa paikkatiedossa ja koordinaateissa on käytetty ETRS-TM35FIN koordinaatistoa. Microsoft Excel-ohjelmaan kootut maanlajitysluvat ja niiden koordinaatit siirrettiin ArcGIS-ohjelmaan. Projisoimalla pisteet tasokoordinaatistoon kiinteistötunnusten perusteella paikannetut maanlajitysalueet piirrettiin polygoneina yhdeksi shapefile-tiedostoksi. Analyysissä käytettiin seuraavia paikkatietoaineistoja: Espoon kaupunki: Ortoilmakuva 2017 (20 cm), Helsingin kaupunki: Ortoilmakuva 2018 (5 cm), Hyvinkään kaupunki: Ortoilmakuva 2014, Nurmijärven kunta: Ortoilmakuva, Vantaan kaupunki: Ortoilmakuva 2017, Riihimäen kaupunki: Ortoilmakuva 2012, Maanmittauslaitos: Maastotietokanta 2018, Kiinteistökartta 2018, Korkeusmalli 2m 2018, GTK: Maa-peräkartta 1 : 20 000, Suomen ympäristökeskus: Pohjavesialueet 2018 sekä Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry: Virtavesi-inventointien paikkatiedot.

Paikkatietoanalyysissä on kuusi pisteytettävää kriteeriä (A-F), joista kolme (A-C) ovat keskeisiä pohjavesivaikutusten kannalta, ja kolme (D-F) vesistövaikutusten kannalta. Kriteerit pisteytettiin pistemäärällä 1-3, pois lukien F (0-3) ja pisteiden summa muodostaa kokonaistuloksen. Mitä korkeampi kokonaistulos on, sitä suuremman riskin toiminta-alue muodostaa pohja- ja pintavesille.

Muuttuja A kuvaa sijaintia suhteessa pohjavesialueeseen (Taulukko 3). Maanlajitysalueet jaettiin määritettyihin kriteeriluokkiin käyttäen Suomen ympäristökeskuksen pohjavesialueaineistoa. Maankaatopaikoille ei pääsääntöisesti myönnetä ympäristölupia pohjavesialueille, mutta muilla luvilla toimivia kohteita ja väliaikaisia läjitysalueita voi sijaita myös pohjavesialueilla.



**Taulukko 3.** Sijainti suhteessa pohjavesialueeseen

Selite	Pisteytys
Sijaitsee pohjavesialueella	3
Etäisyys pohjavesialueen ulkorajaan < 500 m, mutta ei pohjavesialueella	2
Etäisyys pohjavesialueen ulkorajaan ≥ 500 m	1

Muuttuja B kuvaa maaperän vedenläpäisevyyttä (Taulukko 4). Maalajit jaoteltiin kolmeen vedenläpäisevyydeltään toisistaan poikkeavaan pääluokkaan, ja kiinteistön päämaalajiksi määräytyi se maalaji, jota Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartan perusteella on ≥ 50 % kiinteistön pinta-alasta.

**Taulukko 4.** Maaperän vedenläpäisevyys (Kiinteistön päämaalaji, ≥ 50 % pinta-alasta)

Selite	Pisteytys
Sora, hiekka, soramoreeni, hiekkamoreeni	3
Karkea hieta, hieno hieta, hiesu, hienoainesmoreeni, täyttömaa	2
Savi, kalliomaa, turve	1

Muuttuja C huomioi maanläjitysalueiden läheisyydessä sijaitsevat talousvesikaivot (Taulukko 5). Vesihuoltolaitoksilta selvitettiin niiden toiminta-alueet. Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta otettiin omaksi aineistoksi asuinrakennukset (luokat 42110, 42111, ja 42112) ja lomarakennukset (42130, 42131 ja 42132). Näistä poistettiin sellaiset rakennukset, jotka sijaitsevat tunnetuilla vesihuoltolaitoksen tai vesiosuuskunnan toiminta-alueilla. Vesihuoltolaitosten toiminta-alueiden mukaan oletettiin, että toiminta-alueen ulkopuolella olevilla asuinkiinteistöillä on käytössä yksityisiä talousvesikaivoja.

**Taulukko 5.** Talousvesikaivot

Selite	Pisteytys
< 100 m:n päässä yksityisiä talousvesikaivoja	3
101 – 499 m:n päässä yksityisiä talousvesikaivoja	2
Lähin yksityinen talousvesikaivo ≥ 500 m:n päässä	1

Muuttuja D kuvaa luonnonpuroja ja -uomia (Taulukko 6). Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta poimittiin purot ja -uomat, joiden leveydeksi oli määritelty ≥ 2 metriä. Muuttujaan D lisättiin myös < 2 metrin uomia, sillä alle 2 metrin virtavesiuomien aineisto Maastotietokannassa on puutteellinen, erityisesti pääkaupunkiseudulla. Lisääminen tehtiin käsin laserkeilausaineiston perusteella (vinovalovarjosteaineisto 2 m:n ruutukoolla), huomioiden uomat, joiden leveys on 1,5 – 2 m. Keinotekoisia ojia ei huomioitu muuttujassa D.

**Taulukko 6.** Luonnonpurot ja uomat (luonnonuomat, joiden leveys < 2 m, 2-5 m ja ≥ 5 m)

Selite	Pisteytys
Etäisyys uomaan < 100 m	3
Etäisyys uomaan 101 – 499 m	2
Etäisyys uomaan ≥ 300 m	1

Muuttuja E kuvaa päästöjen kulkeutumispotentiaalia vesistöön (Taulukko 7) joko suoraan tai ojien/purojen kautta (pintavaluntariski). Analyysissä huomioitiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannan alle 2, 2 – 5 sekä yli 5 metrin levyiset ojat, purot ja joet. Tämän lisäksi huomioitiin Maanmittauslaitoksen 2 m korkeusmallista silmämääräisesti ja korkeusaineiston perusteella ojiksi tulkitut linjat. Maaston jyrkkyudet laskettiin vertaamalla läjitysalueen reunaan lähinnä olevan ojan, puron tai joen törmän yläreunan korkeutta suhteessa läjitysalueen reunaan tai kasan yläosaan nähden. Mittauksia tehtiin useammasta kohtaa läjitysalueella, jotta saataisiin kuva siitä, mikä on keskimääräinen jyrkkyys. Vesistöinä huomioitiin jokiuomien lisäksi järvet ja lammet, mutta ei keinotekoisia altaita. Jokiuomina huomioitiin Vantaan vesistöalueen 3. jakovaiheen uomat seuraavan luettelon mukaisesti: Vantaanjoki, Paalijoki, Viitastenoja, Koirajoki, Kupparoja, Mustajoki, Herajoki, Lepsämänjoki, Luhtajoki, Ylisjoki, Hirmunoja, Matkunoja, Vaaksinoja, Heinoja, Kyläjoki, Härkälänjoki, Hangasjoki, Lakistonjoki, Kytäjoki, Keihäsajoki, Lastuksenojanko, Petäysoja, Palojoki, Männistönoja, Tuusulanjoki, Vuohikkaanoja-Haukkalanoja, Sarsalanoja, Mäyränoja, Piilioja, Keravanjoki, Ohkolanjoki, Rekolanoja.

**Taulukko 7.** Kulkeutumispotentiaali (pintavaluntariski)

Selite	Pisteytys
Jokiuoma tai muu vesistö < 300 m:n päässä ja keskimääräinen gradientti ≥ 5 %	3
Kaivettu oja tai luonnonpuro < 100 m:n päässä ja keskimääräinen gradientti ≥ 5 %	2
Kaivettu oja tai luonnonpuro ≥ 100 m:n päässä ja keskimääräinen gradientti < 5 %	1

Tämä tutkimus on osa VHVSY:n hanketta, jossa maanläjitysalueiden vaikutuksia on haluttu tutkia myös lohikalojen herkillä lisääntymisalueilla. Muuttuja F huomioikin lohikalojen lisääntymisalueet (Taulukko 8). Aineistossa on huomioitu kaikki VHVSY:n virtavesi-inventoinneissa vuoteen 2018 mennessä kartoitetut alueet (koskien keskiviiva). Mukaan otettiin myös alueita, joissa poikastuottopotentiali oli huono tai olematon. Analyysi tehtiin muista muuttujista poiketen QGIS 2.18/3.40 –ohjelmistolla. Uoma-aineistona käytettiin muuttujan E korjattua uoma-aineistoa. Aineistoa on tarkennettu käsin, jotta läjitysalueiden ja uomaverkoston leikkauspisteet määrittäisivät todenmukaisesti. Lähtöpisteinä käytettiin uoma-aineiston ja läjitysalueen reunaviivan leikkauspisteitä ja päätepisteinä mitä tahansa alavirtaan sijaitsevaa lähintä vaelluskalakohdetta.

**Taulukko 8.** Lohikalojen lisääntymisalueet

Selite	Pisteytys
Kaivettu oja tai luonnonpuro kulkee läjitysalueen sisällä tai alueen rajalla ja kokonaisvirtausmatka inventoidulle lisääntymisalueelle < 1 km	3
Kaivettu oja tai luonnonpuro kulkee läjitysalueen sisällä tai alueen rajalla ja kokonaisvirtausmatka inventoidulle lisääntymisalueelle ≥ 1 - 5 km	2
Kaivettu oja tai luonnonpuro kulkee läjitysalueen sisällä tai alueen rajalla ja kokonaisvirtausmatka inventoidulle lisääntymisalueelle ≥ 5 km	1
Ei uomayhteyttä	0

#### 4.4 Velvoitetarkkailu

Kivimäki ja muut (2019) mukaan maanlajitustoiminnasta ei ole tehty aikaisemmin velvoitetarkkailutulosten yhteenvetotarkastelua, jossa tarkastellaan erityyppisten maanlajitusalueiden yleisimpiä vaikutuksia pohja- ja pintavesiin. Velvoitetarkkailutuloksia kokoamalla monelta eri maanlajitusalueelta saatiin tarkempi käsitys maanlajitusalueiden mahdollisista vaikutuksista pinta- ja pohjavesiin.

Velvoitetarkkailutuloksia koottiin mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta mahdollisten veden laadun muutostrendien arvioimiseksi. Analyysituloksia saatiin suoraan toimijoilta sekä Uudenmaan ELY-keskukselta, Keski-Uudenmaan ympäristökeskukselta sekä kaupunkien ja kuntien valvontaviranomaisilta. Tutkimuksessa vesien velvoitetarkkailutuloksia on yhteensä 11 eri toiminta-alueelta. Ensimmäiset velvoitetarkkailutulokset ovat 1990-luvulta ja viimeiset vuodelta 2019. Valtaosassa kohteista velvoitetarkkailua on vain muutaman vuoden ajanjaksolta ja velvoitetarkkailu ei ole aina säännöllistä. Eri toiminta-alueilla vedestä määritetyt muuttujat vaihtelevat toiminnan tyypistä ja näytteiden analyysin suorittavasta tahosta johtuen. Tämä tarkoittaa, että osa analyyseista sisältää pienemmän otannan kuin yleisimmin analysoitavien aineiden kohdalla. Pintavesien ja pohjavesien laadun tarkkailuvelvoitteiden mukaiset analyysiohjelmat ympäristöluvanvaraisilla pilaantumattomien ylijäämämaiden läjitysalueilla vaihtelevat. Kivimäki ja muut (2019) mukaan velvoitetarkkailua määrätään useimmiten suoritettavaksi kerran tai kaksi kertaa vuodessa, keväisin ja syksyisin ylivirtaamakausten aikaan. Tyypillisesti läjitysalueiden pohjavesinäytteistä analysoidaan suppeampi muuttujapaketti kuten lämpötila, ulkonäkö, haju, väri, sameus, kiintoaine, pH, alkaliteetti, kokonaiskovuus, sähkönjohtavuus, kloridi, rauta, mangaani, alumiini, happi, mineraaliöljyt. Laajempia analyysiohjelmiä toteutetaan harvemmin, vain tiettyinä näyteajankohtina. Tyypillisesti laajemmassa paketissa määritellään edellisten lisäksi sulfaatti, CODMn, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori, kromi, arseeni, kupari, sinkki, lyijy, kadmium ja elohopea. Analyysit, joita vaaditaan vaihtelevat toiminnan luonteen sekä aikaisempien pinta- ja pohjavesitulosten perusteella. Pintavesinäytteistä puolestaan määritetään useimmiten kokonaistyyppi, nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyppi, kemiallinen hapenkulutus, pH, kiintoaine, ulkonäkö ja öljyhiilivedyt C10-C40.

Kivimäki ja muut (2019) totesivat, että velvoitetarkkailutuloksia ei ole koottu valvontaviranomaisten tai toiminnanharjoittajien toimesta yhteiseen arkistoon tai tietopankkiin. Vanhemmat velvoitetarkkailutulokset löytyvät osittain paperisina, jolloin tuloksia on koottu skannaamalla raportteja sähköiseen muotoon. Kyseis-

ten tarkkailuraporttien sisältö ja tulosten käsittelytapa vaihtelevat kohteittain suuresti. Tyypillisesti velvoite-tarkkailutulokset on liitetty vuosiraporttiin, josta löytyy tarkkailualueen tietoa yleisesti kuten, alueen maa-perä- sekä pinta- ja pohjavesiolosuhteiden kuvaus, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä lyhyt arvio tarkkailutuloksista. Osassa tapauksissa tarkkailuraporttien sisältö oli suppeampaa. Raportoinnin tarkkuuteen vaikuttavat tarkkailua suorittava taho sekä valvontaviranomaisten asettamat vaatimukset. Tämän tutkielman koostetut velvoitetarkkailutulokset kattavat osan maanlajitystoiminnan velvoitetarkkailusta ja muodostavat suuntaa antavan kuvan maanlajitysalueiden ympäristön vesien laadusta.

## 4.5 Seuranta-alueet ja näytteenotto

Seuranta-alueita valittaessa on pyritty muodostamaan mahdollisimman laaja kuva Vantaanjoen valuma-alueella tehtävästä pilaantumattoman ylijäämämaan maanlajityksestä ja välivarastoinnista. Seurantakohteet edustavat sekä toimintaympäristöltään että hydrogeologialtaan erilaisia alueita. Seuranta-alueen valitsemisessa hyödynnettiin GTK:n pinta- ja pohjamaalajien tulkintaa (Maaperä 1:20 000/1:50 000). Paikkatietoanalyysin tulosten ja esiselvitysvaiheen maastokierrosten havaintojen perusteella valittiin seurantakohteiksi soveltuvat alueet ja oltiin yhteydessä alueen vastaaviin toimijoihin. Seurantakohteiksi valikoitui kolme aluetta, joiden toimijoiden kanssa sovittiin yhteistyöstä ja alueella toteutettavista tutkimuksista. Pinta- ja pohjaveden laadun seuranta tehdään Riihimäellä, Nurmijärvellä ja Vantaalla.

Näytteenottoajankohdat on määritelty eri vuodenaikoihin, jotta mahdollisesta kuormituksesta saadaan kokonaiskuva. Näytteenotto on keskitetty ylivirtaamakausiin, jolloin mahdollisten haitallisten aineiden huuhtoutuminen kiintoaineksen mukana on todennäköisintä. Pinta- ja pohjaveden laadun tutkimuksia seuranta-kohdealueilla ehdittiin tehdä kaksi kierrosta syksyn 2019 aikana.

Kahdella seurantakohteella: Mustajoen multajaloste (MMoy) ja Metsä-Tuomelan maankaatopaikalla (MTMKP) vesinäytteenotto sisälsi pohja- ja pintavesinäytteitä. Kolmannella seurantakohteella Solbacka-Kiila-Myllykylä (SKM) tarkkailu toteutettiin ottamalla vain pintavesinäytteitä. Ensimmäisellä näytteenottokierroksella vesinäytteet ottivat VHVSY:n sertifioitu näytteenottaja ja tutkielman tekijä. Toisella näytteenottokierroksella vesinäytteet ottivat VHVSY:n työntekijät. Näytteenotossa on noudatettu VHVSY:n pohjavesi- ja vesistönäytteenottoa koskevia menettelytapaohjeita, jotka perustuvat näytteenottomenetelmiä koskeviin standardeihin ja kansallisiin ohjeisiin. Maanlajitysalueiden pintavesistä ja niiden lähistöltä tarvittiin useampia näytteitä, jotta mahdollinen kuormitus voidaan havaita. Näytteiden määrä riippui seuranta-alueen koosta ja uomayhteyksistä. Pohjavesinäytteet otettiin maanlajitysalueiden kiinteistöjen pohjavesiputkista ja kiinteistöjen läheisyydessä olevista pohjavesiputkista. Pohjavesinäytteiden määrä vaihteli pohjaveden havaintoputkien vesitilanteen mukaan. Pohjavesiputkista mitattiin vedenpinnan korkeus pinnankorkeusmittarin avulla ja esipumppauksen aikana selvitettiin niiden antoisuudet. Pohjavesinäytteet otettiin kertakäyttöisellä putkinoutimella (näytteet öljyhiilivetyjen C10-C40 määrittystä varten) ja Twister-näytteenottopumpulla, josta pohjavesi kerättiin näytepulloihin.

Vesinäytteen analysoitiin Metropoli Lab Oy:n FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoimassa testauslaboratoriossa T058, (SFS-EN ISO/IEC 17025). Ensimmäisellä näytteenottokierroksella syyskuussa 2019 kaikista vesi-

näytteistä tehtiin samat analyysit, jotka olivat: pH, sameus, väriluku, happipitoisuus (mg/l ja kyll-%), sähköjohtavuus, kloridi, sulfaatti, alkaliteetti, CODMn, DOC, nitraattityppi, nitriittityppi, ammoniumtyppi, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn, heterotrofinen pesäkeluku 22 °C, koliformiset bakteerit (35-37 °C) ja E. coli. VOC-yhdisteet (laaja analyysipaketti), Öljyhiilivedyt C5 – C40, PAH-yhdisteet (laaja PAH yhdistepaketti). Toisella näytteenottokierroksella vesinäytteistä tehtiin samat analyysit kuin ensimmäisellä näytteenottokierroksella mutta VOC-yhdisteet jätettiin pois.

Alkuainepakettista näytteet määritettiin oja- ja lampivesinäytteiden osalta sekä suodattamattomista että suodatetuista (0,45 µm) näytteistä. Pohjavesinäytteiden osalta alkuainepaketti määritettiin vain suodatetuista (0,45 µm) näytteistä. Vesinäytteiden analyysien yksiköt, epävarmuus-%, menetelmät ja viranomaisten asettamat raja-arvot ovat esitetty liitteessä 1.

### 4.5.1 Arolampi, Mustajoki

Riihimäen Arolammen seuranta-alue valikoitui geologian ja mullanjalostushistorian perusteella. Kyseisellä alueella on paljon vaihtelua pintamaalajeissa. Maankamara (2019) palvelun mukaan valtaosa alueen pintamaalajista on hiekkamoreenia ja lounaisreunaa sivuaa hiekkamuodostuma. Alueen lähistöllä pintamaalajeina tavataan savea, hiesua ja hienoa hietaa. Kyseiset pintamaalajit ovat viimeisimmän jääkauden kasaamia. Pohjamaalajeina hiekkamoreenia, saraturvetta, soraa, hiekkaa, hiesua ja savea. Maapeitepaksuus vaihtelee 1 – 12 metrin välillä. Pohjamaalajien laatu vahvistettiin samalla, kun uusia pohjaveden havaintoputkia asennettiin. Aluekuvaus on esitetty liitteessä 6.

Kivimäen ja muiden (2019) mukaan Riihimäellä sijaitsevalla MMoy:n kiinteistöllä on jalostettu multaa 1980-luvulta lähtien. Mullanjalostustoiminta sisältää hiekan, hiesun, mullan ja turpeen kuljettamista alueelle, niiden kasaamista ja seulomista. Mullanjalostusta tehdään sulan maan aikaan eli huhtikuusta marraskuuhun. Toiminnan alkuvaiheessa alueella on nostettu turvetta, minkä seurauksena alueelle on muodostunut kolme lammikkoa. Nykyisin mullan valmistuksessa tarvittava turve tuodaan muualla sijaitsevalta turvetuotantoalueelta. Alueen toiminta perustuu Riihimäen kaupungin rakennusvalvontaviranomaisen myöntämiin maisemätyö- ja toimenpidelupiin. Toimenpideluvan puitteissa kiinteistöllä on tehty täyttöjä mullanvalmistuskentän laajentamiseksi. Täyttöihin on käytetty betonimursketta ja savimaita. Varsinainen mullanvalmistustoiminta ei edellytä ympäristölupaa.

Kivimäki ja muut (2019) toteavat, että ojia pitkin alueelta virtaa vesiä kahteen suuntaan; keskiosassa sijaitsevista kahdesta lammikoista vedet virtaavat kohti pohjoiskoillista ojaa, joka laskee Vantaanjokeen. Kiinteistön luoteis- ja itäosasta vedet virtaavat ojaa pitkin kohti lounasta, purkautuen Paalijokeen. Vesien johtamiseksi edellä mainittuihin ojiin, ojauomia on paikoitellen ruopattu kiinteistön alueella. Kiinteistöltä ei ole aiempia tutkimustuloksia pohjavesiolosuhteisiin liittyen. Alueen keskiosassa, josta on nostettu turvetta, maan pintaosassa maakerrokset koostuvat siltistä. Syksyllä 2019 tehtyjen maaperäkairausten mukaan pohjavesikerroksen paksuus on 2,6 – 8,7 m. Vantaanjoen valuma-alueella on useita mullanvalmistusalueita, mutta niiden mahdollisista vaikutuksista vesiin ei ole olemassa tarkkailutuloksia, koska toimintaan ei liity ympäristöluvan mukaisia tarkkailuvelvoitteita.

## 4.5.2 Nurmijärvi, Metsä-Tuomela

Nurmijärvellä sijaitsevan Metsä-Tuomelan seuranta-alue valikoitui sen historian, toimintatapojen ja velvoitetarkkailuhistorian takia. Kivimäen ja muiden (2019) mukaan MTMKP sijaitsee Nurmijärven kunnan alueella Metsä-Tuomelan jäteaseman läheisyydessä. Maankaatopaikka rajautuu etelästä ASM Kiviaines-palvelun kiviaineksen louhinta- ja murskausalueeseen. Maankaatopaikan vuosittainen läjitettävä maa-aines määrä on enimmillään 50 000 tonnia, ja alkuperäisen maankaatopaikan suunniteltu enimmäistäyttö 640 000 m<sup>3</sup>tr. Tällä hetkellä maankaatopaikalle loppusijoitetaan pilaantumattomia ylijäämämaita vain Nurmijärven kunnan alueelta. Loppusijoitettavat maa-ainekset ovat pääasiassa savimaita. Etelä-Suomen aluehallintovirasto myönsi vuonna 2018 ympäristöluvan maankaatopaikan laajentamiselle sen länsipuolella olevalle kiinteistölle. Aluekuvaus on esitetty liitteessä 7.

Kivimäki ja muut (2019) toteavat, että ennen läjitystoiminnan aloittamista nykyisen maankaatopaikan alue oli kallioaluetta, jonka päällä ei ollut irtomaakerroksia. Kalliokohoumien välisissä painanteissa on esiintynyt maakerroksia 0 – 8 m paksuudelta. Maankaatopaikan keskiosassa on kallioperän luode-kaakko ja lounas-koillinen suuntainen ruhjevyyhyke, jossa kallio on rikkonaista sekä vettä johtavaa. Heikkousvyöhykkeen alueella kallionpinnan päällä on alle 10 m paksuinen moreenikerros, ja paikoitellen pinnalla on savi sekä silttikerroksia. Irtomaakerroksen paksuus vaihteli eniten läjitysalueella. Alueella tehtyjen maaperäkairausten yhteydessä vuonna 2006 asennettiin neljä pohjaveden havaintoputkea. Havaintoputkista tehtyjen pohjaveden pinnan korkeuden mittausten perusteella pohjavesi virtaa maankaatopaikan keskiosassa pääasiassa etelään ja lounaaseen, kallioperän heikkousvyöhykkeitä myötäillen. Maankaatopaikan pohjoisosasta pohjavesi virtaa kohti koillista. Alueella on todettu myös paineellista pohjavettä (Manninen 2017). Havaintoputkista vain yksi on säännöllisessä tarkkailussa. Muut putket ovat tuhoutuneet maankaatopaikan täytön edetessä. Pohjamaalajien laatu varmistettiin samalla, kun uusia pohjaveden havaintoputkia asennettiin syksyllä 2019.

Mannisen (2017) ja Kivimäen ja muiden (2019) mukaan MTMKP sijaitsee vedenjakaja-alueella, joka jakaa maankaatopaikan alueen kolmeen eri valuma-alueeseen. Alueen pohjoisosan pintavedet valuvat ojaa pitkin koilliseen. Alueen länsiosan pintavedet valuvat lounaaseen ja luoteeseen ja päätyvät Liimaniitunojaan, joka virtaa etelään. Laajennusalueen pintavedet kerääntyvät lounaaseen virtaavaan avo-ojaan ja päätyvät sitä pitkin läheiseen lampeen. Alueen itäosan pintavedet valuvat pintavaluntana itäpuolella olevien peltojen ojiin ja sieltä edelleen etelään.

### 4.5.3 Vantaa, Solbacka-Kiila-Myllykylä

SKM:n pientaloalue sijoittuu Helsinki-Vantaan lentoaseman luoteispuolelle, jossa on erilaista teollisuutta ja muun muassa maanläjitystoimintaa useassa eri kohteessa. Alueen läpi kulkee Tuusulanjoki, joka laskee alempana Vantaanjokeen. Pääasiassa alueen toimijoiden harjoittama maanläjitystoiminta alittaa läjitettävältä kokonaisuudeltaan ympäristölupa-an vaadittavat määrät, joten toimijoilta ei vaadita velvoitetarkkailua. Aluekuvaus on esitetty liitteessä 8.

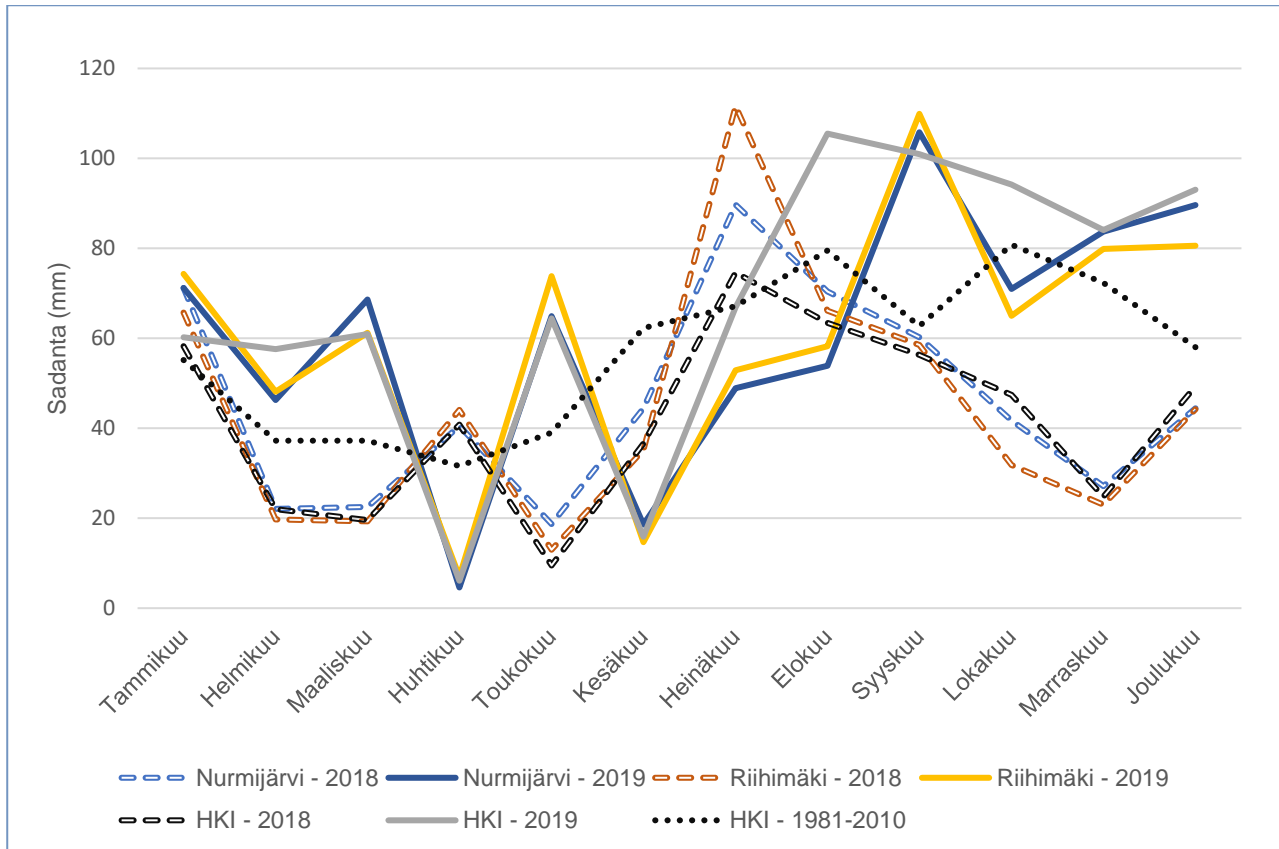
Tuusulan ja Vantaan kuntarajan tuntumassa sijaitsevalla Myllykylän-Solbackan alueella sijaitsee useita toimintoja, joilta voi pintavalunnan mukana kulkeutua kiintoainekseen kiinnittyneenä tai veteen liuenneena haitallisia aineita tai yhdisteitä lähiojiin ja niiden kautta Tuusulanjokeen. Kivimäen ja muiden (2019) mukaan Kiilan alue ja Myllykylän alue ovat osittain rauhallista omakotitaloaluetta, ja osittain vilkasta teollisuusaluetta, jota halkoo säännöllinen raskas liikenne. Maanläjityskohteina Myllykylänkosken-Solbackan alueella sijaitsevat muun muassa Pihamaa Oy:n mullanvalmistusalue ja Helsinki-Vantaan lentoaseman pohjoisreunalla sijaitseva Finavian maankaatopaikka. Alueiden vilkkaan toiminnan ja työturvallisuuteen liittyvien tiukkojen ohjeistusten vuoksi ulkopuolisen henkilöstön säännöllistä maastotyöskentelyä kiinteistöillä ei sallittu. Näin ollen näillä alueilla ei tehty pohjavesien laadun seuranta. Finavian maankaatopaikan alueella toteutetaan ympäristölupamääräysten mukaista pohjaveden laadun velvoitetarkkailua, jonka tuloksia on hyödynnetty velvoitetarkkailutuloksia koostettaessa. Vantaan puolella sijaitsevaan Tuusulanjokeen laskee itäpuoleiselta teollisuusalueelta Solbackan seuranta-alueella kolme pientä uomaa, joissa tarkastellaan veden laatua Tuusulanjoen lisäksi.

Maankamara (2019) palvelun mukaan Vantaalla sijaitsevan SKM:n seuranta-alueen pinta- ja pohjamaalaji muodostuu pääasiassa savesta. Maapeitteen paksuus vaihtelee 10 – 30 metrin välillä ja on ohuimmillaan seuranta-alueen keskiosissa. Tällä ohuimmalla alueella on myös pieni kalliopaljastuma. Seuranta-alueella on myös osittaista vaihtelua pinta- ja pohjamaalajeissa ja seuranta-alueella on pienempiä hiekkamoreeni, hie-non hiedan- sekä hiesumuodostumia. Alueella on myös yksittäisiä hiekkavaltaisia harjuja.

## 4.6 Vantaanjoen sadanta

Sadantaa on tarkasteltu vain tutkielman aikana tehtyjen seurantatulosten osalta Nurmijärvellä, Riihimäellä ja Vantaalla. Riihimäen sadesummien tarkasteluun on hyödynnetty lähintä tarkkailuasemaa, joka löytyy Hyvinkäältä Hyvinkäänykylästä. Vuosien 2018 – 2019 aineisto on muodostettu ilmatieteen laitoksen avoimen datan tulosten perusteella. Vuosien 1981 – 2010 pitkäajankeskisarvo Helsinki-Vantaan lentoasemalta on muodostettu ilmatieteen laitoksen hila-aineiston pohjalta. Sadesummat muistuttavat kaikilla kolmella mittauspisteellä paljon toisiaan. Vuosien 2018 ja 2019 kuukausikohtaiset kokonaissademäärät ovat olleet päinvas-taiset 2018 helmikuu – maaliskuu on ollut vähäsateinen verrattuna vuoden 2019 tilanteeseen. Vuoden 2018 huhtikuussa kaikilla havaintoasemilla sademäärät ovat olleet noin 40 (mm), kun taas vuoden 2019 huhti-kuussa kaikkien havaintoasemien sadesummat ovat olleet < 10 (mm). 2018 alkukesä oli vähäsateinen ja vuo-den 2019 alkukesä oli runsassateinen. Heinäkuussa sademäärät ovat normaalisti kasvaneet ja vuoden 2018

heinäkuun sademäärät olivat korkeat. Loppuvuosi 2018 oli vähäsateinen verrattuna vuoden 2019 loppuvuoteen, joka oli runsassateinen. Vuosien 2018 ja 2019 sademäärät ovat vaihdelleet voimakkaasti pitkänajan keskiarvosta Helsinki-Vantaan lentoasemalla (Kuva 9). Syyskuun 2019 mittausajankohtana sadanta on ollut 101 mm, mikä on 161 % suurempi kuin vuosien 1981-2010 syyskuun keskiarvo. Marraskuun 2019 mittausajankohtana sademäärät ovat poikenneet 116 % pitkänajankeskiarvosta. Syyskuun sadannan keskiarvo on ollut vain viisi kertaa korkeampi kuin vuoden 2019 syyskuun sadannan keskiarvo. Vantaan ilmastoaseman muut havaintojaksot ovat olleet keskimäärin kuivempia kuin syksyn 2019 mittausajankohdat.



**Kuva 9.** Vantaan ilmastoaseman (Helsinki-Vantaan lentoasema), Nurmijärven Röykän ja Hyvinkäänkylän mittaamat kuukausikohtaiset kokonaissademäärät (mm) vuosille 2018 ja 2019 sekä kuukausikohtainen keskiarvosadanta (mm) vuosille 1981–2010 Helsinki-Vantaan lentoasemalta (pistejana). Katkoviivat kuvastavat vuoden 2018 tilannetta ja yhteneväiset viivat kuvastavat vuoden 2019 tilannetta.

#### 4.7 Vertailu- ja tilastollinen tarkastelu

Tulosten vertailua ja tilastollista tarkastelua on tehty SPSS-ohjelmistolla paikkatietoanalyysille, veloitettarkkailu- ja seuranta-alueiden tuloksille. Ranta ja muut (1997) Biometrian kuudetta painosta hyödynnettiin tilastoanalyysissä. Muuttujien jakaumat tarkistettiin SPSS:n P-P plotilla, jolla selvitettiin, olivatko muuttujat normaalisti tai log-normaalisti jakautuneita. Korrelaatiokertoimien laskemista varten käytettiin Spearmanin



korrelointia. Tilastollisessa analyysissä on käytetty hierarkkista klusterointia vesityyppien jakautumisen tarkastelua varten. Paikkatietoanalyysin tarkastelua on tehty vertailemalla valikoitujen muuttujien pitoisuuksia kokonaistulokseen boxplot- kuvaajilla. Seuranta-alueiden pinta- ja pohjaveden laatuun vaikuttavien tekijäryhmien välistä merkitystä tutkittiin faktorinanalyysillä.

Tutkielman pinta- ja pohjavesituloksia on verrattu Suomen ympäristökeskuksen ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertasta saatuihin pinta- ja pohjavesituloksiin, jotka ovat esitettyinä liitteissä 9 – 14. Pohjavesituloksia on verrattu Lahermon ja muut (2002) Tuhannen kaivon tutkimustuloksiin ja pintavesiä Lahermon ja muut (1996) Suomen geokemian atlaksen 3. osaan. Pohjavesituloksia on tarkasteltu Valtionneuvoston asetuksen 341/2009 ympäristölaatunormiin (Vna 341/2009), Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimukseen 1352/2015 (STMa 1352/2015) ja talousveden laatusuositukseen 442/2014 (STMa 442/2015) sekä pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukseen 401/2001 (STMa 401/2001).

