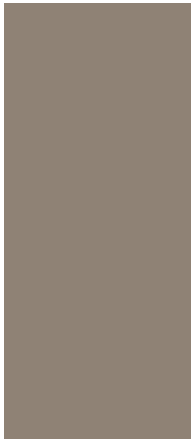


Raportti 19/2023



PFAS-yhdisteiden esiintyminen taajama-alueiden pohjavesissä

Harri Turtiainen



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

Raportti 19/2023

PFAS-yhdisteiden esiintyminen taajama-alueiden

pohjavesissä 27.9.2023

Laatijat: Harri Turtiainen

Tarkastaja: Anu Oksanen

Hyväksyjä: Anu Oksanen

Kannen valokuvat: VHVSY ry

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
1.1	Taustaa	4
2	Tutkimusalueet	5
2.1	Riihimäki, Herajoen pohjavesialue	5
2.2	Vantaa, Rekolanojan valuma-alue.....	7
3	Näytteenotto ja tutkimusmenetelmät	9
3.1	Pohjavedet.....	9
3.2	Pintavedet	9
3.3	Virtaamamittaus.....	9
3.4	Laboratorion analyysimenetelmät	10
4	Tulokset	12
4.1	Havaitut PFAS-yhdisteet	12
4.2	Herajoki, Riihimäki.....	15
4.3	Rekolanoja, Vantaa.....	21
5	Johtopäätökset	28

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Suomen ympäristökeskus tutki 13:n Suomen alueelta Itämereen laskevan joen PFAS-yhdisteiden summapitoisuuksia vuonna 2016–2017 ja Vantaanjoessa todettiin selkeästi suurimmat PFAS-pitoisuudet (Vähä ym. 2019). Vantaanjoessa 23 PFAS-yhdisteen keskimääräinen summapitoisuus oli yli viisinkertainen seuraavaksi korkeimman summapitoisuuden omanneeseen Porvoonjokeen nähden. Vuosina 2020–2021 Vantaanjoen PFAS-pitoisuuksista saatiin lisätietoa VHVSY ry:n Vantaanjoen PFAS-hankkeen myötä (Junttila ym. 2021).

Hankkeessa selvitettiin mm. Vantaanjoen vesistöalueen eri osavaluma-alueiden osuuksia Vantaanjoesta Itämereen päätyvässä PFAS-kuormituksessa. Osavaluma-alueetarkastelussa PFAS-ominaiskuormituksen osalta esiin nousi erityisesti Vantaanjoen alajuoksun alueita, mutta myös latvaosissa sijaitseva Riihimäen Arolamminkosken yläpuolinen alue ennen Käräjäkoskea. Myös Vantaanjoen suurimpaan sivuhaaraan, Keravanjokeen, laskevan Rekolanjoen valuma-alueelta todettiin tulevan merkittävä PFAS-kuormitus.

Jätevedenpuhdistamoille tulevaa ja niiltä lähtevää, käsiteltyä vettä, tutkittiin PFAS-yhdisteiden osalta Riihimäellä ja Hyvinkään Kaltevassa. Jätevedenpuhdistamoiden käsitellyn jäteveden vaikutus jokiveden PFAS-yhdisteprofiileissa näkyi hyvin selkeästi, ja ne vaikuttavat jokivesien PFAS-kuormaan erityisesti Vantaanjoen yläjuoksulla. Jätevedenpuhdistamojen lisäksi jokivesiin päätyy PFAS-yhdisteitä muistakin lähteistä. Monin paikoin jokivesien PFAS-pitoisuudet olivat korkeimmillaan syksyllä, kun pintavalunnan mukana hulevesienkin vaikutus on merkittävä. Vantaanjoen PFAS-hankkeessa tutkittiin 18:a yhdistettä, joista enimmillään 15:ä eri yhdistettä havaittiin Riihimäen keskustan tuntuman hulevesinäytteessä. Vantaanjoen PFAS-hankkeessa tutkittiin pohjavesien PFAS-pitoisuuksia ottamalla yhteensä neljä näytettä, kaksi Riihimäeltä ja kaksi Hyvinkäältä. Kaikissa pohjavesinäytteissä havaittiin PFAS-yhdisteitä ja suurimmat pitoisuudet todettiin vanhojen kaatopaikkojen läheisissä havaintoputkissa.

Vantaanjoen vesistöalueella tehtiin laaja tutkimus jokivesien ja pohjavesien hydraulisista yhteyksistä vuosina 2010–2011, jossa paikannettiin yli 250 pohjaveden purkautumispaikkaa jokivarsilla, osoittaen pohjaveden merkittävän roolin jokien virtaamisessa, etenkin alivirtaamakausilla (Kivimäki ym. 2013). Samassa tutkimushankkeessa todettiin myös jokivesien imeytymistä pohjavesiin ja päätymistä myös vedenottokaivoihin esimerkiksi Herajoen vedenottamalla. Jokivesissä paikoin runsaana esiintyvien PFAS-yhdisteiden päätyminen niihin hydraulisessa yhteydessä oleviin pohjavesiesiintymiin voisi paikoin aiheuttaa merkittäviä riskejä pohjaveden laadulle.

Vuonna 2022 VHVSY sai rahoitusta PFAS-yhdisteiden selvitykseen laajemmin taajama-alueiden pohjavesissä Uudenmaan ELY-keskukselta ja K.H Renlundin säätiöltä. Tutkimusalueiksi valittiin aiempien tietojen perusteella Riihimäellä, Vantaanjoen yläjuoksulla, sijaitseva Herajoen pohjavesialue ja Vantaalla/Keravalla sijaitseva Rekolanjoen valuma-alue, joka on yhteydessä Koivukylän ja Valkealähteen pohjavesialueisiin. Näytteitä otettiin kolmena vuodenaikana:

touko–kesäkuussa, elokuussa ja lokakuussa. Näytteitä otettiin pohjaveden havaintoputkista, vedenottokaivoista sekä pintavesistä pohjavesialueiden yhteydestä.

Näytteenottoapaikkojen valinta perustui arvioituihin potentiaalsiin PFAS-päästölähteisiin sekä yhdisteiden aiheuttamaan riskiin vedenotolle. Potentiaaliset PFAS-päästölähteet arvioitiin SYKEN maaperän tilan tietojärjestelmän kohteiden tarkastelulla tutkimusalueilla. Merkittävimmiksi päästölähteiksi arvioitiin yhdyskuntajätteen kaatopaikat ja -käsittelylaitokset, metalli- ja kemianteollisuuden laitokset sekä pilaantuneet maa-alueet. Näytteenottoa varten ei ollut mahdollista asentaa uusia pohjaveden havaintoputkia ja pohjavesialueiden ulkopuolella ei useimmiten sijaitse kattavaa havaintoputkiverkostoa, joten näytteenottopisteiden valintaan vaikutti merkittävästi olemassa olevien näytteenottoon soveltuvien havaintoputkien hyödyntäminen.

2 Tutkimusalueet

2.1 Riihimäki, Herajoen pohjavesialue

Herajoen pohjavesialueen pääasiallisen pohjavesivaraston muodostaa Herajoen ja Vantaanjoen jokilaaksossa savenalaisena piiloharjuna jatkuva harjujakso, johon varastoituu sora- ja hiekkaluilla muodostunutta pohjavettä sekä ympäröiviltä kallio- ja moreenimailta savenalaisiin irtomaakerrokseen kerääntyvää pohjavettä (Kuva 1). Piiloharjun sora- ja hiekkakerrokset jatkuvat savenalaisina myös Silmäkenevan alueella, ulottuen paikoitellen maanpintaan asti pienialaisina hiekkakumpareina (Ahonen ja Valjus 2009). Vantaanjoen uoma kulkee Silmäkenevan läpi.

Tulvavaara- ja tulvariskikarttojen arvioiden perusteella Herajoen vedenottamo sijaitsee merkittävällä tulvariskialueella, jossa kerran 20 vuodessa (yleinen tulva) Herajoen vesi voi tulla vedenottamon itä- ja eteläpuoliselle peltoalueelle (Tulvakeskuksen Tulvakarttapalvelu). Herajoen pohjavesialueen veden laatuun voivat vaikuttaa sekä Herajoen että Vantaanjoen tulviminen. Tulvien aiheuttamista ongelmista esimerkkinä on kesällä 2004 tulvajakson yhteydessä havaittu Herajoen pohjavedenottamon raakaveden hygieenisen laadun heikkeneminen (Kivimäki 2014).

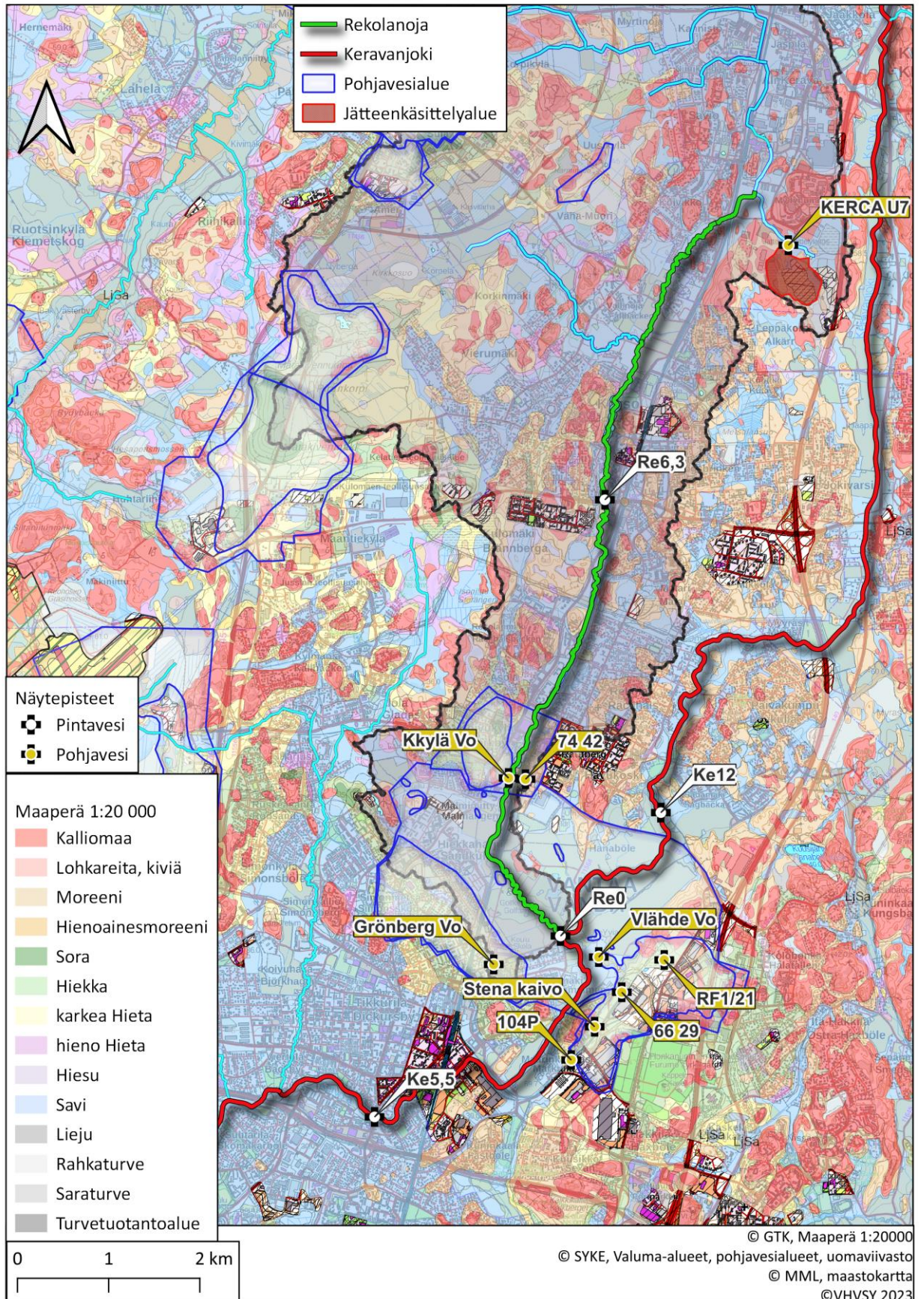
Herajoen tutkimusalueella oli 16 näytepistettä, joista 14 pohjavedelle ja 4 pintavesille. Pohjavesinäytteet otettiin pääosin Herajoen pohjavesialueen sisältä, mutta kaksi näytepistettä sijaitsi myös Pohjavesialueen rajojen ulkopuolella. Pohjavesinäytteitä otettiin Mattilan pienteollisuusalueelta ja sen pohjoispuolelta, lännestä Riuttan alueelta, Herajoen vedenottamon läheisyydestä ja Korttionmäen entisen kaatopaikan länsipuolelta. Pintavesinäytteet otettiin Herajoen alaosaan ennen joen liittymistä Vantaanjokeen ja Vantaanjoesta ennen Riihimäen jätevedenpuhdistamon purkuputkea, purkuputken jälkeen ja Herajoen liittymisen jälkeen Arolamminkoskesta.