## 5 Tulokset

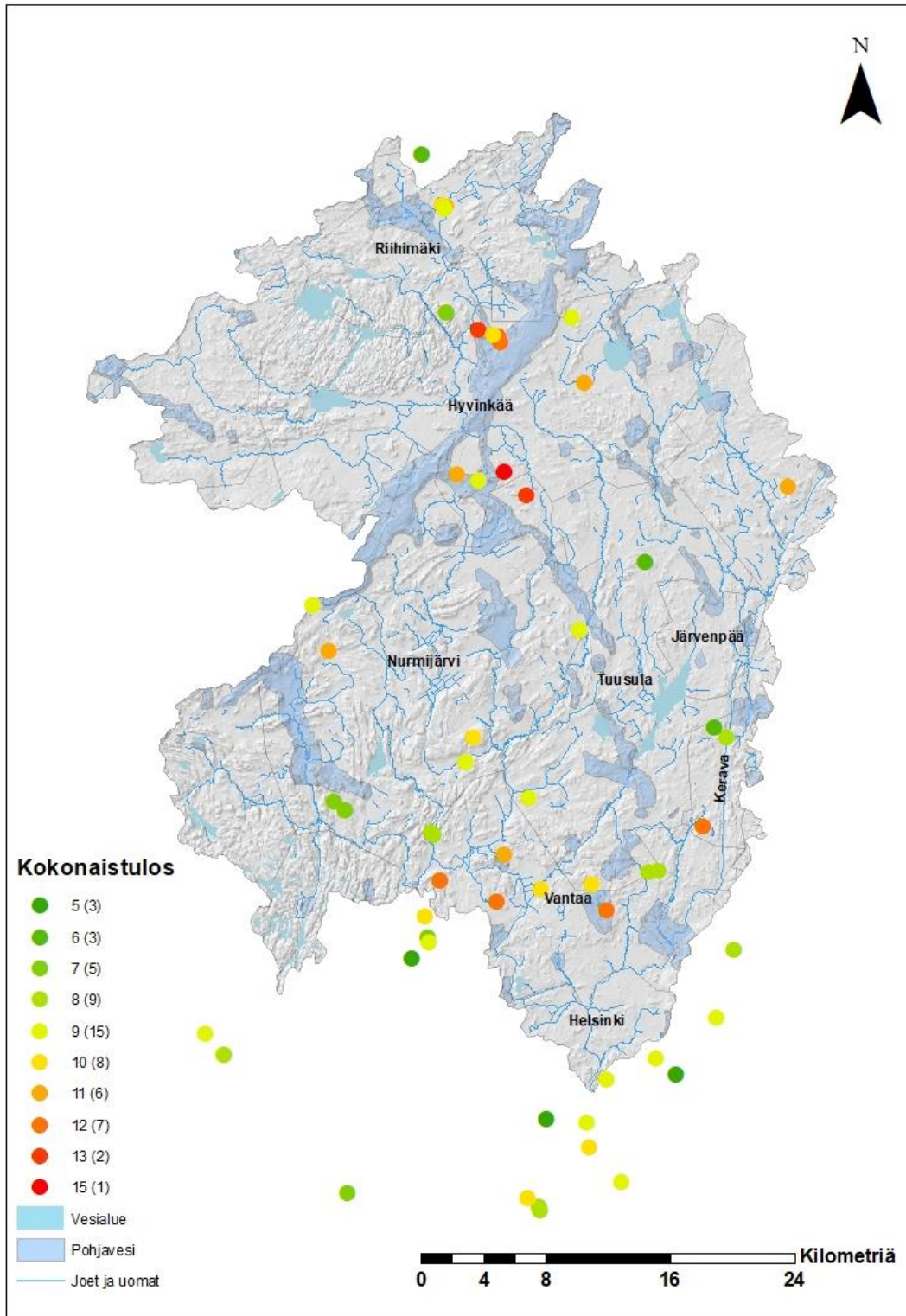
Tässä luvussa on tarkasteltu erikseen paikkatietoanalyysin, velvoitetarkkailujen ja seuranta-alueiden vesinäytteenoton tuloksia. Tutkimuksessa käytettyä paikkatietoanalyysia ei ole käytetty aikaisemmin ja sen tulokset ovat kokeellisia. Paikkatietoanalyysia on tarkoitus kehittää jatkossa ja tavoitteena oli tarkastella, onko tämänkaltaista paikkatietoanalyysia mahdollista käyttää maanlajitusalueiden pinta- ja pohjavesien tilan tarkastelussa. Velvoitetarkkailutuloksia ja seurantatuloksia on muokattu poistamalla osa niistä analyyseista, joita on ollut runsaasti alle määrittämissä, jotta aineistoa on pystytty tarkastelemaan tilastollisesti. Monien muuttujien pitoisuudet olivat alle määrittämissä ja tällöin tulos on tilastollista tarkastelua varten muutettu muotoon 0,5 kertaa määrittämissä. Yhdistämällä paikkatietoaineiston kokonaistuloksen velvoitetarkkailu- ja seuranta-alueiden tuloksiin pyrittiin selvittämään ilmentääkö kokonaistulos pinta- ja pohjavesien laadullista tilaa.

### 5.1 Paikkatietoanalyysi

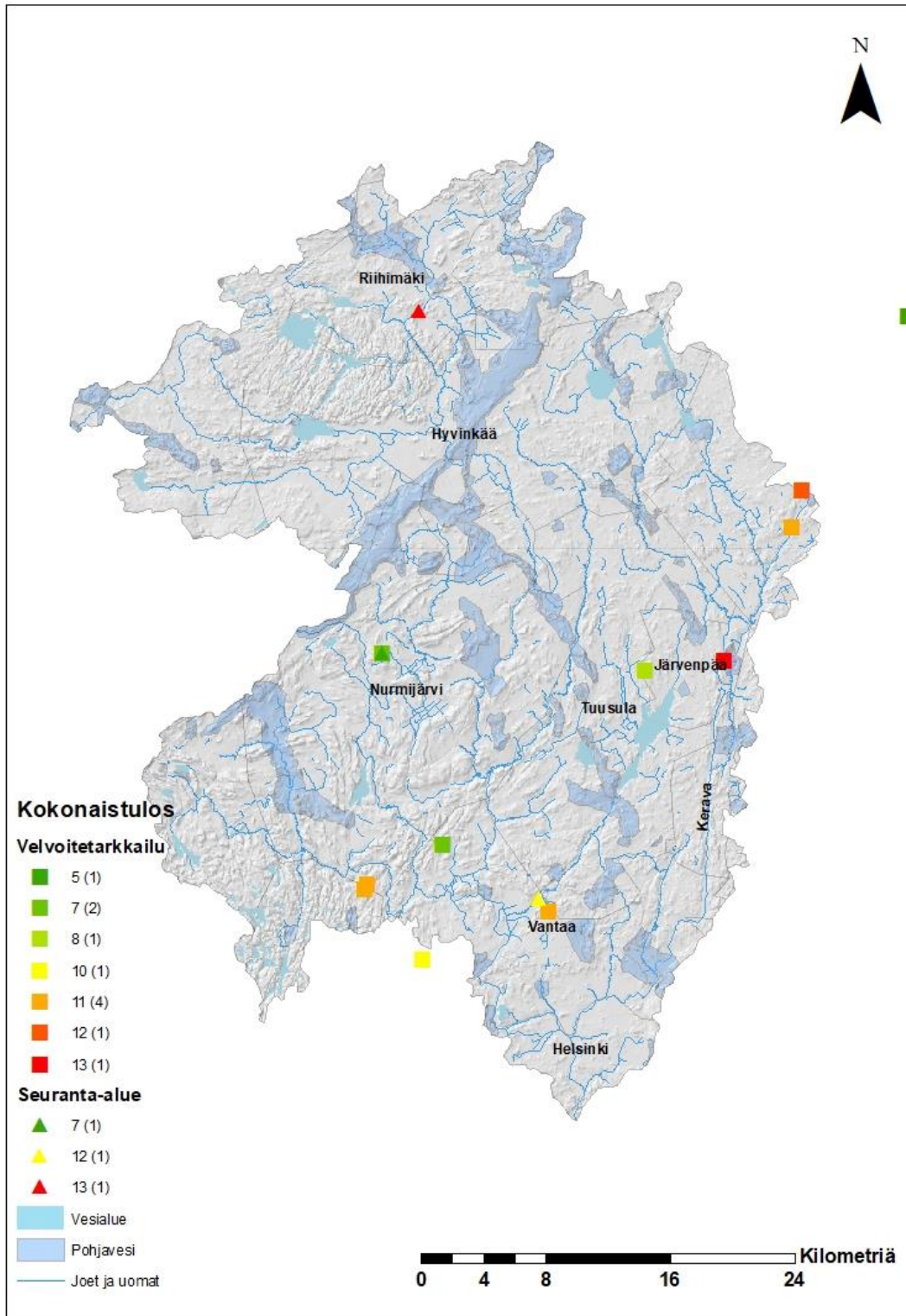
Paikkatietoanalyysissä tarkasteltiin 73 maanlajitusaluetta. Tässä on yhteenlaskettuna ympäristöluvanvaraiset toimijat ja muilla luvilla toimivat alueet. Velvoitetarkkailutulosten tarkastelun rajauksena toimivat Vantaanjoen valuma-alueen rajojen sisällä olevat maanlajitusalueet, joita on tässä hankkeessa yhdeksän. Vantaanjoen valuma-alueen ulkopuolelta on mukana kaksi ympäristöluvallista kohdetta. Velvoitetarkkailukohteita olisi enemmänkin, mutta aineiston suuren määrän ja hankalan saatavuuden vuoksi määrä jäi toivottua pienemmäksi. Paikkatietoanalyysien pohjalta kerättiin pintaveden ja pohjaveden laadun velvoitetarkkailutuloksia kohteista, jotka edustavat kokoluokaltaan ja toimintatyyppiltään erilaisia toimijoita eri puolilta Vantaanjoen valuma-aluetta.

Paikkatietoanalyysin asteikko oli 5-18 ja kokonaistulokset vaihtelivat välillä 5-15. Paikkatietoanalyysissä määritetyn kokonaistuloksen keskiarvo kaikille kartoitetuille 73:lle maanlajitusalueelle oli 9,4 ja mediaani 9. Yli puolet tarkastelluista alueista (65 %) sai kokonaistuloksen  $\geq 9$ . Kokonaistuloksen keskiarvo 59:llä eri puolilla Vantaanjoen valuma-alueen sijaitsevalla maanlajitusalueella ja sen ympärillä on 11,1 (Kuva 10) ja mediaani 9. Kokonaistuloksen keskiarvo 11:sta velvoitetarkkailualueelle on 9,6 ja mediaani 11. Kokonaistuloksen keskiarvo 3:lle seuranta-alueelle on 10,7 (Kuva 11) ja mediaani 12. Edellä mainittujen keskiarvojen perusteella maanlajitustoiminta voi muodostaa riskin pinta- ja pohjavesille. Maastokarttaa tarkasteltaessa huomataan, että monilla alueilla on suora tai välillinen yhteys pienemmän uoman kautta suurempaan vesistöön. Koko aineistosta tunnistettiin 11 pohjavesialueelle sijoittuvaa kiinteistöä, joilla on maanlajitustoimintaa.

Paikkatietoaineiston kokonaistulosten keskiarvot  $> 9$ , mutta  $\leq 12$  kuvaavat pääasiassa hyvin velvoitetarkkailutulosten pitoisuuksia. Maksimi kokonaistuloksen (18) alla pysytään kaikilla velvoitetarkkailualueilla ja yksittäisiä alkuaine- ja yhdistepitoisuuksia ylittyy muutamalla havainnoidulla alueella. Kokonaistuloksen arvosanat ovat erinomainen (5 – 6), hyvä (7 – 8), tyydyttävä (9 – 10), kohtalainen (11 – 12), välttävä (13 – 14) ja heikko ( $> 15$ ). Kokonaistuloksen pisteytys 9 kuvastaa tyydyttävää arvosanaa ja muodostaa keskinkertaisen riskin. Kokonaistuloksen pisteytys 11 kuvastaa jo lievästi kohonnutta riskiä pinta- ja pohjavesille. Kokonaistulosluokkien  $> 11$  kohteet sijoittuvat pääasiassa pohjavesialueille tai virtavesien välittömään läheisyyteen. Vaikka velvoitetarkkailu- tai seuranta-alueen kokonaistulos on suuri, ei se tarkoita, että alueen vesissä alkuaineiden- ja yhdisteiden pitoisuudet olisivat korkeat. Kokonaistulos kuvastaa mahdollista riskiä, jonka maanlajitustoiminta voi aiheuttaa pinta- ja pohjavesille. Velvoitetarkkailutuloksia ollessa vähän, kokonaistuloksia on muutamassa kategoriassa vain yksi kappale. Tämä ei anna tarpeeksi kattavaa kuvaa kyseistä kokonaistuloksesta, vaan kokonaistuloksia tulisi olla useampia. Mikäli velvoitetarkkailutuloksia olisi useampia kymmeniä, kokonaistulosten kattavampi tarkastelu olisi mahdollista. Velvoitetarkkailualueiden suurimmat kokonaistulokseen vaikuttavat muuttujat ovat maaperän vedenläpäisevyys, maanlajitusalueiden lähellä sijaitsevat talousvesikaivot ja etäisyys luonnonpuroihin ja -uomiin. Seurantakohteet edustavat eri kokonaistulosluokkia (Kuva 11) ja kolme suurinta seuranta-alueiden kokonaistulokseen vaikuttavaa muuttujaa ovat samat kuin velvoitetarkkailualueilla. Tulosten tarkastelussa velvoitetarkkailu- ja seuranta-alueiden kokonaistuloksia on osassa analyyseissa tilastollisesti tarkasteltu kahdessa ryhmässä, jossa ovat kokonaistulokset 5-10 ja kokonaistulokset  $\geq 11$ .



Kuva 10. Kartoitettujen maanlajitusalueiden kokonaistulokset paikkatietoanalyysin perusteella pois lukien veloitettarkkailu- ja seuranta-alueet. Valuma-alue data: Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostus data: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Pohjavesi data: Pohjavesialueet 1:20 000 © Suomen ympäristökeskus. Vesistö data: Ranta10 1:10 000 © Suomen ympäristökeskus.



Kuva 11. Maanläjityshankkeessa tarkastellut 11 velvoitetarkkailualuetta ja 3 seuranta-aluetta sekä niiden kokonaistulokset paikkatietoanalyysin perusteella. Valuma-aluejako 1:50 000 © Suomen ympäristökeskus. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 32 m © Maanmittauslaitos. Pohjavesidata: Pohjavesialueet 1:20 000 © Suomen ympäristökeskus. Vesistödata: Ranta10 1:10 000 © Suomen ympäristökeskus.

## 5.2 Velvoitetarkkailu

Velvoitetarkkailutulokset antavat suuntaa-antavia tuloksia, sillä osalla analysoiduista muuttujista näytteitä on analysoitu vähän, eikä kaikkien alueiden velvoitetarkkailujen analyysiohjelmat ole yhteneväisiä. Tämä tarkoittaa, että tiettyjen laboratoriomääritysten osalta näytteet voivat olla peräisin vain yhdeltä velvoitetarkkailualueelta. Velvoitetarkkailutulosten pohjalta suurimman painoarvon saavat alkuaineet ja yhdisteet, joista on määrällisesti eniten analyysseja.

Pintavesianalyysien laajuus velvoitetarkkailutulosten perusteella on suppeampaa kuin pohjavesien osalta. Pintavesien osalta on yleensä tutkittu vain välttämättömimmät alkuaineet, ominaisuudet ja yhdisteet, jotka ovat esitettyinä taulukossa 9. Pinta- ja pohjavesien velvoitetarkkailutuloksista on esitetty keskiarvo-, mediaani-, minimi-, maksimi- ja normaalijakaumatuloksia. Pintavesien velvoitetarkkailutuloksia on laajemmin liitteessä 2.

Näytteiden suodatuksen vaikutus huomataan parhaiten muun muassa alumiinin, kromin, raudan, mangaanin ja lyijyn pitoisuuksissa. Suodattamisen vaikutuksia havaitaan myös molybdeenillä, kuparilla ja sinkillä. Lähtökohtaisesti suodattamattomissa näytteissä pitoisuudet ovat suurempia kuin suodatetuissa. Edellä mainituille alkuaineille on tyypillistä sitoutua kiintoainekseen ja orgaaniseen ainekseen, jolloin ne kulkeutuvat vedessä mikropartikkeleiden mukana (Lahermo ja muut 2002). Suodattaessa 0,45 µm suodattimella osa kiintoaineksesta pidättäytyy suodattimeen, jolloin kiintoainekseen sitoutuneet alkuainepitoisuudet laskevat vedessä.

Yksittäisiä korkeita pintaveden maksimipitoisuuksia on eri alkuaineilla ja yhdisteillä, jotka eroavat paljon tulosten mediaaniarvoista kuten COD<sub>Mn</sub> 49 mg/l, liukoisella alumiinilla 34000 µg/l, liukoisella arseenilla 33 µg/l, liukoisella koboltilla 17 µg/l, liukoisella kromilla 66 µg/l, liukoisella lyijyllä 11 µg/l, liukoisella molybdeenilla 74 µg/l, liukoisella nikkelillä 32 µg/l, liukoisella raudalla 0,45 µm:n suodatuksella 37000 µg/l, liukoisella sinkillä 150 µg/l, liukoisella sinkillä 0,45 µm:n suodatuksella 100 µg/l ja liukoisella vanadiinilla 45 µg/l. Korkeat mediaanipitoisuudet esiintyvät liukoisella alumiinilla 381 µg/l ja liukoisella raudalla 0,45 µm suodatuksella 2330 µg/l verrattuna Lahermo ja muut (1996) tuloksiin. Korkeat alumiini ja rautapitoisuudet ovat yhteydessä suureen määrään kiintoainesta, jota pääsee maanlajitysalueilta pintavesiin. Lahermo ja muut (1996) mukaan kohonnut alumiinipitoisuus on todennäköisesti peräsin savipitoisesta maa-aineksesta. Rauta pidättyy orgaaniseen ainekseen, jota vapautuu maanlajitysalueilta, jolloin korkea rautapitoisuus korreloi orgaanisen aineksen määrän kanssa pintavesissä. Pintavesien sähkönjohtavuus muistuttaa jokivesien keskimääräistä sähkönjohtavuutta ja pH on lähellä neutraalia kuten, Oravainen (1999) on todennut vesistötulosten tulokinnan opasvihkosessa. Öljyhiilivety-yhdisteitä esiintyy hyvin alhaisia pitoisuuksia ja ne pysyvät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta määritysrajojen sisällä.

Taulukko 9. Pintavesien velvoitetarkkailutuloksia 292 näytteenotosta kahdeksalta eri maanlajitysalueelta. Velvoitetarkkailutuloksista on laskettu SPSS:llä keskiarvo-, mediaani-, minimi-, maksimi- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Sulfaatti_SO4 (mg/l)	214	1	260	52	67	56
Kloridi_Cl (mg/l)	62	0.004	81	16	21	18
Ammoniumtyppi_NH4-N (mg/l)	208	0	24	0.08	0.5	1.8

Happi (mg/l)	84	1.1	12	8	7.6	2.4
COD (Mn) (mg/l)	85	0.25	49	23	23	10
Nitraattityppi_NO3-N (mg/l)	32	0.003	9.4	0.28	1.1	2.1
Nitriittityppi_NO2-N (µg/l)	21	0.01	48	5	10	14
Kokonaistyyppi_kok-N (µg/l)	220	6.4	9600	1300	1632	1216
Kiintoaine (mg/l)	251	0	710	11	35	82
Alkaliteetti (mmol/l)	21	0.28	2	0.78	0.87	0.43
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä _TOC (mg/l)	3	11	30	19	20	9.5
Alumiini_Al_liukoinen (µg/l)	16	120	34000	381	4781	10724
Antimoni_Sb_liukoinen (µg/l)	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Arseeni_As_liukoinen (µg/l)	27	0.2	33	0.5	2.4	6.3
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	1	6	6	6	6	
Elohopea_Hg_liukoinen (µg/l)	2	0.015	0.035	0.025	0.025	0.01
Elohopea_Hg (µg/l)	3	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Kokonaisfosfori_P (µg/l)	245	0	51	0.027	0.26	3.3
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	25	8	220	25	40	49
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	20	0.01	0.5	0.05	0.1	0.15
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	23	0.07	17	1	2.5	4
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	31	0.03	66	1.5	6	15
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	27	1.5	24	5	5.7	5.5
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	195	0	11	1	1.5	1.6
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	3	1	12	3.6	5.5	5.7
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	106	0.1	74	3.9	7.9	11
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	19	0.2	32	2	4.1	6.9
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	50	15	37000	2330	4215	7254
Sinkki_Zn_liukoinen (µg/l)	49	0.015	100	5.7	10	18
Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	106	0	150	6.4	10	18
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	109	0	45	0.82	2.1	4.8
Kevyet hiilivedyt C5-C10 (µg/l)	6	30	30	30	30	0
Keskiraskaat C10-C21 (µg/l)	37	0.3	30	30	20	10
Raskaat C21-C40 (µg/l)	37	0.3	30	30	20	10
Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	26	10	25	25	23	5.5
Mineraaliöljyt (IR-menetelmä) (mg/l)	62	0.03	4.8	0.05	0.15	0.61
pH	125	4.5	9.1	7	7.02	0.61
sähkönjohtavuus (mS/m)	126	4.1	95	22	27	20

Velvoitetarkkailutulosten perusteella pohjavesinäytteiltä on analysoitu enemmän muuttujia kuin pintavesi-analyyseiltä. Pohjavesien osalta on yleensä tutkittu välttämättömimmät alkuaineet, ominaisuudet ja yhdisteet, jotka ovat esitettyinä taulukossa 10. Pohjavesien velvoitetarkkailutuloksia on laajemmin liitteessä 3. Katavampia analyyseja on tehty tarvittaessa ja viranomaisten määräysten mukaan. Ainoastaan liukoisen kalsiumin 27 µg/l ja liukoisen bariumin 32 µg/l mediaanipitoisuudet ovat lievästi koholla verrattuna Lahermon ja muut 1996, Hatakka ja Ulpu 2007 pohjavesituloksiin. Pintavesituloksiin verrattuna typpiyhdisteitä on pohjavesissä enemmän. Yksittäisiä korkeita maksimipitoisuuksia on eri alkuaineilla ja yhdisteillä, jotka eroavat paljon tulosten mediaaniarvoista kuten sulfaattilla 290 mg/l, kloridilla 1200 mg/l, ammoniumtyypellä 53 mg/l, COD<sub>Mn</sub> 52 mg/l, nitraattityypellä 18 mg/l, nitraatilla 16 mg/l, nitriitillä 50 mg/l, kokonaistypellä 57 mg/l, kiintoaineksella 20 000 mg/l, alkaliteetilla 16 mmol/l, liukoisella kalsiumilla 150 mg/l, liukoisella magnesiumilla 60 mg/l, liukoisella alumiinilla 1100 µg/l, liukoisella arseenilla 23 µg/l, liukoisella bariumilla 76 µg/l, liukoisella boorilla 127 µg/l, liukoisella kadmiumilla 30 µg/l, liukoisella koboltilla 41 µg/l, liukoisella kromilla 67 µg/l, liukoisella kuparilla 230 µg/l, liukoisella lyijyllä 81 µg/l, liukoisella mangaanilla 9800 µg/l, liukoisella molybdeenilla 21 µg/l, liukoisella nikkelillä 68 µg/l, liukoisella raudalla 220000 µg/l, liukoisella sinkillä 23000 µg/l, liukoisella sinkillä 1300 µg/l ja liukoisella vanadiinilla 88 µg/l. Öljyhiilivety-yhdisteitä esiintyy satunnaisesti hyvin alhaisia pitoisuuksia ja vain yksittäisiä määritysrajan ylityksiä on esiintynyt. Öljyhiilivetyjen osalta suurin todettu pitoisuus on 250 µg/l. Öljyhiilivetyjen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> esiintyminen pohjavedessä on kuitenkin merkki toiminnan vaikutuksesta pohjaveden laatuun, todennäköisenä aiheuttajana työkoneiden tai varikkoalueiden säiliöiden polttoainevuoto. Sähkönjohtavuuden ja pH:n mediaanit ovat lähellä Lahermon ja muut (2002) tuhannen kaivon tutkimuksen pora- ja rengaskaivosvesien mediaanipitoisuuksia muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Sähkönjohtavuuden ja pH:n arvot ilmentävät pehmeitä vesiä, jotka ovat tyypillisiä peruskallioalueille.

Taulukko 10. Pohjavesien velvoitetarkkailutuloksia 480 näytteenotosta 11:ta eri maanläjitysalueelta. Velvoitetarkkailutuloksista on laskettu SPSS:llä keskiarvo-, mediaani-, minimi-, maksimi- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Sulfaatti_SO4 (mg/l)	299	0.5	290	17	23	29
Kloridi_Cl (mg/l)	354	0.01	1200	9.1	41	146
Ammoniumtyppi_NH4-N (mg/l)	327	0.002	53	0.011	0.736	4
Ammonium NH4 (mg/l)	5	0.005	0.35	0.005	0.074	0.154
Happi (mg/l)	347	0	11	2.1	3	3
COD (Mn) (mg/l)	242	0.25	52	2.5	6.1	9
KMnO4-luku (mg/l)	22	1	18	2.05	3.86	3.8
Nitraattityppi_NO3-N (mg/l)	118	0.002	18	0.081	0.53	1.8
Nitraatti NO3 (mg/l)	18	0.03	16	0.5	3.61	5.3
Nitriittityppi_NO2-N (µg/l)	104	0	110	1	4.28	12
Nitriitti NO2 (mg/l)	11	0.01	50	0.01	4.56	15
Kokonaistyyppi_kok-N (µg/l)	253	5	57000	500	1946	4762
Kiintoaine (mg/l)	76	0.5	20000	12	299	2291
Alkaliteetti (mmol/l)	177	0.15	16	1.7	2.8	3
Hiilidioksidi (mg/l)	6	1.4	37	17	19	18
Orgaanisen_hiilen_kokonais- määrä_TOC (mg/l)	26	0.6	45	11	12	12

Kalsium_Ca_liukoinen (mg/l)	80	3.9	150	27	47	43
Magnesium_Mg_liukoinen (mg/l)	41	2.2	62	6.5	16	19
Kalium_K_liukoinen 0,45µm (mg/l)	34	0.57	4.6	1.2	2	1.4
Natrium_Na_liukoinen 0,45µm (mg/l)	3	2.5	38	2.5	14	20
Alumiini_Al_liukoinen (µg/l)	38	1.5	1100	5	73	213
Antimoni_Sb_liukoinen (µg/l)	90	0.05	5	5	3.7	2.1
Arseeni_As_liukoinen (µg/l)	151	0.05	23	2.3	2.4	2.6
Barium_Ba_liukoinen (µg/l)	2	1	13	7	7	8.5
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	49	2	76	32	35	24
Boori_B_liukoinen (µg/l)	46	0.25	127	12	16	20
Elohopea_Hg_liukoinen (µg/l)	57	0.005	0.5	0.005	0.027	0.075
Elohopea_Hg (µg/l)	54	0.01	5	0.17	2.4	2.5
Kokonaisfosfori_P (µg/l)	96	0.002	4	0.034	0.28	0.59
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	138	0.01	30	0.2	1.3	3.7
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	109	0.03	41	1	3.7	7
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	147	0.03	67	0.95	2.4	6.3
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	152	0.1	230	3	10	30
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	165	0.05	81	2.5	4.2	9.3
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	218	0.25	9800	145	759	1423
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	45	0.5	21	1	2.2	3.7
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	138	0.1	68	3	4.6	7.6
Pii_Si_liukoinen (µg/l)	2	240	380	310	310	99
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	355	0.55	220000	250	8414	19749
Seleen_i_Se_liukoinen (µg/l)	1	1	1	1	1	
Sinkki_Zn_liukoinen (µg/l)	194	0.015	23000	13	844	2815
Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	59	0.5	1300	18	94	233
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	114	0.05	88	1.8	3.5	9
Kevyet hiilivedyt C5-C10 (µg/l)	7	30	30	30	30	0
Keskiraskaat C10-C21 (µg/l)	109	0	60	30	20	10
Raskaat C21-C40 (µg/l)	109	0	120	30	20	10
Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	98	0.03	130	25	21.8	16
Mineraaliöljyt (IR-menetelmä) (mg/l)	45	0.03	0.25	0.25	0.19	0.1
RADON-222 (Bq/l)	3	7.6	70	8.2	29	36
pH	460	5.1	18	6.7	6.9	1.05
sähkönjohtavuus (mS/m)	449	0.09	412	25	42	51



Veden lämpötila (°C)	259	1.8	18	7.2	7.7	4
Väri-luku (mg Pt/l)	154	1	380	20	37	51
Nitraatti NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	58	0.5	7600	130	536	1203

### 5.3 Seuranta-alueet

Liitteessä 4 on esitetty seuranta-alueiden syksyn 2019 näytteenottokierrosten pintavesituloksia. Tulosten perusteella pintavedet sisältävät erityisesti koliformeja ja *E. coli*. Vantaanjoen yhteistarkkailussa Vahtera ja Männynsalo (2019) todetaan, että Vantaanjoen olevan voimakkaan jätevesikuormituksen alla sen sisältäen ajoittain korkeita bakteeripitoisuuksia. Ojavesistä on myös turha määrittää heterotrofista pesäkelukua ja koliformisia bakteereja, koska niitä esiintyy pintavesissä suuria määriä. Metallien osalta alumiinipitoisuudet ovat koholla niin suodattamattomissa kuin suodatetuissa näytteissä. Korkeimmillaan kokonaisalumiinipitoisuus on 2600 µg/l ja mediaani tälle on 350 µg/l. Liukoista alumiinia 0,45 µm suodatuksella on 710 µg/l ja mediaanipitoisuuskin on 250 µg/l. Kohonneet alumiinipitoisuudet ovat todennäköisesti peräisin savipitoisesta maa-aineksesta (Lahermo ja muut 1996). Mangaanin osalta mediaanista poikkeavia korkeampia pitoisuuksia on vain yksittäisissä näytepisteissä. Ennakoidusti raudanpitoisuus on korkeahko suodattamattomissa näytteissä ja alhaisempi suodatetuissa näytteissä, koska rauta pidättyy orgaaniseen ainekseen. Lahermo ja muut (1996) havaintojen perusteella pintavesien rikkipitoisuudet ovat Uudellemaalle tyypillisellä tasolla niin suodattamattomissa kuin suodatetuissa näytteissä ja vaihteluväli on suuri Strontiumin ja titaanin kohonneet pitoisuudet ovat peräisin savi- ja silttikerrostumista. Muuten raskasmetallien osalta yksittäisiä selkeitä määritysrajojen ylittäviä pitoisuuksia esiintyi bariumilla, boorilla, molybdeenilla ja vanadiinilla. Haihtuvien orgaaniset yhdisteiden osalta ainoastaan kloroformia on esiintynyt hyvin pieni määrä. Öljyhiilivety-yhdisteitä esiintyy alhaisia määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia kaikkien paitsi kevyiden hiilivetyjen (C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>) osalta. PAH-määrityksessä useammalla yhdisteellä esiintyi hyvin alhaisia pitoisuuksia, jotka voidaan juuri havaita. PAH-yhdisteiden määritysraja oli  $\geq 0,1$  ja niitä havaittiin korkeimmillaan 0,2 µg/l.

Liitteessä 5 on esitetty seuranta-alueiden syksyn 2019 pohjavesituloksia, joita on verrattu Valtionneuvoston asetuksen 341/2009 ympäristölaatuunormiin (Vna 341/2009), Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimukseen 1352/2015 (STMa 1352/2015) ja talousveden laatusuosituksiin 442/2014 (STMa 442/2015) sekä pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukseen 401/2001 (STMa 401/2001). Kuten pintavedet, pohjavedet sisältävät bakteereja ja *E. coli*-pitoisuudet ovat paikoitellen korkeita, maksimissaan jopa 2000 mpn/100 ml. Pintavesissä *E. coli*-bakteereiden esiintyminen ei ole poikkeuksellista, mutta pohjavedessä niitä ei pitäisi esiintyä lainkaan. Sulfaatin ja kloridin osalta mediaanipitoisuudet pysyvät raja-arvojen alla. Kloridin maksimi 68 mg/l ylittää pohjaveden 341/2009 ympäristölaatuunormin mutta ei ole pitoisuudeltaan poikkeuksellisen korkea. Sulfaatin maksimi 200 mg/l ylittää pohjaveden 341/2009 ympäristölaatuunormin ja STMa 401/2001 laatuvaatimukset. Happamuutta pohjavesissä esiintyy, mutta pH edustaa keskimäärin Suomen pohjavesien mediaania, joka on selvitetty Lahermon ja muut (2002) Tuhannen kaivon tutkimuksessa. Alimmillaan pH on 5,7. Liukoista kalsiumia ja magnesiumia esiintyy pohjavedessä jonkin verran. Liukoisen raudan mediaanipitoisuudet jäävät kohtuulliselle tasolle, vaikkakin ovat kohonneet 135 µg/l. Yksittäisiä korkeita liukoisen raudanpitoisuuksia esiintyy alueittain. Lahermo ja muut 2002 tulosten perusteella liukoisen rikin lievästi kohonnut mediaanipitoisuus 6400 µg/l voi olla merkki monesta, mutta on todennäköisesti peräisin maaperästä. Rikkiä esiintyy muun muassa entisen merenpohjan sedimenteissä. Mikäli happamia sulfidisia olisi läjitetty alu-

eelle pohjaveden kohonneet rikkipitoisuudet voivat olla peräisin happamista sulfaattimaista, joista muodostuu hapen kanssa reagoiessa rikkihappoa. Liukoisen sinkin pitoisuudet 0,45 µm suodatuksella vaihtelevat paljon. Keskiarvollisesti pitoisuus on 223 µg/l, mediaanin osalta 9.0 µg/l ja maksimissaan 2900 µg/l. Lahermon ja muut (2002) tuloksiin verrattuna strontiumia esiintyy enemmän pohjavesissä. Uraanin lievästi kohonneet pitoisuudet voivat olla peräisin kallioperästä. Pohjavesissä ei esiintynyt olleenkaan haihtuvien orgaanisia yhdisteitä. Pieniä määriä öljyhiilivety-yhdisteitä tavattiin pohjavesistä, joista C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> maksimi pitoisuus 83 µg/l. PAH-määrittelyssä muutamalla yhdisteellä esiintyi hyvin alhaisia pitoisuuksia, jotka voidaan juuri havaita.

### 5.3.1 Mustajoen multajaloste

Tässä tutkielmassa Mustajoen multajalosteen vesiä tutkittiin pintavesien osalta yhteensä neljällä pisteellä ja pohjavesiä kolmella pisteellä. Syyskuun 2019 pohjavesinäytteissä korostui useampia muuttujia. Pohjavesinäytteissä (PVP1) oli runsaasti koliformisia bakteereja (1300 mpn/100 ml), mutta ei kuitenkaan E.coleja. Mullanvalmistuskenttien alueella PVP1- ja PVP2-putkessa oli sulfaatti koholla (32 – 43 mg/l) verrattuna Lahermo ja muut (2002) tuloksiin. Kaikissa näytepisteissä oli tyyppiyhdisteitä, joista nitraattityppeä oli eniten. Pohjavesien pH pysyi luontaisella tasolla (6,3 – 6,5) (Lahermo ja muut (2002)). Liuennut orgaaninen hiili on mullanvalmistuskenttien alueella (7,6 – 8,8 mg/l). PVP1 pohjavedessä oli merkkejä bentso(a)pyreenistä, mutta määrät olivat määrittelyrajalla <0,0002 µg/l. Strontium- pitoisuudet olivat kohonneita (53 – 58 µg/l) verrattuna havaintoputkessa PVP1 havaittuun pitoisuustasoon (35 µg/l).

Marraskuun 2019 pohjavesinäytteissä PVP1 ja PVP2 koliformisten bakteerien määrä oli vähentynyt huomattavasti PVP1 (1300 mpn/100 ml → 37 mpn/100 ml) ja PVP2 (19 mpn/100 ml → 5 mpn/100 ml). E.coleja ei esiintynyt myöskään marraskuussa. Sulfaatin osalla pitoisuudet olivat lievästi kohonneet PVP1:ssä ja PVP2:ssa syyskuun näytekierrokseen nähden pois lukien PVP3, jolla oli tapahtunut monen muuttujan pitoisuuden laskua. Tulosten perusteella PVP1 ja PVP2 ovat voimakkaimmin maanläjitystoiminnan vaikutuksen alaisena, sillä liuenneiden muuttujien pitoisuudet ovat niissä selkeästi korkeampia kuin PVP3:ssa (Kivimäki ja muut 2019). Selkeitä muutoksia pohjavedessä ovat PVP1:ssä sameuden lasku (130 FNU → 28 FNU) ja PVP2:ssa taas sameuden nousu (40 FNU → 320 FNU). Myös pohjaveden sähkönjohtavuudessa alkaliteetissa on tapahtunut pientä kasvua jokaisella havaintopaikalla. Mangaanipitoisuus on lisääntynyt jokaisella havaintopaikalla merkittävästi (PVP1:ssä 35 µg/l → 270 µg/l, PVP2:ssa 21 µg/l → 250 µg/l ja PVP3:ssa 15 µg/l → 86 µg/l). Muita selkeitä muutoksia ovat rautapitoisuuden lasku jokaisella havaintopaikalla ja rikkipitoisuuden nousu PVP1:ssä ja PVP2:ssa.