2.2 Vantaa, Rekolanojan valuma-alue

Rekolanojan valuma-alue on pääosin rakennettua taajama-aluetta ja alueen eteläosissa valuma-alue on yhteydessä Koivukylän ja Valkealähteen pohjavesialueisiin (Kuva 2). Valuma-alueen maaperä on suurelta osin savea ja kalliopaljastumia. Rekolanojan valuma-alueen eteläpuolella Valkealähteen pohjavesialueella sijaitsee myös Hakkilan teollisuusalue, jossa on pitkä historia erilaisilla toiminnoilla.

Valkealähteen pohjavesialue voidaan maaperäolosuhteiden perusteella jakaa kolmeen osaluueeseen: 1) Keravanjoen länsipuolella sijaitseva Hiekkaharjun muodostuma; 2) Keravanjokilaakson savipeitteiset vettä johtavat maakerrokset; 3) Keravanjoen itäpuolinen Hakkilanharjun muodostuma. Valkealähteen pohjavesialueella pohjaveden virtaussuuntiin vaikuttavat oleellisesti Keravanjoen laaksopainanne ja monin paikoin pohjavedenpinnan yläpuolelle kohoavat kalliokohoumat, jotka muodostavat pohjavedenjakajia. Kalliokohoumat toimivat vedenjakajina mm. Hakkilan teollisuusalueen lounaisosassa, Rusokallion alueella sekä Valkealähteen ja Koivukylän pohjavesialueiden välillä (Ahonen ja Valli 1998). Hakkilanharjun keskiosassa, missä kalliokynnykset eivät estä virtausta, pohjavedet virtaavat länteenluoteeseen, kohti Keravanjokilaaksoa. Savikon peittämään Valkealähteen kallioltaaseen on hydraulinen yhteys Keravanjoen alitse lännestä, Rekolanojan suunnalta, ja mahdollisesti myös Hiekkaharjun suunnalta. Hiekkaharjun pohjavesiä purkautuu myös Rekolanojaan, ja etenkin alivirtaamakautena pohjaveden osuus Rekolanojassa virtaavassa vedessä on merkittävä. Hiekkaharjun koillisreunalla on ennen alueen rakentamista ollut lähteitä, mutta nykyisellään pohjavettä purkautuu rakentamisen yhteydessä tehtyjen putkitusten kautta avo-ojiin (Kivimäki 2015).

Rekolanojan tutkimusalueella oli yhteensä 14 näytepistettä, joista 10 pohjavedelle ja 4 pintavesille. Pohjavesinäytepisteistä 3 oli Helsingin seudun varavesilähteinä toimivia vedenottokaivoja, yksi metallien kierrätystä harjoittavan yrityksen käytössä oleva rengaskaivo ja kuusi pohjavesiputkea. Pintavesinäytteistä kaksi sijaitsi Rekolanojassa ja kaksi Keravanjoessa. Keravanjoen ylävirran puoleiset näytteet otettiin 2 km ennen Rekolanojan liittymistä Keravanjokeen, Hanalan virtaamamittausaseman kohdalta, ja alavirran puoleiset näytteet Tikkurilan eteläosassa sijaitsevan Kielotien sillan alta, 4 km Rekolanojan liittymisen jälkeen. Pohjavesinäytteitä otettiin Hakkilan teollisuusalueelta, ja Koivukylän vedenottamon läheisyydestä sekä Rekolanojan yläjuoksun alueelta, Savion jätteidenkäsittelylaitosten alueelta. Suurin osa Rekolanojan valuma-alueesta ei sijaitsi luokitellulla pohjavesialueella ja pohjaveden havaintoputkiverkosto oli keskittynyt Hakkilan teollisuusalueelle ja Savion jätteidenkäsittelyalueelle. Hakkilan teollisuusalue ei sijaitsi Rekolanojan valuma-alueella, mutta alueen pohjavesillä on yhteys Keravanjokeen.



Kuva 2. Rekolanoja tutkimusalueen maaperä ja näytipisteiden sijainti.

3 Näytteenotto ja tutkimusmenetelmät

Pohjavesinäytteitä otettiin välillä touko–lokakuu 2022 yhteensä 55 kpl ja pintavesinäytteitä 23 kpl. Näytteenottoajankohdat pyrittiin valitsemaan siten, että ne edustaisivat eri vaiheita pohjaveden vuodenaikaisvaihtelussa ja jokien virtaamissa. Näytteet säilytettiin näytteenoton jälkeen laboratoriolle asti kylmälaukuissa.

3.1 Pohjavedet

Pohjavesinäytteenotossa noudatettiin pääosin standardia SFS-ISO 5667-11:2009 *Guidance on sampling of groundwaters*. Näytteenoton menettelytapaohjeessa on huomioitu myös Suomen pohjavesiolosuhteisiin ja kansallisiin käytäntöihin liittyvät täsmennykset oppaissa *Pohjavesinäytteenotto* (Suomen ympäristö 48/2008) ja *Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen – Kuvaus hyvistä menettelytavoista* (Ympäristöministeriön raportteja 19/2018). Ennen näytteenottoa mitattiin pohjaveden pinnan taso. Tämän jälkeen esipumpattiin vettä vähintään 3 x putken vesitulavuuden verran, minkä jälkeen otettiin näytteet laboratoriomäärityksiä varten. Esipumpauksen teho säädettiin putkikohtaisesti putken antoisuuden perusteella. Kenttämittarin (YSI professional plus Quatro) anturi kytkettiin läpivirtauskammioon, jonka lukemien (lämpötila, pH, sähkönjohtavuus, happi, hapetus-pelkistys-potentiaali) tasaannuttua otettiin näytteet. Näytteenottopumppuina käytettiin muovisia Super Twister – tai Twister pohjavesinäytteenottopumppuja, joiden nostosyvyydet ovat 27 ja 18 m.

3.2 Pintavedet

Pintavesinäytteet otettiin jokien tai purojen rannoilta suoraan pulloihin teleskooppista jatkovartta käyttäen. Näytteenoton yhteydessä mitattiin myös veden lämpötila.

3.3 Virtaamamittaus

Rekolanojan tutkimusalueella tehtiin myös virtaamamittauksia pisteissä Re6,3 ja Re0 käsikäyttöisellä akustisella dopplernopeusmittarilla (SonTek FlowTracker®), jotta kyseisten pisteiden PFAS kuormitusta voitaisiin arvioida. Lisäksi Keravanjoen pisteessä Ke12 sijaitsee Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä virtaamamittausasema. Riihimäellä Herajoessa tai Vantaanjoen yläjuoksulla ei ollut käytössä virtaamamittausasemia eikä käsikäyttöinen mittari soveltunut valittuihin näytepisteisiin.

3.4 Laboratorion analyysimenetelmät

Vesinäytteet toimitettiin 1–7 tunnin kuluessa näytteenotosta Eurofins Oy:n Helsingin Viikissä sijaitsevaan toimipisteeseen, josta ne siirtyivät seuraavan vuorokauden aikana käsittelyyn Eurofins environment testing Finland Oy:n akkreditoituun testauslaboratorioon Lahteen (akkreditointitunnus T039). PFAS yhdisteiden osalta näytteistä tutkittiin 50 eri yhdistettä, jotka on esitetty Taulukossa 1. Analyysimenetelmänä käytettiin nestekromatografia-kaksoismassaspektrometriaa (LC-MS/MS).

Taulukko 1. Vesinäytteistä tutkitut PFAS-yhdisteet ja yksittäisten havaintojen lukumäärät kullekin yhdisteelle. Yhdisteet mainitaan tekstissä käyttäen niiden lyhenteitä.