Syyskuun 2019 oja vesinäytteissä korostui useampia muuttujia. Molemmissa ojanäytteissä oli koliformisia bakteereja ja E. coleja. OjaP1:n väriluku oli korkea. Paalijokeen johtavassa ojassa OjaP2:ssa havaittiin sulfaattia enemmän kuin OjaP1:ssä. Ojavesistä löytyi kaikkia tyyppiyhdisteitä, joista eniten nitraattityppeä. Ojavesien pH oli molemmissa mittauspisteissä neutraali. Kiintoaineksestä havaittiin luontaisesti esiintyviä alkuaineita kuten alumiinia, kalsiumia, magnesiumia, natriumia, mutta myös haitallisempia alkuaineita kuten bariumia, kobolttia, kromia, kuparia, lyijyä, mangaania, rautaa, strontiumia ja titaania.

Marraskuun 2019 ojavesinäytteissä koliformisten ja E. coli bakteerien määrä oli laskenut, joskin molempia esiintyi edelleen. OjaP1:n väriluku oli laskenut, mutta vuorostaan OjaP2:n väriluku oli noussut. Myöskin OjaP2:n sulfaattipitoisuus oli kasvanut syyskyn näytteenottokierroksesta (17 mg/l → 40 mg/l). Suodattamattomien ja suodatettujen näytteiden osalta raudan ja rikin pitoisuudet laskivat OjaP1:ssä, mutta olivat nousseet OjaP2:ssa.

Syyskuun 2019 lampivesinäytteissä korostui useampia muuttujia. Lampi1:ssä oli koko kesän ajan suuri joutsenpoikue ja vesi ei päässyt vaihtumaan salaojaa pitkin pois johtuen matalasta vedenpinnan tasosta, mikä on todennäköinen syy korkeaan E. coli (1700 mpn/100 ml) lukuun. Lampi2:ssa alueen pohjoispuolella havaittiin kohonneita sulfaattipitoisuuksia (15 mg/l). Molempien lampien pH-arvot olivat lähellä neutraalia. Lampien kiintoaineksessa todettiin luontaisesti esiintyviä alkuaineita kuten kalsiumia, magnesiumia, kaliumia, natriumia ja alumiinia, mutta myös haitallisempia alkuaineita kuten rautaa, mangaania, kobolttia, kromia, lyijyä, strontiumia ja titaania. Lampi1:ssä mitattiin pieniä pitoisuuksia fluoreenia (0,011 µg/l). Marraskuussa 2019 ei otettu lampivesinäytteitä.

Vesissä on havaittavissa kohonneita kalsium pitoisuuksia. Kalsiumpitoisuutta saattaa nostaa kalkin käyttö mullanvalmistuksessa pH:n nostamiseksi. Farmit (2019) mukaan kalkin avulla pyritään stabiloimaan happaman maa-aineksen pH lähelle neutraalia. Hapan maa-aines pitää siinä olevat ravinteet vaikealiukoisessa muodossa, jolloin kasvit eivät pysty niitä hyödyntämään. Happamasta maa-aineksestä kasvit voivat ottaa siitä haitallisia aineita kuten raskasmetalleja. Muut kalkitsemisen hyödyt ovat ravinteiden parempi saatavuus kuten fosforinvarojen käyttö, maaperän kuohkeuttaminen kalsiumin sitoessa saveshiukkasia toisiinsa, pieneliötoiminnan kasvattaminen ja haitallisten aineiden heikompi liukoisuus maaperään. Yleisesti vesien tila näytti paremmalta marraskuussa kuin syyskuussa.

### 5.3.2 Metsä-Tuomelan maankaatopaikka

Tässä tutkielmassa Metsä-Tuomelan maankaatopaikan vesiä tutkittiin pintavesien osalta yhteensä neljällä pisteellä ja pohjavesiä neljällä pisteellä. Syyskuun 2019 Metsä-Tuomelan pohjavesinäytteissä korostui useampia arvoja. Täytemaakerrokseen asennetussa PVP1B havaintoputkessa oli runsaasti koliformeja ja E. coli (2000 mpn/100 ml). Ammoniumtyyppiä havaittiin sekä irtomaakerroksissa että kalliopohjavedessä, mutta moreenikerroksessa havaittiin vähemmän muita tyyppiyhdisteitä. Moreenikerroksen pH oli alhainen (5,7) ja kalliopohjaveden pH oli tyyppillisissä pohjavesilukemissa (6,7) (Lahermo ja muut 2002). Liukoista fosforia pohjavedessä oli < 50 µg/l. Kriittisiä metalleja havaittiin koboltin, mangaanin, molybdeenin, nikkelin, raudan, sinkin ja strontiumin osalta. Kalliopohjavedestä määritettiin pieniä pitoisuuksia PAH-yhdisteitä kuten fluoreenia, naftaleenia ja trimetyyli-naftaleenia. Maankaatopaikan edessä oleva louhinta-alue todennäköisesti nostaa pohjaveden PVP2-pisteen sulfaattipitoisuutta (180 mg/l) ja samalla pisteellä esiintyy kaikkia tyyppiyhdisteitä, joita esiintyy räjähteissä (Lapinlampi ja muut 2001). Lepolan noron läheisyydessä PVP3:ssa kalliopohjaveden laatu oli selvästi parempi kuin muissa pohjaveden tarkkailupisteissä.

Marraskuun pohjavesinäytteissä kalliopohjavesiputkien koliformien osuus oli laskenut aivan kuten Mustajoen multajalosteella. Irtomaakerroksen asennetussa PVP1B:ssä E. colien määrä oli laskenut (2000 mpn/100 ml → 25 mpn/100 ml), mutta koliformien osuus oli edelleen sama. PVP1A:ssa ja PVP1B:ssä pH oli noussut lähelle neutraalia, kun PVP2:n ja PVP3:n pH oli noussut lähemmäs 8. Liukoisen raudan osuus oli laskenut jokaisella havaintopaikalla ja suurin muutos oli havaittavissa PVP1B:ssä (5400 µg/l → 130 µg/l). Rikin kohdalla

havaittiin myös suuri muutos syyskuuhun verrattuna, kaikilla muilla havaintopaikoilla paitsi PVP2:lla, jossa rikkipitoisuus oli noussut. Marraskuun PVP1B:ssä esiintyi myös pieniä pitoisuuksia öljyhiilivetyjä.

Syyskuun 2019 Metsä-Tuomelan pintavesinäytteissä korostui useampia arvoja. Ojavesissä oli jonkin verran koliformeja ja E.coleja 66 mpn/100 ml – 130 mpn/100 ml. OjaP1-pisteen sulfaatti oli koholla (110 mg/l) (Lahermo ja muut 1996).

Marraskuun 2019 pintavesinäytteissä saatiin yksi näytepiste lisää, kun maanlajitysalueen ulkopuolisessa havaintopaikassa (MT\_OjaP7:ssä) oli vettä. Koliformien osuus oli laskenut voimakkaasti ja E. coleja esiintyi enää hyvin vähän. Yleisesti muuttujien osalta huomataan, että OjaP1:n pitoisuudet ovat nousseet lievästi ja OjaP6:n pitoisuudet ovat laskeneet lievästi. Sulfaatin pitoisuudet ovat pysyneet ennallaan syyskuun pitoisuuksiin nähden. Isoimpia muutoksia ovat suodattamattoman alumiinin pitoisuuksien lasku OjaP1:ssä ja OjaP6:ssa. Suodattamattoman mangaanin pitoisuus on kasvanut OjaP6:ssa ja laskenut taas OjaP1:ssä ja sama on havaittavissa suodatetulla mangaanilla. Muita huomioita ovat suodattamattoman rautapitoisuuden lasku OjaP1:ssä ja OjaP6:ssa. Liukoisen rikin kohdalla on tapahtunut nousua OjaP1:ssä (35 µg/l → 36000 µg/l) ja OjaP6:ssa (4000 µg/l → 4600 µg/l). OjaP7 pintavesi on pienemmän kuormituksen alla ja sen marraskuun vedenlaadun muuttujienpitoisuuksissa on vaikea hahmottaa maanlajitystoiminnan vaikutus. Marraskuulta 2019 ei ole lampivesinäytettä.

### 5.3.3 Solbacka-Kiila-Myllykylä

Tässä tutkielmassa Solbacka-Kiila-Myllykylä vesiä tutkittiin vain pintavesien osalta yhteensä viideltä eri pisteeltä. VS-OjaP1 tarkkailee tutkimusalueen itäisintä ojaa Myllykylän kohdalla, joka laskee lentoaseman suunnasta Tuusulanjokeen. VS-OjaP2 sijoittuu tutkimusalueen keskiosaan, jonka avulla voidaan arvioida pellon vaikutukset pintavesiin. VS-OjaP3 tarkkailee läntisintä ojaa, johon ohjataan maanlajitysalueen hulevedet, ja se laskee Tuusulanjokeen. Tuusulanjoen vedenlaatua tarkkaillaan kahdesta eri kohdasta. Ylävirran tarkkailupiste VS-Tjoki1 toimii vertailupisteenä ja alavirrasta VS-Tjoki2 kertoo kuormituksen, joka siirtyy Tuusulanjoesta Vantaanjokeen.

Syyskuun 2019 Solbackan ojavesinäytteissä korostui useampia arvoja. Kaikissa ojanäytteissä oli runsaasti heterotrofeja, koliformisia ja E. coli-bakteereja. Pellolta alkavassa ojassa P2:ssa oli vähiten sulfaattia ja eniten sulfaattia havaittiin alimmasta tutkimusalueen ojasta P3:sta (93 mg/l). Ojissa P1:ssä ja P3:ssa oli kaikkia tyyppiyhdisteitä, mutta ojassa P2 havaittiin vain ammoniumtyyppiä. Ojavesien sameus oli suurin ylimmässä ojassa P1 (250 mg Pt/l) ja pienin ojassa P3 (15 mg Pt/l).

Marraskuun ojavesinäytteissä kaikkien havaintopaikkojen heterotrofien, koliformien ja E. coli-bakteerien määrissä oli tapahtunut huomattavaa laskua. Sulfaattipitoisuus oli noussut OjaP3:ssa kun muissa havaintopaikoissa se oli pysynyt ennallaan. Tyyppiyhdisteitä esiintyi edelleen ja pitoisuudet olivat laskeneet pois lukien OjaP3:n nitraattityppipitoisuutta, joka oli noussut syyskuulta. Muut suurimmat muutokset olivat suodattamattomalla raudalla, liukoisella raudalla, suodattamattomalla rikillä ja liukoisella rikillä, joiden pitoisuudet olivat kasvaneet. Muiden muuttujien osalta pitoisuuksissa ei esiinny suurta vaihtelua.

Syyskuun 2019 Solbacka-Kiila-Myllykylän välisellä Tuusulanjoen osalla vesinäytteissä korostui useampia arvoja. Tjoki1:n ja Tjoki2:n vesinäytepisteiden välinen etäisyys on yli 1,5 kilometriä suoralla reitillä eikä vesinäytteiden välillä ei ollut merkittävää eroa. Sameus, pH ja liuennut orgaaninen hiili olivat lähellä toisiaan 22-24 FNU, pH 7.2 – 7.3 ja DOC 11-12.

Marraskuun Tuusulanjoen vesinäytteissä heterotrofien, koliformien ja E. coli-bakteerien määrissä oli tapahtunut huomattavaa laskua, kuten alueen ojavesinäytteissäkin. Muuttujien osalta vesinäytteet muistuttavat paljon toisiaan. Pientä nousua pitoisuuksissa havaitaan suodattamattomalla ja liukoisella alumiinilla, suodattamattomalla ja liukoisella bariumilla, liukoisella raudalla sekä rikillä. Suodattamalla raudalla ja mangaanilla pitoisuudet ovat laskeneet marraskuun näytekierroksella.

## 6 Tulosten tarkastelu

Paikkatietoanalyysistä, velvoitetarkkailutuloksista ja seuranta-alueiden tuloksista muodostettiin IBM:n SPSS ohjelmistolla erilaisia tilastollisia analyyseja. Velvoitetarkkailutulosten tilastollinen analysointi osoittautui hankalaksi johtuen siitä, että vesinäytteistä analysoitujen muuttujien määrä vaihteli eri kohteissa suuresti ja tietyt kohteet painottuivat tarkastelussa. Osalla velvoitetarkkailuanalyyseista tulokset ovat vain muutamasta kohteesta, eivätkä anna laajempaa tietoa kaikkien alueiden tilasta. Analyysi voi tiettyjen laatumuuttujien osalta kuvata siis vain esimerkiksi yhden alueen mittaushetken tilannetta.

Seurantatulosten ollessa niin sanotusti aukottomia, niille pystyttiin tekemään useampia tilastollisia analyyseja kuin velvoitetarkkailutuloksille. Seurantatuloksien osalta täytyi kuitenkin huomioida näytteenotokertojen vähäinen määrä. Seurannan tuloksia voidaan kuitenkin pitää luotettavina ja suuntaa antavina, sillä kahden näytteenotokerran tulokset eivät poikkea paljonkaan toisistaan. Seuranta-alueiden tuloksia voidaan käyttää tukemaan velvoitetarkkailutuloksia. Velvoitetarkkailu- ja seuranta-alueiden tuloksia on verrattu Lahermon ja muut (1996) Suomen geokemian atlakseen, Lahermon ja muut (2002) Tuhat kaivoa tutkimukseen, sekä ympäristöhallinnon hydrologisiin seurantoihin Suomessa. Tausta-alueet valikoituivat luonnollisina ympäristöinä, joihin ei kohdistu maanläjitystoiminnan vaikutuksia. Tausta-alueiden pintaveden tulokset ovat suurista joista, kun valtaosa pintavesinäytteistä on otettu pienistä ojista/uomista. Pintavesien välinen vertailu ei siis edusta täysin samanlaisia ympäristöjä kaikilla kohteilla. Tausta-alueiden pinta- ja pohjavesitulokset on haettu Suomen ympäristökeskuksen ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertasta. Pohjavesitulosten pitoisuuksia tarkasteltaessa on vertailukohteena olleet Valtionneuvoston asetus 341/2009 ympäristölaaturomista (Vna 341/2009), Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimukset 1352/2015 (STMa 1352/2015) ja talousveden laatusuositukset 442/2014 (STMa 442/2015) sekä pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukset 401/2001 (STMa 401/2001).

## 6.1 Paikkatietoanalyysin tarkastelu

Paikkatietoanalyysin kokonaistuloksia voidaan verrata pinta- ja pohjavesien laatumuuttujien pitoisuuksiin. Esimerkkinä tarkastellaan velvoitetarkkailualueita, joka saa kokonaistulokseksi 5. Alueen vesianalyysit kattavat pintavesien osalta vain hapen, COD<sub>Mn</sub>-luvun, kiintoaineen, kokonaisfosforin, lyijyn, pH:n, sähkönjohtavuuden ja väriluvun. Pohjavesien osalta analyysit ovat vain hapelta, raudalta, pH:lta sähkönjohtavuudelta ja väriluvulta. Kyseisellä alueella raudan pitoisuudet ovat korkeat, mikä on ristiriidassa pienen kokonaistuloksen kanssa. Velvoitetarkkailualueiden suurimmat kokonaistulokseen vaikuttavat muuttujat ovat maaperän vedenläpäisevyys, mikä selittäisi korkeat rautapitoisuudet. Heikosti vettä johtavassa maaperässä muuttuja saa 1 pisteen. Raudan esiintyminen heikosti johtavassa savivaltaisessa maaperässä ei ole poikkeuksellista (Lahermo ja muut 2002). Pitoisuuksien mediaaniarvojen tulisi ihannetilanteessa olla matalampia pienemmän kokonaistuloksen kohdalla ja nousta kokonaistuloksen kasvaessa. Yksi syy paikkatietoanalyysin puutteellisuuteen voi olla se, että paikkatietoanalyysi arvioi riskiä ja vaikutuksia veden laatuun pitkällä aikavälillä sekä pintavesien osalta kauempana maanläjitysalueista. Myös muuttujien pisteytystä tulisi tarkastella uudestaan. Paikkatietoanalyysin tarkastelua on tehty vertailemalla valikoitujen muuttujien pitoisuuksia kokonaistulokseen boxplot-kuvaajilla. Velvoitetarkkailualueiden ja seuranta-alueiden boxplot-kuvaajista on helppoa visuaalisesti havainnoida janojen mustaa keskiviivaa, joka kuvaa pitoisuuksien mediaaniarvoa.

## 6.2 Velvoitetarkkailutulosten tarkastelu

Velvoitetarkkailutulosten alkuperäinen taulukointi karsittiin sellaiseksi, jossa pinta- ja pohjavesillä sekä näiden yhteisellä taulukolla analyysijä oli vähintään 10 % (N) määrästä. Liukoiset määrittämättömät analyysit ja liukoiset 0,45 µm suodatetut analyysit yhdistettiin, koska osalla liukoisista näytteistä suodatuksen laatu on ollut epäselvä. Tämän seurauksena liukoisten analyysien sekaan tuli näytteenottokertoja 0,45 µm suodatuksella, joka näkyi yleensä hieman korkeampina pitoisuuksina verrattuna muihin liukoisiin näytteisiin.

Karsituille pintavesituloksille tarkasteltavaksi jäivät seuraavat veden laadun muuttujat: sulfaatti, kloridi, happi, COD<sub>Mn</sub>, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, liukoinen alumiini, -arseeni, -lyijy, -molybdeeni, -sinkki, -vanadiini, kokonaisfosfori, rauta liukoinen 0,45 µm suodatuksella, keskiraskaat öljyhiilivedyt C<sub>10</sub> – C<sub>21</sub>, raskaat öljyhiilivedyt C<sub>21</sub> – C<sub>40</sub>, mineraaliöljyt, pH, sähkönjohtavuus, lämpötila ja väriluku. Pintavesien osalta yhdistettiin sinkki liukoinen ja sinkki liukoinen 0,45 µm suodatuksella. Karsituille pohjavesille jäljelle jäivät seuraavat veden laadun muuttujat: sulfaatti, kloridi, happi, COD<sub>Mn</sub>, nitraatti-, nitriitti-, ammonium- ja kokonaistyyppi, kiintoaine, alkaliteetti, elohopea kokonais, kokonaisfosfori, liukoinen kalsium, -antimoni, -arseeni, -boori, -elohopea, -kadmium, -koboltti, -kromi, -kupari, -lyijy, -nikkeli, -sinkki ja -vanadiini, barium-, mangaani- ja rauta liukoinen 0,45 µm suodatuksella, keskiraskaat öljyhiilivedyt C<sub>10</sub> – C<sub>21</sub>, raskaat öljyhiilivedyt C<sub>21</sub> – C<sub>40</sub>, öljyhiilivedyt C<sub>10</sub> - C<sub>40</sub>, pH, sähkönjohtavuus, lämpötila, väriluku ja Nitraatti NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>. Pohjavesien osalta yhdistettiin barium liukoinen ja barium liukoinen 0,45 µm suodatuksella.

Karsitulle yhdistetylle taulukolle, jossa ovat sekä pinta- että pohjavesi jäljelle jäivät tarkasteltavaksi: sulfaatti, kloridi, happi, COD<sub>Mn</sub>, kokonais- ja ammoniumtyppi, kiintoaine, alkaliteetti, kokonaisfosfori, liukoinen arseeni, -lyijy, -sinkki ja -vanadiini, rauta liukoinen 0,45 µm suodatuksella, keskiraskaat öljyhiilivedyt C<sub>10</sub> – C<sub>21</sub>, raskaat öljyhiilivedyt C<sub>21</sub> – C<sub>40</sub>, öljyhiilivedyt C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>, pH, sähkönjohtavuus, lämpötila ja väriluku.

Muuttujien jakaumat tarkistettiin SPSS:n P-P plotilla, jolla selvitettiin, olivatko muuttujat normaalisti tai log-normaalisti jakautuneita (Ranta ja muut 1997). Pintavesille normaalisti jakautuneita muuttujia olivat happi, COD<sub>Mn</sub>, pH ja väriluku. Tekemällä logaritimuunnoksen normalisuus saavutettiin sulfaatille, kloridille, kokonaistypelle, molybdeenille, raudalle ja sähkönjohtavuudelle. Osan muuttujan ollessa log-normaalisti jakautuneita muuttujien väliset korrelaatiokertoimet päätettiin laskea Spearmanin järjestyskorrelaatiolla.

Geokemiallisten provinssien puolesta Vantaanjoen valuma-alue kuuluu 1. arseeniprovinssiin (Tapir 2019). Velvoitetarkkailutulosten perusteella vain yksittäisiä mediaanista poikkeavia pitoisuuksia esiintyy liukoisella arseenilla, jossa pintaveden mediaani on 0,5 µg/l ja pohjavesien mediaani 2,3 µg/l. Korkein poikkeama pintavesillä on 33 µg/l ja pohjavesillä 23 µg/l, jotka ylittävät Lahermon ja muiden (1996) havainnot. Pohjavesien osalta vain muutamalla näytekeralla pitoisuudet ylittävät Vna (341/2009) ympäristölaatunormin (Liite 1). Valtaosa valuma-alueiden arseenista on peräisin maaperästä (Lahermo ja muut 1996).

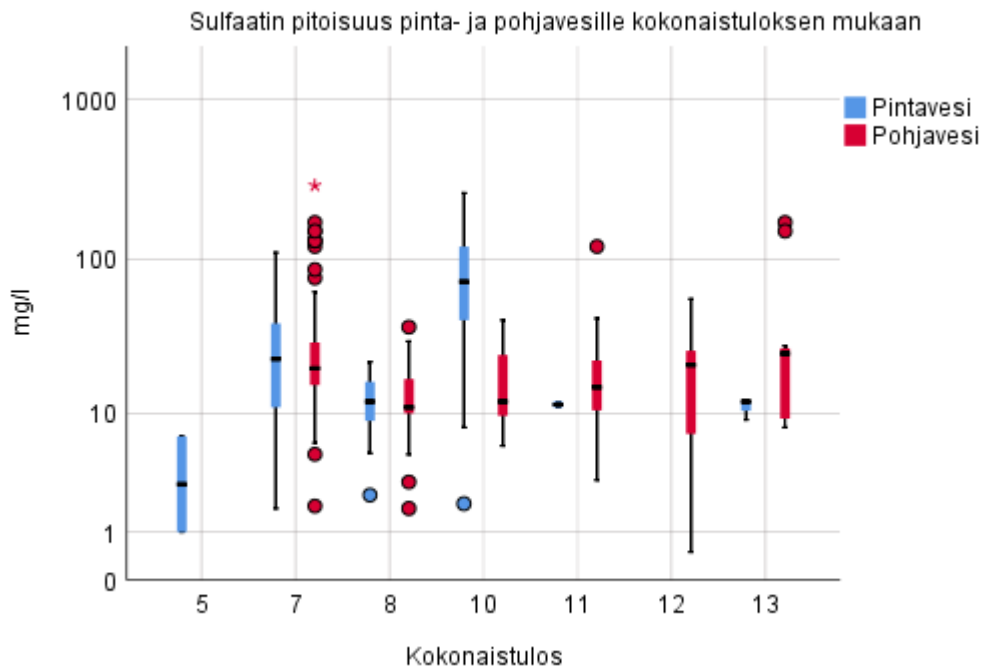
Velvoitetarkkailutuloksista tehtiin aluksi hierarkkinen klusterointi, joka aiheutti haasteita. Tilastollinen ryhmittely onnistui vasta, kun tarkasteltavia muuttujia karsittiin runsaasti. Aineistosta karsittiin muuttujat, jotka kattoivat alle 10 % aineiston tuloksista. Ensimmäinen karsittu ryhmittely onnistui 569 näytteellä. Tässä tapauksessa ryhmittelyyn kelpaavia näytteitä oli 49 kappaletta ja kelvottomia 520 kappaletta. Muuttujat olivat kloridi, sulfaatti, liukoinen lyijy, liukoinen rauta (0,45µm), kokonaisfosfori, happi, ammoniumtyppi, pH ja sähkönjohtavuus. Tämä osoittaa, että muuttujat, jotka analyysimäärien osalta ovat kattavia, eivät anna vielä tarpeeksi tarkkaa tietoa. Edelleen karsimalla muuttujia, joista on vähemmän analyysieja, saatiin muodostettua tarkempi tulos.

Jatkamalla muuttujien vähentämistä saatiin analyysissä enemmän kelpaavia muuttujia. Muuttujat kloridi, sulfaatti, ammoniumtyppi, pH ja sähkönjohtavuus antavat kelpaviksi muuttujiksi 332 kappaletta. Viimeinen järkevä karsinta onnistui neljällä muuttujalla kloridi, sulfaatti, pH ja sähkönjohtavuus, jossa kelpaavia muuttujia oli 346 kappaletta. Tässä tutkimuksessa velvoitetarkkailutulosten muuttujien ja alueiden välisiä eroja ei voi siis havainnoida tarkasti hierarkkisella klusteroinnilla. Kattavammalla aineistolla, ryhmittely voisi antaa paremman kuvan vesien välisistä eroista.

Koska velvoitetarkkailutuloksia saatiin koottua vain 11 toimijalta paikkatietoanalyysin ja tilastollisen analyysin teko ei täyttänyt kaikkia tavoitteita, joita tutkimukseen asetettiin. Kokonaistulosten perusteella tehty velvoitetarkkailuaineiston jako edustaa osalla kokonaistuloksista vain yhden toimijan tuloksia. Mikäli jokaisessa kokonaistulosluokassa olisi esimerkiksi tuloksia viideltä eri alueelta tulosten jakauma voisi olla aivan eri. Tulosten tarkastelu paikkatietoanalyysin pohjalta on mielenkiintoinen lähestymistapa ja kehittämällä sitä eteenpäin se voisi olla yksi vaihtoehto pilaantumattomien maanlajitysalueiden veden laadun seurannassa.

Pinta- ja pohjavesien tilastollista analyysia tehdään vertailemalla velvoitetarkkailutulosten pitoisuuksia valittuihin Vantaanjoen valuma-alueen tausta-alueisiin. Samalla tarkastellaan velvoitetarkkailutulosten kokonaistuloksia suhteessa pinta- ja pohjavesipitoisuuksiin.

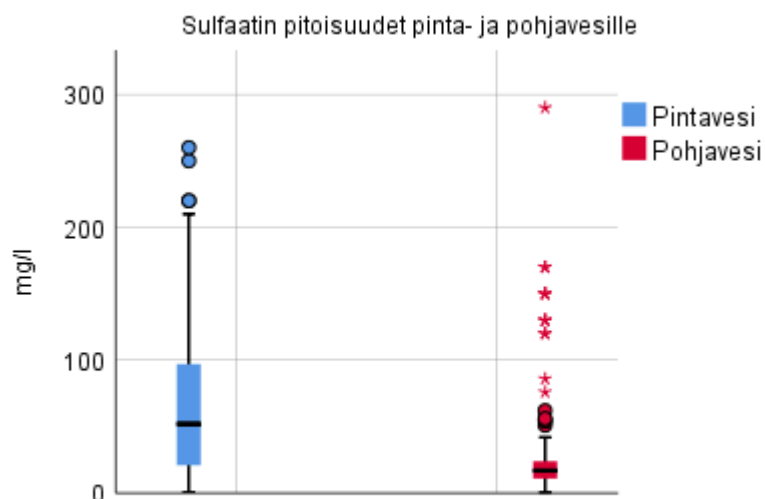
Kuvassa 12 on esitettyä sulfaatin pitoisuudet verrattuna paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen velvoitetarkkailualueittain. Sulfaatin mediaanipitoisuudet ovat lähellä toisiaan kaikilla velvoitetarkkailualueilla. Pienimmällä kokonaistuloksella (5), mediaanipitoisuus on alhaisin. Lopuilla kokonaistuloksilla pitoisuudet vaihtelevat 10 – 100 mg/l välillä. Korkeimman pistemäärän (13) saaneissa kohteissa vaihtelu on vähäisempää. Yksittäiset korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kokonaistuloksella 7 (290 mg/l), mikä ei ole linjassa kokonaistuloksen pisteytykseen.



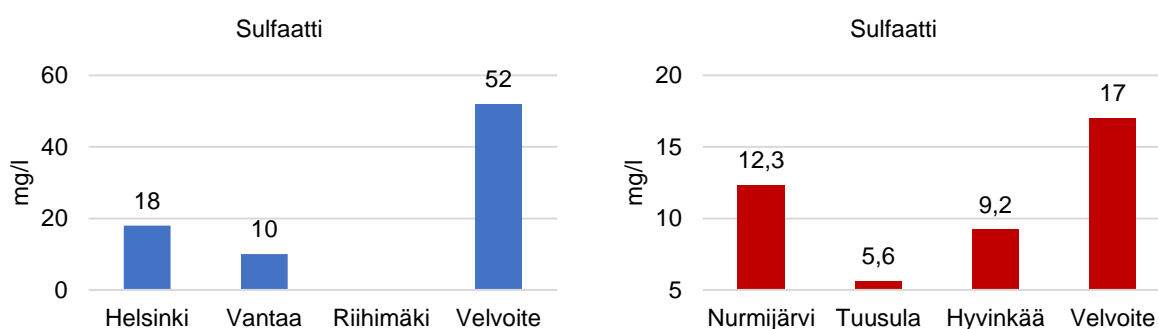
Kuva 12. Sulfaatin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Velvoitetarkkailualueiden sulfaatin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 52 mg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 17 mg/l (Kuva 13). Vantaanjoen valuma-alueen sulfaatin taustapitoisuudet ovat pinta- ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella pisteellä (Kuva 14). Pintavesien korkein mediaanipitoisuus on hieman korkeampi 18 mg/l (Kuva 14) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 12,3 mg/l (Kuva 14). Niin velvoitetarkkailualueiden pinta- kuin pohjavesien osalta sulfaatin maksimipitoisuudet ovat korkeammat kuin taustapitoisuusalueilla. Sulfaatin pitoisuudet vaihtelevat paljon eivätkä korkeammat pitoisuudet ole poikkeuksellisia pintavesillä (Lahermo ja muut 1996). Lahermon ja muiden (2002) Tuhannen kaivon tutkimuksessa porakaivoveden mediaanipitoisuudeksi saatiin 12,2 mg/l ja rengaskaivoveden mediaanipitoisuudeksi 10,4 mg/l. Tulosten perusteella tausta-alueiden pohjavesipitoisuudet muistuttavat tuhannen kaivon tuloksia, kun taas pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitysalueilla pitoisuudet ovat lievästi korkeampia. Alueellinen vaihtelu sulfaatin pitoisuuksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon tutkimuksissa, vaikka velvoitetarkkailualueet eivät sijaitse kartoitetulla happamalla sulfaattimailla (Kuva 6). Vain yksittäiset sulfaattipitoisuudet ylittävät viranomaisten asettamat ympäristölaatunormit, talousveden laatusuosituksen- ja vaatimukset pohjaveden osalta (Liite 1).



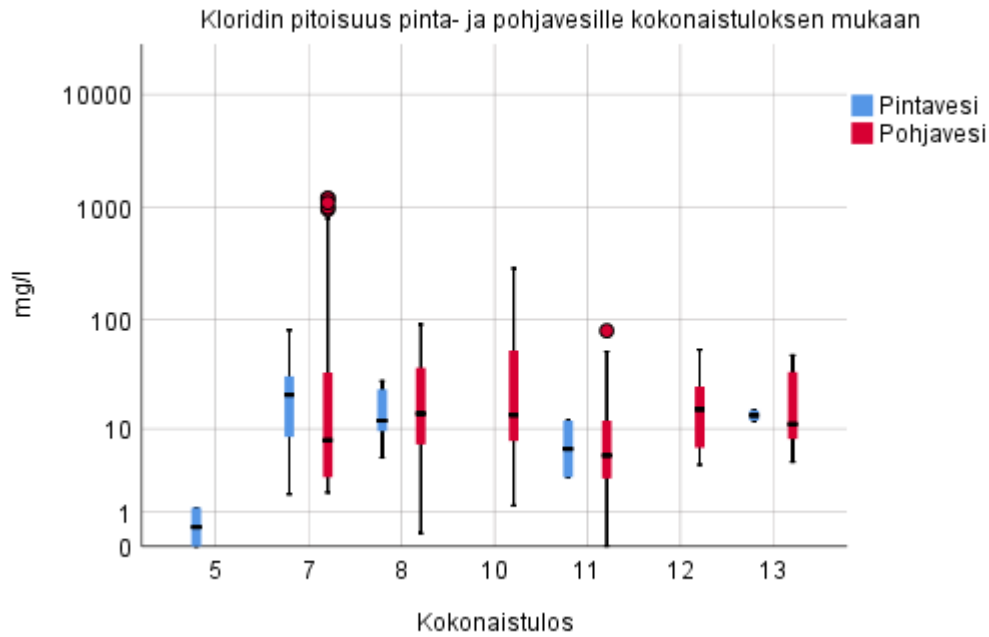


Kuva 13. Sulfaatin yhdistetty pitoisuus velvoitetarkkailualueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikoilla.



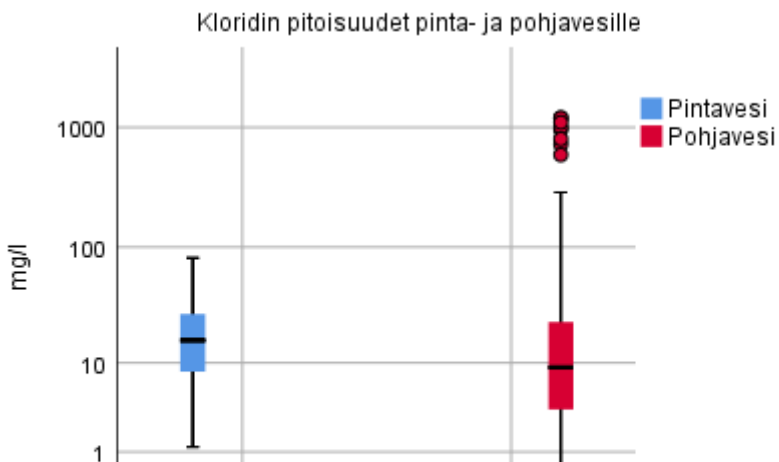
Kuva 14. Sulfaatin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja velvoitetarkkailutulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 15 on esitettyä kloridin pitoisuudet verrattuna paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen velvoitetarkkailualueittain. Kloridin mediaanipitoisuudet ovat lähellä toisiaan kaikilla velvoitetarkkailualueilla. Pienimmällä kokonaistuloksella (5), mediaanipitoisuus on alhaisin. Lopuilla kokonaistuloksilla kloridipitoisuudet ovat pääasiassa noin 10 mg/l. Korkeimman pistemäärän (13) saaneissa kohteissa vaihtelu on vähäisempää, eikä yksittäisiä mediaanista poikkeavia pitoisuuksia ole. Yksittäiset korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kokonaistuloksella 7.

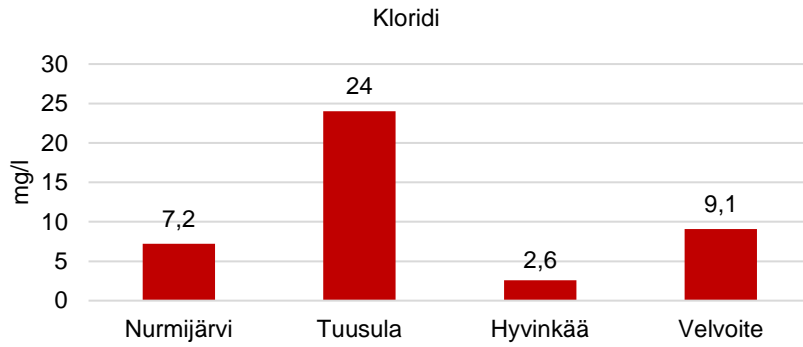


Kuva 15. Kloridin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Lahermon ja muiden (1996) tulosten perusteella velvoitetarkkailualueiden pintavesien kloridin mediaanipitoisuus 16 mg/l on normaalilla tasolla. Lahermo ja muut (2002) tulosten perusteella pohjaveden mediaanipitoisuus 9,1 mg/l muistuttaa tuhannen kaivon porakaivovesien mediaania. Maaperäkaivoissa kloridin mediaani on normaalisti alhaisempi. Yksittäiset kalliopohjaveden kloridipitoisuudet nostavat kuitenkin kloridin keskiarvoa (Kuva 16). Vantaanjoen valuma-alueen kloridin taustapitoisuudet vaihtelevat jokaisella havaintopaikalla (Kuva 17). Pohjavesien alin mediaanipitoisuus on 2,6 mg/l ja korkein 24 mg/l (Kuva 17). Huomattakoon, että Tuusulan havaintopaikalla on läheisen tiealueen liukkaudentorjunnan todettu nostaneen pohjaveden kloridipitoisuutta (Kivimäki ja Fagerlund 2017). Pintavesien osalta taustapitoisuusarvoja ei ole. Kloridilla huomataan alueellista vaihtelua, eikä varmuudella voida sanoa, että maanlajitystoiminta nostaisi kloridipitoisuuksia (Lahermo ja muut 1996).

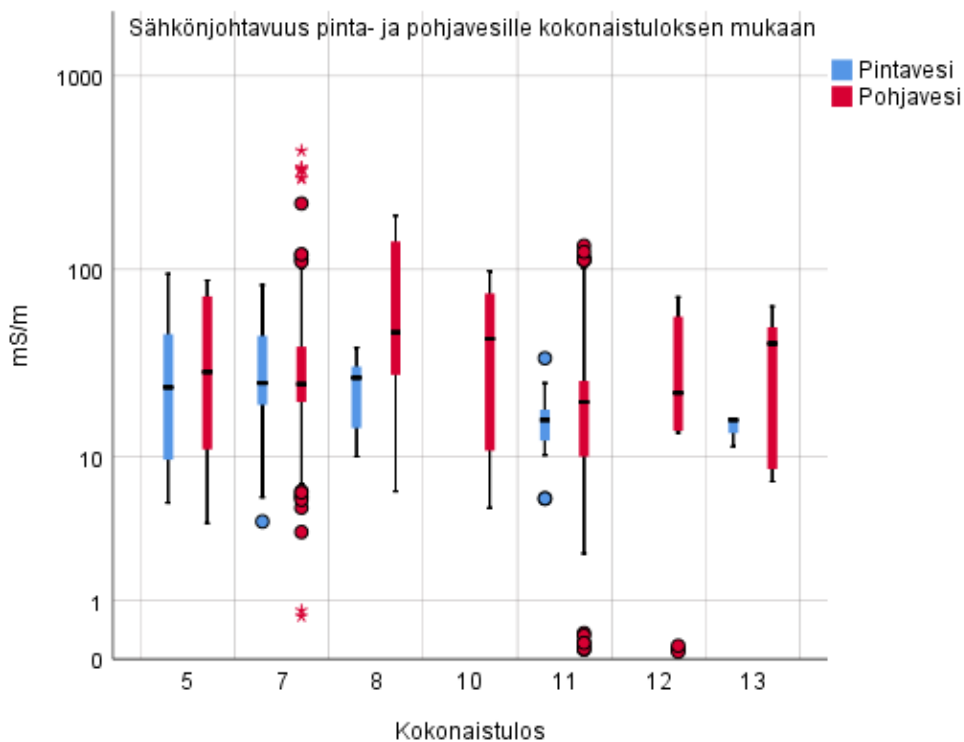


Kuva 16. Kloridin yhdistetty pitoisuus velvoitetarkkailualueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.



Kuva 17. Kloridin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja velvoitetarkkailutulosten mediaani. Punaisella on merkittynä pohjavedet.

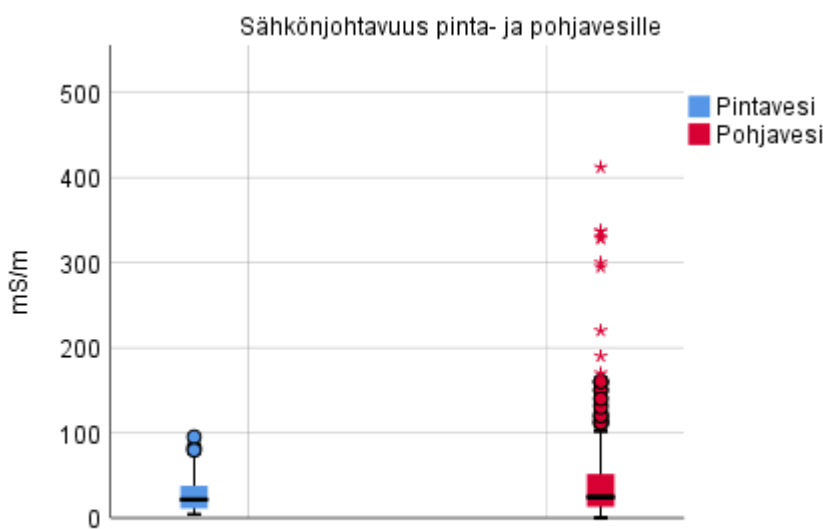
Kuvassa 18 on esitetty sähkönjohtavuus pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella ainoastaan yhdellä kohteella yksittäiset sähkönjohtavuuspitoisuudet ylittävät pohjavesien osalta STMa asettamat suositukset ja vaatimukset (Liite 1). Kaikkien alueiden sähkönjohtavuuden mediaani on  $\pm 25$  mS/m niin pinta- kuin pohjavesillä. Muutamalla kohteella pohjavesien sähkönjohtavuus on alle 1 mS/m, mikä tarkoittaa, että veteen ei ole liennut juurikaan mineraalisuoloja (Ympäristö 2019).



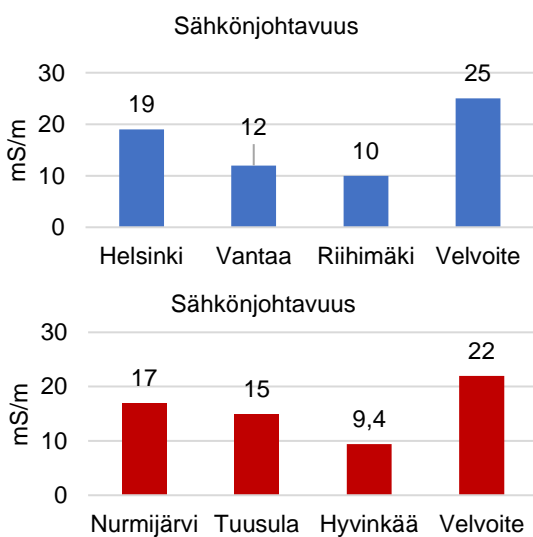
Kuva 18. Sähkönjohtavuus pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mS/m) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Velvoitetarkkailualueiden sähkönjohtavuuden mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 25 mS/m ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 22 mS/m (Kuva 19). Vantaanjoen valuma-alueen sähkönjohtavuuden taustapitoisuudet ovat pinta- ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella pisteellä (Kuva 20). Tausta-

alueiden pintavesien korkein mediaanipitoisuus on 19 mS/m (Kuva 20) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 15 mS/m (Kuva 20). Niin veloitettarkkailualueiden pinta- kuin pohjavesien osalta sähkönjohtavuuden maksimipitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin taustapitoisuusalueilla. Pintavesien osalta pitoisuudet pysyvät < 100 mS/m ja pohjavesien osalta on useampia yksittäisiä 100 mS/m ylityksiä. Korkeimmat sähkönjohtavuudet pohjavesissä ovat jopa > 300 mS/m. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitystoiminta nostaisi sähkönjohtavuutta pohjavesissä, vaikka mediaanipitoisuudet veloitettarkkailusta ovat lähellä taustapitoisuuksia. Tuhannen kaivon tutkimuksessa porakaivoveden kenttämittausten mediaanipitoisuudeksi mitattiin 22,9 mS/m ja rengaskaivojen sähkönjohtavuudeksi 12,5 mS/m. Pintavesien osalta sähkönjohtavuuden mediaanit ovat suurin piirtein samoja kuin Lahermon ja muiden (1996) tutkimuksessa. Veloitettarkkailualueiden sähkönjohtavuuden arvot eivät ylitä Vna:n 341/2009 asettamia pohjaveden ympäristölaatunormeja, mutta ylittävät STM:n talousvesiasetuksen laatusuositukset ja pienten yksiköiden laatuvaatimukset.

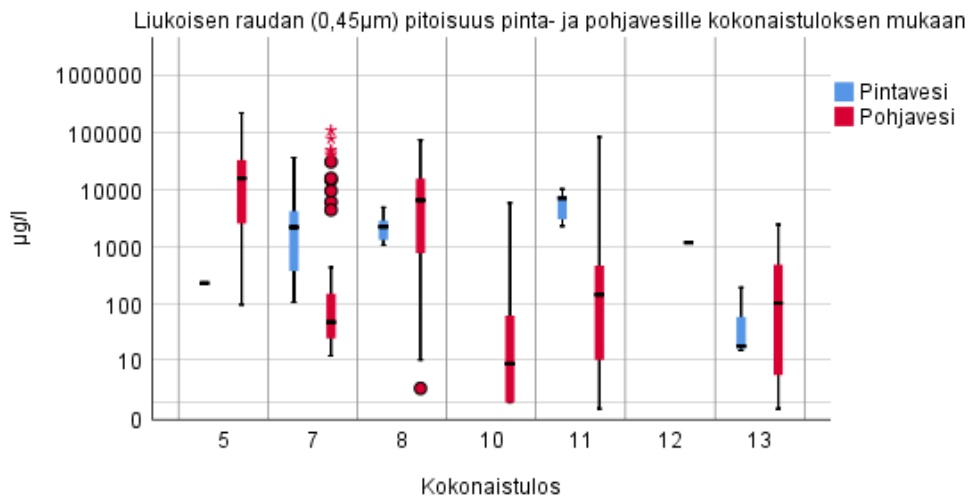


Kuva 19. Sähkönjohtavuus yhdistettynä veloitettarkkailualueiden pinta- ja pohjavesille. Sähkönjohtavuus (mS/m) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.



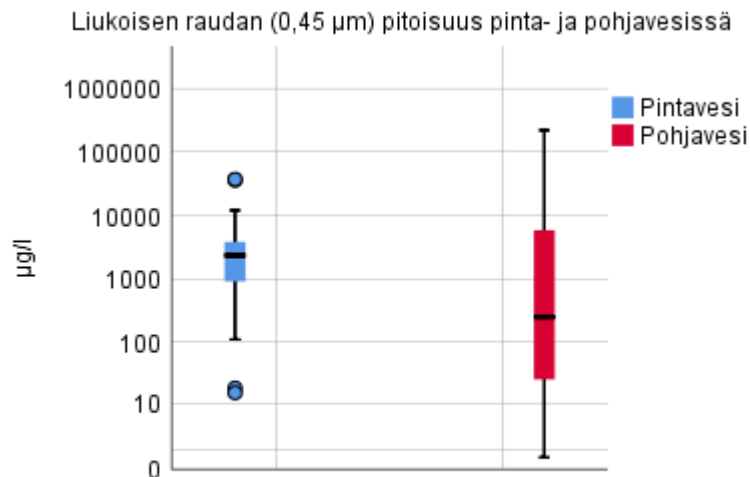
Kuva 20. Sähkönjohtavuuden mediaani tausta-alueilta ja veloitettarkkailutulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 21 on esitetty liukoisen raudan (suodatus 0,45 µm huokoskoon suodattimella) pitoisuus velvoitetarkkailualueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella raudan mediaanipitoisuudet ovat yli 100 µg/l, kaikilla paitsi neljällä kokonaistuloksella. Raudan pitoisuudessa on myös yksittäisiä korkeita poikkeamia > 200 000 µg/l. Lahermo ja muut (2002) mukaan rautaa esiintyy yleisesti Suomen vesissä ja korkeatkin pitoisuudet voivat olla mahdollisia hapettomassa ympäristössä. Vähähappisessa pohjavedessä rauta esiintyy Fe<sup>2+</sup>-ionina. Pintavesien rauta on sitoutuneena orgaanisen aineeseen (Lahermo ja muut 1996). Pintavesillä raudan mediaanipitoisuuksien vaihtelu on vähäisempää kuin pohjavesillä. Mediaanitulokset ovat kuitenkin pintavesissä keskimääräisesti korkeampia kuin pohjavesissä. Pohjaveden minimi- ja maksimiarvojen välillä on suurempaa vaihtelua.

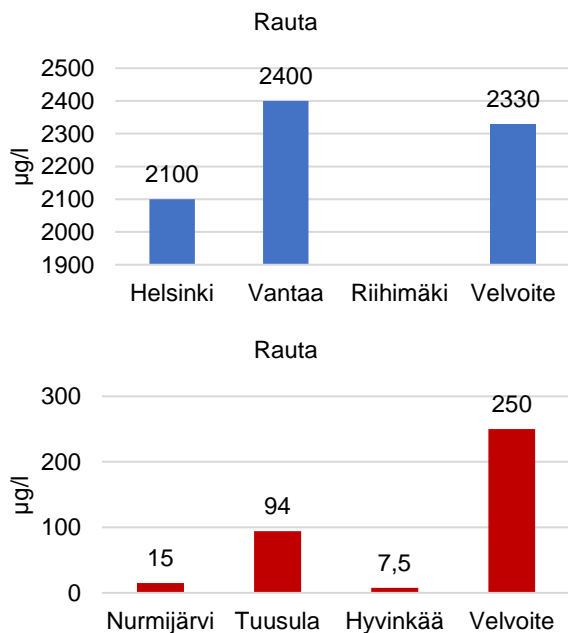


Kuva 21. Liukoisen raudan (0,45µm) pitoisuudet pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Velvoitetarkkailualueiden liukoisen raudan (0,45µm) mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 2330 µg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 250 µg/l (Kuva 22). Vantaanjoen valuma-alueen liukoisen raudan (0,45µm) taustapitoisuudet ovat pintavesillä lähellä velvoitetarkkailualueiden mediaania. (Kuva 23). Pintavesien korkein mediaanipitoisuus on Vantaan tausta-alueella 2400 µg/l (Kuva 23). Tausta-alueiden pohjavesillä vaihtelu on suurempaa, jossa pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 94 µg/l ja alin 7,5 µg/l. (Kuva 23). Pohjavesien osalta velvoitetarkkailualueiden mediaanipitoisuus ylittää taustapitoisuusmediaanit. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitystoiminta ei vaikuttaisi pintavedessä olevaan liukoiseen rautaan (Lahermo ja muut 1996), mutta voi nostaa liukoisen raudan pitoisuutta pohjavedessä (Lahermo ja muut 2002). Liukoisella raudalla esiintyy kuitenkin alueellisista- ja ajallista vaihtelua. Liukoisen raudan pitoisuuden nousua pohjavedessä maankaatopaikalla selittää kaksi seikkaa. Läjitetävistä aineksista liukenee orgaanista ainesta, joka pohjavesikerroksessa hajotessaan kuluttaa happea (Lahermo ja muut 2002). Lisäksi laajojen alueiden peittäminen savipitoisella aineksella muodostaa vettä läpäiseviä maakerroksia salpaavan kerroksen, jolloin pohjavesikerrokseen muodostuvat vastaavat vähähappiset olosuhteet kuin luonnontilaisten savikkojen peittämällä alueilla.



Kuva 22. Liukoisen raudan (0,45µm) yhdistetty pitoisuus velvoitetarkkailualueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.



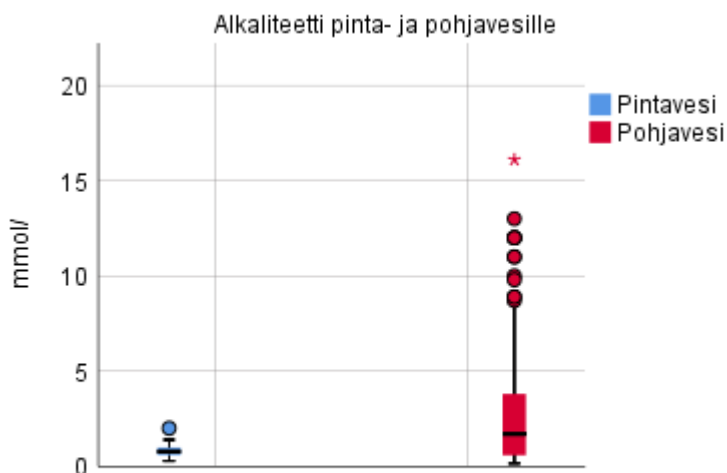
Kuva 23. Liukoisen raudan (0,45µm) mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja velvoitetarkkailutulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 24 on esitettyä alkaliteetin arvot velvoitetarkkailualueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella alkaliteettia ei ole sisällytetty kaikkien pilaantumattomien ylijäämämaiden velvoitetarkkailuun. Velvoitetarkkailussa alkaliteetin arvot löytyvät vain muutamalta pintavesien velvoitetarkkailutulosten osalta. Pohjavesien velvoitetarkkailutulokset ovat määrällisesti kattavampia alkaliteetille. Alhainen alkaliteetti vesillä ilmentää happamoitumisvaaraa, sillä veden puskurikapasiteetti on heikompi ja pH:n kyky vastustaa muutoksia heikkenee (Valvira 2018). Alkaliteetin korkeat arvot kuvaavat veden korkeampaa puskurikapasiteettia (Sutela ja muut 2012). Korkeampi alkaliteetti hidastaa esimerkiksi raudan liukenemistä.

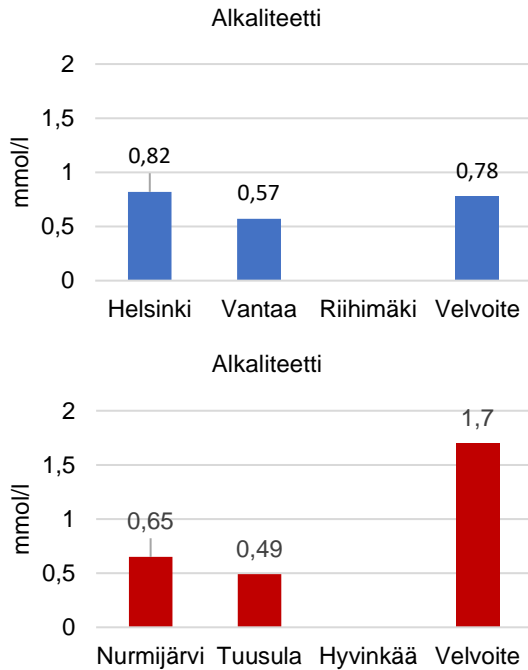


Kuva 24. Alkaliteetin arvot pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden kokonaistulokseen nähden. Alkaliteetti (mmol/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.

Velvoitetarkkailualueiden alkaliteetin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 0,78 mmol/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 1,7 mmol/l (Kuva 25). Vantaanjoen valuma-alueen alkaliteetin taustapitoisuudet ovat pinta- ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella taustapisteellä (Kuva 26). Pintavesien korkein mediaanipitoisuus on 0,82 mmol/l (Kuva 26) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 0,65 mmol/l (Kuva 26). Niin pinta- kuin pohjavesien osalta alkaliteetin mediaaniarvot ovat muistuttavat taustapitoisuusalueiden arvoja. Huomattavaa on velvoitetarkkailutulosten pohjavesien alkaliteetin yksittäiset ylitykset, jotka ovat  $\pm 10$  mmol/l. Pintavesillä alkaliteetin arvot muistuttavat tyypillisiä purovesien arvoja (Lahermo ja muut 1996). Pohjavesien osalta alkaliteetin arvot ovat lähellä Tuhannen kaivon tutkimuksen tuloksia (Lahermo ja muut 2002).



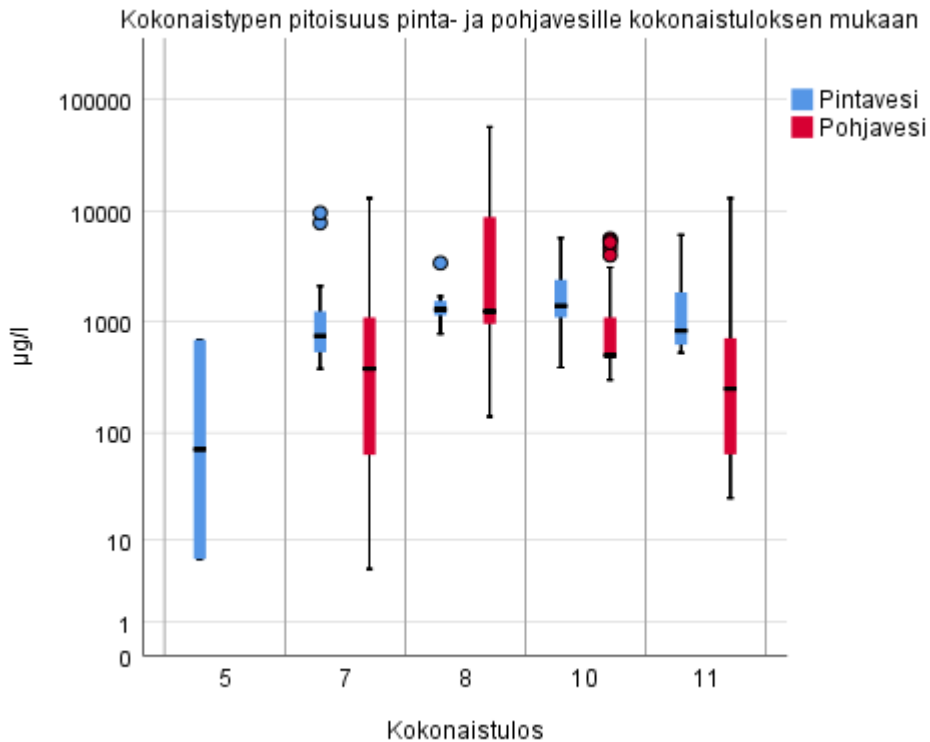
Kuva 25. Alkaliteetti yhdistettynä velvoitetarkkailualueiden pinta- ja pohjavesille. Alkaliteetti (mmol/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.



Kuva 26. Alkaliteetin mediaaniarvot tausta-alueilta ja velvoitetarkkailutulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

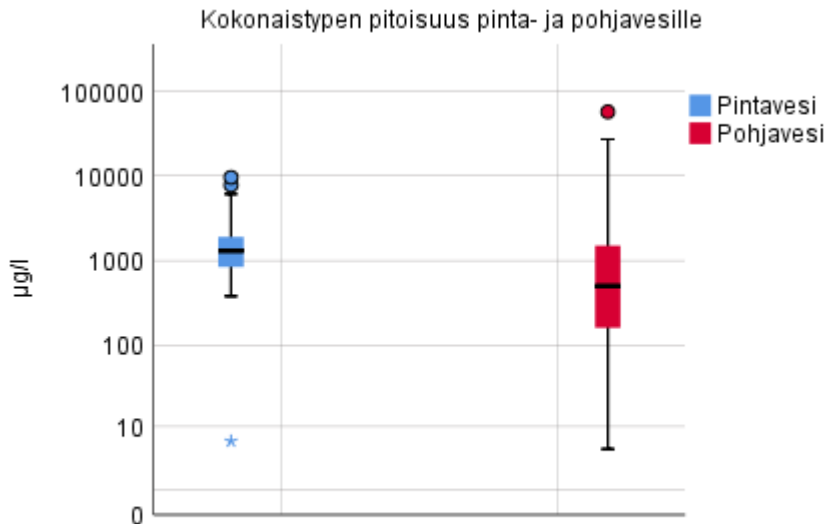
Kuvassa 27 on esitettyä kokonaistypen arvot velvoitetarkkailualueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella kokonaistyyppi kuuluu tarkasteltavaksi muuttujaksi velvoitetarkkailussa suurimassa osassa alueista. Kokonaistyyppi ilmoittaa kaikkien veteen liuenneiden tyyppi esiintymismuotojen kokonaispitoisuuden. Velvoitetarkkailutulosten osalta näitä eri esiintymismuotoja ei ole esitetty valtaosassa tapauksissa. Korkeat kokonaistyyppipitoisuudet rehevöittävät vesiä. Kokonaistypen 600 – 1500 µg/l pitoisuudet edustavat reheviä vesiä, johon suurin osa näytteistä kuuluu. Yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia esiintyy sekä pinta- että pohjavesillä ja yli 1500 µg/l sisältävät vedet ovat erittäin reheviä (Forsberg ja Ryding 1980).



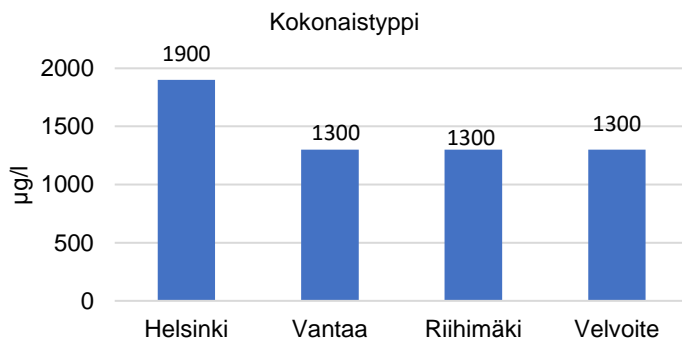


Kuva 27. Kokonaistypen pitoisuudet pinta- ja pohjavesille velvoitetarkkailualueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Velvoitetarkkailualueiden kokonaistypen mediaanipitoisuus kaikille pintaveden näytekasteille on  $1300 \mu\text{g/l}$  ja kaikille pohjaveden näytekasteille  $500 \mu\text{g/l}$  (Kuva 28). Vantaanjoen valuma-alueen kokonaistypen taustapitoisuudet ovat pintavesillä lähellä toisiaan jokaisella taustapisteellä (Kuva 29). Pohjavesistä ei ole kokonaistypipitoisuuden taustapitoisuusarvoja. Pintavesien korkein mediaanipitoisuus on  $1900 \mu\text{g/l}$  (kuva 29). Pintavesien mediaaniarvojen perusteella velvoitetarkkailualueiden kokonaistypipitoisuudet eivät eroa taustapitoisuuksista ja valuma-alueella tarkastellut pintavedet edustavat reheviä vesiä (Forsberg ja Ryding 1980). Pohjavesillä kokonaistypen minimiarvoksi on mitattu  $5 \mu\text{g/l}$  ja maksimiarvoksi  $57\,000 \mu\text{g/l}$ . Tämä osoittaa, että pohjavesillä kokonaistypen alueellinen vaihtelu on suurempaa kuin pintavesillä.



Kuva 28. Kokonaistypen yhdistetty pitoisuus veloitettarkkailu-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

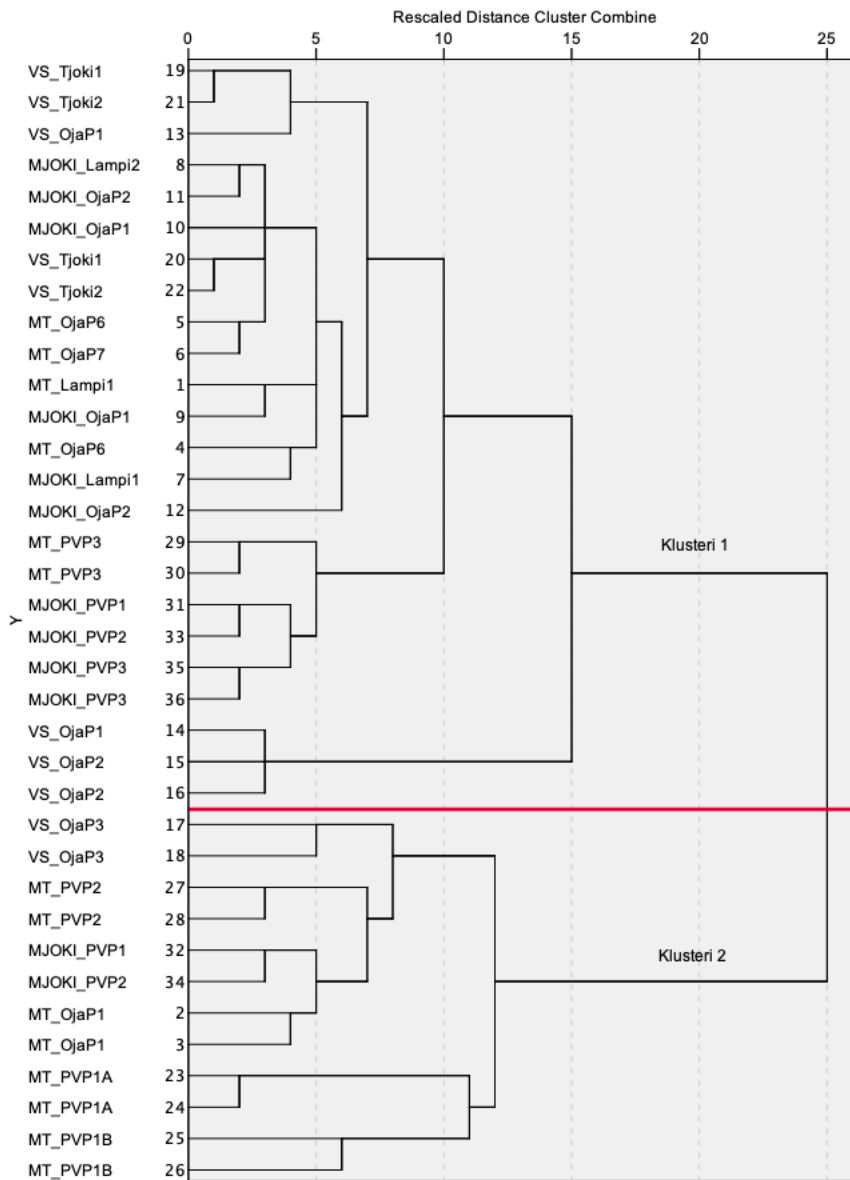


Kuva 29. Kokonaistypen mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja veloitettarkkailutulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet.

Ranta ja muiden (1997) ohjeiden mukaisesti SPSS:n hierarkkisella klusterianalyysillä tehtiin ryhmittely seuranta-alueiden yhdistetyille pinta- ja pohjavesiaineistolle Wardin metodilla (Euclidinen etäisyys). Metodi jakoi vedet ryhmiin veden kemiallisten ominaisuuksien mukaan ja sen avulla huomataan nopeasti, mitkä näytepisteiden vedet muistuttavat toisiaan ja mitkä eivät. Seurantatulosten klusterianalyysissä käytettiin seuraavia muuttujia: Heterotrofinen pesäkeluku  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , koliformiset bakteerit, *Escheria coli*, sulfaatti, kloridi, väriluku, ammonium-, nitraatti- ja nitriittityppi, pH, sähkönjohtavuus, alkaliteetti, happi,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  ja liukoisena kalsium, magnesium, kalium, natrium, alumiini, antimoni, arseeni, barium, beryllium, boori, elohopea, fosfori, kadmium, koboltti, kromi, kupari, lyijy, mangaani, molybdeeni, nikkeli, pii, rauta, rikki, seleeni, sinkki, strontium, tallium, titaani, uraani, vanadiini, keskiraskaat öljyhiilivedyt  $\text{C}_{10} - \text{C}_{21}$ , raskaat öljyhiilivedyt  $\text{C}_{21} - \text{C}_{40}$  sekä öljyhiilivedyt  $\text{C}_{10} - \text{C}_{40}$ .

Kuvan 30 hierarkkisessa ryhmittelyssä on muodostunut kaksi pääryhmää, joiden sisällä on hajontaa. Suurempi pääryhmä muodostuu vesistä 19 – 16, joka pitää sisällään 24 näytettä. Yhteensä näistä 24 näytteestä kuusi on pohjavesiä ja 18 pintavesiä. Pienempi pääryhmä muodostuu vesistä 17 – 26, jossa on 12 näytettä.

Näistä 12 näytteestä kahdeksan on pohjavesiä ja neljä pintavesiä. Suurempi pääryhmä jakautuu kahteen ryhmään, joista toinen on käsittää vedet 19 – 36 (21 kpl) ja pienempi 14 – 16 (3 kpl). Vesien analyysit 19 – 36 jakautuvat vielä pienempiin osiin muodostaen kaksi pienempää ryhmää 19 – 12 ja 29 - 36, joista vedet jakautuvat edelleen pienempiin ryhmiin. Suuremmasta pääryhmästä 19 – 16 huomataan, että VS\_OjaP1 kahden näytteenottokerran välillä on tapahtunut pintavedessä muutoksia, sillä vedet ovat pääryhmänsä sisällä toisistaan mahdollisimman kaukana. Toinen selkeä muutos huomataan pohjavesissä MJOKI\_PVP1 ja MJOKI\_PVP2, joiden toisella näytteenottokierroksella on tapahtunut muutoksia.



Kuva 30. Hierarkkinen ryhmittely Wardin menetelmällä pinta- ja pohjavesille seuranta-alueilta. Punainen viiva helpottaa havainnoimaan ryhmien jakautumisen klustereihin 1 ja 2.

Syyskuun VS\_OjaP1 näytteessä heterotrofinen pesäkeluku on suurempi ja koliformeja sekä *E. coli* esiintyy huomattavasti enemmän kuin marraskuun näytteessä. Alkuaineiden osalta merkittävimmät muutokset pitoisuuksissa syyskuun ja marraskuun välillä ovat liukoisella alumiinilla 260 µg/l → 450 µg/l, liukoisella raudalla

(0,45 µm) 220 µg/l → 580 µg/l, liukoisella rikillä 3500 µg/l → 4600 µg/l, liukoisella titaanilla 13 µg/l → 47 µg/l. Myös kloridin pitoisuus ja sähkönjohtavuus on puolittunut syyskuulta marraskuulle. Muutokset pitoisuuksissa johtuvat todennäköisesti huuhtoumasta. Kyseiset muuttujat ovat tyypillisiä savipitoisille maa-aineksille (Lahermo ja muut 1996). Pitoisuuksien vaihtelua muiden muuttujien välillä on vähän ja OjaP1 vaikuttava toiminta pysyy samanlaisena.

MJOKI\_PVP1 ja MJOKI\_PVP2 syyskuun näytekerroksen tulokset ovat edustettuna klusterissa 1 ja marraskuun näytekerroksen tulokset klusterissa 2. Ryhmittelyn perusteella voidaan sanoa, niin pintavesien kuin pohjavesien olevan erilaisia kyseisillä seuranta-alueilla. Tulosten perusteella monien muuttujien pitoisuudet ovat vaihdelleet niin laskien kuin kasvaen pohjavedessä. PVP1 ja PVP2 veden laadussa huomataan selkeitä eroja, vaikka havaintoputkien välinen etäisyys < 100 metriä.

Molemmista havaintoputkissa heterotrofinen pesäkeluku ja koliformiset bakteerit ovat laskeneet syyskuulta marraskuulle. Muut muuttujat, joilla on tapahtunut laskua syyskuulta marraskuulle ovat hapen kyllästysaste, happi, liukoinen boori ja liukoinen rauta. Muuttujat, joilla on tapahtunut kasvua syyskuulta marraskuulle molemmissa havaintoputkissa ovat sulfaatti, nitraattityppi, sähkönjohtavuus, kemiallinen hapenkulutus, kalsium liukoinen, magnesium liukoinen, barium liukoinen, mangaani liukoinen, pii liukoinen, rikki liukoinen, strontium liukoinen.

Pitoisuuksien laskua syyskuulta marraskuulle on myös vain osalla muuttujista PVP1 havaintoputkessa. Muuttujat ovat sameus 130 FNU → 28 FNU, liukoinen alumiini 22 µg/l → 11 µg/l ja liukoinen fosfori 56 µg/l → 25 µg/l. PVP1 havaintoputkessa kloridi pitoisuus on kasvanut syyskuulta marraskuulle 13 mg/l → 31 mg/l. Pitoisuuksien kasvua on tapahtunut myös vain osalla muuttujista PVP2 havaintoputkessa. Kyseisiä muuttujia ovat liukoinen natrium (0,45 µm) 13 mg/l → 46 mg/l, sameus 40 FNU → 320 FNU ja liukoinen uraani 9 µg/l → 22 µg/l.

Näytepiste VS\_OJAP1 tulokset kuin näytepisteiden MJOKI\_PVP1 ja MJOKI\_PVP2 osoittavat ajallista vaihtelua vesien tilassa. Pintaveden erot johtuvat huuhtouman muutoksista ja konsentraatioiden kasvu voi selittyä suuremmasta virtaamasta tai muutoksista maa-aineksessa. Pohjavesituloksista on havaittavissa mullanjalostusalueella tapahtuva toiminta, jossa maa-ainesten vaihtuvuus on nopeaa. Tulokset voivat selittyä pohjaveden viipymän muutoksilla tai uusista maa-aineksista. Pohjaveden laatu voi tulosten perusteella vaihdella hyvinkin paljon pienellä etäisyydellä.

Klusterien 1 ja 2 sekä näiden yhteiset pinta- ja pohjavesitulokset syksyltä 2019 ovat taulukossa 11. Tulosten perusteella klusterissa 1 metallien pitoisuudet ovat alhaisempia kuin klusterissa 2. Klusterissa 1 koliformisten bakteerien, *E. coli*, väriluvun ja liukoisen alumiinin mediaaniarvot ovat korkeammat kuin klusterissa. Klusterin 2 vedet muistuttavat pohjavesiä, joissa on liuenneita alkuaineita.

Taulukko 11. esittää kuvan 30 hierarkkisen ryhmittelyn pinta- ja pohjavesi pitoisuudet klustereille 1 ja 2 sekä molempien yhteisen pitoisuuden.