CAS-numero	Nimi	lyhenne	PFAS luokka	Havaintojen määrä
2355-31-9	Metyyliperfluoro-1-oktaanisulfonamidoetikkahappo	NMeFOSAA	FASAA	
2806-24-8	Perfluoro-1-oktaanisulfonamidoetikkahappo	FOSAA	FASAA	
2991-50-6	Etyyliperfluoro-1-oktaanisulfonamidoetikkahappo	EtFOSAA	FASAA	
763051-92-9	11-Kloorieikosafuoro-3-oksoundekaani-1-sulfonaatti	8:2 Cl-PFESA	Cl-PFAES	
756426-58-1	9-klooriheksadekafluoro-3-oksonaani-1-sulfonaatti	6:2 Cl-PFESA	Cl-PFAES	
678-41-1	Bis(1H,1H,2H,2H-perfluoro-dekyyli)fosfaatti	8:2 DiPAP	PAP	
57677-95-9	Bis(1H,1H,2H,2H-perfluoro-oktyyli)fosfaatti	6:2 DiPAP	PAP	
113507-82-7	Perfluoro(2-etoksietaani)sulfonaatti	PFEESA	PFESA	
919005-14-4	4,8-Diokso-3H-perfluorononaanihappo	ADONA	PFECA	
65294-16-8	Perfluoro-2,5,8-trimetyyli-3,6,9-triokso-dodekaanihappo	HFPO-TeA	PFECA	
13252-13-6	Perfluoro-2-metyyli-3-oksoheksaani-happo	GenX, HFPO-DA	PFECA	
151772-58-6	Perfluoro-3,6-dioksoheptaanihappo	NFDHA/3,6-OFHp	PFECA	
377-73-1	Perfluoro-3-metoksipropanihappo	PFMPA	PFECA	
863090-89-5	Perfluoro-4-metoksibutaanihappo	PFMBA	PFECA	
13252-14-7	Perfluoro-2,5-dimetyyli-3,6-dioksononaanihappo	HFPO-TA	PFECA	
757124-72-4	1H,1H,2H,2H-Perfluoroheksaanisulfonaatti	4:2 FTS	FTSA	2
27619-97-2	1H,1H,2H,2H-Perfluoro-oktaanisulfonaatti	6:2 FTS	FTSA	18
39108-34-4	1H,1H,2H,2H-Perfluorodekaanisulfonaatti	8:2 FTS	FTSA	2
30334-69-1	Perfluorobutaanisulfonamidi	PFBSA	FASA	1
41997-13-1	Perfluoro-1-heksaanisulfonamidi	FHxSA	FASA	5
754-91-6	Perfluoriooktaanisulfonamidi	PFOSA	FASA	
376-72-7	5H-Perfluoropentaanihappo	5H-PFPeA	FTCA	4
1546-95-8	7H-Dodekafluoriheptaanihappo	HPFHpA	FTCA	
70887-84-2	2H-Perfluoro-2-decenoic acid	8:2 FTUCA	FTCA	
76-21-1	9H-Perfluorononaanihappo	9H-PFNA	FTCA	
375-73-5	Perfluorobutaanisulfonaatti	PFBS	PFSA	42
2706-91-4	Perfluoropentaanisulfonaatti	PFPeS	PFSA	9
355-46-4	Perfluoroheksaanisulfonaatti	PFHxS	PFSA	56
375-92-8	Perfluoroheptaanisulfonaatti	PFHpS	PFSA	3
1763-23-1	Perfluoro-oktaanisulfonaatti	PFOS	PFSA	67
355-24-0	Perfluoro-4-etyylisykloheksaanisulfonaatti	PFECHS	PFSA	9
68259-12-1	Perfluorononaanisulfonaatti	PFNS	PFSA	

335-77-3	Perfluorodekaanisulfonaatti	PFDA	PFSA	
749786-16-1	Perfluoro-1-undekaanisulfonaatti	PFUdS	PFSA	
79780-39-5	Perfluorododekaanisulfonaatti	PFDoS	PFSA	
791563-89-8	Perfluoro-1-tridekaanisulfonaatti	PFTrDS	PFSA	
375-22-4	Perfluorobutaanihappo	PFBA	PFCA	42
2706-90-3	Perfluoropentaanihappo	PFPeA	PFCA	41
307-24-4	Perfluoroheksaanihappo	PFHxA	PFCA	51
375-85-9	Perfluoroheptaanihappo	PFHpA	PFCA	42
335-67-1	Perfluoro-oktaanihappo	PFOA	PFCA	58
375-95-1	Perfluorinonaanihappo	PFNA	PFCA	13
335-76-2	Perfluorodekaanihappo	PFDA	PFCA	2
2058-94-8	Perfluoroundekaanihappo	PFUnA	PFCA	
307-55-1	Perfluorododekaanihappo	PFDoA	PFCA	
72629-94-8	Perfluorotridekaanihappo	PFTrDA	PFCA	
376-06-7	Perfluorotetradekaanihappo	PFTA	PFCA	
67905-19-5	Perfluoroheksadekaanihappo	PFHxDA	PFCA	
16517-11-6	Perfluoro-oktaanidekaanihappo	PFODA	PFCA	
172155-07-6	Perfluoro-3,7-dimetyylioktaanihappo	P37DMOA	PFCA	

PFAS-yhdisteiden lisäksi näytteistä tutkittiin veden laadun muitakin parametrejä Helsingin Viikissä sijaitsevassa Metropolilab Oy:n laboratorioissa (akkreditoitunut T058). Muut tutkitut parametrit ovat esitettyinä Taulukossa 2.

Taulukko 2. Vesinäytteistä tutkitut muut laatuparametrit.

parametri	huomautukset
sulfaatti, SO ₄ (mg/l)	
kloridi, Cl (mg/l)	
väri (mg Pt/l)	
ammoniumtyppi, NH ₄ -N (mg/l)	
nitraattityppi, NO ₃ -N (mg/l)	
nitriittityppi, NO ₂ -N (mg/l)	
sameus (FNU)	
pH	
sähkönjohtavuus 25 C (mS/m)	
alkaliniteetti (mmol/l)	
liuennut happi (kyll.-%, mg/l)	
kemiallinen hapenkulutus, COD _{Mn} (mg/l)	
kokonaisorgaaninen hiili TOC (mg/l)	muutamalle näytelle tehty DOC:n sijaan
liuennut orgaaninen hiili DOC (mg/l)	
laaja alkuaainepaketti: [Ca, Mg, K, Na, Al, Sb, As, Ba, Be, B, Hg, P, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Ni, Si, Fe, S, Se, Zn, Sr, Tl, Ti, U] (mg/l)	muutamille näytteille liukoisten pitoisuuksien sijaan tehty kokonaispitoisuuden määrittäminen
fluoridi	muutamalle näytelle tehty fluorin taustapitoisuuden selvittämiseksi

4 Tulokset

4.1 Havaitut PFAS-yhdisteet

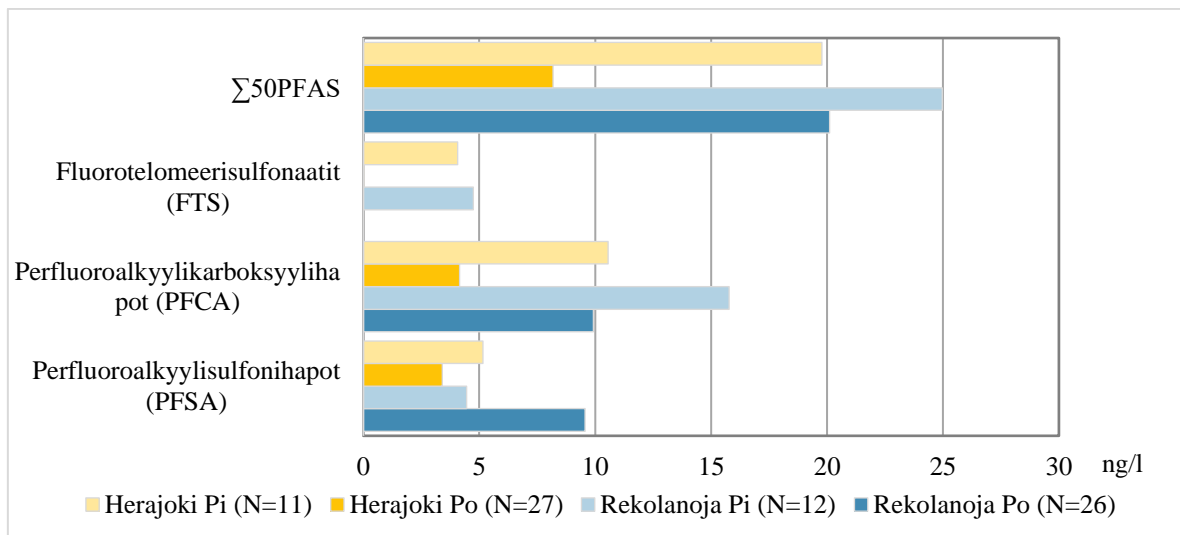
Kaikista pohjavesinäytteistä 87 %:ssa havaittiin vähintään yhtä 50:ä tutkitusta PFAS-yhdisteestä pitoisuusvälillä 0,1–1 700 ng/l. Pintavesien osalta kaikissa näytteissä havaittiin vähintään yhtä PFAS-yhdistettä pitoisuusvälillä 0,3–15 ng/l. Kaiken kaikkiaan 19 eri PFAS-yhdistettä havaittiin laboratorion määrittämissä ylittävänä pitoisuuksina tämän tutkimuksen näytteissä. Pohjavesissä yleisimmin tavatut yhdisteet olivat PFOS ja PFHxS, joita tavattiin 80 %:ssä ja 76 %:ssa kaikista pohjavesinäytteistä. Pintavesissä yleisimmin määrittämissä ylittävänä pitoisuutena tavattiin kaikissa näytteissä PFOS:ia ja 91 %:ssä PFOA:a.

Kaikkien tutkittujen PFAS-yhdisteiden summapitoisuudet (Σ_{50} PFAS) olivat pohjavesinäytteissä välillä 0–3959 ng/l, keskiarvon ollessa 148 ng/l. Pintavesien osalta summapitoisuudet olivat välillä 0,9–113 ng/l keskiarvon ollessa 22 ng/l. Pohjavesien osalta PFAS-yhdisteiden summapitoisuuden keskiarvoa nostaa huomattavasti kaikkein suurimmat pitoisuudet omannut näytepiste, jota ilman pohjavesien keskiarvo oli 14 ng/l.

Tutkimusalueiden välillä oli eroavaisuuksia PFAS-yhdisteiden keskimääräisessä kokonaispitoisuudessa sekä myös pinta- ja pohjavesien keskimääräisissä PFAS-koostumuksissa. Kuvassa 3 on esitelty Yleisimpien PFAS-ryhmien jakautuminen tutkimusalueittain ja näytematriiseittain. Pintavesissä oli molemmilla tutkimusalueilla keskimäärin korkeampia PFAS-summapitoisuuksia, mutta Rekolanojan tutkimusalueella ero pinta- ja pohjavesien välillä oli selkeästi pienempi summapitoisuuden osalta. Kuvassa 3 ei ole otettu huomioon Rekolanojan tutkimusalueella sijainnutta näytepistettä KERCA U7, koska PFAS-pitoisuudet olivat siinä yli 100-kertaisia muihin pisteisiin nähden ja sen mukaan ottaminen tekee vertailusta hankalaa.

Fluorotelomeerihappojen osuus pohjavesissä oli erittäin pieni ja ainoat pohjavesissä tavatut yhdisteet olivat yhdistettä 6:2 TFS, jota todettiin Herajoen näytepisteissä 5/96 ja 1/97 elokuussa alle nanogramman pitoisuuksina. Pintavesissä fluorotelomeerihappojen osuus oli Rekolanojan näytteissä keskimäärin hieman korkeampina pitoisuuksina.