	Klusteri 1			Klusteri 2			Klusterit 1 & 2		
	N	Keskiar.	Med.	N	Keskiar.	Med.	N	Keskiar.	Med.
Heterotrofinen_pesäkeluku (pmy/ml)	24	6230	2800	12	3353	2900	36	5271	2900

Koliformiset_bakteerit (mpn/ 100 ml)	24	859	750	12	731	119	36	817	550
Escherichia_coli (mpn/100 ml)	24	159	15	12	186	0	36	168	11
Sulfaatti (mg/l)	24	14	15	12	81	74	36	36	15
Kloridi (mg/l)	24	9.9	7.8	12	32	28	36	17	12
Väriluku (mg Pt/l)	24	66	60	12	18	12	36	50	37
Ammoniumtyppi (mg/l)	24	0.08	0.02	12	0.29	0.18	36	0.15	0.04
Nitraattityppi (mg/l)	24	0.62	0.33	12	5.9	4.7	36	2.4	0.45
Nitriittityppi (mg/l)	24	0.004	0.001	12	0.062	0.051	36	0.023	0.004
Sameus (FNU)	24	49	23	12	114	23	36	71	23
pH	24	7.0	7.0	12	7.0	7.2	36	7.0	7.0
Sähkönjohtavuus (mS/m)	24	22	20	12	69	70	36	37	30
Alkaliteetti (mmol/l)	24	1.5	1.2	12	4.4	3.2	36	2.5	2.1
Happi (mg/l)	24	6.6	7.8	12	4.8	4.9	36	6.0	6.7
CODMn (mg/l)	24	14	17	12	8.4	7.1	36	12	11
DOC (mg/l)	24	17	17	12	13	11	36	16	15
Kalsium, Ca, liukoinen (mg/l)	24	15	11	12	78	65	36	36	15
Magnesium, Mg, liukoinen (mg/l)	24	3.8	4.0	12	21	18	36	9.5	4.5
Kalium, K, liukoinen_0,45µm (mg/l)	24	2.6	2.4	12	7.5	8.2	36	4.2	2.6
Natrium, Na, liukoinen_0,45µm (mg/l)	24	8.6	8.2	12	23	15	36	13	9.4
Alumiini, Al, liukoinen (µg/l)	24	149	66	12	31	16	36	110	44
Arseeni, As, liukoinen (µg/l)	24	0.696	0.500	12	0.808	0.700	36	0.733	0.550
Barium, Ba, liukoinen_0,45µm (µg/l)	24	11	10	12	26	24	36	16	15
Boori, B, liukoinen (µg/l)	24	4.9	1.5	12	20	1.5	36	9.8	1.5
Fosfori, P, liukoinen (µg/l)	24	38	25	12	27	25	36	35	25
Kadmium, Cd, liukoinen (µg/l)	24	0.013	0.010	12	0.074	0.080	36	0.034	0.010
Koboltti, Co, liukoinen (µg/l)	24	0.274	0.210	12	4.4	0.985	36	1.6	0.305
Kromi, Cr, liukoinen (µg/l)	24	0.368	0.255	12	0.203	0.130	36	0.313	0.200
Kupari, Cu, liukoinen (µg/l)	24	2.0	1.9	12	5.0	4.0	36	3.0	2.5
Lyijy, Pb, liukoinen (µg/l)	24	0.121	0.050	12	0.050	0.050	36	0.097	0.050
Mangaani, Mn, liukoinen_0,45µm (µg/l)	24	38	15	12	801	260	36	292.2	27.5

Molybdeeni, Mo, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	0.715	0.600	12	15	4.0	36	5.4	0.750
Nikkeli, Ni, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	1.1	1.0	12	5.2	5.1	36	2.5	1.7
Pii, Si, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	4482	5200	12	8510	7050	36	5825	5700
Rauta, Fe, liukoinen_0,45 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	24	403	150	12	560	42	36	456	135
Rikki, S, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	4182	4350	12	23078	14000	36	10481	4650
Seleen, Se, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	0.292	0.250	12	1.5	0.950	36	0.706	0.250
Sinkki, Zn, liukoinen_0,45 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	24	4.9	2.5	12	257	8.5	36	89	2.5
Strontium, Sr, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	56	52	12	280	230	36	130	62
Tallium, Tl, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	0.500	0.500	12	0.500	0.500	36	0.500	0.500
Titaani, Ti, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	8.6	2.5	12	3.0	0.500	36	6.7	2.0
Uraani, U, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	1.6	0.865	12	54	16	36	19	1.2
Vanadiini, V, liukoinen ( $\mu\text{g/l}$ )	24	0.750	0.650	12	0.825	0.850	36	0.775	0.700
Keskiraskaat C10-C21 ( $\mu\text{g/l}$ )	24	16	15	12	20	15	36	17	15
Raskaat C21-C40 ( $\mu\text{g/l}$ )	24	21	15	12	22	15	36	21	15
Öljyhiilivedyt C10-C40 ( $\mu\text{g/l}$ )	24	31	25	12	38	25	36	33	25

Seuranta-alueiden pinta- ja pohjaveden laatuun vaikuttavien tekijäryhmien välistä merkitystä tutkittiin Varimax-rotatoidulla faktorinanalyysillä. Analyysi tehtiin varianssikorjatulle, standardoidulle (0-1) aineistolle, jossa oli 38 muuttujaa (Ranta ja muut 2007). Pinta- ja pohjavesille muodostui pääkomponenttianalyysin perusteella 7 pääkomponenttia (taulukko 12). Alkuainemääritysten osalta pääkomponenttianalyysi toteutettiin vain liukoille suodatetuille pinta- ja pohjavesinäytteille.

Ensimmäisen pääkomponentin muuttujat selittävät lähes 29 % aineiston varianssista ja ovat geogeenistä alkuperää (Lahermo ja muut 2002). Pääkomponentti on muodostunut suoloista, jotka ovat tyypillisiä savimaille (Lahermo ja muut 1996). Lahermon ja muiden (2002) Tuhannen kaivon tutkimuksessa magnesium korreloi merkittävästi rengaskaivovesissä sähkönjohtavuuden kanssa sekä piihapon, boorin, mangaanin, kalsiumin ja strontiumin kanssa. Toisen pääkomponentin selitysaste on 15 %. Lahermon ja muiden (2002) havaintojen mukaan tämä pääkomponentti (molybdeeni, sulfaatti, rikki, kloridi ja nikkeli) kuvastaa vesien nuhraantumista. Molybdeenin pitoisuutta vesissä lisää teollisuus, asutus, maatalousmaan lannoitus ja kalkitus. Muuttujat ovat peräisin antropogeenisestä toiminnasta ja viittaavat seurantakohteiden toiminnan vaikutukseen (Hatakka ja Väisänen 2007). Kolmas pääkomponentti (selitysaste 11 %) muodostuu raskasmetalleista, jotka korreloivat pH:n kanssa negatiivisesti. Kyseiset alkuaineet ovat tyypillisesti sitoutuneina orgaaniseen ainekseen, joka vaikuttaa niiden kulkeutumiseen (Lahermo ja muut 1996, 2002). Maaperässä ja pohjavedessä ras-

kasmetallien liikkuvuuteen vaikuttavat pH, hapetus-pelkistys-potentiaali, maaperän- ja raskasmetallien ominaisuudet (Heikkinen 2000). Neljäs pääkomponentti (selitysaste 9 %) muodostuu sinkistä, sameudesta, koboltista, bariumista ja pH:sta, joka on jakautunut molempiin metalleja sisältäviin pääkomponentteihin. Viides pääkomponentti muodostuu uraanista, typpiyhdisteistä ja natriumista selittäen 7 % varianssista. Kyseinen pääkomponentti viittaa muuttujien olevan peräisin lannoitteista (Ympäristö 2019). Uraania esiintyy muun muassa fosforin kanssa (Äikäs 1988), jota hyödynnetään lannoitteissa (Lahermo ja muut 2002). Kuudes pääkomponentti muodostuu raudasta, seleenistä, arseenista ja mikrobiologisista muuttujista. Lahermon ja muiden (2002) havaintojen perusteella muuttujaryhmä voikin edustaa vähähappisia, likaantuneista vesiä. Tyypillisesti seleeni sitoutuu Fe-saostumiin. Seitsemäs pääkomponentti muodostuu liuenneesta orgaanisesta hii-lestä, veden kemiallisesta hapen kulutuksesta ja väriluvusta, joiden kohonneet määrät ovat merkki orgaanisen aineksen määrästä vedessä selittäen 4 % vaihtelusta.

Taulukko 12. Seuranta-alueiden pinta- ja pohjaveden laatuun liittyvät Varimax-rotatoidut pääkomponentit 1-7 muodostettuina pääkomponenttianalyysillä. Itseisarvoltaan lukua 0,4 pienemmät lataukset on jätetty merkitsemättä taulukkoon. Pääkomponenttianalyysin selitysaste on 80,9 %.

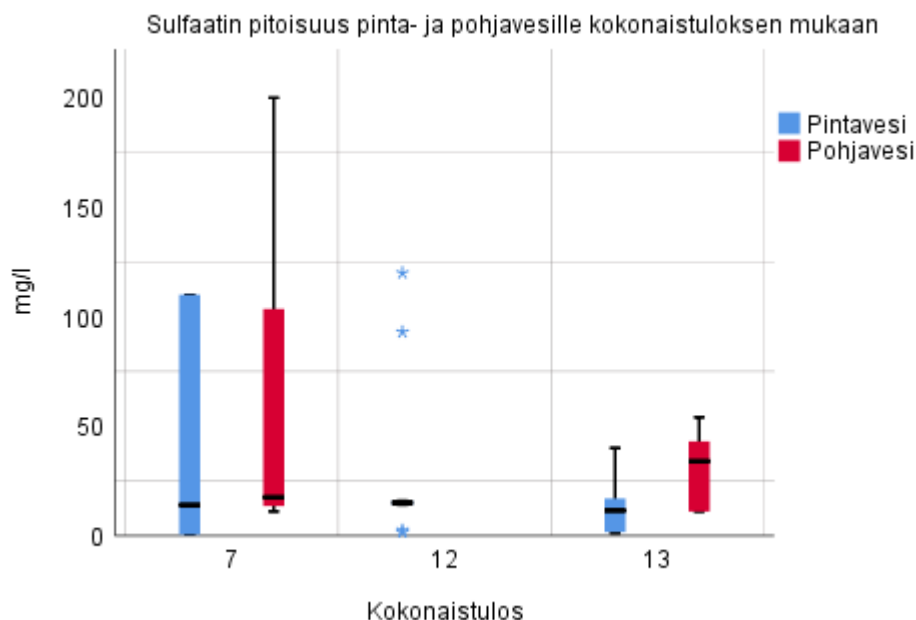
Muuttuja	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Magnesium	0.933						
Alkaliteetti	0.891						
Strontium	0.849	0.472					
Kalsium	0.837	0.470					
Pii	0.823						
Mangaani (0,45µm)	0.796			0.441			
Kalium (0,45µm)	0.740				0.475		
Sähkönjohtavuus 25 C	0.708	0.520					
Boori	0.593	0.407					
Happi	-0.435						
Molybdeeni		0.908					
Sulfaatti		0.878					
Rikki		0.817					
Kloridi		0.655			0.461		
Nikkeli	0.513	0.643					
Kupari							
Titaani			0.877				
Alumiini			0.874				
Kromi			0.874				
Vanadiini			0.868				
Sinkki (0,45µm)				0.919			
Sameus				0.858			
Koboltti				0.840		0.474	
Barium	0.490			0.523			
pH			-0.424	-0.513			
Uraani					0.910		
Nitriittityppi					0.839		
Natrium (0,45µm)					0.732		
Ammoniumtyppi					0.592		
Nitraattityppi		0.482			0.579		
Rauta (0,45µm)						0.861	

Seleeni						0.841	
Escherichia coli						0.838	
Arseeni	0.465					0.471	
Koliformiset bakteerit						0.443	
DOC							0.903
CODMn							0.811
Väiriluku			0.471				0.677

Tarkastelemalla seuranta-alueiden arseenin mediaani- ja maksimipitoisuuksia voidaan todeta, että 1. arseeniprovinssille tyypillisiä kohonneita arseenipitoisuuksia ei esiintynyt seuranta-alueilla. Seuranta-alueiden pintavesien mediaaniliukoiselle arseenille on 0,5 µg/l ja pohjavesien mediaani 0,7 µg/l. Pohjavesien arseenin mediaanipitoisuudet ovat lähellä Lahermon ja muiden (2002) tulosten pitoisuuksia. Suurin arvo pintavesillä on 1,9 µg/l ja pohjavesillä 2,2 µg/l. Pohjavesien osalta pitoisuudet eivät ylitä Vna (341/2009) ympäristölaatu normia (Liite 1).

Pinta- ja pohjavesien tilastollista analyysia tehdään vertailemalla seuranta-alueiden pitoisuuksia valittuihin Vantaanjoen valuma-alueen tausta-alueisiin.

Kuvassa 31 on esitetty sulfaatin pitoisuudet verrattuna paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen seuranta-alueittain. Sulfaatin mediaanipitoisuudet ovat lähellä toisiaan kaikilla seuranta-alueilla. Kokonaistulokseen nähden pisteytys ei toimi, sillä suurimmat yksittäiset pitoisuudet esiintyvät kokonaistuloksella (7). Kaikkien seuranta-alueiden mediaanipitoisuudet ovat < 50 mg/l. Sulfaatin korkein maksimipitoisuus esiintyy kokonaistuloksella (7) 200 mg/l.

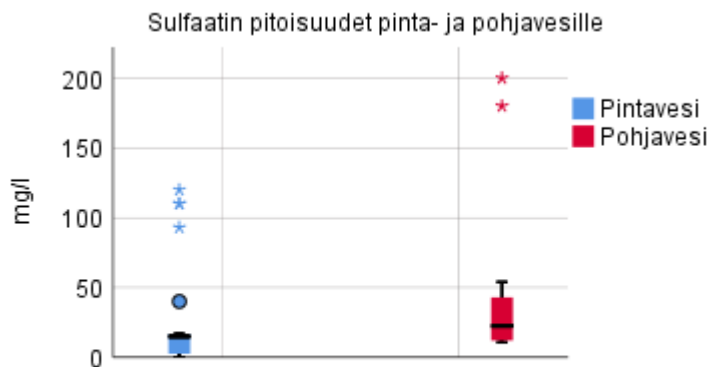


Kuva 31. Sulfaatin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.

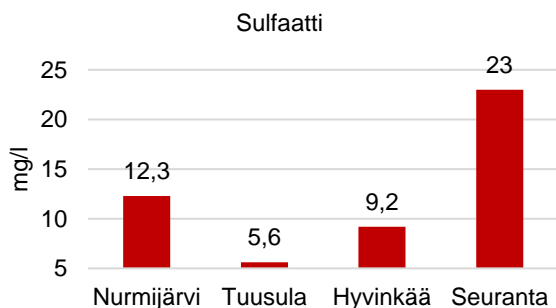
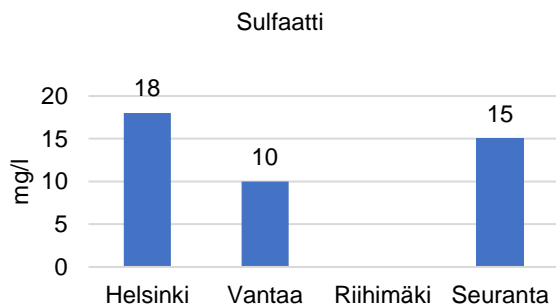
Seuranta-alueiden sulfaatin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 15 mg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 23 mg/l (Kuva 32). Vantaanjoen valuma-alueen sulfaatin taustapitoisuudet ovat pinta-



ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella pisteellä (Kuva 33). Tausta-alueiden pintavesien korkein mediaanipitoisuus on hieman korkeampi 18 mg/l (Kuva 33) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 12,3 mg/l (Kuva 33). Niin seuranta-alueiden pinta- kuin pohjavesien osalta sulfaatin maksimipitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin taustapitoisuusalueilla. Lahermon ja muut (2002) Tuhannen kaivon tutkimuksessa rengaskaivoveden mediaanipitoisuudeksi todettiin 10,4 mg/l ja porakaivoveden mediaanipitoisuudeksi 12,2 mg/l. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitystoiminta nostaisi lievästi sulfaattipitoisuuksia. Alueellinen vaihtelu sulfaatin pitoisuuksissa tulee ottaa huomioon tutkimuksissa, sillä velvoitetarkkailutuloksiin verrattuna sulfaattipitoisuudet ovat alhaisemmat.



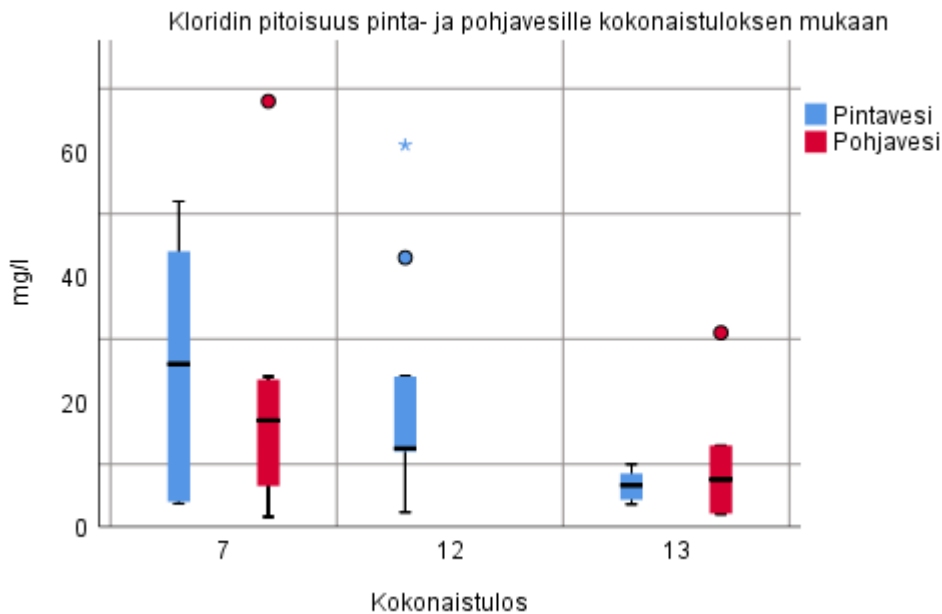
Kuva 32. Sulfaatin yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikoilla.



Kuva 33. Sulfaatin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

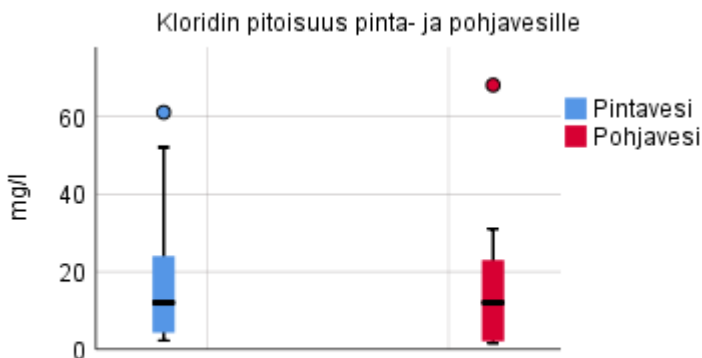
Kuvassa 34 on esitettyä kloridin pitoisuudet verrattuna paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen seuranta-alueittain. Kloridin mediaanipitoisuuksissa ei ole suurta vaihtelua seuranta-alueiden välillä. Kokonaistulokseen nähden pisteytys ei toimi, sillä kuvaajan tulisi mediaanipitoisuuksien pitäisi kasvaa kokonaistuloksen

kasvaessa, eikä laskea. Kloridin mediaanipitoisuus pysyy < 30 mg/l jokaisella seuranta-alueella ja pohjavesien osalta pitoisuudet jäävät Vna (341/2009) ympäristölaatunormin (Liite 1) alle. Jokaisella seuranta-alueella esiintyy yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia, mutta suurimmat pitoisuudet esiintyvät kokonaistuloksella (7).

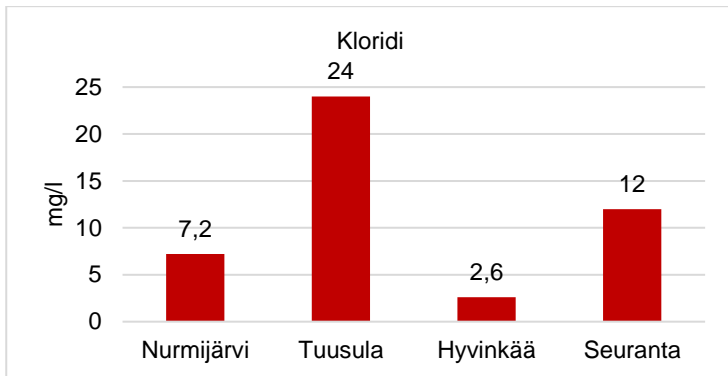


Kuva 34. Kloridin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.

Seuranta-alueiden kloridin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 12 mg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 12 mg/l (Kuva 35). Vantaanjoen valuma-alueen kloridin taustapitoisuudet vaihtelevat jokaisella pisteellä (Kuva 36). Pohjavesien alin mediaanipitoisuus on 2,6 mg/l ja korkein 24 mg/l (Kuva 36). Pintavesien osalta taustapitoisuusarvoja ei ole. Kloridilla huomataan hyvin paljon alueellista vaihtelua, eikä varmuudella voida sanoa, että maanläjitystoiminta nostaisi kloridipitoisuuksia. Lahermon ja muiden (1996) tulosten perusteella seuranta-alueiden pintavesien kloridin mediaanipitoisuus 12 mg/l on normaalilla tasolla. Lahermon ja muiden (2002) tulosten perusteella pohjaveden mediaanipitoisuus 12 mg/l muistuttaa tuhannen kaivon porakaivovesien mediaania. Maaperäkaivoissa kloridin mediaani on normaalista alhaisempi. Vain yksittäiset kloridipitoisuudet ylittävät viranomaisten asettaman ympäristölaatunormin pohjavesille.

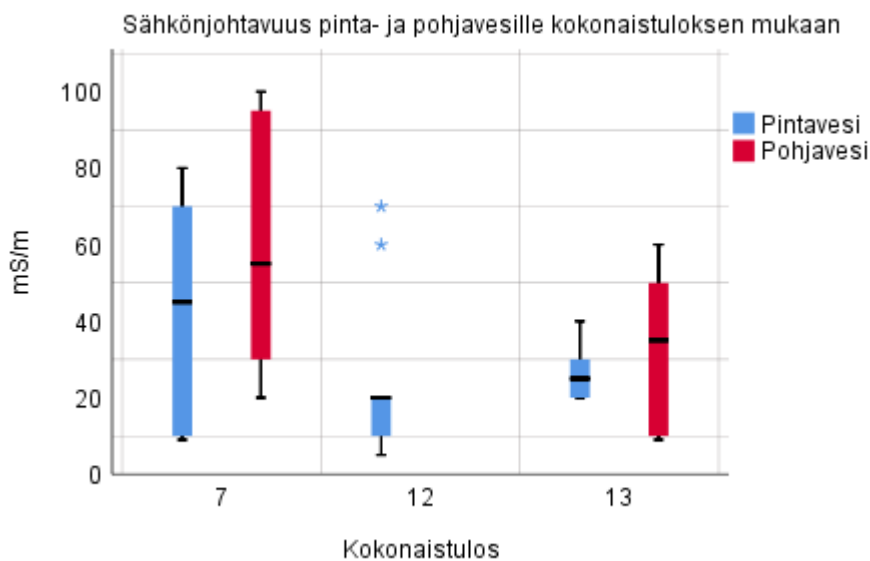


Kuva 35. Kloridin yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (mg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.



Kuva 36. Kloridin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja seuranta-tulosten mediaani. Punaisella on merkittynä pohjavedet.

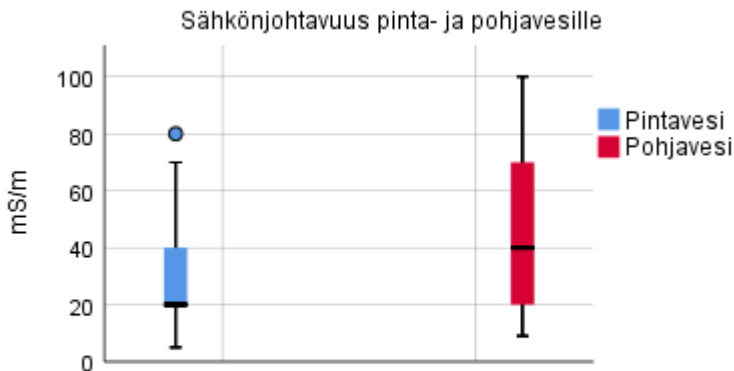
Kuvassa 37 on esitetty sähkönjohtavuus pinta- ja pohjavesille seuranta-alueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella korkeimmat sähkönjohtavuudet esiintyvät kokonaistuloksella (7) niin pinta- kuin pohjavesissä. Muiden kokonaistulosten sähkönjohtavuuden mediaani on  $\pm 25$  mS/m.



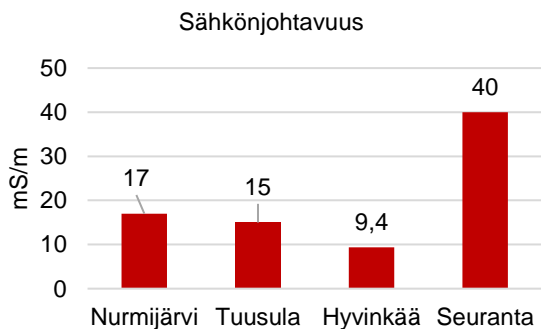
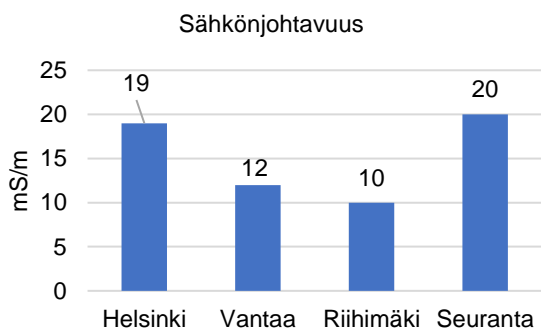
Kuva 37. Sähkönjohtavuus pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (mS/m) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.

Seuranta-alueiden sähkönjohtavuuden mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 20 mS/m ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 40 mS/m (Kuva 38). Vantaanjoen valuma-alueen sähkönjohtavuuden taustapitoisuudet ovat pinta- ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella pisteellä (Kuva 39). Tausta-alueiden pintavesien korkein mediaanipitoisuus on 19 mS/m (Kuva 39) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 17 mS/m (Kuva 39). Niin seuranta-alueiden pinta- kuin pohjavesien osalta sähkönjohtavuuden maksimipitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin taustapitoisuusalueilla. Myös sähkönjohtavuuden mediaani pohjavesillä on yli kaksi kertaa suurempi, kuin tausta-alueiden korkeimmalla mediaanipitoisuudella. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanlajitystoiminta nostaisi lievästi sähkönjohtavuutta pohjavesissä. Tuhannen kaivon tutkimuksessa porakaivoveden kenttämittausten mediaanipitoisuudeksi mitattiin

22,9 mS/m ja rengaskaivojen sähkönjohtavuudeksi 12,5 mS/m. Pintavesien osalta sähkönjohtavuuden mediaanit ovat suurin piirtein samoja kuin Lahermon ja muiden (1996) tutkimuksessa. Seuranta-alueiden sähkönjohtavuuden arvot eivät ylitä Vna:n 341/2009 asettamia pohjaveden ympäristölaatu normeja, mutta ylittävät STM:n talousvesiasetuksen laatusuosituksen ja pienten yksiköiden laatuvaatimukset. Alueellista vaihtelua sähkönjohtavuudessa havaitaan, sillä tuhannen kaivon tutkimuksen porakaivo vesien maksimipitoisuudet ovat olleet 7 kertaa korkeammat kuin seuranta-alueiden sähkönjohtavuus. Pohjavesien osalta sähkönjohtavuuden muutokset voivat olla peräisin maanläjitystoiminnasta. Seuranta-alueiden sähkönjohtavuuden arvot eivät ylitä STM:n asettamia laatusuosituksia tai vaatimuksia.

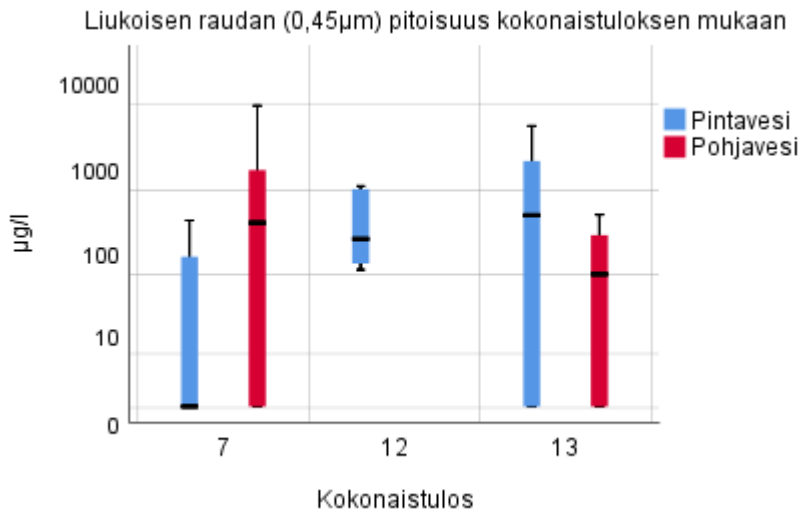


Kuva 38. Sähkönjohtavuus yhdistettynä seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Sähkönjohtavuus (mS/m) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.



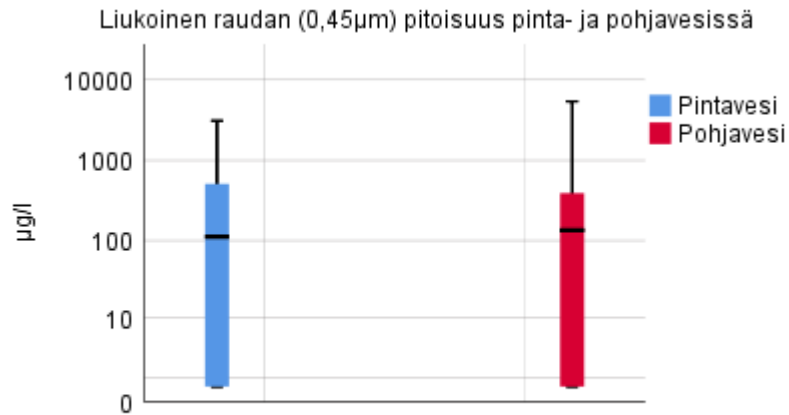
Kuva 39. Sähkönjohtavuuden mediaani tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 40 liukoisen raudan ( $0,45\mu\text{m}$ ) pitoisuus seuranta-alueittain paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella raudan mediaanipitoisuudet ovat pääosin samat kaikille pinta- ja pohjavesille pois lukien kokonaistuloksen (7) pintavettä. Yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia ei esiinny kokonaistulosten perusteella.

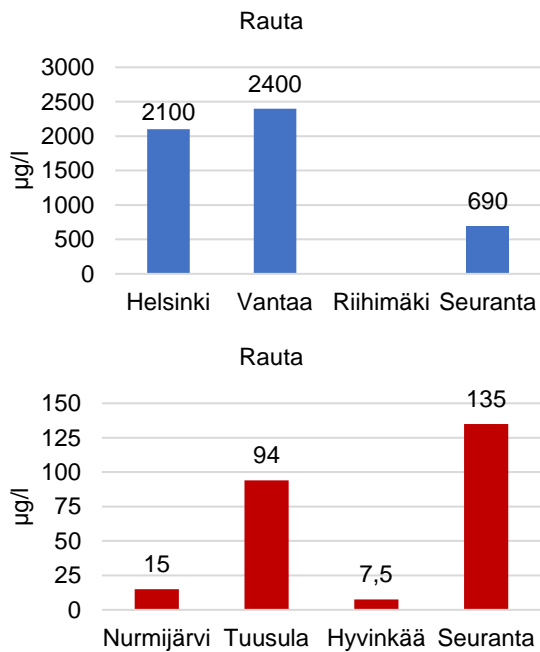


Kuva 40. Liukoisen raudan ( $0,45\mu\text{m}$ ) pitoisuudet pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

Seuranta-alueiden liukoisen raudan ( $0,45\mu\text{m}$ ) mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on  $115 \mu\text{g/l}$  ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä  $135 \mu\text{g/l}$  (Kuva 41). Pintavesien korkein mediaanipitoisuus on  $2400 \mu\text{g/l}$  (Kuva 42). Pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on  $94 \mu\text{g/l}$  ja alin  $7,5 \mu\text{g/l}$ . (Kuva 42). Taustapitoisuus-alueiden pintavesien maksimit ovat korkeammat kuin seuranta-alueiden, mutta seuranta-alueiden pohjavesien maksimiarvo ylittää kahden havaintopaikan taustapitoisuusarvot selkeästi. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitystoiminta ei vaikuttaisi pintavedessä olevaan liukoiseen rautaan (Lahermo ja muut 1996), mutta voi nostaa liukoisen raudan pitoisuutta pohjavedessä (Lahermo ja muut 2002). Liukoisella raudalla esiintyy kuitenkin voimakkaasti alueellisista vaihtelua, sillä velvoitetarkkailutulosten pitoisuudet ovat erilaisia.



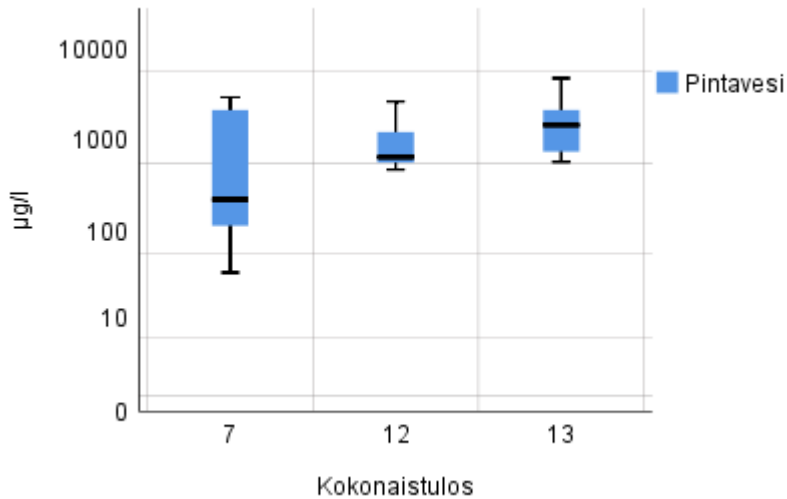
Kuva 41. Liukoisen raudan (0,45µm) yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.



Kuva 42. Liukoisen raudan (0,45µm) mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 43 on suodattamattoman raudan pitoisuus seuranta-alueittain kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella raudan mediaanipitoisuudet kasvavat pintavesissä kokonaistuloksen kasvaessa. Pääosalla muutujista tätä ei kuitenkaan tapahdu, joten pitoisuuden tarkastelu kokonaistulokseen pohjautuen ei ole luotettava suodattamattoman raudan osalta.

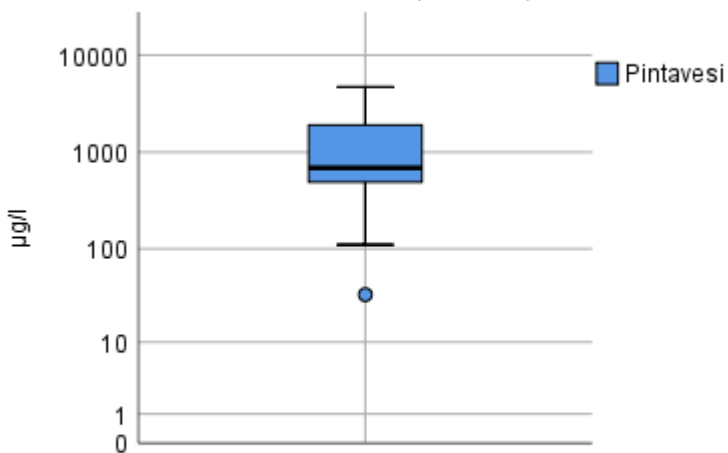
Suodattamattoman raudan pitoisuus pintavesille kokonaistuloksen mukaan



Kuva 43. Suodattamattoman raudan pitoisuudet pintavesille seuranta-alueiden kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

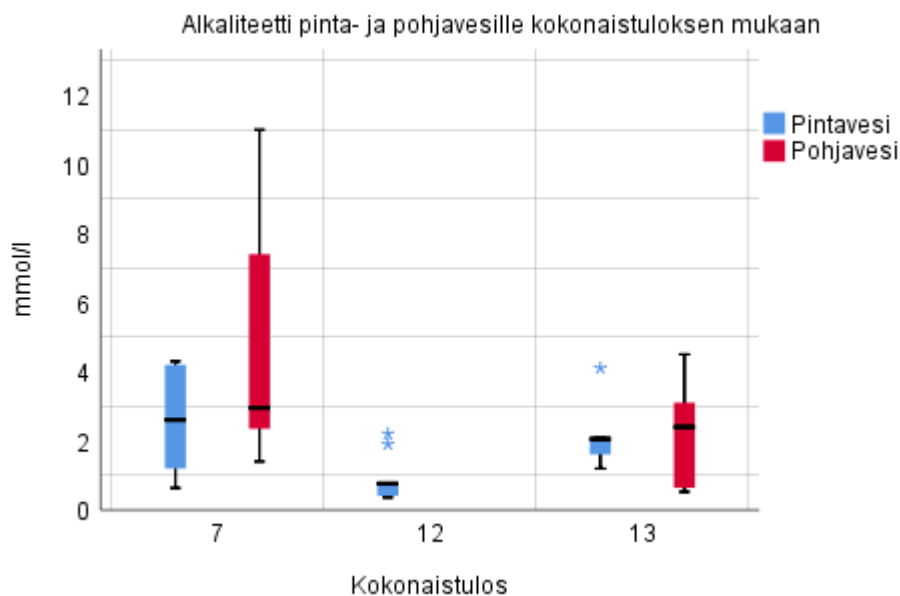
Seuranta-alueiden suodattamattoman raudan mediaanipitoisuus kaikille pintaveden näytepisteille on 690  $\mu\text{g/l}$  (Kuva 44). Pohjavesille ei tehty suodattamattoman raudan analyysia eikä sen tuloksille ole taustapitoisuuksia, johon verrata tutkimuksen tuloksia. Suodattamatonta rautaa voidaan kuitenkin verrata liukoiseen rautaan, johon nähden sen mediaani pitoisuus on paljon korkeampi (Kuva 40 ja 41). Tämä tulos vahvistaa sitä, että rauta on pidättyneenä kiintoaineksessa (Lahermo ja muut 1996). Velvoitetarkkailutulosten pintavesien kiintoainespitoisuuksia tarkastellessa nähdään, että maanläjitysalueilla kiintoaineksen osuus korkea. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanläjitystoiminta voi vaikuttaa suodattamattoman raudan pitoisuuteen pintavesissä.

Suodattamattoman raudan pitoisuus pintavesissä



Kuva 44. Suodattamattoman raudan yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pintavesille. Pitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) on ilmoitettu kymmenkantaisena logaritmina.

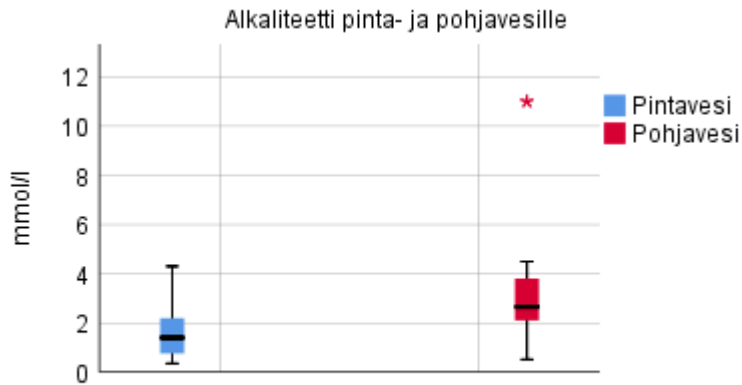
Kuvassa 45 on esitettyä alkaliteetin ( $\text{HCO}_3^-$ ) arvot seuranta-alueittain kokonaistulokseen nähden. Tarkasteltaessa alkaliteetin arvoja, veden suurin puskurikyky löytyy mediaanin- ja maksimiarvon perusteella kokonaistulokselta (7). Jokaisella seuranta-alueella alkaliteetin mediaaniarvo on  $< 3$  mmol/l. Lahermon ja muiden (2002) mukaan hiilidioksidia muodostuu, kun orgaaninen aine hajoaa. Hiilidioksidin liueteessa veteen se muodostaa hiilihappoa, joka dissosioituu pH:n mukaan vetykarbonaatiksi ( $\text{HCO}_3^-$ ) ja karbonaatti sekä  $\text{H}^+$ -ioneiksi. Veteen liuenut hiilidioksidi vaikuttaa myös karbonaatti- ja silikaattimineraalien hajoamisreaktioihin, minkä seurauksena veden bikarbonaattipitoisuus kasvaa. Geokemiallisesti helpommin rapautuvilla emäksisillä kivialueilla vetykarbonaattipitoisuudet ovat pohjavesissä suuremmat kuin vaikeasti rapautuvilla alueilla, jotka ovat muodostuneet graniitista. Eri pH-arvot vaikuttavat liuenneen hiilen esiintymismuotoihin. Tutkimuksessa mitatut pH-arvot pysyvät pääasiassa pH-alueella (5,5 – 7,5), jolloin vesissä esiintyy vain hiilihappoa ja bikarbonaatteja. Liuenneiden hiilen esiintymismuotojen lisäksi alkaliteetti vaikuttavat monet muut veteen liuenneet komponentit. Alhainen alkaliteetti vesillä ilmentää happamoitumisvaaraa, sillä veden puskurikapasiteetti on heikompi ja pH:n kyky vastustaa muutoksia heikkenee. Alkaliteetin korkeat arvot kuvaavat veden korkeampaa puskurikapasiteettia. Korkeampi alkaliteetti hidastaa alkuaineiden liukenemistä.



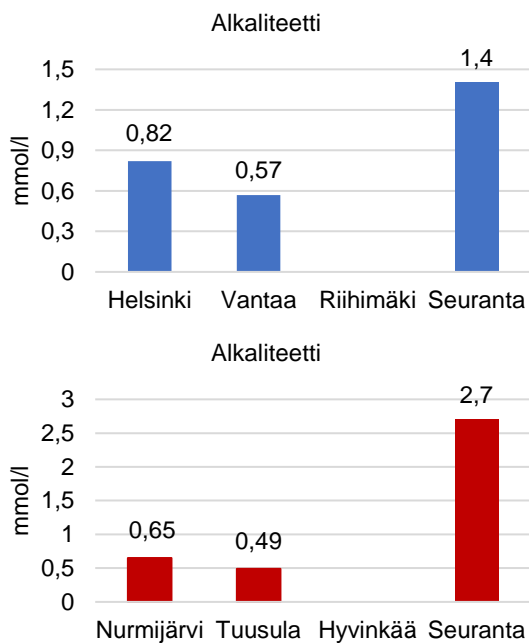
Kuva 45. Alkaliteetin arvot seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Alkaliteetti (mmol/l) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.

Seuranta-alueiden alkaliteetin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 1,4 mmol/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 2,7 mmol/l (Kuva 46). Vantaanjoen valuma-alueen alkaliteetin taustapitoisuudet ovat pinta- ja pohjavesien osalla lähellä toisiaan jokaisella taustapisteellä (Kuva 47). Tausta-alueiden pintavesien korkein mediaanipitoisuus on 0,82 mmol/l (Kuva 47) ja pohjavesien korkein mediaanipitoisuus on 0,65 mmol/l (Kuva 47). Niin pinta kuin pohjavesien osalta seuranta-alueiden alkaliteetin maksimiarvot ovat huomattavasti korkeammat kuin taustapitoisuusalueilla. Seuranta-alueiden pintavesien alkaliteetin maksimiarvo on noin neljää kertaa suurempi kuin yhdenkään taustapitoisuusalueen. Seuranta-alueiden pohjavesissä alkaliteetin maksimiarvo on jopa yli kymmenenkertaa suurempi. Pintavesillä alkaliteetin arvot lievästi koholla purovesien arvoihin verrattuna. (Lahermo ja muut 1996). Lahermon ja muiden (2002) rengaskaivovesi- sekä porakaivovesi tuloksiin verrattuna pohjavesien alkaliteetin arvot koholla. Tulosten perusteella pilaantumattomien ylijäämämaiden maanlajitystoiminta nostaa alkaliteettia pinta- ja pohjavesissä. Alkaliteetin korkeat arvot kuvaavat veden puskurikapasiteettia (Sutela ja muut 2012).





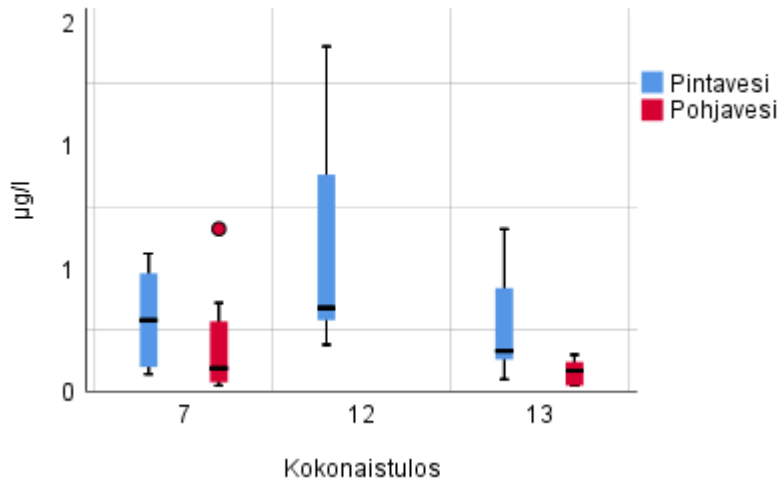
Kuva 46. Alkaliteetti yhdistettynä seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Alkaliteetti (mmol/l) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.



Kuva 47. Alkaliteetin mediaaniarvot tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

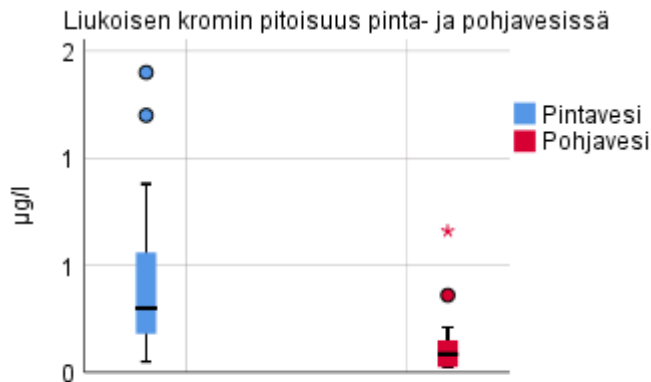
Kuvassa 48 liukoisen kromin pitoisuus seuranta-alueittain paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella kromin mediaanipitoisuudet ovat pääosin samat kaikille pinta- ja pohjavesille pois lukien kokonaistuloksen (12) pintavettä, jonka pitoisuus on vähän korkeampi. Tulosten perusteella erilaisilla maanlajitusalueilla ei ole kromin suhteen suuria eroja.

Liukoisen kromin pitoisuus pinta- ja pohjavesille kokonaistuloksen mukaan

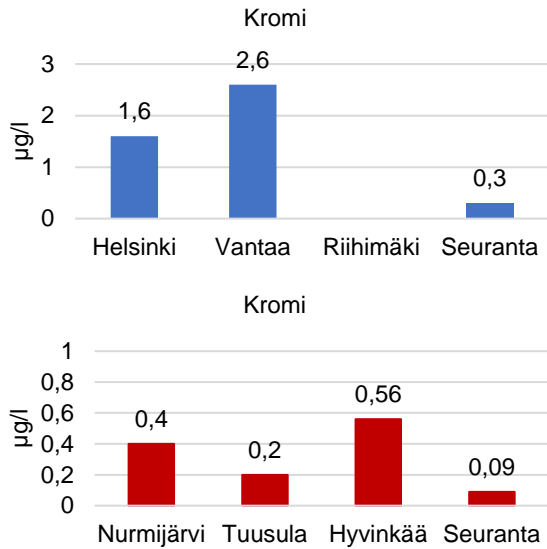


Kuva 48. Liukoisen kromin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.

Seuranta-alueiden liukoisen kromin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 0,3 µg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 0,09 µg/l (Kuva 49). Taustapitoisuusalueiden pintavesien ja pohjavesien mediaanipitoisuudet ovat lievästi korkeammat kuin seuranta-alueiden pitoisuudet (Kuva 50). Lahermon ja muiden (1996) tutkimuksessa purovesien kromin mediaanipitoisuudet ovat lähellä pintaveden mediaanipitoisuutta. Lahermon ja muiden (2002) tulosten perusteella pohjavesien kromin pitoisuus on samanlaisella tasolla.

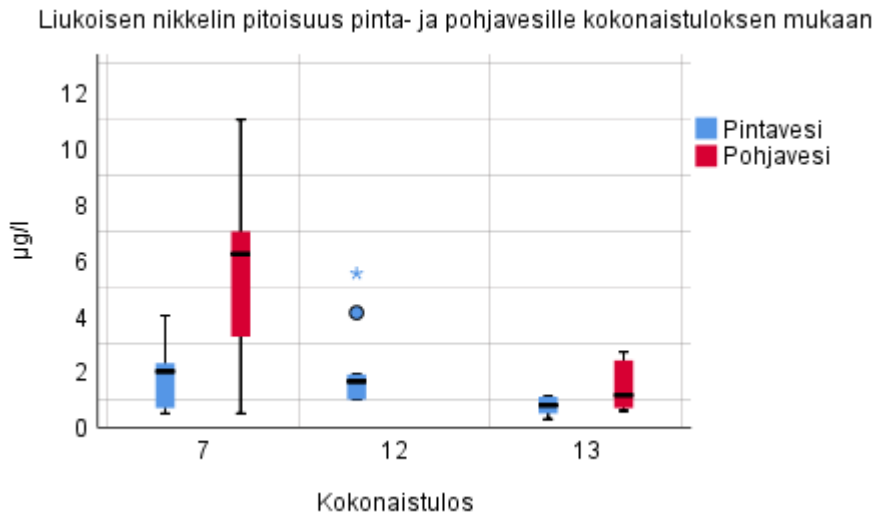


Kuva 49. Liukoisen kromin yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.



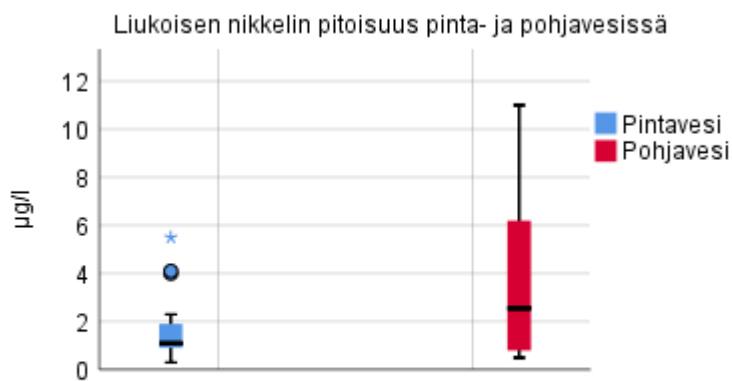
Kuva 50. Liukoisen kromin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

Kuvassa 51 liukoisen nikkelin pitoisuus seuranta-alueittain paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Tulosten perusteella nikkelin mediaanipitoisuudet ovat pääosin samat kaikille pinta- ja pohjavesille pois lukiin kokonaistuloksen (7) pohjavettä, jonka mediaanipitoisuus on vähän korkeampi.

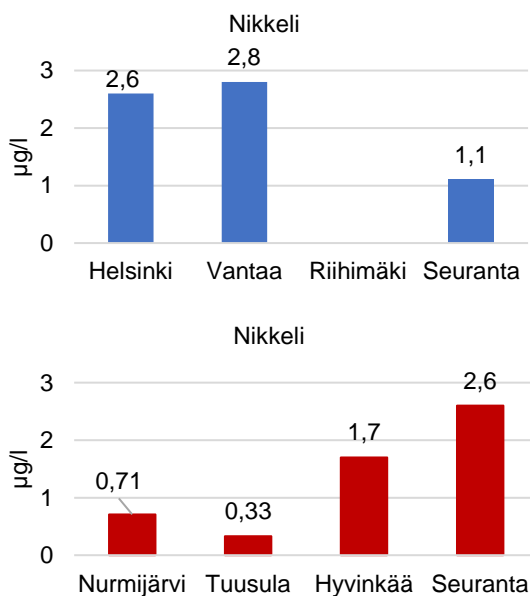


Kuva 51. Liukoisen nikkelin pitoisuudet pinta- ja pohjavesille seuranta-alueiden paikkatietoanalyysin kokonaistulokseen nähden. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu lineaarisella-asteikolla.

Seuranta-alueiden liukoisen nikkelin mediaanipitoisuus kaikilla pintaveden näytepisteillä on 1,1 µg/l ja kaikilla pohjaveden näytepisteillä 2,6 µg/l (Kuva 52). Taustapitoisuusalueiden pintavesien mediaanipitoisuudet ovat lievästi korkeammat kuin seuranta-alueiden pitoisuudet, kun taas pohjavesien kohdalla tilanne on päinvastainen (Kuva 53). Määrällisesti nikkelpitoisuudet ovat alhaisia seuranta-alueilla. Lahermon ja muiden (1996) tutkimuksessa nikkelin mediaanipitoisuudeksi purovesissä on ilmoitettu 0,5 µg/l. Lahermon ja muiden (2002) mukaan pohjaveden hieman korkeampi nikkelpitoisuus kokonaistuloksella (7) voisi johtua kallioperän Ni-pitoisista sulfidimineralisaatioista, mutta koska nikkeli on geologisessa ympäristössä yleinen, pienet alueelliset vaihtelut ovat normaaleja. Tuhannen kaivon tutkimuksessa nikkelin rengaskaivoveden mediaanipitoisuudeksi on ilmoitettu 0,84 µg/l ja porakaivoveden mediaanipitoisuudeksi 0,595 µg/l. Tulokset ovat hieman alhaisempia kuin seurantatulosten mediaanit.



Kuva 52. Liukoisen nikkelin yhdistetty pitoisuus seuranta-alueiden pinta- ja pohjavesille. Pitoisuus (µg/l) on ilmoitettu lineaarisella asteikolla.



Kuva 53. Liukoisen nikkelin mediaanipitoisuudet tausta-alueilta ja seurantatulosten mediaani. Sinisellä on merkittynä pintavedet ja punaisella pohjavedet.

## 7 Johtopäätökset

Paikkatietoanalyysin sekä velvoitetarkkailu- ja seuranta-alueiden tuloksia analysoitiin tilastollisin menetelmin sekä verrattiin valuma-alueen luontaisiin taustapitoisuuksiin. Paikkatietoanalyysin mukainen kokonaistulos ei kuitenkaan suoraan osoittanut jo tapahtuneita läjitystoiminnan aiheuttamia muutoksia alueen veden laadussa. Paikkatietoanalyysi arvioi riskiä ja toiminnan todennäköisiä vaikutuksia veden laatuun pitkällä aikavälillä ja myös etäämmällä maanlajitysalueista. Paikkatietoanalyysia kehittämällä siitä voitaisiin saada apuväline vesien laadun tarkkailun suunnitteluun.

Tutkielman tulokset vahvistivat esiselvitysvaiheen alustavia tuloksia, joiden mukaan pilaantumattomillakin mailla olisi vaikutuksia pinta- ja pohjavesien laatuun. Pinta- ja pohjavesissä todettiin alueittain taustapitoisuuksia korkeampia pitoisuuksia muun muassa sulfaatilla, liukoisella raudalla, liukoisella mangaanilla, liukoisella uraanilla, liukoisella rikillä, liukoisella sinkillä ja sähkönjohtavuudella. Yksittäisissä tapauksissa velvoitetarkkailutuloksien pintavesissä esiintyi TAME:a, öljyhiilivetyjä C10-C40 ja mineraaliöljyjä (Liite 2). Pohjavesillä esiintyi öljyhiilivetyjä C10-C40 (Liite 3). Seurantatuloksilla esiintyi pintavesissä keskiraskaita C10-C21, raskaita C21-C40, öljyhiilivetyjä C10-C40 ja yksittäisiä PAH-yhdisteitä (Liite 4). Pohjavesissä esiintyi keskiraskaita C10-C21, raskaita C21-C40, öljyhiilivetyjä C10-C40 (Liite 5). Velvoitetarkkailutulosten näytemäärien perusteella VOC ja PAH-yhdisteitä ei juurikaan määritetä. Seuranta-alueiden näytteenottokierrosten perusteella vain PAH-yhdisteitä havaittiin pinta- ja pohjavesissä.

Velvoitetarkkailujen tuloksia tarkasteltaessa huomattiin, että laajoja analyysseja on tehty vähän. Analyysiohjelmat olivat muuttujien osalta osittain suppeita sekä vaihtelevia, mikä johti aineiston puutteellisuuteen ja vaikeutti tilastollisen analyysin muodostamista. Velvoitetarkkailutulosten tilastollisten tarkastelujen perusteella läjitysalueiden pohjavesien laadussa oli enemmän vaihtelua kuin tausta-alueiden pohjavesissä ja pitoisuudet olivat korkeampia. Pohjavesien laadussa on alueellisia eroja, koska niiden laatuun vaikuttavat paikalliset tekijät, kuten kallioperän mineraalikoostumus ja läjitettävien/väliavarastoitujen maa-ainesten geokemiallinen koostumus. Syynä voi olla erilaisten maa-ainesten reaktiot keskenään, alkuaineiden ja yhdisteiden liukeneminen pohjaveteen tai alueellinen geokemia.

Seurantatulokset ovat muodostettu vain kahden näytteenottokierroksen perusteella, joten seurantatulokset antavat suuntaa-antavan kuvauksen muuttujien arvoista ja pitoisuuksista. Seuranta-alueiden osalta pinta- ja pohjavesien laadussa on selkeitä eroja, sillä seuranta-alueiksi valittiin tarkoituksella erilaisia toimijoita ja ympäristöjä. Tämän takia joidenkin seuranta-alueiden muuttujien mediaanipitoisuudet eroavat velvoitetarkkailutulosten mediaaneista. Seurantatulokset muistuttavat velvoitetarkkailutuloksia enemmän tausta-alueiden pinta- ja pohjavesipitoisuuksia. Muun muassa kloridin, kromin ja nikkelin pitoisuudet ovat lähellä toisiaan. Seuranta-alueiden pintavesien poikkeamiin vaikuttavat merkittävästi vuodenajan vaihtelut ja sääolosuhteet.

Tulosten perusteella pilaantumattomilla mailla on lieviä haitallisia vaikutuksia niin pinta- kuin pohjaveden laadullisiin tekijöihin. Yksi ratkaisu läjitystoimintaan voisi olla, että maa-aineet läjitettäisiin alueilla, joilla geokemialliset ominaisuudet ovat luontaisesti vastaavia. Tässä tapauksessa tulisi huomioida maa-aineksen taustapitoisuudet, jotta kemiallisesti toisiaan muistuttavat maat voitaisiin läjittää keskenään. Tämä tehostaisi laadun tarkkailua ja ylijäämämaiden kemiallinen koostumus olisi paremmin tiedossa. Lupahakemuksissa vastuu ylijäämämaiden pilaantumattomuuden varmistamisesta on yleensä maa-aineksen lähettäjällä. Osassa

kohteissa vastaanottajat tarkastavat maa-ainekset aistinvaraisesti. Mikäli maa-aines todetaan sopimattomaksi, se palautetaan tuojan toimesta. Yleisesti maanlajityksessä ja välivarastoinnissa tulee muistaa kiertotalous. Ihanteellisin tilanne on sellainen, jossa pilaantumattomat ylijäämämaat voidaan hyödyntää alkupe-raisellä alueella. Edistämällä kiertotaloutta ja kestävää luonnonvarojen käyttöä maanlajityksessä pyritään hyödyntämään myös maa-aineksia, jotka päätyisivät maankaatopaikoille. Ylijäämämaat, joita ei pystytä hyödyntämään, kannattaisi loppusijoittaa keskitetysti suuremmille maankaatopaikoille, joilla toiminnan vaikutus voidaan rajata paremmin ja valvonta olisi järjestelmällisempää. Maanlajitys- ja välivarastointialueiden pohjarakentaminen tulisi suunnitella siten, että pohjaveteen ei liukenisi sinne kuulumattomia alkuaineita ja yhdisteitä, jotka muokkasivat sen normaalia vesikemiaa. Myös hulevesien keruu- ja käsittelyjärjestelmiä tulisi parantaa. Pinta- ja pohjaveden laadullista seurantaan olisi hyvä tehostaa osassa kohteista myös muiden kuin ympäristöluvanvaraisten toimijoiden. Muun muassa alle 50 000 tonnia vuodessa tehtävässä läjityksessä, mul- lan valmistuksessa ja alle 1 vuoden kestävässä välivarastoinnissa, olisi suotavaa toteuttaa vesinäytteenottoa. Monen alueen kohdalla velvoitetarkkailun suppeahkoja analyysipaketteja tulisi laajentaa mm. raskasmetal- lien osalta, sillä vähäinen analyysivalikoima ei edusta kaikkia kohteita. Laajassa analyysipaketissa olevia alku- aineita tai yhdisteitä esiintyy osassa kohteista, jotka ylittävät Vna 341/2009 pohjaveden ympäristölaatu- normit sekä STM:n vaatimukset ja suositukset. Pilaantumattomien ylijäämämaiden suppeat vedenlaadun velvoi- tetarkkailuohjelmat huomioiden, jonkinlainen yhteinen seurantatapa olisi hyödyllinen toimijoille. Yhteinen seurantatapa muodostuisi kaikille toimijoille samanlaisesta analyysivalikoimasta, jota muokattaisiin tarpeen vaatiessa toiminnan mukaan. Kaikille yhteinen analyysivalikoima koostuisi ainakin seuraavista muuttujista: pH, sameus, väriluku, happipitoisuus (mg/l ja kyll-%), sähkönjohtavuus, kloridi, sulfaatti, alkaliteetti, CODMn, DOC, nitraattityppi, nitriittityppi, ammoniumtyppi, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn, heterotrofinen pesäkeluku, koliformiset bakteerit, E. coli ja öljyhiilivedyt C5 – C40. Laajempi analyysivalikoima, joka otettaisiin vähintään kerran vuodessa kattaisi myös VOC-yhdisteet ja PAH-yhdisteet. Mikäli VOC ja PAH-yhdisteitä esiintyy, ne sisällytettäisiin mukaan toimijan normaaliin analyysivalikoimaan.

Puutteellisuutta esiintyy myös viranomaisten asettamissa lupamääräyksissä. Ne kattavat vain pienen osan alkuaineista ja yhdisteistä, joita on esiintynyt läjitysalueiden pinta- ja pohjavesissä.

## 8 Kiitokset

Haluan kiittää pohjavesiasiantuntija Anna-Liisa Kivimäkeä ja yliopistonlehtori Kirsti Korkka-Niemeä monipuolisesta ja ajankohtaisesta aiheesta. Anna-Liisan antama ohjaus tutkielman aikana on ollut ammattimaista ja opettavaista. Kiitos *Maanlajitysalueet Vantaanjoen valuma-alueella ja niiden vaikutukset vesiin sekä haittoja ehkäisevät kalataloudelliset kunnostukset* hankkeen rahoittajille Uudenmaan ELY-keskukselle ja Maa- ja ve- sitekniikan tuki ry:lle, jotka mahdollistivat pro gradu -tutkielman. Erityiskiitos Vantaanjoen ja Helsingin seu- dun vesiensuojeluyhdistyksen kaikille työntekijöille, jotka ovat kannustaneet jaksamaan eteenpäin, autta- neet näytteenotossa ja jakaneet neuvojaan. Paikkatietoanalyysin alkuvaiheen suunnittelusta ja toteutuksesta haluan kiittää jokitalkkari Oula Tolvasta sekä ympäristösuunnittelija Martti Kujansuuta. Kiitän Keski-Uuden- maan ympäristökeskuksen Saku Nurmista, Espoon ympäristökeskuksen Maria Favorinia, Riihimäen kaupun- gin Riina Lehtistä ja Elisa Lintukangasta sekä Vantaan kaupungin Maarit Rantataroa avusta aineiston kerää- misessä. Lisäksi kiitos Nurmijärven kunnan Aino Angervuorelle, joka auttoi asioinnissa Metsä-Tuomelan

maankaatopaikan kanssa sekä Mustajoen Multajalosteen Pasi Mustajoelle yhteistyöstä ja mahdollisuudesta tehdä tutkimusta mullanjalostusalueellaan. Lopuksi kiitos kaikille opiskelukavereille ja ystäville, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet tutkielman kirjoittamisessa. Suurin kiitos avopuolisolleni Heidille ja vanhemmilleni, jotka ovat tarjonneet suurimman tuen viimeisen vuoden aikana.

## 9 Viiteluettelo

Ahomäki, A. ja Pitkäranta, R. 2007. Luvian kunnan pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Verkkojulkaisu. 56 s. + liitteet.

Backman, B. ja Lahermo, P. 2004. Arseeni pohjavesissä. Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, 103–110

Brander, M. 2013. Virtaamamittaukset tutkimusmenetelmänä pohja- ja pintaveden välisen vuorovaikutuksen arvioinnissa Vantaanjoen valuma-alueen jokiuomissa. Pro gradu -tutkielma. 95 s.

Britschgi, R., Rintala, J., Puharinen, S.-T. 2018. Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelmien laadintaan. Ympäristöministeriö Ympäristöhallinnon ohjeita 3 | 2018.

Eilu, P. ja Lahtinen, R. 2004. Arseeni kallioperässä ja malmiutuneissa vyöhykkeissä. Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, s. 29–43.

Farmit Website Oy. n.d. (Farmit 2019). Kalkituksen vaikutukset. Sivustolla vierailtu 15.9.2019. <https://www.farmit.net/kasvinviljely/kalkitus/kalkin-vaikutukset>

Forsberg, C. ja Ryding, SO. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in Swedish waste-receiving lakes. *Archive fur hydrobiologie*, 89, s. 189-207.

Geologian tutkimuskeskus. (Maankamara 2019). Sivuilla vierailtu 20.9.2019. <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Geologian tutkimuskeskus. Maaperän taustapitoisuudet. Arseeniprovinssit. (Tapir 2019). Sivuilla vierailtu 20.5.2020. <http://gtkdata.gtk.fi/Tapir/pages/arseeniprovinssit.html>

Hallanaro, E.-L. ja Loukola-Ruskeeniemi, K. 2014. Arseenia kalliolla!: ja mitä siitä sitten seuraa....English Abstract: Arsenic in Bedrock!: and Then What Happens... . Geologian tutkimuskeskus, Erikoisjulkaisut. 107 s.

Hatva, T., Hyyppä, J., Ikäheimo, J., Penttinen, H. ja Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen – Raportti V: Soranotto ja pohjaveden suojelu. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja B. 94 s. + liitteet.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 80 s.

Heikkinen, S. 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan. Geologian tutkimuskeskus. Geofoorumi 2/2009.

Helsingin sanomat. 30.5.2016. (HS 2016). Maa-aineksen kierrätys on liian vaikeaa. Pääkirjoitus. Sivulla vierailtu 15.11.2019. <https://www.hs.fi/paakirjoitukset/art-2000002903689.html>

Huhtinen, T., Palolahti, A., Räisänen, M. & Torppa, A. 2018. Kiviaineshuollon kehittäminen. Ympäristöministeriön raportteja 13/2018. 148 s. + liitteet.

Kinnunen, T., Valpola, S., Autiola, M., Kärkkäinen, T., Vaitomaa, K., Ahonen, I., Sipilä, P., Vuokko, J., Sivula, K., Lyytikäinen, A., Husa, J., Teeriaho, J. & Britschgi, R. 2006. Pohjavesiensuojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen: Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan loppuraportti, Uudenmaan ympäristökeskus, alueelliset ympäristöjulkaisut 400/2006. 265 s.

Kivimäki, A.-L., Rautio, A., Korkka-Niemi, K., Brander, M., Nygård, M., Vahtera, H., Karhu, J., Salonen, V.-P., Kiirikki, M. ja Lahti, K. 2013. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Julkaisu 69/2013. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 138 s.

Kivimäki, A.-L. ja Fagerlund, M. 2017. Mätäkiven pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Päivitys 2017. Raportti 20/2017. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys.

Kivimäki, A.-L., Clergeaud, J., Hyrsky, M., ja Tolvanen, O. 2019. Maanlajitysalueet Vantaanjoen valuma-alueella ja niiden vaikutukset vesiin – Esiselvitysraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 40 s.

Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T., ja Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit. Geologian tutkimuskeskus. Espoo 150 s.

Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U., ja Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Tutkimusraportti 155. 92 s.

Lapinlampi, T., Sipilä, A., Hatva, T., Kivimäki, I., Kokkonen, P., Kosunen, J., Lammila, J., Lipponen, A., Santala, E., ja Rissanen J. 2001. Kysymyksiä kaivoista. Frågor om brunnar. Ympäristöopas 86. Suomen ympäristökeskus.

Leppäranta, M., Virta, J. ja Huttula, T. 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.

Maa- ja metsätalousministeriö, Ympäristöministeriö. (MMM). 2/2011. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. ISBN 978-952-453-628-8 (painettu), 978-952-453-629-5 (verkkojulkaisu) ISSN 1238-2531 (painettu), 1797-397X (verkkojulkaisu).

Manninen, M. 2017. Vesien tarkkailuohjelma Metsä-Tuomelan maankaatopaikka, Nurmi-järvi. SITO Oy. 10 s. + liitteet.

Nygård, M. 2011. Jokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin Vantaanjoen valuma-alueella lämpötila- ja vedenlaatuaineistojen perusteella. Pro gradu -tutkielma. 116 s.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 26 s.

Ranta, E., Rita, H., ja Kouki, J. 1997. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Kuudes painos. Yliopistopaino.



- Rautio, A. ja Korkka-Niemi, K. 2011. Characterization of groundwater–lake water interactions at Pyhäjärvi, a lake in SW Finland. *Boreal Environment Research* 16: 363–380. ISSN 1239-6095 (print) ISSN 1797-2469 (online).
- Rintala, J. 2014. Pohjaveden laadun muutokset soranottoalueilla 1985 – 2013. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2014. 146 s. + liitteet.
- Rosenberry, D. ja LaBaugh, W. 2008. Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water. *Techniques and methods 4-D2*. USGS. s. 128.
- Sabel, J. 2011. Jyväskylän maanlajitysalueiden sijainnit tulevaisuudessa. Diplomityö. 100 s. + liitteet.
- SITO. 2013. Helsingin kaivumaiden hyödyntämisen kehittämisohjelma. 29 s. + liitteet.
- Sophocleous, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science, *Hydrogeology Journal* 10, 52-67.
- Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto 15.5.2018. Talousvesiasetuksen soveltamisohje Osa III Enimmäisarvojen perusteet. Ohje 16/2018. (Valvira 2018). Dnro V/5904/2018.
- Soveri, J., Mäkinen, R. ja Peltonen, K. 2001. Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975-1999. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 420.
- Suomalainen, M., Seppälä, R. ja Jaakonahon, O. 2015. Vantaanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. RAPORTTEJA 92 | 2015.
- Suominen, M. 23.10.2015. Helsingin massat ja uuma. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/ajankohtaista/esitysaineistot/ymparistopaiva-23.10.2015/suominen.pdf>. Sivustolla vierailtu 23.11.2019. 17 s.
- Sutela, T., Vuori, K. M., Louhi, P., Hovila, K., Jokela, Karjalainen, S. M., Keinänen, M., Rask, M., Teppo, A., Urho, L., Vehanen, T., Vuorinen, P. J., ja Österholm, P. 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa. *SUOMEN YMPÄRISTÖ*. Suomen ympäristökeskus 14 | 2012.
- Tiehallinto 19.2.1999 (Tielaitos 1999). Läjitysalueen suunnittelu. Läjitysalueohje. 35 s. + liitteet.
- Tikkanen, M., 1991. Vantaanjoen valuma-alueen geomorfologia. Lyhennelmä. Helsingin seutukaavaliiton julkaisuja C 26, 22 s.
- Tikkanen, M. 1992. Vantaanjoen valuma-alueen geomorfologia, Helsingin seutukaavaliiton julkaisuja C 28, 79 s.
- Taustaselvitys rakentamisen maa-ainesjätteiden hyödyntämistä koskevan valtioneuvoston asetuksen valmistelemiseksi (MASA-asetus). (MASA 2016). Luonnos. 33 s. + liitteet.
- Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2010. (Uudenmaan ELY-keskus 2010) Tulvariskien alustava arviointi, Vantaanjoen vesistöalue.
- Uudenmaanliitto. 1997. Vantaanjoen kehittämisohjelma. Uudenmaan liiton julkaisuja B18-1997. 94 s.+ liitteet.