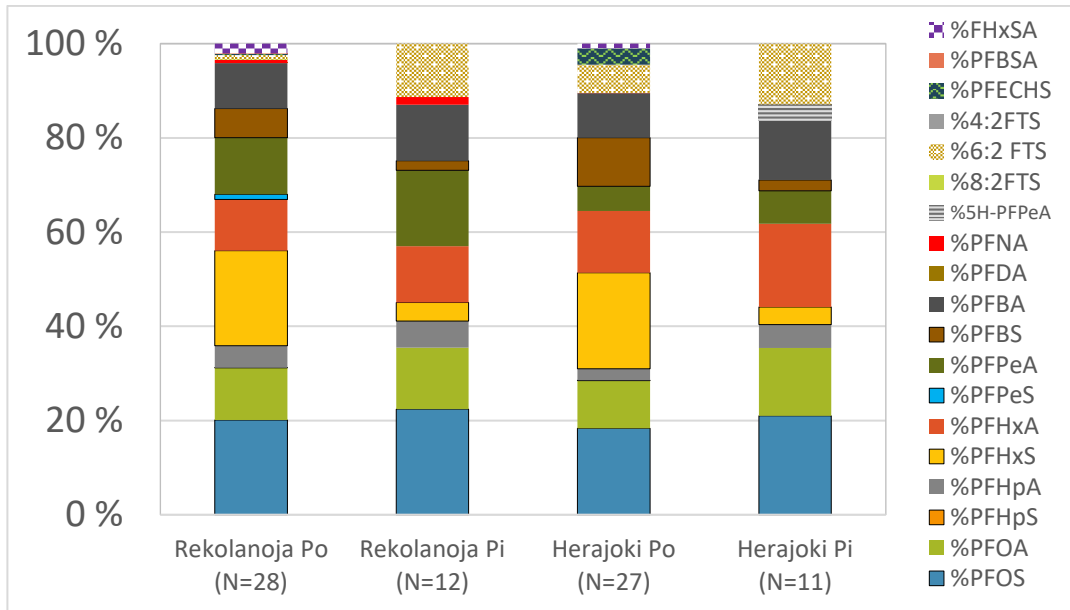
Rekolanojan pohjavesinäytteissä todettiin ilman KERCA U7 näytepisteen tuloksiakin PFCA- ja PFSA- yhdisteitä keskimäärin kaksinkertaisina pitoisuuksina verrattuna Herajoen pohjavesinäytteisiin. Rekolanojan pohjavesinäytteiden PFSA-pitoisuudet olivat myös keskimäärin korkeampia verrattuna saman alueen pintavesinäytteisiin.



Kuva 3. Hankkeen näytteiden keskimääräiset PFAS-pitoisuudet alueittain ja matriiseittain ryhmiteltyinä ja jaoteltuna tärkeimpiin PFAS-ryhmiin.

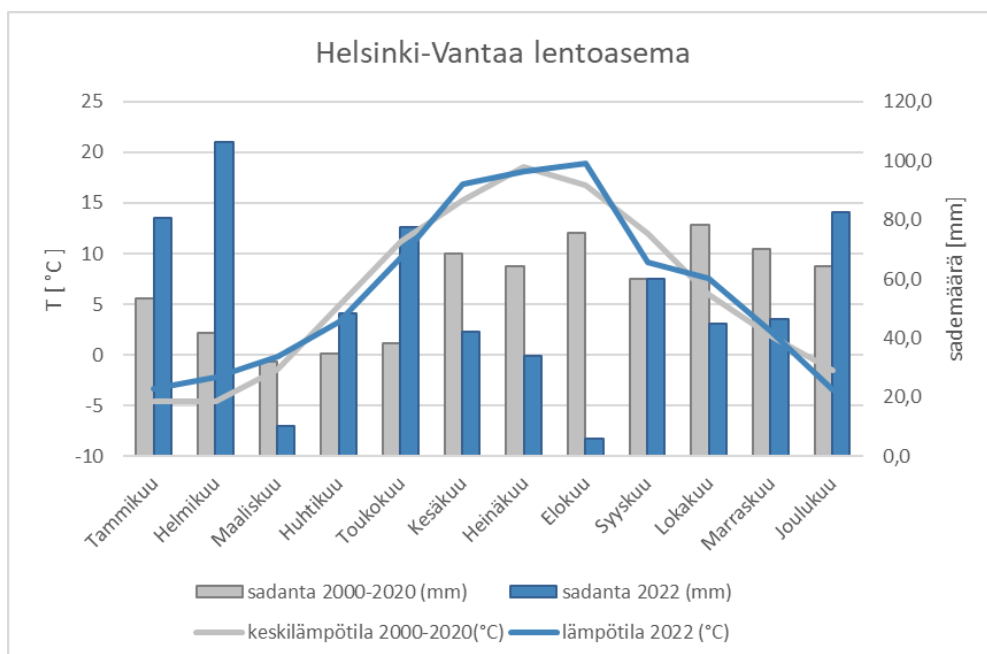
Pohjavesinäytteiden keskimääräinen PFAS-koostumus oli Rekolanojan ja Herajoen tutkimusalueilla samankaltainen, mutta eroavaisuuksia näkyi esimerkiksi PFPeA:n ja PFBS:n suhteellisissa osuuksissa (Kuva 4). Lisäksi Herajoen pohjavesinäytteissä ja Rekolanojan pohjavesinäytteissä tavattiin toisistaan poikkeavia pääryhmien ulkopuolisia PFAS-yhdisteitä (PFECBS, 6:2 FTS ja FHxSA). Kuvan 4 tietolähteeseen on sisällytetty myös Rekolanojan tutkimusalueella sijaitsevan poikkeuksellisen korkeita PFAS-pitoisuuksia sisältäneen pohjavesiputki KERCA U7:n tulokset.

Pintavesien osalta Herajoen alueen näytteissä PFHxA:n keskimääräisesti suurempi osuus ja sitä vastoin Rekolanojan alueen pintavesinäytteiden suurempi PFPeA:n osuus olivat huomattavimpia eroja. PFHxA:n ja muidenkin PFAS yhdisteiden pitoisuudet kasvavat huomattavasti pisteiden V93 ja V91 välillä, jossa Riihimäen jätevedenpuhdistuslaitos sijaitsee. Vantaanjoen PFAS-hankkeessa tutkittiin Riihimäen jätevedenpuhdistamolta lähtevän puhdistetun jäteveden PFAS-pitoisuuksia ja niissä todettiin merkittävästi PFCA-yhdisteisiin kuuluvia PFHxA, PFPeA, PFHpA ja myös PFOS, mutta silloiseen PFAS-analyysivalikoimaan ei kuulunut yhtä kattavasti nyt tutkittuja PFAS-prekursoryhdisteitä, eli aineita jotka voivat muuttua vesiympäristössä toisiksi PFAS-yhdisteiksi.



Kuva 4. Näytteiden keskimääräinen PFAS-koostumus tutkimusalueittain ja näytematriiseittain.

Etenkin pintavesissä PFAS-yhdisteiden summapitoisuudella oli selkeästi havaittava vuodenaikaisvaihtelu. Rekolanojan tutkimusalueen pisteissä PFAS-pitoisuudet olivat suurimmillaan lokakuussa syksyn sateiden lisättyä pintavaluntaa. Herajoen pintavesipisteissä PFAS-pitoisuudet olivat korkeimpia elokuussa, etenkin Riihimäen Jätevedenpuhdistamolta alavirran puolella. Vuoden 2022 elokuu oli poikkeuksellisen vähäsateinen (Kuva 5) ja Riihimäen jätevedenpuhdistamolta johdetun puhdistetun jäteveden suhteellinen osuus Vantaanjoen kokonaisvirtaamasta on ollut suuri paikallisesti, mikä on saattanut kasvattaa PFAS-yhdisteiden pitoisuutta Vantaanjoen näytteissä.



Kuva 5. Kuukausittaiset keskilämpötilat ja kuukauden sadesummat Helsinki-Vantaan lentoaseman sääasemalla vertailtuna 2000-luvun keskiarvoihin.

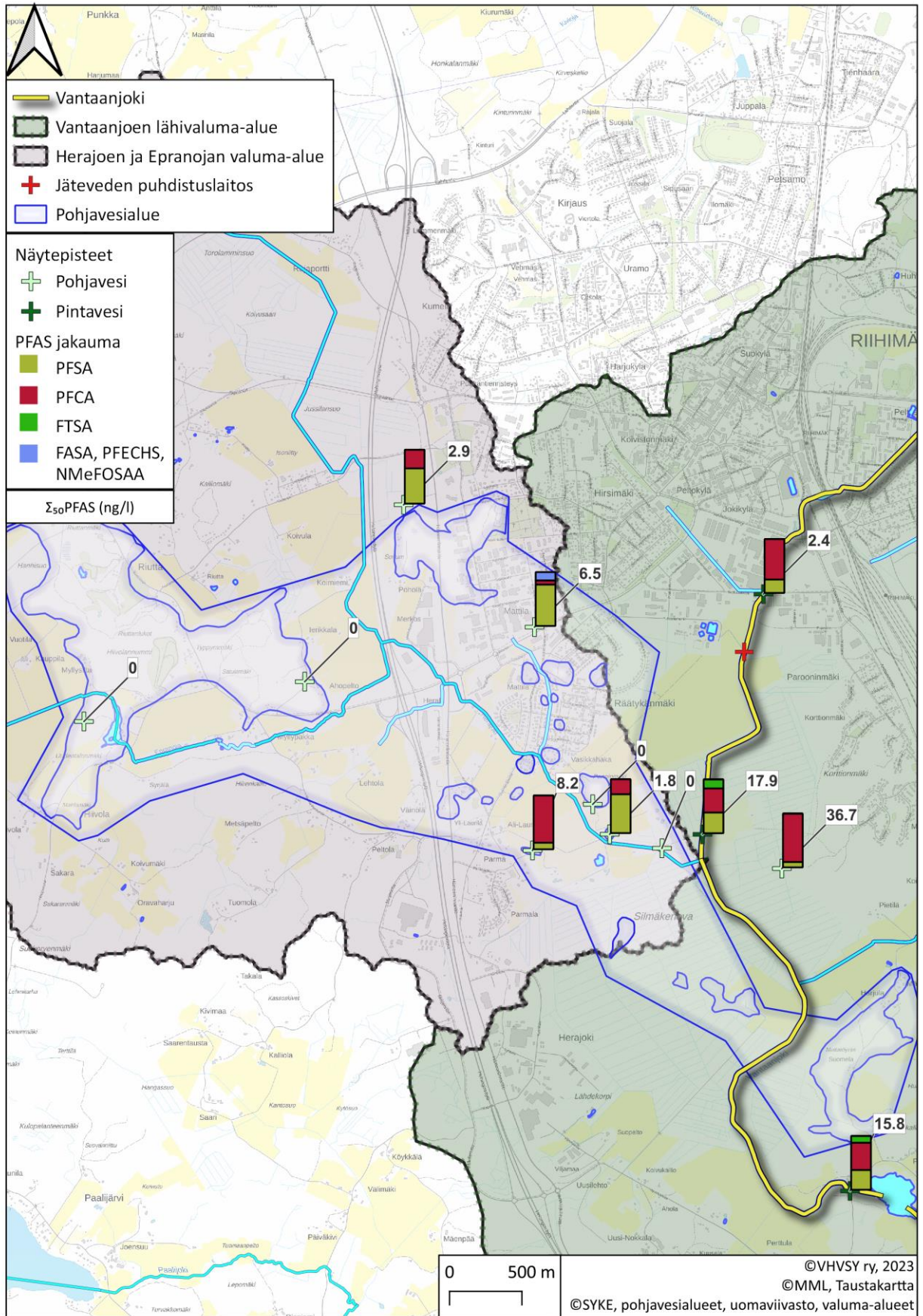
4.2 Herajoki, Riihimäki

Kesäkuu 2022

Kesäkuun näytekierroksella otettiin kolme pintavesinäytettä ja yhdeksän pohjavesinäytettä. Pohjavesinäytteistä pisteissä GTK112, GTK113, 5/96 ja 1/97 ei tavattu PFAS-yhdisteitä yhdistekohtaisia määrittäysrajoja ylittävinä pitoisuuksina. Näytepisteet GTK112 ja GTK113 sijaitsevat etäämmällä taajama-alueista Riutanharjun alueella ja pisteet 5/96 sekä 1/97 sijaitsevan Herajoen vedenottamon läheisyydessä (Kuva 6). Pohjavesinäytteiden Σ_{50} PFAS-pitoisuus vaihteli kesäkuun näytteissä välillä 0–36,7 ng/l, mutta pääosin pitoisuudet olivat alle 10 ng/l. Pohjavesinäytteistä korkein PFAS-pitoisuus todettiin havaintoputkessa 7/96, joka sijaitsee Korttionmäen vanhan kaatopaikan kupeessa. Pisteessä 7/97 Σ_{50} PFAS-pitoisuus muodostui enimmäkseen PFCA-ryhmään kuuluvista yhdisteistä PFPeA ja PFHxA, mutta myös pienemmissä määrin muista PFCA ja PFSA-yhdisteistä. PFAS-yhdisteryhmien välillä oli alueellista vaihtelua jopa hyvin lähellä toisiaan sijaitsevilla näytepisteillä. Herajoen vedenottoalueella ottamon kaivosta K5 oli matala Σ_{50} PFAS-pitoisuus, joka koostui yhdisteistä PFHxS, PFHxA ja PFOS. Samalla ottamoalueella 500 m lännessä sijaitsevassa Parmalan kaivossa todettiin suurempi Σ_{50} PFAS-pitoisuus, jonka muodostivat PFHxA, PFOA, PFHxS, PFPeA, PFHpA ja PFBA. Ottamoalueen lähellä putkissa 5/96 ja 1/97 ei havaittu PFAS-yhdisteitä.

Pohjoisempana, entisen Lasitehtaan vanhan kaatopaikan alueella sijaitsevassa havaintoputkessa 2/02 Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli matala ja koostui yhdisteistä PFOS, PFOA ja PFHxS. Mattilan teollisuusalueella sijaitsevassa havaintoputkessa 2/97 todettiin yhdisteitä PFOS, PFOA, PFHxS ja PFECHS, joiden summapitoisuus oli 6,5 ng/l.

Pintavesinäytteitä otettiin kolmesta Vantaanjoen pisteestä. Piste V93 sijaitsee Riihimäen Taajaman eteläpuolella 400 metriä Jätevedenpuhdistamolta ylävirtaan. Piste V91 sijaitsee Vantaanjoessa 1,5 km Riihimäen jätevedenpuhdistamolta alavirtaan Silmäkenevan ja Korttionmäen välisellä puusillalla. Piste V87,2 sijaitsee Arolamminkoskessa n. 3,5 kilometriä pisteestä V91 alavirtaan. Pintavesinäytteistä matalin Σ_{50} PFAS-pitoisuus todettiin pisteessä V93, joka koostui 75 % PFCA-ryhmän yhdisteistä ja 25 % yhdisteistä PFOS. Pisteissä V91 ja V87,2 PFAS-koostumus oli erilainen ja summapitoisuus oli huomattavasti korkeampi. Havaittujen yhdisteiden lukumäärä pisteissä oli 7 (V91) ja 8 (V87,2). PFCA-ryhmä muodosti 45–51 % kokonaispitoisuudesta, PFSA-ryhmä 37–39 % ja lisäksi havaittiin fluorotelomeeriryhmään (FTS) kuuluvaa yhdistettä 6:2 FTS, joka muodosti 13–17 % PFAS-summapitoisuudesta. Fluorotelomeereilla, on pyritty korvaamaan kiellettyjä PFAS aineita niiden vähemmän biokertyvyyden ja ekotoksisuuden takia, mutta niistä muodostuu tietyissä biokemiallisissa olosuhteissa muita PFAS-yhdisteitä (esim. Hoke ym. 2015).

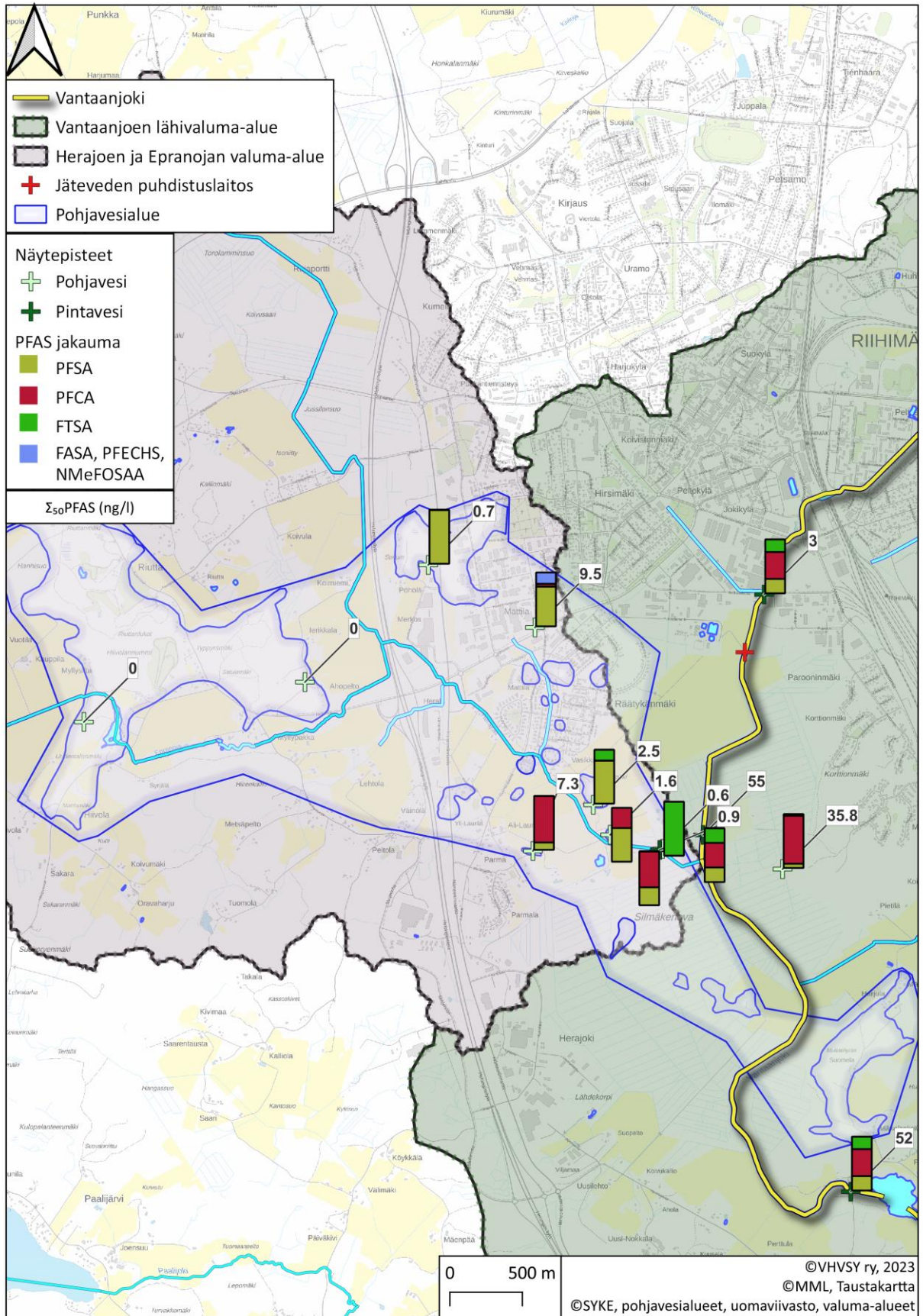


Kuva 6. Riihimäen vesinäytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 6.6.–14.6.2022 otetuissa näytteissä.

Elokuu 2022

Elokuussa otettiin neljä pintavesinäytettä ja yhdeksän pohjavesinäytettä (Kuva 7). Kahdessa pohjavesinäytteessä (GTK112 ja GTK113) kaikkien tutkittujen PFAS-yhdisteen pitoisuudet alittivat yhdistekohtaiset laboratorion määrittämät rajat. Pohjavesinäytteiden Σ_{50} PFAS-pitoisuudet olivat välillä 0–35,8 ng/l. Suurin pitoisuus havaittiin jälleen Korttionmäen kaatopaikan lähellä sijaitsevasta putkesta 7/96, jossa PFAS-koostumus oli pääosin hyvin samankaltainen kuin kesäkuussa, mutta PFBS-pitoisuus oli alle määrittämisen ja näytteessä havaittiin pieni pitoisuus PFECHS-yhdistettä (1 ng/l). Herajoen pohjavesialueen pohjoispuolella sijaitsevalle lasitehtaan kaatopaikan havaintoputkelle oli vaihdettu lukko, johon ei ollut avaimia saatavilla ja alueelta valittiin korvaavaksi putkeksi 450 metriä etelämpänä sijaitseva putki SK1, jossa Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli hyvin matala (0,7 ng/l), koostuen yhdisteistä PFOS ja PFHxS. Kesäkuusta poiketen havaintoputkissa 5/96 ja 1/97 havaittiin PFAS-yhdisteitä pieninä pitoisuuksina (Σ_{50} PFAS: 0,6 ja 2,5 ng/l). Piste 5/96 kohdalla tavattiin ainoastaan yhdistettä 6:2 FTS ja pisteessä 1/97 sen lisäksi myös yhdisteitä PFOS, PFHxS ja PFBS.

Pintavesinäytteitä otettiin kesäkuun tapaan kolmesta Vantaanjoen pisteestä ja lisäksi Herajoen alaosaan, hieman ennen Herajoen liittymistä Vantaanjokeen. Herajoen näytteessä (He0) havaittiin 0,6 ng/l PFOA:a ja 0,3 ng/l PFOS:a eikä muita PFAS-yhdisteitä. Vantaanjoen elokuun pintavesinäytteissä Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli selvästi suurempi kuin kesäkuussa. Ainoastaan Vantaanjoen ylimmässä pisteessä (V93) PFAS-pitoisuustaso oli kesäkuuta vastaava. Piste elokuun näytteessä ei havaittu yhdistettä PFHpA; sen sijaan havaittiin pieni pitoisuus (0,7 ng/l) yhdistettä 6:2 FTS. Muissa Vantaanjoen näytepisteissä Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli kolminkertainen kesäkuun tasoon nähden ja näytteissä havaittiin useampaa PFAS-yhdistettä. Erityisesti 6:2 FTS:n ja FTSA-yhdisteiden osuudet olivat suurempia kesäkuuhun verrattuna ja näytteissä havaittiin myös 5H-perfluoropentaanihappoa (5H-PFPeA), joka on polyfluorattu pentaanihappo.