- Vaara, P., 2011. Ylijäämämassojen vastaanotto palvelutoimintana pääkaupunkiseudulla -hankitaklinikka. Loppuraportti. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry. 31.5.2011.
- Vahtera, H. ja Männynsalo, J. 2011. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Vedenlaatu vuonna 2010, Julkaisu 66/2011. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 100 s.
- Vahtera, H. ja Männynsalo, J. 2019. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Vedenlaatu vuonna ja piilevät 2018, Raportti 11/2019. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 103 s.+ 15s.
- Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-2018) (MARA-asetus) Soveltamisohje. 1.3.2018. 54 s.
- Winter, T., Harvey, J., Franke, O. ja Alley, W. 1998. Ground water and surface water - A single resource. Circular 1139. USGS. 79 s.
- Woessner, W.W. 2000. Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. GROUND WATER 38, no. 3: s. 423-429.
- Ympäristöministeriö. 20.3.2014. (Ympäristöministeriö 2014) Maa-ainesten hyödyntäminen. Opas kaivettujen maa-ainesten luokittelusta jätteeksi ja hyödyntämiskelpoisuuden arvioinnista. 32 s. + liitteet.
- Ympäristöministeriö. 28.11.2018a. (Ympäristöministeriö 2018a). Valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. Asetusluonnos. 5 s. + liitteet.
- Ympäristöministeriö. 28.11.2018b. (Ympäristöministeriö 2018b). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. Muistioluonnos. 22 s.
- Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Ympäristö.fi. Vesi. Vesistöjen kunnostus. Pienvesien kunnostus. Vedenlaadun seuranta. (Ympäristö 2017). Sivulla vierailtu 20.5.2020. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen\\_kunnostus/Pienvesien\\_kunnostus/Pienvesien\\_kunnostamisen\\_toteutuksen\\_ja\\_sen\\_vaiikutusten\\_seuraaminen/Vedenlaadun\\_seuranta](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Pienvesien_kunnostus/Pienvesien_kunnostamisen_toteutuksen_ja_sen_vaiikutusten_seuraaminen/Vedenlaadun_seuranta)
- Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Typpiyhdisteet (nitraatti, nitriitti ja ammonium) pohja- ja kaivo-vedessä. Ympäristö.fi. Rakentaminen. Rakennushanke. Talotekniset järjestelmät (LVI). Vedenhankinta kaivosta. Kaivoveden laatu ja riittävyys. (Ympäristö 2019). Sivulla vierailtu 20.5.2020. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset\\_jarjestelmat\\_LVI/Vedenhankinta\\_kaivosta/Kaivoveden\\_laatu\\_ja\\_riittavyys/Typpiyhdisteet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivoveden_laatu_ja_riittavyys/Typpiyhdisteet)
- Åberg, S. 2013. Litorinameren yli ranta Suomessa. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto. Matemaattisluonnontieteellinen tiedekunta. Geotieteiden ja maantieteen laitos 79 s.
- Äikäs, O. 1998. Kuivasteenmäen uraani-fosforiesiintymä Siilinjärvellä. Geologian tutkimuskeskus. M 19/3331/-88/3/60. 11 s.

## Liitteet

**Liite 1.** Vesinäytteiden analyysien yksiköt, mittaus epävarmuudet, menetelmät ja viranomaisten asetukset.

Analyysi	Yksikkö	Epävarmuus-%	Menetelmä	Pohjaveden ympäristölaatunormit (Vna 341/2009)	Talousveden laatuvaatimukset (STMa 1352/2015)	Talousveden laatusuositukset (STMa 442/2014)	Pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukset (STMa 401/2001)
Heterotrofinen pesäkeluku 22 °C	pmy/ml	-	SFS-EN ISO 6222:1 999				
Koliformiset bakteerit	mpn/100 ml	-	SFS-EN ISO 9308-2:2014				
Escherichia coli	mpn/100 ml	-	SFS-EN ISO 9308-2:2014				
Sulfaatti, SO <sub>4</sub>	mg/l	10	Sis.menet, DA	150		250	250
Kloridi, Cl	mg/l	10	Sis.menet, DA	25		250	100
Väriluku	mg Pt/l	10	SFS-EN ISO 7887:2 011 menetelmä C				
Ammoniumtyppi, NH <sub>4</sub> -N	mg/l	15	ISO 7150:1984, DA	0.2		0.5	0.4
Nitraattityppi, NO <sub>3</sub> -N	mg/l	15	Sis. menet. DA		11		11
Nitriittityppi, NO <sub>2</sub> -N	mg/l	15	SFS 3029 DA		0.15		0.15
Sameus	FNU	15	SFS-EN ISO 7027				
pH	-	3	SFS 3021:1 979			6,5-9,5	6,5-9,5

Sähkönjoh- tavuus 25 C	mS/m	5	SFS-EN 27888: 1994			250	250
Alkaliteetti	mmol/l	10	SFS-EN ISO 9963- 1:1996 muunn.				
Hapen kyl- lästysaste	%	10	SFS-EN 25813: 1996				
Happi	mg/l	10	SFS-EN 25813: 1993				
CODMn- arvo, kemial- linen hapen- kulutus	mg/l	15	SFS 3036:1 981			5	5
Liunneen orgaanisen hiilen määrä, DOC	mg/l	15	SFS-EN 1484:1 997				
Kalsium, Ca	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Kalsium, Ca, liukoinen	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Magnesium, Mg	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Magnesium, Mg, liukoi- nen	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Kalium, K	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Kalium, K, liukoinen (0,45µm)	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Natrium, Na	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885:			200	

			2009				
Natrium, Na, liukoinen (0,45µm)	mg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Alumiini, Al	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009			200	200
Alumiini, Al, liukoinen	µg/l	25	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Antimoni, Sb	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	2.5	5		5
Antimoni, Sb, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Arseeni, As	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	5	10		5
Arseeni, As, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Barium, Ba	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Barium, Ba, liukoinen (0,45µm)	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Beryllium, Be	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Beryllium, Be, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Boori, B	µg/l	20	SFS-EN ISO		1000		1000

			11885: 2009				
Boori, B, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Elohopea, Hg	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	0.06	1		1
Elohopea, Hg, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Fosfori, P	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Fosfori, P, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Kadmium, Cd	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	0.4	5		5
Kadmium, Cd, liukoinen	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Koboltti, Co	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	2			
Koboltti, Co, liukoinen	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Kromi, Cr	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	10	50		50
Kromi, Cr, liukoinen	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Kupari, Cu	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294-	20	2000		2000

			2:2016				
Kupari, Cu, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Lyijy, Pb	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	5	10		10
Lyijy, Pb, liu- koinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Mangaani, Mn	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009			50	50
Mangaani, Mn, liukoi- nen (0,45µm)	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Molybdeeni, Mo	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Molybdeeni, Mo, liukoi- nen	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Nikkeli, Ni	µg/l	25	SFS-EN ISO 17294- 2:2016	10	20		20
Nikkeli, Ni, liukoinen	µg/l	25	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Pii, Si	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Pii, Si, liukoi- nen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Rauta, Fe	µg/l	20	SFS-EN ISO			200	200

			11885: 2009				
Rauta, Fe, liukoinen (0,45µm)	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Rikki, S	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Rikki, S, liu- koinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Seeleni, Se	µg/l	25	SFS-EN ISO 17294- 2:2016		10		10
Seeleni, Se, liukoinen	µg/l	25	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Sinkki, Zn	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009	60			
Sinkki, Zn, liukoinen (0,45µm)	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Strontium, Sr	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Strontium, Sr, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 11885: 2009				
Tallium, Tl	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Tallium, Tl, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Titaani, Ti	µg/l	20	SFS-EN ISO				



			11885: 2009				
Titaani, Ti, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Uraani, U	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016		30		
Uraani, U, liukoinen	µg/l	15	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Vanadiini, V	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
Vanadiini, V, liukoinen	µg/l	20	SFS-EN ISO 17294- 2:2016				
- 1,1,1-Tri- kloorietaani	µg/l	35	ISO 20595: 2018				
- 1,1,1,2-Tet- rakloo- rietaani	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 1,1,2,2-Tet- rakloo- rietaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,1,2-Tri- kloorietaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,1-Dikloo- rietaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,1-Dikloo- rieteeni	µg/l	25	ISO 20595: 2018				
- 1,2,3-Tri- klooribent- seeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	2.5			
- 1,2,3-Tri- klooripro- paani	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 1,2,4-Tri- klooribent- seeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	2.5			

- 1,2-Diklooribentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	0.3			
- 1,2-Dikloorietaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018	1.5	3		3
- 1,2-Dikloorieteeni cis	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,2-Dikloorieteeni trans	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,2-Diklooripropaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,3,5-Triklooribentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	2.5			
- 1,3-Diklooribentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,3-Diklooripropaani	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 1,3-Diklooripropeeni cis	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,3-Diklooripropeeni trans	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,4-Diklooribentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	0.1			
- 2-Kloorieteenivinylietteri	µg/l	35	ISO 20595: 2018				
- 2-Klooritolueeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 4-Klooritolueeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Bromibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Bromidikloorietaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018		100		

- Bromoformi	µg/l	20	ISO 20595: 2018		100		
- Dibromikloorimetaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018		100		
- Dikloorimetaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018	10			
- Klooribentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	3			
- Kloroformi	µg/l	20	ISO 20595: 2018	100	100		
- Tetrakloorieteeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	5	10		10
- Tetrakloorimetaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- Trikloorieteeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	5	10		10
- Trikloorifluorimetaani	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Vinyylikloridi	µg/l	30	ISO 20595: 2018	0.15	0.5		0.5
- 1,2,3-Trimetyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 1,2,4-Trimetyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- 1,2-Ksyleeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,3- ja 1,4-Ksyleeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1,3,5-Trimetyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Bentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	0.5	1		1

- Butyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Etylibentseeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	1			
- iso-Propyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Naftaleeni	µg/l	25	ISO 20595: 2018	1.3			
- n-Propyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- p-iso-Propyyli-tolueneeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- sec-Butyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Styreeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- tert-Butyylibentseeni	µg/l	30	ISO 20595: 2018				
- Tolueneeni	µg/l	20	ISO 20595: 2018	12			
- 1-Hekseeni	mg/l	20	ISO 20595: 2018				
- 1-Okteeni	mg/l	20	ISO 20595: 2018				
- Dekaanii	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- Pentaani	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- DIPE	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- ETBE	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- MEK	µg/l	35	ISO				

			20595: 2018				
- MIBK	µg/l	40	ISO 20595: 2018				
- MTBE	µg/l	20	ISO 20595: 2018	7.5			
- TAAE	µg/l	20	ISO 20595: 2018				
- TAME	µg/l	20	ISO 20595: 2018	60			
- TBA (t-Bu- tanoli)	mg/l	40	ISO 20595: 2018				
- Kevyet hiili- vedyt C5- C10	µg/l	40	ISO 20595: 2018 ja 9377-2 9377-2				
- Keskiras- kaat C10- C21	µg/l	40	ISO 20595: 2018 ja 9377-2				
- Raskaat C21-C40	µg/l	40	ISO 20595: 2018 ja 9377-2				
- Öljyhiilive- dyt C10-C40	µg/l	40	ISO 20595: 2018 ja 9377-2	50			
- PAH-yhdis- teet yh- teensä	µg/l	-	ISO/TS 28581: 2012				
- Naftaleeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- 2-Metyy- linaftaleeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- 1-Metyy- linaftaleeni	µg/l	40	ISO/TS 28581: 2012				
- Bifenyylä	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				

- 2,6-Dime- tyyliinafta- leeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Asenaf- tyleeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Asenaf- teeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- 2,3,5-Tri- metyyliinaf- taleeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Fluoreeni	µg/l	40	ISO/TS 28581: 2012				
- Fenant- reeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Antraseeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- 1-Metyyli- fenantreeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Fluoran- teeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Pyreeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(a)ant raseeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Kryseeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(b)flu oranteeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(k)flu oranteeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(e)py- reeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(a)py- reeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Peryleeni	µg/l	30	ISO/TS				

			28581: 2012				
- In- deno(1,2,3- cd)pyreeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Di- bentso(a,h)a ntraseeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
- Bentso(ghi)p eryleeni	µg/l	30	ISO/TS 28581: 2012				
Veden läm- pötila	°C		kenttä- mittaus				

**Liite 2.** Pintavesien velvoitetarkkailutuloksia kahdeksalta eri maanlajitysalueelta. Velvoitetarkkailutuloksista on laskettu SPSS:llä minimi-, maksimi-, mediaani-, keskiarvo- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Koliformiset bakteerit (pmy/100 ml)	13	0	370	3	45	102
Koliformiset bakteerit (cfu/100ml)						
Enterokokit (pmy/100 ml)	16	0	58	7	13	17
Escherichia coli (mpn/ 100 ml)						
Sulfaatti_SO4 (mg/l)	214	1	260	52	67	56
Kloridi_Cl (mg/l)	62	0.004	81	16	21	18
Ammoniumtyppi_NH4-N (mg/l)	208	0	24	0.08	0.5	1.8
Ammonium NH4 (mg/l)	1	0.02	0.02	0.02	0.02	
Fluoridi (mg/l)	4	0.05	0.17	0.09	0.1	0.05
Happi (mg/l)	84	1.1	12	8	7.6	2.4
Hapettuvuus (mg/l)	1	1.1	1.1	1.1	1.1	
COD (Mn) (mg/l)	85	0.25	49	23	23	10
KMnO4-luku (mg/l)	2	0.25	4.4	2.3	2.3	2.9
Nitraattityppi_NO3-N (mg/l)	32	0.003	9.4	0.28	1.1	2.1
Nitraatti NO3 (mg/l)	1	3	3	3	3	
Nitriittityppi_NO2-N (µg/l)	21	0.01	48	5	10	14
Nitriitti NO2 (mg/l)						
Kokonaistyyppi_kok-N (µg/l)	220	6.4	9600	1300	1632	1216
Sameus (FNU)	33	2	660	17	82	158
Sameus (NTU)	81	0.3	320	26	49	67
Sameus (FTU)	4	26	120	103	88	42
Kiintoaine (mg/l)	251	0	710	11	35	82

Alkaliteetti (mmol/l)	21	0.28	2	0.78	0.87	0.43
Hiididioksidi (mg/l)						
Orgaanisen hiilen kokonaisuusmäärä _TOC (mg/l)	3	11	30	19	20	9.5
Kalsium_Ca_liukoinen (mg/l)						
Magnesium_Mg_liukoinen (mg/l)						
Kalium_K_liukoinen 0,45µm (mg/l)						
Natrium_Na_liukoinen 0,45µm (mg/l)	1	4.2	4.2	4.2	4.2	
Alumiini_Al_liukoinen (µg/l)	16	120	34000	381	4781	10724
Alumiini_Al_liukoinen 0,45µm µg/l						
Antimoni_Sb_liukoinen (µg/l)	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Arseeni_As_liukoinen (µg/l)	27	0.2	33	0.5	2.4	6.3
Barium_Ba_liukoinen (µg/l)						
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	1	6	6	6	6	
Beryllium_Be_liukoinen (µg/l)						
Boori_B_liukoinen (µg/l)						
Elohopea_Hg_liukoinen (µg/l)	2	0.015	0.035	0.025	0.025	0.01
Elohopea_Hg (µg/l)	3	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Kokonaisfosfori_P (µg/l)	245	0	51	0.027	0.26	3.3
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	25	8	220	25	40	49
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	20	0.01	0.5	0.05	0.1	0.15
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	23	0.07	17	1	2.5	4
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	31	0.03	66	1.5	6	15
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	27	1.5	24	5	5.7	5.5
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	195	0	11	1	1.5	1.6
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	3	1	12	3.6	5.5	5.7
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	106	0.1	74	3.9	7.9	11
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	19	0.2	32	2	4.1	6.9
Pii_Si_liukoinen (µg/l)	1	730	730	730	730	
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	50	15	37000	2330	4215	7254
Rikki_S_liukoinen (µg/l)						
Seleeni_Se_liukoinen (µg/l)						
Sinkki_Zn_liukoinen (µg/l)	49	0.015	100	5.7	10	18



Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	106	0	150	6.4	10	18
Strontium_Sr_liukoinen (µg/l)						
Tallium_Tl_liukoinen (µg/l)						
Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)						
Uraani_U_liukoinen (µg/l)						
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	109	0	45	0.82	2.1	4.8
Haihtuvat org. yhd. (VOC)						
1-1-1-Trikloorietaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-1-1-2-Tetrakloorietaani (µg/l)						
1-1-2-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-1-2-Trikloorietaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-1-Dikloorietaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-1-Dikloorieteeni (µg/l)	1	0.5	0.5	0.5	0.5	
1-2-3-Triklooribentseeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-2-3-Triklooripropaani (µg/l)						
1-2-4-Triklooribentseeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-2-Diklooribentseeni (µg/l)	1	0.15	0.15	0.15	0.15	
1-2-Dikloorietaani (µg/l)	1	0.15	0.15	0.15	0.15	
1-2-Dikloorieteeni_cis (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-2-Dikloorieteeni_trans (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-2-Diklooripropaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-3-5-Triklooribentseeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-3-Diklooribentseeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-3-Diklooripropaani (µg/l)						
1-3-Diklooripropeeni_cis (µg/l)	1	0.15	0.15	0.15	0.15	
1-3-Diklooripropeeni_trans (µg/l)	1	0.05	0.05	0.05	0.05	
1-4-Diklooribentseeni (µg/l)	1	0.05	0.05	0.05	0.05	
2-Kloorieteenivinyylieetteri (µg/l)						
2-Klooritolueeni (µg/l)						
4-Klooritolueeni (µg/l)						
Bromibentseeni (µg/l)						
Bromidikloorimetaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Bromoformi (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Dibromidikloorimetaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Dikloorimetaani (µg/l)	1	0.15	0.15	0.15	0.15	

Klooribentseeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Kloroformi (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Tetrakloorieteeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Tetrakloorimetaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Triklloorieteeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Triklloorifluorimetaani (µg/l)						
Vinyylikloridi (µg/l)	1	0.06	0.06	0.06	0.06	
1,2,3-Trimetyylibentseeni (µg/l)						
1,2,4-Trimetyylibentseeni (µg/l)						
1,2-Ksyleeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1,3- ja 1,4-Ksyleeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1,3,5-Trimetyylibentseeni (µg/l)						
Bentseeni (µg/l)	7	0.05	0.25	0.05	0.13	0.1
Butyylibentseeni (µg/l)						
Etyylibentseeni (µg/l)	7	0.05	0.25	0.05	0.14	0.11
iso-Propyylibentseeni (µg/l)						
Naftaleeni (µg/l)	5	0.01	0.25	0.01	0.05	0.11
n-Propyylibentseeni (µg/l)						
p-iso-Propyyli-tolueneeni (µg/l)						
sec-Butyylibentseeni (µg/l)						
Styreeni (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
tert-Butyylibentseeni (µg/l)						
Tolueneeni (µg/l)	7	0.25	1	0.5	0.54	0.22
1-Hekseeni (mg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
1-Okteeni (mg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Dekaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Pentaani (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
DIPE (µg/l)	7	0.05	0.25	0.05	0.14	0.11
ETBE (µg/l)	7	0.05	0.3	0.25	0.17	0.11
MEK (µg/l)	1	0.5	0.5	0.5	0.5	
MIBK (µg/l)	1	0.5	0.5	0.5	0.5	
MTBE (µg/l)	7	0.05	1	0.25	0.27	0.34
TAAE (µg/l)	7	0.05	0.8	0.25	0.24	0.27
TAME (µg/l)	7	0.05	4.4	0.25	0.76	1.61
TBA (t-Butanoli) (µg/l)	1	1.5	1.5	1.5	1.5	
Öljyhiilivedyt C5-C40						
Kevyet hiilivedyt C5-C10 (mg/l)	6	0.03	0.03	0.03	0.03	0
Keskiraskaat C10-C21 (mg/l)	37	0.0003	0.03	0.03	0.02	0.01
Raskaat C21-C40 (mg/l)	37	0.0003	0.03	0.03	0.02	0.01

Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	26	10	25	25	23	5.5
Mineraaliöljyt (IR-menetelmä) (mg/l)	62	0.03	4.8	0.05	0.15	0.61
RADON-222 (Bq/l)	1	7.8	7.8	7.8	7.8	
pH	125	4.5	9.1	7	7.02	0.61
sähkönjohtavuus (mS/m)	126	4.1	95	22	27	20
Veden lämpötila (°C)	48	0.4	15	5.9	6.6	4
Väriluku (mg Pt/l)	52	45	450	178	173	79
Nitraatti NO3 + NO2	58	0.5	7600	130	536	1203

**Liite 3.** Pohjavesien velvoitetarkkailutuloksia 11 eri maanläjitysalueelta. Velvoitetarkkailutuloksista on laskettu SPSS:llä minimi-, maksimi-, mediaani-, keskiarvo- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Koliformiset bakteerit (pmy/100 ml)	32	0	200	0	10	37
Koliformiset bakteerit (cfu/100ml)	2	1	4	2.5	2.5	2.1
Enterokokit (pmy/100 ml)	11	0	200	0	22	60
Escherichia coli (mpn/ 100 ml)	21	0	15	0	1.2	3.4
Sulfaatti_SO4 (mg/l)	299	0.5	290	17	23	29
Kloridi_Cl (mg/l)	354	0.01	1200	9.1	41	146
Ammoniumtyppi_NH4-N (mg/l)	327	0.002	53	0.011	0.736	4
Ammonium NH4 (mg/l)	5	0.005	0.35	0.005	0.074	0.154
Fluoridi (mg/l)	3	0.72	2.4	1.8	1.6	0.85
Happi (mg/l)	347	0	11	2.1	3	3
Hapettuvuus (mg/l)	5	0.25	4.5	0.5	1.3	1.8
COD (Mn) (mg/l)	242	0.25	52	2.5	6.1	9
KMnO4-luku (mg/l)	22	1	18	2.05	3.86	3.8
Nitraattityppi_NO3-N (mg/l)	118	0.002	18	0.081	0.53	1.8
Nitraatti NO3 (mg/l)	18	0.03	16	0.5	3.61	5.3
Nitriittityppi_NO2-N (µg/l)	104	0	110	1	4.28	12
Nitriitti NO2 (mg/l)	11	0.01	50	0.01	4.56	15
Kokonaistyyppi_kok-N (µg/l)	253	5	57000	500	1946	4762
Sameus (FNU)	93	0.1	850	2.4	58	140
Sameus (NTU)	179	0.1	6310	52	490	1142
Sameus (FTU)	84	0.1	1300	27	82	172
Kiintoaine (mg/l)	76	0.5	20000	12	299	2291
Alkaliteetti (mmol/l)	177	0.15	16	1.7	2.8	3.09
Hiilidioksidi (mg/l)	6	1.4	37	17	19	18

Orgaanisen hiilen kokonaismäärä_TOC (mg/l)	26	0.6	45	11	12	12
Kalsium_Ca_liukoinen (mg/l)	80	3.9	150	27	47	43
Magnesium_Mg_liukoinen (mg/l)	41	2.2	62	6.5	16	19
Kalium_K_liukoinen 0,45µm (mg/l)	34	0.57	4.6	1.2	2	1.4
Natrium_Na_liukoinen 0,45µm (mg/l)	3	2.5	38	2.5	14	20
Alumiini_Al_liukoinen (µg/l)	38	1.5	1100	5	73	213
Alumiini_Al_liukoinen 0,45µm µg/l						
Antimoni_Sb_liukoinen (µg/l)	90	0.05	5	5	3.7	2.1
Arseeni_As_liukoinen (µg/l)	151	0.05	23	2.3	2.4	2.6
Barium_Ba_liukoinen (µg/l)	2	1	13	7	7	8.5
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	49	2	76	32	35	24
Beryllium_Be_liukoinen (µg/l)						
Boori_B_liukoinen (µg/l)	46	0.25	127	12	16	20
Elohopea_Hg_liukoinen (µg/l)	57	0.005	0.5	0.005	0.027	0.075
Elohopea_Hg (µg/l)	54	0.01	5	0.17	2.4	2.5
Kokonaisfosfori_P (µg/l)	96	0.002	4	0.034	0.28	0.59
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	1	0.25	0.25	0.25	0.25	
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	138	0.01	30	0.2	1.3	3.7
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	109	0.03	41	1	3.7	7
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	147	0.03	67	0.95	2.4	6.3
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	152	0.1	230	3	10	30
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	165	0.05	81	2.5	4.2	9.3
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	218	0.25	9800	145	759	1423
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	45	0.5	21	1	2.2	3.7
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	138	0.1	68	3	4.6	7.6
Pii_Si_liukoinen (µg/l)	2	240	380	310	310	99
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	355	0.55	220000	250	8414	19749
Rikki_S_liukoinen (µg/l)						
Seleeni_Se_liukoinen (µg/l)	1	1	1	1	1	
Sinkki_Zn_liukoinen (µg/l)	194	0.015	23000	13	844	2815
Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	59	0.5	1300	18	94	233
Strontium_Sr_liukoinen (µg/l)						
Tallium_Tl_liukoinen (µg/l)						

Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)						
Uraani_U_liukoinen (µg/l)						
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	114	0.05	88	1.8	3.5	9
Haihtuvat org. yhd. (VOC)	5	25	25	25	25	0
1-1-1-Trikloorietaani (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
1-1-1-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	8	0.05	0.5	0.05	0.16	0.21
1-1-2-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	5	0.25	0.5	0.25	0.35	0.14
1-1-2-Trikloorietaani (µg/l)	11	0.03	0.5	0.25	0.28	0.13
1-1-Dikloorietaani (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
1-1-Dikloorieteeni (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.25	0.24
1-2-3-Triklooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
1-2-3-Triklooripropaani (µg/l)	8	0.03	0.5	0.25	0.28	0.15
1-2-4-Triklooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
1-2-Diklooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.25	0.05	0.11	0.08
1-2-Dikloorietaani (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.16	0.17
1-2-Dikloorieteeni_cis (µg/l)	5	0.25	0.5	0.25	0.35	0.14
1-2-Dikloorieteeni_trans (µg/l)	5	0.25	0.5	0.25	0.35	0.14
1-2-Diklooripropaani (µg/l)	11	0.25	0.5	0.25	0.3	0.1
1-3-5-Triklooribentseeni (µg/l)	9	0.05	0.25	0.05	0.12	0.1
1-3-Diklooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.25	0.05	0.14	0.1
1-3-Diklooripropaani (µg/l)	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-3-Diklooripropeeni_cis (µg/l)	11	0.15	0.5	0.25	0.27	0.12
1-3-Diklooripropeeni_trans (µg/l)	11	0.05	0.5	0.25	0.24	0.16
1-4-Diklooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.25	0.05	0.09	0.08
2-Kloorieteenivinyylieetteri (µg/l)						
2-Klooritolueeni (µg/l)	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0
4-Klooritolueeni (µg/l)	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Bromibentseeni (µg/l)	8	0.05	0.25	0.05	0.1	0.09
Bromidikloorimetaani (µg/l)	11	0.25	0.5	0.25	0.3	0.1
Bromoformi (µg/l)	3	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Dibromidikloorimetaani (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
Dikloorimetaani (µg/l)	9	0.15	0.25	0.25	0.22	0.05
Klooribentseeni (µg/l)	11	0.05	0.25	0.05	0.14	0.1
Kloroformi (µg/l)	11	0.25	0.5	0.25	0.3	0.1
Tetrakloorieteeni (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18
Tetrakloorimetaani (µg/l)	9	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Trikloorieteeni (µg/l)	11	0.05	0.5	0.05	0.19	0.18

Trikloorifluorimetaani (µg/l)	8	0.05	0.5	0.05	0.16	0.21
Vinyylkloridi (µg/l)	11	0.05	0.25	0.05	0.09	0.08
1,2,3-Trimetyylibentseeni (µg/l)	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0
1,2,4-Trimetyylibentseeni (µg/l)	8	0.05	0.1	0.05	0.06	0.02
1,2-Ksyleeni (µg/l)	3	0.25	0.9	0.25	0.47	0.38
1,3- ja 1,4-Ksyleeni (µg/l)	3	0.25	1.5	0.25	0.67	0.72
1,3,5-Trimetyylibentseeni (µg/l)	8	0.05	0.1	0.05	0.06	0.02
Bentseeni (µg/l)	18	0.05	0.7	0.2	0.18	0.16
Butyylibentseeni (µg/l)						
Etyylibentseeni (µg/l)	18	0.05	0.25	0.25	0.17	0.1
iso-Propyylibentseeni (µg/l)	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0
Naftaleeni (µg/l)	11	0.25	0.5	0.25	0.3	0.1
n-Propyylibentseeni (µg/l)	8	0.05	0.1	0.05	0.06	0.02
p-iso-Propyyli-tolueneeni (µg/l)	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0
sec-Butyylibentseeni (µg/l)	8	0.1	0.25	0.25	0.21	0.07
Styreeni (µg/l)	11	0.1	0.25	0.25	0.22	0.06
tert-Butyylibentseeni (µg/l)	8	0.05	0.1	0.05	0.06	0.02
Tolueneeni (µg/l)	18	0.1	6	0.5	0.86	1.4
1-Hekseeni (mg/l)	9	0.01	0.25	0.01	0.09	0.12
1-Okteeni (mg/l)	9	0.01	0.25	0.01	0.09	0.12
Dekaani (µg/l)	11	0.3	2.5	2.5	1.5	1.18
Pentaani (µg/l)	11	0.3	2.5	2.5	1.5	1.18
DIPE (µg/l)	18	0.05	0.25	0.25	0.18	0.1
ETBE (µg/l)	20	0.05	1	0.25	0.25	0.22
MEK (µg/l)	11	1	25	25	14	13
MIBK (µg/l)	11	1	25	25	14	13
MTBE (µg/l)	20	0.05	0.5	0.25	0.22	0.13
TAAE (µg/l)	20	0.05	1	0.25	0.25	0.22
TAME (µg/l)	20	0.05	0.5	0.25	0.22	0.13
TBA (t-Butanoli) (µg/l)	5	1.5	1.5	1.5	1.5	0
Öljyhiilivedyt C5-C40						
Kevyet hiilivedyt C5-C10 (mg/l)	7	0.03	0.03	0.03	0.03	0
Keskiraskaat C10-C21 (mg/l)	109	0	0.06	0.03	0.02	0.01
Raskaat C21-C40 (mg/l)	109	0	0.12	0.03	0.02	0.01
Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	98	0.03	130	25	21.8	16
Mineraaliöljyt (IR-menetelmä) (mg/l)	45	0.03	0.25	0.25	0.19	0.1
RADON-222 (Bq/l)	3	7.6	70	8.2	29	36
pH	460	5.1	18	6.7	6.9	1.05

sähkönjohtavuus (mS/m)	449	0.09	412	25	42	51
Veden lämpötila (°C)	259	1.8	18	7.2	7.7	4
Väriluku (mg Pt/l)	154	1	380	20	37	51
Nitraatti NO3 + NO2	58	0.5	7600	130	536	1203

**Liite 4.** Seuranta-alueiden kahden pintavesi näytekierroksen SPSS:llä lasketut minimi-, maksimi-, mediaani-, keskiarvo- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Heterotrofinen_pesäkeluku (pmy/ml)	22	730	23000	5250	7371	7021
Koliformiset_bakteerit (mpn/100 ml)	22	67	2400	925	1046.6	830
Escherichia_coli (mpn/ 100 ml)	22	0	1700	64	183	374
Sulfaatti (mg/l)	22	0.5	120	15	29	39
Kloridi (mg/l)	22	2.3	61	12	18	17
Väriluku (mg Pt/l)	22	12	210	68	76	49
Ammoniumtyppi (mg/l)	22	0.004	0.97	0.051	0.186	0.29
Nitraattityppi (mg/l)	22	0.05	21	0.45	2.4	5
Nitriittityppi (mg/l)	22	0.001	0.24	0.005	0.025	0.054
Sameus (FNU)	22	1.1	250	18	41	66
pH	22	6.2	7.9	7.1	7.1	0.44
Sähkönjohtavuus (mS/m)	22	5	80	20	30	23
Alkalisuus (mmol/l)	22	0.4	4.3	1.4	1.7	1.3
Hapen_kyllästysaste (%)	22	21	89	72	63	21
Happi (mg/l)	22	2.4	12	8.3	7.6	2.6
CODMn (mg/l)	22	5.6	28	17	16	6.3
DOC (mg/l)	22	9.9	37	18	20	8.1
Kalsium (mg/l)	22	5.8	120	15	32	31
Kalsium_liukoinen (mg/l)	22	0	120	11	22	30
Magnesium (mg/l)	22	2.4	22	5.5	8.9	6
Magnesium_liukoinen (mg/l)	22	0.03	22	4.2	5.4	5.6
Kalium (mg/l)	22	1	19	3	5.1	4.6
Kalium_liukoinen (mg/l)	1	1.9	1.9	1.9	1.9	
Kalium_liukoinen 0,45µm (mg/l)	22	0.15	12	2.3	3.3	3.6
Natrium (mg/l)	22	3.1	44	9.8	15	13
Natrium_liukoinen 0,45µm (mg/l)	22	0.04	42	8.2	10.9	12
Alumiini_Al (µg/l)	20	110	2600	355	694	707
Alumiini_Al (µg/l)	2	40	45	43	43	3.5
Alumiini_liukoinen (µg/l)	12	11	71	44	41	20
Alumiini_liukoinen 0,45µm (µg/l)	10	140	710	215	303	198

Antimoni_Sb (µg/l)	22	0.5	1	0.5	0.52	0.1
Antimoni_liukoinen (µg/l)	22	0.5	1	0.5	0.52	0.1
Arseeni_As (µg/l)	22	0.2	2.6	0.85	0.87	0.57
Arseeni_liukoinen (µg/l)	22	0.2	1.9	0.5	0.63	0.36
Barium_Ba (µg/l)	22	7	69	20	25	15
Barium_liukoinen (µg/l)	5	6.5	24	14	13	7.1
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	17	6	36	15	15	7.3
Beryllium (µg/l)	22	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Beryllium_liukoinen (µg/l)	22	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Boori_B (µg/l)	22	1.5	50	1.5	5.7	12
Boori_B_liukoinen (µg/l)	22	1.5	51	1.5	4.4	11
Elohoepa_Hg (µg/l)	22	0.015	0.015	0.015	0.015	0
Elohoepa_Hg_liukoinen (µg/l)	22	0.015	0.015	0.015	0.015	0
Fosfori_P (µg/l)	22	25	160	25	54	40
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	22	25	98	25	37	23
Kadmium_Cd (µg/l)	22	0.01	0.15	0.025	0.035	0.033
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	22	0.01	0.16	0.01	0.024	0.036
Koboltti_Co (µg/l)	22	0.09	2	0.42	0.66	0.52
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	22	0.04	1.1	0.24	0.3	0.24
Koboltti_Co_liukoinen 0,45µm (µg/l)						
Kromi_Cr (µg/l)	22	0.11	9.5	0.83	1.7	2.1
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	22	0.05	1.4	0.3	0.42	0.36
Kupari_Cu (µg/l)	22	0.6	7.8	3.4	3.8	2.1
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	22	0.4	4.7	2.5	2.3	1.3
Lyijy_Pb (µg/l)	22	0.05	5	0.5	0.91	1.3
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	22	0.05	0.6	0.05	0.13	0.16
Mangaani_Mn (µg/l)	22	1.5	640	49	114	164
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	22	1.5	500	13	50	111
Molybdeeni_Mo (µg/l)	20	0.1	9.6	0.5	1	2.1
Molybdeeni_Mo (µg/l)	2	28	37	33	33	6.4
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	21	0.05	34	0.6	2.6	7.5
Molybdeeni_Mo_liukoinen 0,45µm (µg/l)	1	26	26	26	26	
Nikkeli_Ni (µg/l)	22	0.3	5.9	1.8	2.4	1.6
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	22	0.3	5.5	1.1	1.7	1.3
Pii_Si (µg/l)	22	730	9000	5500	4977	2537
Pii_Si_liukoinen (µg/l)	22	25	8700	5200	4013	2766
Rauta_Fe (µg/l)	22	33	4700	690	1216	1135
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	22	0.55	3100	115	357	681



Rikki_S (µg/l)	22	1300	39000	4800	9859	12912
Rikki_S_liukoinen (µg/l)	22	35	38000	4150	7573	10996
Seleen_i_Se (µg/l)	22	0.25	1.3	0.25	0.38	0.27
Seleen_i_Se_liukoinen (µg/l)	22	0.25	1.1	0.25	0.37	0.25
Sinkki_Zn (µg/l)	22	2.5	13	6	6.2	3.5
Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	22	2.5	9	2.5	4.1	2.5
Strontium_Sr (µg/l)	22	33	350	78	119	94
Strontium_Sr_liukoinen (µg/l)	22	0.5	340	55	81	90
Tallium_Tl (µg/l)	22	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Tallium_Tl_liukoinen (µg/l)	22	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Titaani_Ti (µg/l)	16	10	77	19	24	16
Titaani_Ti (µg/l)	6	2	65	4.5	15	25
Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)	17	0.5	7	2	2.6	2
Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)	5	12	47	46	33	19
Uraani_U (µg/l)	22	0.08	290	1.3	26	76
Uraani_U_liukoinen (µg/l)	22	0.08	300	0.94	26	78
Vanadiini_V (µg/l)	22	0.25	13	1.8	2.6	2.8
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	22	0.25	2.5	0.8	0.825	0.59
1-1-1-Trikloorietaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-1-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-1-2-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-2-Trikloorietaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-Dikloorietaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-Dikloorieteeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-3-Triklooribentseeni (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-3-Triklooripropaani (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-4-Triklooribentseeni (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Diklooribentseeni (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Dikloorietaani (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Dikloorieteenicis (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-2-Dikloorieteenitrans (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-2-Diklooripropaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-5-Triklooribentseeni (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-3-Diklooribentseeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-Diklooripropaani (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-3-Diklooripropeenicis (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-3-Diklooripropeenitrans (µg/l)	12	0.05	0.05	0.05	0.05	0
1-4-Diklooribentseeni (µg/l)	12	0.05	0.05	0.05	0.05	0

2-Kloorieteenivinyylieetteri (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
2-Klooritolueeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
4-Klooritolueeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bromibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bromidikloorimetaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Bromoformi (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Dibromikloorimetaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Dikloorimetaani (µg/l)	12	0.15	0.15	0.15	0.15	0
Klooribentseeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Kloroformi (µg/l)	12	0.25	0.68	0.25	0.29	0
Tetrakloorieteeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Tetrakloorimetaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Trikloorieteeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Trikloorifluorimetaani (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Vinyylikloridi (µg/l)	12	0.05	0.05	0.05	0.05	0
1-2-3-Trimetyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-4-Trimetyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-Ksyleeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-ja-1-4-Ksyleeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-5-Trimetyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bentseeni (µg/l)	12	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Butyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Etyylibentseeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
iso-Propyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Naftaleeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
n-Propyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
p-iso-Propyylytolueeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
sec-Butyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Styreeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
tert-Butyylibentseeni (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Tolueeni (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-Hekseeni (mg/l)	12	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0
1-Okteeni (mg/l)	12	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0
Dekaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Pentaani (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
DIPE (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
ETBE (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
MEK (µg/l)	12	2.5	2.5	2.5	2.5	0
MIBK (µg/l)	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0
MTBE (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0

TAAE (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
TAME (µg/l)	12	0.25	0.25	0.25	0.25	0
TBA-t-Butanoli (mg/l)	12	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0
Kevyethiilivedyt C5-C10 (µg/l)	22	10	10	10	10	0
Keskiraskaat C10-C21 (µg/l)	22	13	42	15	17	7.9
Raskaat C21-C40 (µg/l)	22	13	123	15	23	26
Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	22	25	170	25	36	36
PAH-yhdisteet_yhteensä (µg/l)	22	0.05	0.2	0.05	0.057	0.032
Naftaleeni (µg/l)	22	0.01	0.021	0.01	0.011	0.002
2-Metyyli-naftaleeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
1-Metyyli-naftaleeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Bifenyyli (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
2-6-Dimetyyli-naftaleeni (µg/l)	22	0.01	0.02	0.01	0.01	0.002
Asenaftaleeni (µg/l)	22	0.005	0.023	0.005	0.006	0.004
Asenaftaleeni (µg/l)	22	0.005	0.014	0.005	0.006	0.003
2-3-5-Trimetyyli-naftaleeni (µg/l)	22	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Fluoreeni (µg/l)	22	0.005	0.011	0.005	0.005	0.001
Fenantreeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Antraseeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
1-Metyylifenantreeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Fluoranteeni (µg/l)	22	0.01	0.03	0.01	0.011	0.004
Pyreeni (µg/l)	22	0.005	0.027	0.005	0.007	0.006
Bentso-a-antraseeni (µg/l)	22	0.005	0.019	0.005	0.006	0.003
Kryseeni (µg/l)	22	0.005	0.011	0.005	0.005	0.001
Bentso-b-fluoranteeni (µg/l)	22	0.00375	0.017	0.00375	0.00454	0.00291
Bentso-k-fluoranteeni (µg/l)	22	0.00375	0.019	0.00375	0.00463	0.00333
Bentso-e-pyreeni (µg/l)	22	0.005	0.012	0.005	0.00532	0.00149
Bentso-a-pyreeni (µg/l)	22	0.001	0.027	0.001	0.003	0.0059
Peryleeni (µg/l)	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Indeno-1-2-3-cd-pyreeni (µg/l)	22	0.0038	0.0375	0.0375	0.0227	0.0168
Dibentso-a-h-antraseeni (µg/l)	22	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Bentso-ghi-peryleeni (µg/l)	22	0.001	0.011	0.001	0.002	0.002
Vedenlämpötilä (°C)	22	3.8	11.9	7.8	7.6	2.8

**Liite 5.** Seuranta-alueiden kahden pohjavesi näytekierroksen SPSS:llä lasketut keskiarvo-, mediaani, minimi-, maksimi- ja normaalijakaumatulokset.