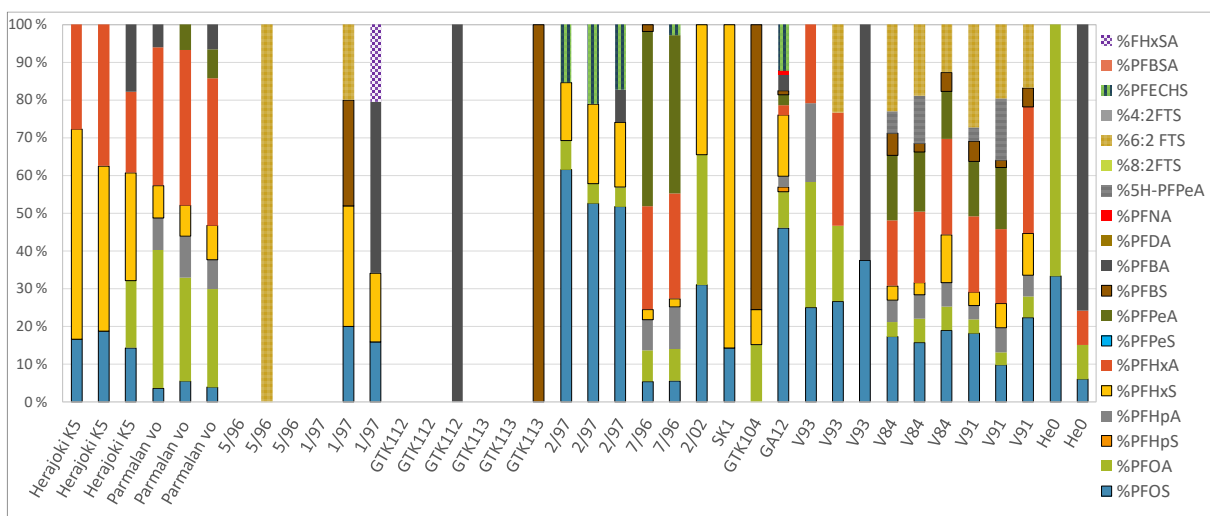


Kuva 7. Riihimäen vesinäytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 2.8.–3.8.2022 otetuissa näytteissä.

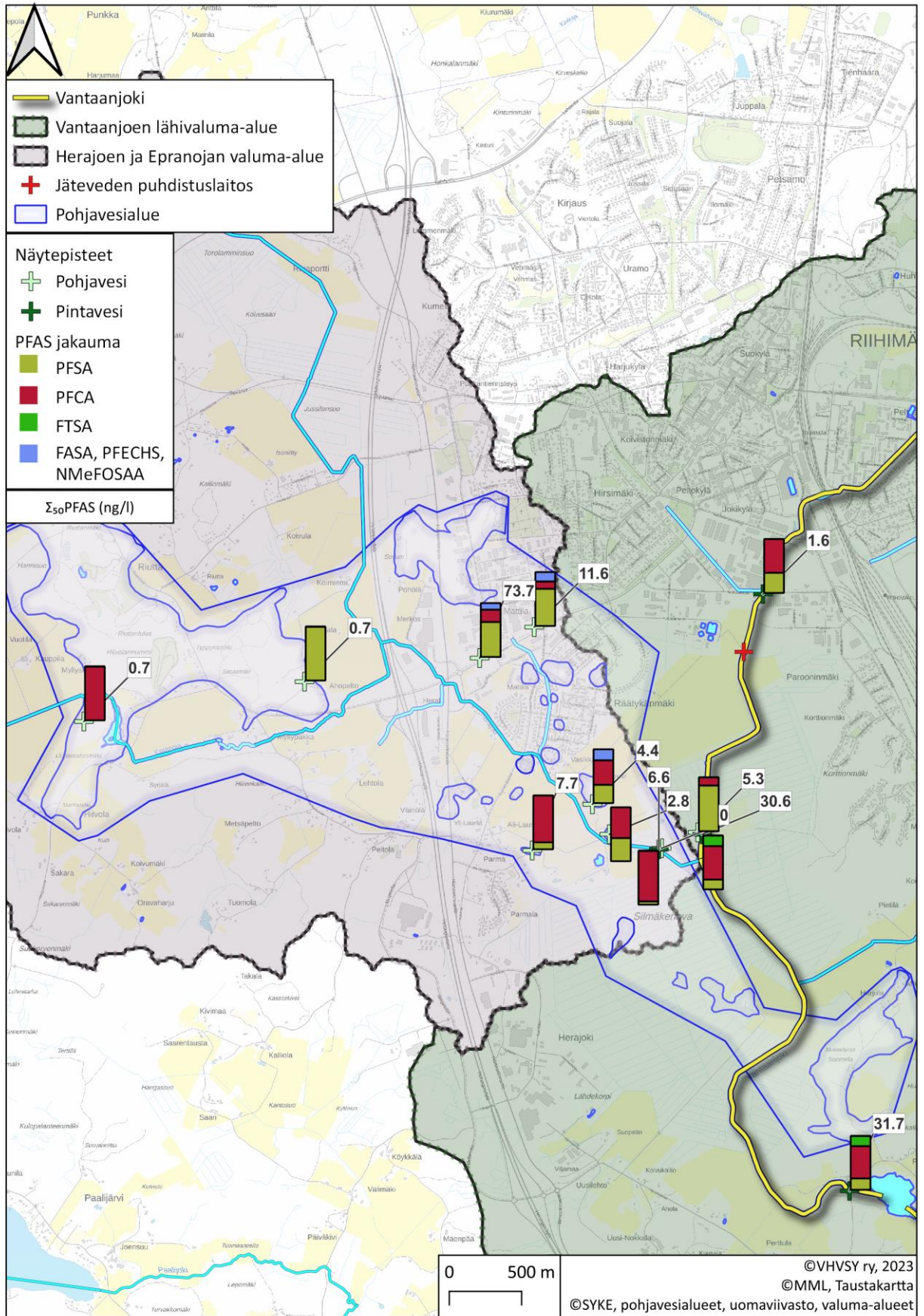
Lokakuu 2022

Lokakuussa Riihimäeltä otettiin 9 pohjavesinäytettä ja 4 pintavesinäytettä (Kuva 9). Ainoastaan havaintoputken 5/96 näytteessä ei havaittu PFAS-yhdisteitä. Korttionmäen kaatopaikan lähellä sijaitsevalle putkelle johtava tie oli tukossa lokakuussa ja näyte jäi ottamatta. Myöskään Herajoen pohjoispuolella sijainneita näytepisteitä ei enää käytetty lokakuun kierroksella. Niiden sijaan otettiin pohjavesinäyte aivan Vantaanjoen vieressä, uoman länsipuolella, sijaitsevasta havaintoputkesta GTK104 ja Mattilan teollisuusalueella, entisen huoltoaseman piha-alueella, sijaitsevasta putkesta (GA12), jossa havaittiin korkein Σ_{50} PFAS-pitoisuus kaikista Riihimäen näytteistä (73,7 ng/l). Havaintoputken GA12 näytteen PFAS-koostumus oli samankaltainen läheisen putken (2/97) kanssa, mutta kokonaispitoisuudet olivat huomattavasti suurempia ja yksittäisiä yhdisteitä havaittiin 11, kun putkessa 2/97 niitä oli 5. Aikaisemmin havaintoputkissa GTK112 ja GTK113 ei havaittu PFAS-yhdisteitä ja lokakuussa havaitut pitoisuudet olivat pieniä. Putkessa GTK112 havaittiin ainoastaan 0,7 ng/l PFBA:a ja putkessa GTK113 yhdistettä PFBS. Muissa pisteissä Σ_{50} PFAS-pitoisuudet kasvoivat hieman elokuuhun verrattuna ja keskimäärin tavattiin vähintään yksi useampi PFAS-yhdiste. Herajoen vedenottamon kaivossa, Parmalan alueen vedenottokaivossa, sekä vedenottamoalueen pohjoispuolella Penninmäen alueella sijaitsevassa havaintoputkessa 1/97, havaittiin perfluorobutaanihappoa (PFBA) ja perfluoro-1-heksaanisulfonamidia (PFHxSA). Perfluorobutaanihappoa ei aikaisemmissa näytteissä havaittu lukuun ottamatta Parmalan vedenottokaivon kesäkuun näytettä, jossa sen osuus oli samaa luokkaa. Yhdistettä havaittiin lokakuussa myös Herajoen pintavesinäytteessä 5 ng/l, jossa se muodosti 75 % koko näytteen Σ_{50} PFAS-pitoisuudesta. PFBA:a ei kuitenkaan havaittu aivan Herajoen näytepisteen vieressä sijaitsevasta havaintoputkesta 5/96 otetussa näytteessä.

Vantaanjoen ylimmässä pisteessä Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli jälleen selvästi alhaisin (1,6 ng/l) ja se koostui yhdisteistä PFOS ja PFBA. Alajuoksun puoleisissa pisteissä tavatut yhdisteet olivat samoja kuin elokuussa, vaikkakin hieman pienempinä pitoisuuksina pääosin. 5H-PFPeA:n osuus ja pitoisuus oli suurempi kuin elokuun näytteissä. Kuvassa 8 on esitettyä kaikki Riihimäen tutkimusalueen näytteet ja niiden PFAS koostumukset aikajärjestyksessä.



Kuva 8. Riihimäen tutkimusalueen vesinäytteiden PFAS-koostumukset. Näytteiden järjestys vaaka-akselilla: kesäkuu-elokuu-lokakuu. Kaikista pisteistä ei otettu näytettä kolmena ajankohtana.



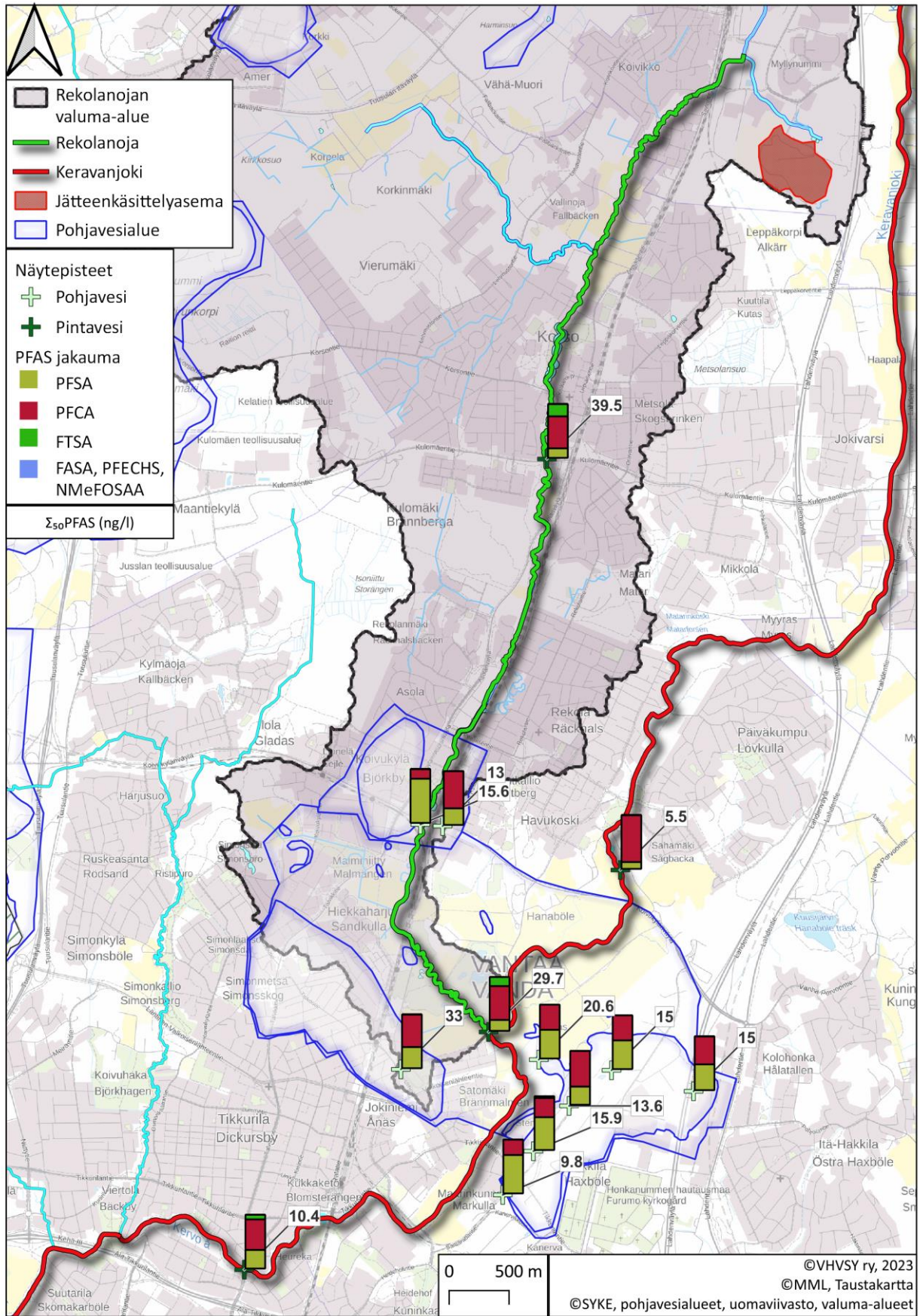
Kuva 9. Riihimäen vesinäytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 11.10.–12.10.2022 otetuissa näytteissä.

4.3 Rekolanoja, Vantaa

Touko-Kesäkuu 2022

Rekolanojan tutkimusalueen pohjavesinäytteet alkukesän kierroksella otettiin 17.5 ja 1.6.2022. Lisäksi yksi näyte otettiin heikkolaatuisesta havaintoputkesta (RF1/21) 14.6, koska putki jouduttiin tyhjentämään ja huuhtelupumppaamaan kahteen kertaan ennen pohjaveden laadun tasaantumista siinä. Pohjavesinäytteitä otettiin yhteensä 9 kpl, ja niiden Σ_{50} PFAS-pitoisuus vaihteli välillä 9,8–33 ng/l. Suurin Σ_{50} PFAS-pitoisuus todettiin Valkealähteen pohjavesialueella sijaitsevan Grönbergin varavedenottamon näytteessä (33 ng/l), jossa havaittiin yhteensä 8:aa eri PFAS-yhdistettä, joista suurin (61 %) osuus oli PFCA-yhdisteitä. Rekolanojan tutkimusalueen näytteistä useimmissa PFSA-luokan yhdisteet olivat suhteellisesti runsaampia kuin PFCA-luokan yhdisteet alkukesän näytekierroksella. Poikkeuksina havaintoputket 66-29, 104P ja 74-42, joissa tilanne oli toisinpäin. Runsaimmin tavatut PFAS-yhdisteet kierroksen näytteissä olivat PFOS ja PFHxS, joita tavattiin kaikissa näytteissä merkittävinä osuuksina. Pienempinä osuuksina kaikissa näytteissä oli myös PFCA-luokkaan kuuluvaa PFOA:a. Putken RF1/21 PFAS-koostumus oli alkukesän kierroksella muista poikkeava, sillä se muodostui ainoastaan yhdisteistä PFOA ja PFOS. Kaikissa muissa näytteissä, paitsi RF1/21:ssä havaittiin myös PFHxA:a.

Pintavesinäytteitä otettiin neljä kappaletta 30.5.2022, joista kaksi Rekolanojasta ja kaksi Keravanjoesta ennen ja jälkeen Rekolanojan liittymistä siihen. Rekolanojan näytteenottojen yhteydessä mitattiin myös ojan virtaamat Sontek FlowTracker® -käsikäyttöisellä akustisella doppler-nopeusmittarilla. Keravanjoen yläjuoksun puoleisen pisteen (Ke12) kohdalla sijaitsee Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä Virtaamamittausasema (Hanala). Pintavesinäytteiden Σ_{50} PFAS-pitoisuudet vaihtelivat välillä 5,5–39,5 ng/l. Keravanjoen näytteissä todettiin matalammat PFAS-pitoisuudet kuin Rekolanojassa. Matalin pitoisuus todettiin Hanalan mittausaseman viereisessä näytepisteessä ja näytteessä havaittiin kuutta PFAS-yhdistettä, joista 87 % kuului PFCA-luokkaan. Keravanjoen alajuoksun piste (Ke5,5) sijaitsee Ala-Tikkurilassa Kielotien sillan alla ja tässä pisteessä Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli 10,4 ng/l muodostuen kuitenkin yhdeksästä eri PFAS-yhdisteestä, joista suurin osa kuului PFCA-luokkaan. Lyhythiiliketjuiset (alle seitsemän hiiliatomia, <C₇) PFCA-yhdisteet olivat selkeästi yleisempiä sekä pintavesissä, että pohjavesissä. Rekolanojasta otetuissa vesinäytteissä havaittiin kymmentä eri PFAS-yhdistettä, joista lyhytketjuiset PFCA-yhdisteet muodostivat suurimman osan. Rekolanojan näytteiden PFAS-koostumus oli hyvin samankaltainen molemmissa pisteissä, mutta yläjuoksulla sijainneen pisteen Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli selkeästi korkeampi ja sisälsi suhteessa runsaammin 6:2 FTS:a. Rekolanojan näytepisteiden sijainnit, touko-kesäkuussa havaitut Σ_{50} PFAS-pitoisuudet sekä PFAS-yhdisteiden jakaumat on esitettyinä Kuvassa 10.

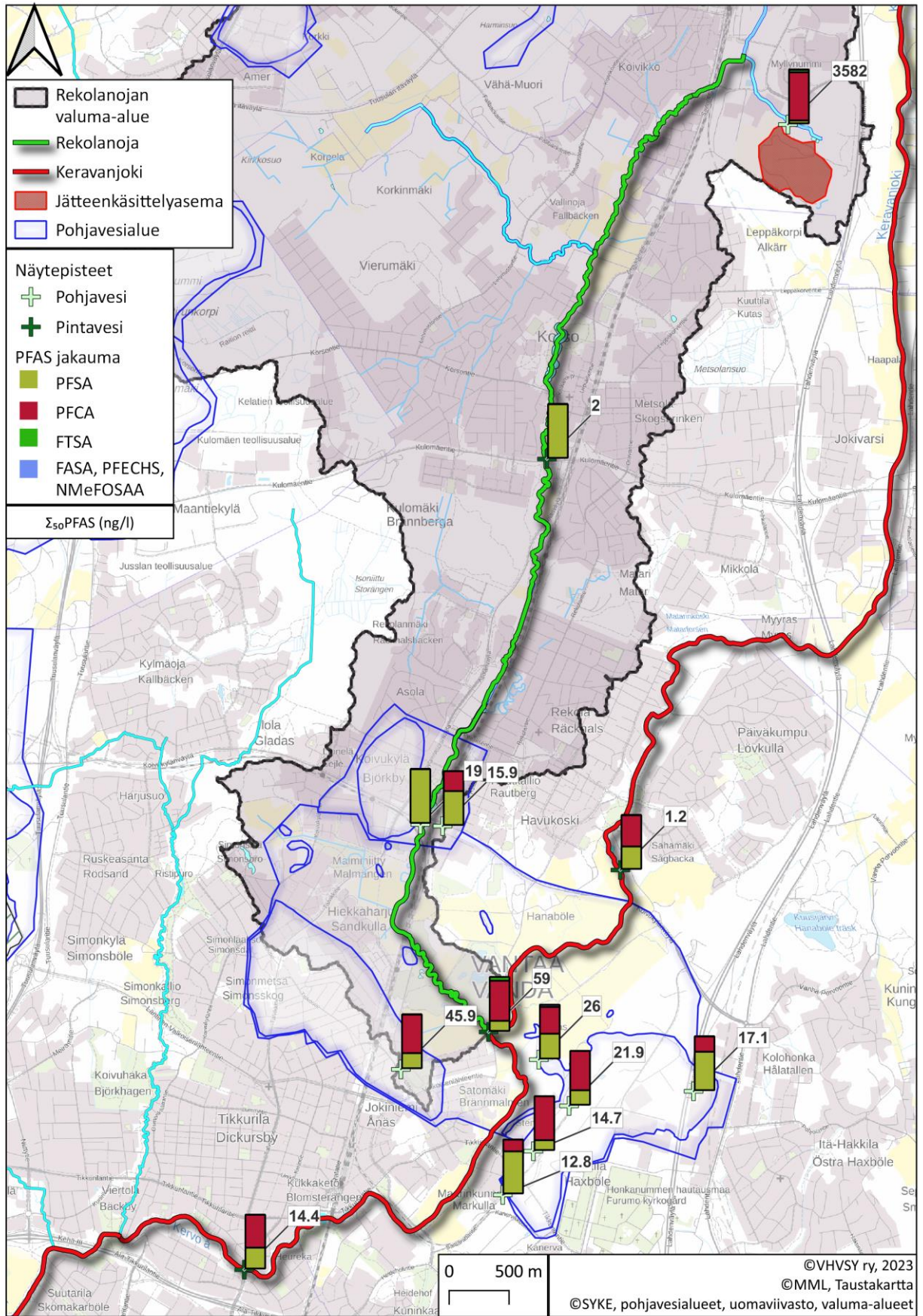


Kuva 10. Rekolanojan vesinäytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 17.5.–14.6.2022 otetuissa näytteissä.