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Heterotrofinen_pesäkeluku (pmy/ml)	14	160	3000	2100	1971	1092

Koliformiset_bakteerit (mpn/ 100 ml)	14	0	2400	20	456	891
Escherichia_coli (mpn/ 100 ml)	14	0	2000	0	145	534
Sulfaatti (mg/l)	14	11	200	23	48	62
Kloridi (mg/l)	14	1.6	68	12	16	18
Väiriluku (mg Pt/l)	14	1	24	8.9	8.4	6.6
Ammoniumtyppi (mg/l)	14	0.004	0.57	0.014	0.093	0.16
Nitraattityppi (mg/l)	14	0.05	12	0.66	2.4	3.6
Nitriittityppi (mg/l)	14	0.001	0.13	0.003	0.021	0.04
Sameus (FNU)	14	4.1	550	45	117	167
pH	14	5.7	7.8	6.6	6.7	0.6
Sähkönjohtavuus (mS/m)	14	9	100	40	49	31
Alkaliteetti (mmol/l)	14	0.52	11	2.7	3.7	3.3
Hapen_kyllästysaste (%)	10	3	64	34	35	21
Happi (mg/l)	14	0.1	7.9	3.5	3.4	2.7
CODMn (mg/l)	14	0.25	15	5.2	5.4	4.1
DOC (mg/l)	14	1.6	19	8.2	8.7	5.8
Kalsium (mg/l)						
Kalsium_liukoinen (mg/l)	14	9.5	160	28	57	54
Magnesium (mg/l)						
Magnesium_liukoinen (mg/l)	14	2.5	48	15	16	15
Kalium (mg/l)						
Kalium_liukoinen (mg/l)						
Kalium_liukoinen 0,45µm (mg/l)	14	1.6	14	4.7	5.7	3.9
Natrium (mg/l)						
Natrium_liukoinen 0,45µm (mg/l)	14	5.6	46	14	17	12
Alumiini_Al (µg/l)						
Alumiini_Al (µg/l)						
Alumiini_liukoinen (µg/l)	12	1.5	34	6.5	10	9.8
Alumiini_liukoinen 0,45µm (µg/l)	2	140	160	150	150	14
Antimoni_Sb (µg/l)						
Antimoni_liukoinen (µg/l)	14	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Arseeni_As (µg/l)						
Arseeni_liukoinen (µg/l)	14	0.2	2.2	0.7	0.9	0.6
Barium_Ba (µg/l)						
Barium_liukoinen (µg/l)						
Barium_Ba_liukoinen 0,45µm (µg/l)	14	3	42	17	18	12
Beryllium (µg/l)						
Beryllium_liukoinen (µg/l)	14	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Boori_B (µg/l)						

Boori_B_liukoinen (µg/l)	14	1.5	45	1.5	18	21
Elohopea_Hg (µg/l)						
Elohopea_Hg_liukoinen (µg/l)	14	0.015	0.015	0.015	0.015	0
Fosfori_P (µg/l)						
Fosfori_P_liukoinen (µg/l)	14	25	90	25	32	19
Kadmium_Cd (µg/l)						
Kadmium_Cd_liukoinen (µg/l)	14	0.01	0.13	0.035	0.049	0.043
Koboltti_Co (µg/l)						
Koboltti_Co_liukoinen (µg/l)	12	0.07	3.3	0.64	0.88	0.92
Koboltti_Co_liukoinen 0,45µm (µg/l)	2	20	22	21	21	1.4
Kromi_Cr (µg/l)						
Kromi_Cr_liukoinen (µg/l)	14	0.03	0.66	0.09	0.14	0.18
Kupari_Cu (µg/l)						
Kupari_Cu_liukoinen (µg/l)	14	0.1	13	3	4	4.1
Lyijy_Pb (µg/l)						
Lyijy_Pb_liukoinen (µg/l)	14	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Mangaani_Mn (µg/l)						
Mangaani_Mn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	14	15	2400	170	673	922
Molybdeeni_Mo (µg/l)						
Molybdeeni_Mo (µg/l)						
Molybdeeni_Mo_liukoinen (µg/l)	12	0.2	4.4	1.5	1.8	1.3
Molybdeeni_Mo_liukoinen 0,45µm (µg/l)	2	46	47	47	47	0.71
Nikkeli_Ni (µg/l)						
Nikkeli_Ni_liukoinen (µg/l)	14	0.5	11	2.6	3.8	3.2
Pii_Si (µg/l)						
Pii_Si_liukoinen (µg/l)	14	2500	18000	8350	8671	4499
Rauta_Fe (µg/l)						
Rauta_Fe_liukoinen 0,45µm (µg/l)	14	0.55	5400	135	611	1430
Rikki_S (µg/l)						
Rikki_S_liukoinen (µg/l)	14	3600	68000	6400	15050	20706
Seleeni_Se (µg/l)						
Seleeni_Se_liukoinen (µg/l)	14	0.25	8.5	0.8	1.2	2.1
Sinkki_Zn (µg/l)						
Sinkki_Zn_liukoinen 0,45µm (µg/l)	14	2.5	2900	9	223	771
Strontium_Sr (µg/l)						
Strontium_Sr_liukoinen (µg/l)	14	35	540	140	207	189
Tallium_Tl (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0

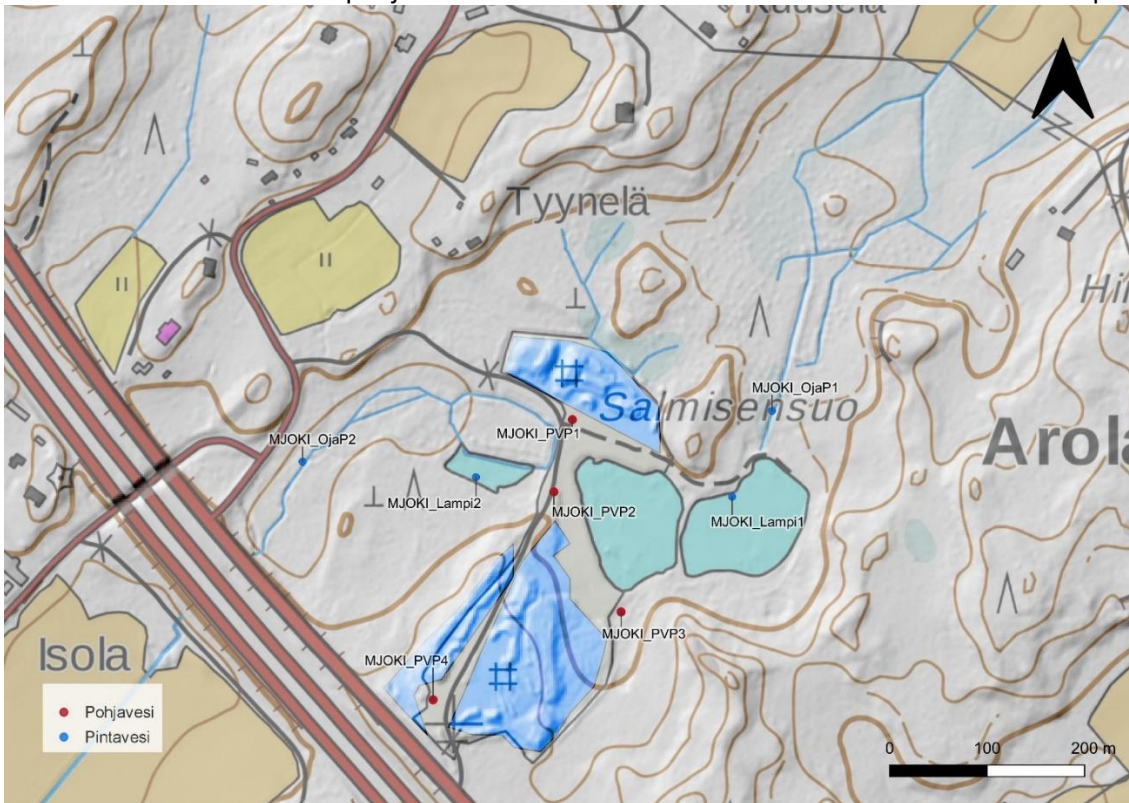
Tallium_TI_liukoinen (µg/l)	14	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Titaani_Ti (µg/l)						
Titaani_Ti (µg/l)						
Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)	12	0.5	4	0.5	0.83	1
Titaani_Ti_liukoinen (µg/l)	2	11	12	12	12	0.71
Uraani_U (µg/l)						
Uraani_U_liukoinen (µg/l)	14	0.2	27	3.4	8.1	9.3
Vanadiini_V (µg/l)						
Vanadiini_V_liukoinen (µg/l)	14	0.3	1.4	0.6	0.7	0.35
1-1-1-Trikloorietaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-1-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-1-2-2-Tetrakloorietaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-2-Trikloorietaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-Dikloorietaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-1-Dikloorieteeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-3-Triklooribentseeni (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-3-Triklooripropaani (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-4-Triklooribentseeni (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Diklooribentseeni (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Dikloorietaani (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-2-Dikloorieteenicis (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-2-Dikloorieteenitrans (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-2-Diklooripropaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-5-Triklooribentseeni (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-3-Diklooribentseeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-Diklooripropaani (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-3-Diklooripropeenicis (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
1-3-Diklooripropeenitrans (µg/l)	7	0.05	0.05	0.05	0.05	0
1-4-Diklooribentseeni (µg/l)	7	0.05	0.05	0.05	0.05	0
2-Kloorieteenivinyylieetteri (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
2-Klooritolueeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
4-Klooritolueeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bromibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bromidikloorimetaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Bromoformi (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Dibromidikloorimetaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Dikloorimetaani (µg/l)	7	0.15	0.15	0.15	0.15	0
Klooribentseeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0

Kloroformi (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Tetrakloorieteeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Tetrakloorimetaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Triklloorieteeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Triklloorifluorimetaani (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Vinyylikloridi (µg/l)	7	0.045	0.045	0.045	0.045	0
1-2-3-Trimetyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-4-Trimetyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
1-2-Ksyleeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-ja-1-4-Ksyleeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-3-5-Trimetyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Bentseeni (µg/l)	7	0.05	0.05	0.05	0.05	0
Butyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Etyylibentseeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
iso-Propyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Naftaleeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
n-Propyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
p-iso-Propyylitolueeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
sec-Butyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Styreeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
tert-Butyylibentseeni (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Tolueeni (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
1-Hekseeni (mg/l)	7	0.00025	0.00025	0.00025	0.00025	0
1-Okteeni (mg/l)	7	0.00025	0.00025	0.00025	0.00025	0
Dekaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Pentaani (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
DIPE (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
ETBE (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
MEK (µg/l)	7	2.5	2.5	2.5	2.5	0
MIBK (µg/l)	7	0.5	0.5	0.5	0.5	0
MTBE (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
TAAE (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
TAME (µg/l)	7	0.25	0.25	0.25	0.25	0
TBA-t-Butanoli (mg/l)	7	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0
Kevyethiilivedyt C5-C10 (µg/l)	14	10	10	10	10	0
Keskiraskaat C10-C21 (µg/l)	14	15	51	15	18	9.6
Raskaat C21-C40 (µg/l)	14	15	50	15	19	10
Öljyhiilivedyt C10-C40 (µg/l)	14	25	83	25	29	16
PAH-yhdisteet_yhteensä (µg/l)	14	0.05	0.05	0.05	0.05	0

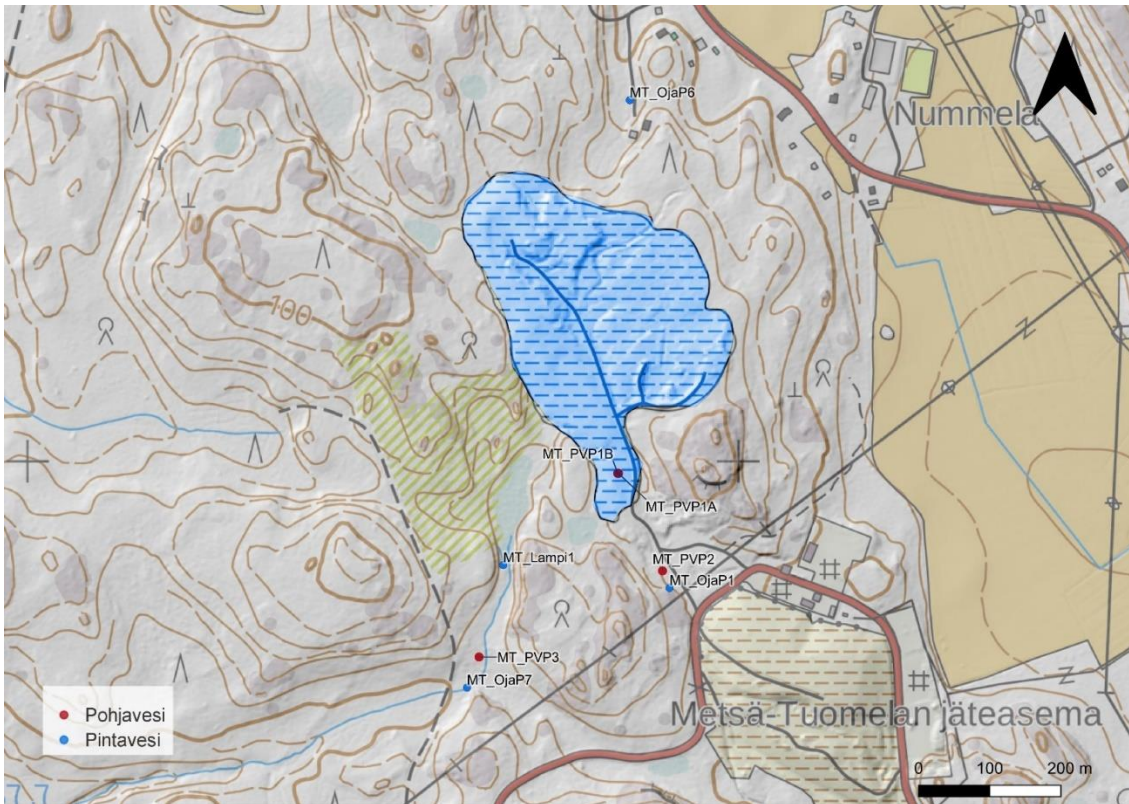
Naftaleeni (µg/l)	14	0.01	0.03	0.01	0.011	0.005
2-Metyyli-naftaleeni (µg/l)	14	0.01	0.022	0.01	0.011	0.003
1-Metyyli-naftaleeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Bifenyyli (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
2-6-Dimetyyli-naftaleeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Asenaftyleeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Asenaftteeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
2-3-5-Trimetyyli-naftaleeni (µg/l)	14	0.005	0.015	0.005	0.006	0.003
Fluoreeni (µg/l)	14	0.005	0.03	0.005	0.007	0.007
Fenantreeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Antraseeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
1-Metyylifenantreeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Fluoranteeni (µg/l)	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0
Pyreeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Bentso-a-antraseeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Kryseeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Bentso-b-fluoranteeni (µg/l)	14	0.00375	0.00375	0.00375	0.00375	0
Bentso-k-fluoranteeni (µg/l)	14	0.00375	0.00375	0.00375	0.00375	0
Bentso-e-pyreeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Bentso-a-pyreeni (µg/l)	14	0.001	0.002	0.001	0.0011	0.0003
Peryleeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Indeno-1-2-3-cd-pyreeni (µg/l)	14	0.0038	0.0375	0.0206	0.0206	0.0175
Dibentso-a-h-antraseeni (µg/l)	14	0.005	0.005	0.005	0.005	0
Bentso-ghi-peryleeni (µg/l)	14	0.001	0.001	0.001	0.001	0
Vedenlämpötila (°C)	10	6.1	12	7.3	7.7	1.8



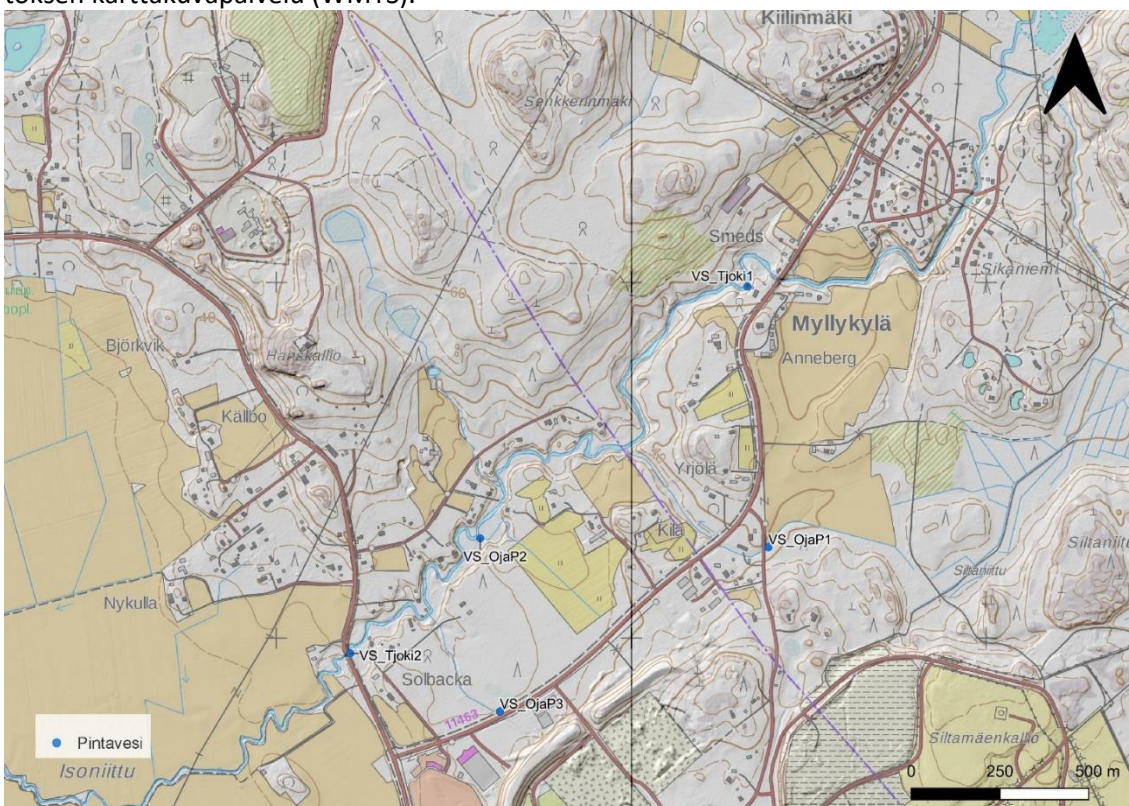
**Liite 6.** Mustajoen multajalosteen mullanvalmistusalueen aluekuvaus. Kuvassa esitettynä pinta- ja pohjaveden näytteenottoaikat sekä sinisellä polygonilla toiminta-alueet. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 2 m © Maanmittauslaitos. Karttapohja: Maastokartta 1.0.0 © Maanmittauslaitoksen karttakuvapalvelu (WMTS).



**Liite 7.** Metsä-Tuomelan maankaatopaikan aluekuvaus. Kuvassa esitettynä pinta- ja pohjaveden näytteenottoaikat sekä sinisellä polygonilla toiminta-alue. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 2 m © Maanmittauslaitos. Karttapohja: Maastokartta 1.0.0 © Maanmittauslaitoksen karttakuvapalvelu (WMTS).



**Liite 8.** Solbacka-Kiila-Myllykylä aluekuvaus. Kuvassa esitetynä pintaveden näytteenottoapaikat. Rinnevarjostusdata: Rinnevarjostus 2 m © Maanmittauslaitos. Karttapohja: Maastokartta 1.0.0 © Maanmittauslaitoksen karttakuvapalvelu (WMTS).



**Liite 9.** Vantaalla Vantaanjoen yhteistarkkailun Lepsämänjoen havaintopaikan (Le33) tulokset vuosilta 2012-2017. X 6690492 Y 376279

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Alkaliteetti (mmol/l)	44	0.31	1.2	0.57	0.65	0.25
Alumiini (µg/l)	11	280	2600	1600	1502	880
Ammoniumtyppi (µg/l)	114	2	180	28	41	37
Arseeni (µg/l)	3	0.82	1.1	0.89	0.94	0.15
Escherichia coli (mpn/100 ml)	88	1	2500	110	258	387
Happi (mg/l)	115	6.5	13	11	10	1.9
Kadmium (µg/l)	3	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02
CODMn (mg/l)	116	5.8	30	14	15	5.1
Koboltti (µg/l)	3	0.28	1.4	0.63	0.77	0.57
Kokonaisfosfori (µg/l)	124	39	380	86	107	66
Kokonaistyyppi (µg/l)	124	400	9200	1300	1708	1345
Kromi (µg/l)	3	0.85	5.6	2.6	3	2.4
Kupari (µg/l)	3	1.8	8.2	5	5	3.2
Lyijy (µg/l)	3	0.29	2.6	0.81	1.2	1.2
Nikkeli (µg/l)	3	1.3	4.6	2.8	2.9	1.7
pH	116	6.2	7.9	7.2	7.1	
Rauta (µg/l)	45	1100	11000	2400	3126	2213
Sameus (FNU)	124	9.7	300	34	53	53
Sinkki (µg/l)	3	3	16	7.6	8.9	6.6
Sulfaatti (mg/l)	6	8.1	17	10	12	3645
Sähkönjohtavuus mS/m	116	7	20	12	13	3.4
Väriluku (mg Pt/l)	38	50	400	150	176	87

**Liite 10.** Riihimäellä Vantaanjoen sivuhaaran Käräjälänkosken havaintopaikan (Vantaa 97,3) tulokset vuosilta 2012-2017. X 6735305 Y 382096

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Ammoniumtyppi (µg/l)	52	2	88	14	17	17
Escherichia coli (mpn/100 ml)	36	2	650	32	109	167
Happi (mg/l)	52	7.9	14	11	11	1.4
CODMn (mg/l)	51	4.4	40	13	15	7.7
Kokonaisfosfori (µg/l)	52	17	100	33	41	23
Kokonaistyyppi (µg/l)	52	910	8200	1300	2035	1694
pH	51	6.5	7.7	7.2	7.1	
Sameus (FNU)	52	1.9	42	7.2	11	10
Sähkönjohtavuus (mS/m)	51	8.6	19	9.8	11	2.4

**Liite 11.** Oulunkylässä sijaitsevan ympäristöhallinnon intensiivisen seuranta-aseman Vantaanjoen havaintopaikan (Vantaa 4,2 – 6040) tulokset vuosilta 2012-2017. X 6679549 Y 388431

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Mediaani	Keskiar.	Keskihaj.
Alkaliteetti (mmol/l)	72	0.38	1.2	0.82	0.82	0.2

Alumiini (µg/l)	72	180	4300	835	998	815
Ammoniumtyppi (µg/l)	99	2	150	31	38	29
Arseeni (µg/l)	72	0.59	1.3	0.9	0.91	0.19
Escherichia coli (mpn/100 ml)	53	5	1300	200	301	313
Happi (mg/l)	73	6.6	13	11	11	2
Kadmium (µg/l)	72	0.01	0.09	0.02	0.03	0.01
Koboltti (µg/l)	61	0.25	2	0.58	0.72	0.41
Kokonaisfosfori (µg/l)	129	32	250	79	91	42
Kokonaistyyppi (µg/l)	129	1100	5600	1900	2139	714
Kromi (µg/l)	72	0.47	7.7	1.6	2.1	1.7
Kupari (µg/l)	72	2.5	11	4.3	4.6	1.6
Lyijy (µg/l)	72	0.3	3.3	0.84	0.94	0.56
Nikkeli (µg/l)	72	1.5	6	2.6	2.8	0.93
pH	130	7	7.9	7.4	7.4	
Rauta (µg/l)	72	550	9700	2100	2779	2022
Sameus (FNU)	131	7	180	34	43	35
Sinkki (µg/l)	72	2.8	27	9	10	5.1
Sulfaatti (mg/l)	72	10	32	18	18	4.7
Sähkönjohtavuus (mS/m)	130	11	39	19	20	5.1
Väriluku (mg Pt/l)	71	60	360	150	172	70

**Liite 12.** Nurmijärven pohjaveden seuranta-asema (0111). Havaintoputket HP1, HP2, HP5, HP352, H332 ja H3B1. Tulokset vuosilta 1992-2019. X 6714496, Y 382637

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Alkaliteetti (mmol/l)	273	0.2	1.3	0.65	0.64	0.27
Alumiini (µg/l)	247	0.5	450	14	27	46
Ammoniumtyppi (µg/l)	209	0.5	87	1	2.1	6.3
Barium (µg/l)	122	1.6	22	13	10	6.2
Boori (µg/l)	126	2.9	17	8.2	7.5	2.3
Elohopea (µg/l)	102	0	0.01	0	0	0.0008
Fluoridi (µg/l)	163	60	2100	550	570	449
Fosfori (µg/l)	22	2.5	25	25	15	11
Happi kyll. %	272	0	101	50	55	24
Happi (mg/l)	278	0	13	6.0	6.6	2.9
Kadmium (µg/l)	168	0	0.05	0.02	0.02	0.008
Kalium (mg/l)	188	0.8	3	2.1	1.9	0.61
Kalsium (mg/l)	188	3.8	44	15	15	9.3
Kloridi (mg/l)	280	0.3	240	7.2	21	35
Koboltti (µg/l)	164	0	1.2	0.03	0.08	0.16
Kromi (µg/l)	164	0.1	2.9	0.4	0.59	0.56
Kupari (µg/l)	168	0.1	60	1.3	4.3	8.9
Lyijy (µg/l)	168	0	2.3	0.03	0.08	0.21
Magnesium (mg/l)	188	1.0	6	3.7	3.4	1.6
Mangaani (µg/l)	155	0.5	170	1.5	5.6	16
Molybdeeni (µg/l)	126	0.1	5.4	0.1	0.35	0.82
Nikkeli (µg/l)	168	0.1	3.3	0.71	0.85	0.59
Rauta (µg/l)	155	0.5	1000	15	52	124

Rikki (µg/l)	40	810	7800	2750	3968	2113
Sameus (FNU)	273	0	15	0.37	0.68	1.4
Seleenin (µg/l)	164	0.1	1.2	0.2	0.3	0.25
Sinkki (µg/l)	168	0.3	15	1.7	2.2	1.9
Strontium (µg/l)	127	11	120	59	52	25
Sulfaatti (mg/l)	280	2.6	34	12.3	15	8.8
Sähkönjohtavuus	273	5.0	62	17	22	15
Tallium (µg/l)	126	0	0.14	0.01	0.01	0.015
Titaani (µg/l)	102	0.5	10	0.5	0.84	1.3
Uraani (µg/l)	164	0.3	3.6	0.82	1.0	0.68
Vanadiini (µg/l)	164	0	0.95	0.16	0.2	0.13
Väri-luku (mg Pt/l)	184	2.5	60	5	4.8	5.1
pH	273	5	7.4	6.4	6.5	0.41

**Liite 13.** Tuusulan Mätäkiven pohjaveden seuranta-asema (0113). Havaintoputket L1GTK ja L2GTK. Tulokset vuosilta 1992 – 2020. X 6693381, Y 390030

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Alkaliteetti (mmol/l)	99	0.19	0.86	0.49	0.42	0.17
Alumiini (µg/l)	103	9	470	49	90	94
Antimoni (µg/l)	100	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01
Arseeni (µg/l)	231	0.03	0.85	0.12	0.16	0.11
Boori (µg/l)	100	3.7	26	7.0	6.8	2.8
Elohopea (µg/l)	76	0	0.01	0	0	0
Fluoridi (µg/l)	232	30	1000	90	95	72
Fosfori (µg/l)	22	2.5	200	25	25	42
Happi kyll. %	100	16	100	59.5	59	21
Happi (mg/l)	100	2.1	12	7.4	7.4	2.7
Kadmium (µg/l)	230	0.01	0.11	0.02	0.02	0.01
Kalium (mg/l)	103	0.9	4.5	2.3	2.1	0.91
Kalsium (mg/l)	103	5.8	27	12	13	6.2
Kloridi (mg/l)	232	7	130	24	39	32
Koboltti (µg/l)	231	0.01	0.47	0.04	0.05	0.06
Kokonaistyyppi	99	65	2600	330	380	345
Kromi (µg/l)	227	0.01	1.7	0.2	0.31	0.28
Kupari (µg/l)	230	0.04	46	0.28	0.64	3.1
Lyijy (µg/l)	230	0.01	1.8	0.04	0.09	0.16
Magnesium (mg/l)	103	2	11	5.1	5.3	2.8
Mangaani (µg/l)	93	0.5	57	4.7	8.5	9.6
Molybdeeni (µg/l)	100	0.05	1.4	0.3	0.29	0.13
Nikkeli (µg/l)	231	0.05	3.3	0.33	0.46	0.44
pH	228	5.8	7.2	6.4	6.4	0.25
Rauta (µg/l)	93	2.5	1200	94	154	191
Rikki (µg/l)	26	3900	9700	4350	4650	1137
Sameus (FNU)	99	0.14	17	2.2	3.5	3.3
Seleenin (µg/l)	226	0.04	1.01	0.28	0.31	0.19
Sinkki (µg/l)	231	0.21	16	1.25	1.6	1.6

Strontium (µg/l)	80	20	120	56.5	68	27
Sulfaatti (mg/l)	232	2.9	16	5.64	8.7	4.3
Sähkönjohtavuus (mS/m)	228	8.9	51	15	21	12
Tallium (µg/l)	100	0	0.08	0.01	0.01	0.01
Titaani (µg/l)	62	0.5	27	3.0	4.6	4.9
Uraani (µg/l)	231	0.04	6.7	0.23	0.47	0.77
Vanadiini (µg/l)	229	0.02	1.7	0.24	0.29	0.23
Väriluku (mg Pt/l)	152	2.5	70	5	6.1	6.5

**Liite 14.** Hyvinkään Sveitsin pohjaveden seuranta-asema (VHSP\_02\_0110651). Havaintoputki P56. Tulokset vuosilta 2000 – 2019. X 6724407, 380909

Muuttuja	N	Min.	Maks.	Med.	Keskiar.	Keskihaj.
Alkaliteetti (mmol/l)	31	0.5	0.63	0.56	0.57	0.03
Elohoepa (µg/l)	6	0	0.04	0.02	0.02	0.01
Escherichia coli (mpn/100 ml)	36	0	1	0	0.15	0.26
Kadmium (µg/l)	6	0	0.03	0.01	0.01	0.01
Kalsium (mg/l)	18	8.2	11	9.7	9.7	0.65
CODMn (mg/l)	54	0.3	7.3	0.25	0.61	1.1
Kloridi (mg/l)	55	1.5	19	2.6	3.1	2.3
Kromi (µg/l)	6	0.3	3.1	0.56	0.94	1.1
Lyijy (µg/l)	6	0.1	22	0.08	5	8.9
Magnesium (mg/l)	18	2.1	2.9	2.3	2.4	0.22
Mangaani (µg/l)	22	0	110	10	14	23
Nikkeli (µg/l)	6	0.3	4.2	1.7	2	1.8
Rauta (µg/l)	42	0.6	3900	1.5	108	601
Sameus (FNU)	56	0.3	89	1.2	8.1	16
Sinkki (µg/l)	6	2.5	35	3.8	11	13
Sulfaatti (mg/l)	58	6.4	14	9.2	9.3	1.3
Sähkönjohtavuus (mS/m)	55	8.7	14	9.4	9.7	0.94
Väriluku (mg Pt/l)	53	1	110	2.5	7.3	16
pH	52	6.6	7.5	6.7	6.8	0.15



## **Maanläjitysalueiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin Vantaanjoen valuma-alueella**

Julkaisu on Helsingin yliopistossa tehty Pro gradu -tutkielma, joka julkaistaan myös yhdistyksen julkaisusarjassa. Ulkoasu on muokattu julkaisusarjan mukaiseksi, eli tutkielma poikkeaa siltä osin alkuperäisestä työstä.

Tutkielma on osa Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n hanketta, jossa tutkitaan maanlajitystoiminnan tyypillisiä pinta- ja pohjavesivaikutuksia sekä havainnoidaan lohikalojen lisääntymisalueille tapahtuvia haittoja Vantaanjoen valuma-alueella. Tulokset auttavat arvioimaan läjitysalueiden haitta-ainekuormituksia vesiympäristöön ja suunnittelemaan riskienhallintatoimenpiteitä kuormituksen rajoittamiseksi. Tavoitteena on ohjata maanlajitystoiminta sellaisille alueille, joilla vesiin kohdistuvat haitat voidaan hallita.



Vantaanjoen ja Helsingin seudun  
vesiensuojeluyhdistys ry

**Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry**

Ratamestarinkatu 7 b, 00520 Helsinki

[vhvsy@vantaanjoki.fi](mailto:vhvsy@vantaanjoki.fi)

[www.vantaanjoki.fi](http://www.vantaanjoki.fi)