Elokuu 2022

Elokuussa Rekolanojan tutkimusalueelta otettiin 9 pohjavesinäytettä ja 4 pintavesinäytettä (Kuva 11). Putkesta RF1/21 jätettiin näyte ottamatta ja yksi pohjavesinäytepiste otettiin Rekolanojan valuma-alueen pohjoisosasta, pohjavesialueiden ulkopuolelta, Savion jätehuoltoalueella entisen kaatopaikan pohjoispuolelta (KERCA U7). Savion entisellä kaatopaikalla suoritetaan hulevesien ja pinta- sekä pohjavesien tarkkailua, jossa vuonna 2022 otettiin PFAS-näytteitä kaatopaikalta pois päin virtaavista ojista maaliskuussa, huhti-, elo- ja syyskuussa (Finnish Consulting Group, 2023). Pohjavesistä ei otettu PFAS-näytteitä tässä erillisessä tarkkailussa. Ojavesissä sen sijaan oli paikoin mm. huomattavia PFOS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOA, 6:2FTS, PFHpA, PFBS, PFHxS ja PFNA-pitoisuuksia. Savion jätehuoltoalue ei ole luokitellulla pohjavesialueella, mutta sieltä alkunsa saavat puurot liittyvät Rekolanojaan, joka on yhteydessä pohjaveteen Valkealähteen ja Koivukylän pohjavesialueilla. Pohjaveden havaintoputki KERCA U7 sijaitsee lähes suoraan entiseltä kaatopaikalta virtaavan ojan kohdalla ja ulottuu kuuden metrin syvyyteen. Kyseisessä havaintoputkessa havaittiin erittäin korkea Σ_{50} PFAS-pitoisuus (3582 ng/l), joka koostui 16 eri yhdisteestä. Lyhytkejuiset PFCA-yhdisteet (PFBA, PFPeA ja PFHxA) muodostivat yli 79 % PFAS yhdisteiden kokonaispitoisuudesta näytteessä, mutta muihinkin luokkiin kuuluvia yhdisteitä oli huomattavan suurina pitoisuuksina, esimerkiksi fluoritelomeerisulfonaatteja (FTS). Grönbergin varavedenottamolta otetussa näytteessä oli jälleen muita Valkealähteen ja Koivukylän näytteitä selvästi suurempi Σ_{50} PFAS-pitoisuus koostuen yhdeksästä eri yhdisteestä. Erityisesti PFOA:n ja lyhytkejuisten PFCA-yhdisteiden pitoisuudet olivat hieman suurempia kuin toukokuussa. Hakkilan teollisuusalueella kierrätysyhtiö Stena recycling Oy:n kaivosta otetussa näytteessä oli elokuussa erilainen PFAS-koostumus toukokuuhun verrattuna. PFOS:n pitoisuus oli huomattavasti matalampi ja näyte sisälsi enemmän lyhytkejuisia PFCA-luokan yhdisteitä. Myös Valkealähteen varavedenottamon näytteen Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli hieman suurempi kuin toukokuussa ja sisälsi runsaammin lyhytkejuisia PFCA-luokan yhdisteitä ja lisäksi myös PFECHS:a. Koivukylän varavedenottamollakin Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli suurempi kuin toukokuussa, ja se koostui pelkästään neljästä PFSA-yhdisteestä, josta suurin osa oli lyhytkejuista PFHxS:a. Havaintoputken HP2/22 PFAS-koostumus oli myös hieman erilainen toukokuuhun verrattuna; PFCA-luokan yhdisteiden osuus oli pienentynyt 23 prosenttiyksikköä ja vastaavasti PFSA-yhdisteiden osuus oli 23 prosenttiyksikköä. Putkessa 66-29 Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli suurempi kuin kesäkuussa, mutta PFAS-koostumus oli samankaltainen koostuen samoista yhdisteistä. Koivukylän pohjavesialueella sijaitsevan havaintoputken 74 42 PFAS koostumus oli myöskin erilainen kuin kesäkuussa. PFSA-luokan yhdisteiden osuus oli kasvanut 32 prosenttiyksikköä ja vastaavasti PFCA-luokka laskenut saman verran.

PFAS-yhdisteiden summapitoisuudessa Rekolanojan näytepisteiden Re6,3 ja Re0 välillä oli elokuussa huomattava ero. Ylävirran puoleisen pisteen Re6,3 PFAS-summapitoisuus oli 2 ng/l, kun alavirran puoleisessa pisteessä se oli 59 ng/l. Ylävirran puoleinen näyte sisälsi ainoastaan PFOS:a ja alavirran näytteessä oli tämän lisäksi yhdeksää muutakin yhdistettä, erityisesti PFCA-yhdisteitä ja myös 6:2FTS:a. Keravanjoen näytteissä jälleen alavirran puoleisen näytteen Σ_{50} PFAS-pitoisuus (14,4 ng/l) oli jälleen suurempi kuin ylävirran (1,2 ng/l). Ylävirran näytteessä havaittiin ainoastaan PFOA:a ja PFOS:a, kun alavirran näytteessä oli näiden lisäksi seitsemää muutakin yhdistettä, erityisesti lyhytkejuisia PFCA-luokan yhdisteitä.



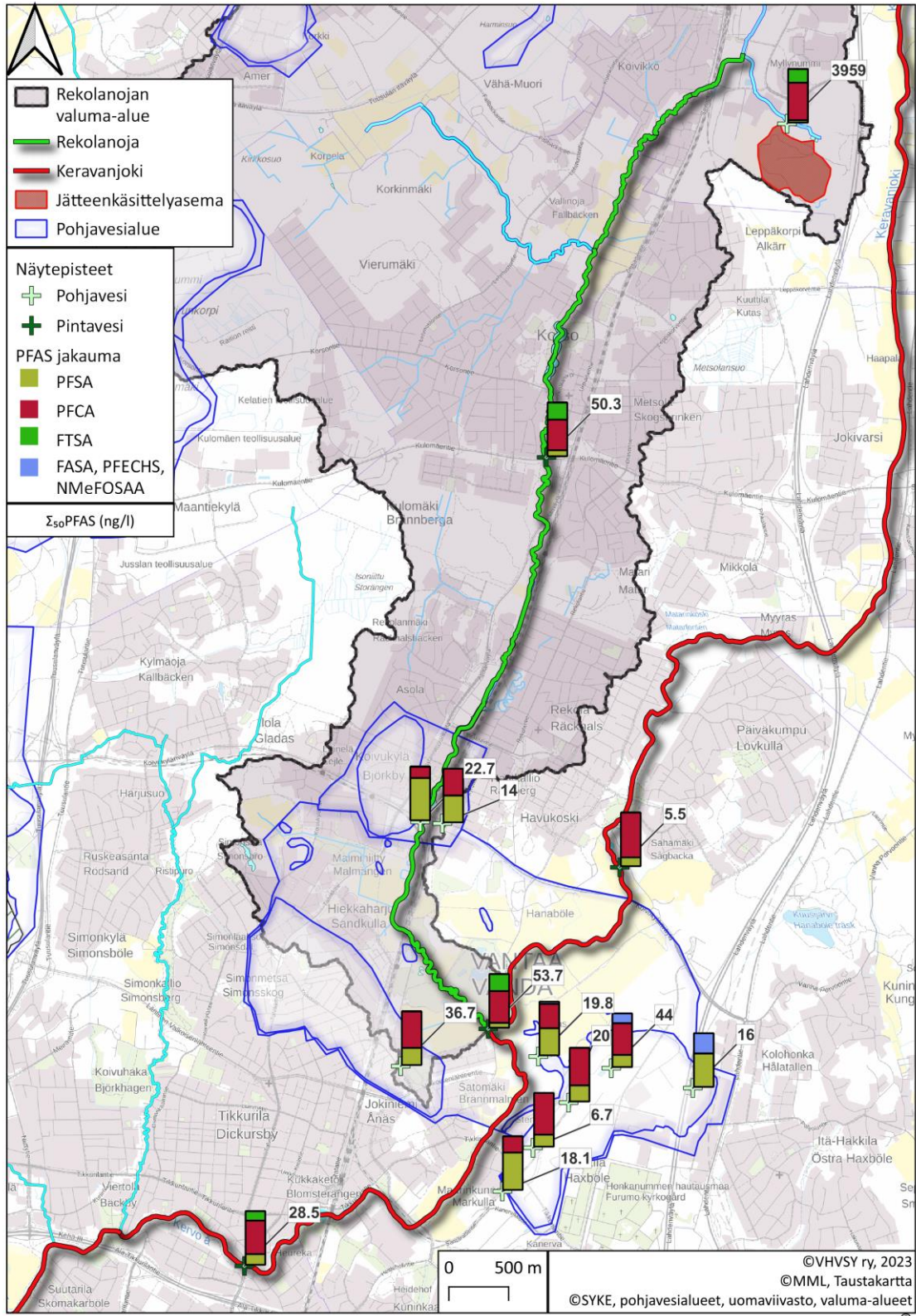
Kuva 11. Rekolanojan vesinäytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 16.8.–22.8.2022 otetuissa näytteissä.

Lokakuu 2022

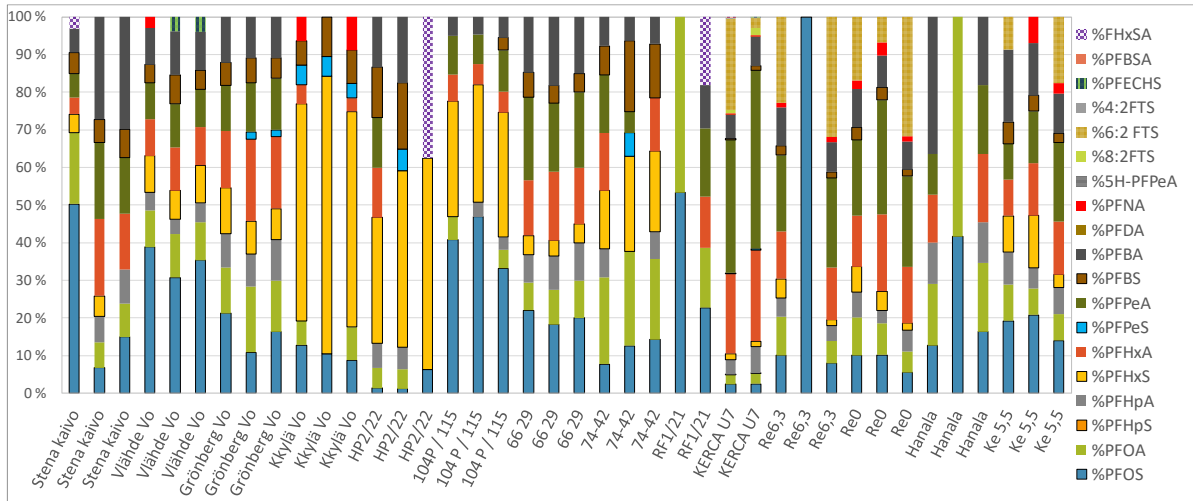
Lokakuun näytekierroksella otettiin 10 pohjavesinäytettä ja 4 pintavesinäytettä 18.10.–26.10.2022 (Kuva 12). Uusia näytepisteitä ei tullut mukaan lokakuun kierroksella. Pohjavesinäytteiden \sum_{50} PFAS-pitoisuudet vaihtelivat välillä 6,7–3959 ng/l. Suurin pitoisuus todettiin jälleen Savion jätehuoltoalueen havaintoputkessa KERCA U7, jossa tavattiin 18:aa eri PFAS-yhdistettä. Yksittäisistä yhdisteistä suurimmat pitoisuudet todettiin PFPeA:lla ja 6:2FTS:lla, jonka pitoisuus (960 ng/l) oli kymmenen kertaa suurempi kuin elokuussa (95 ng/l). Myös PFHxA:n pitoisuus oli hyvin suuri (870 ng/l). Lokakuussa putkesta otetussa näytteessä havaittiin myös pienet pitoisuudet perfluorattujen alkyylisulfonamidien (FASA) luokkaan kuuluvia yhdisteitä PFBSA ja FHxSA. Stena recycling Oy:n kaivossa, Valkealähteen pohjavesialueen varavedenottamoilla \sum_{50} PFAS-pitoisuudet olivat hieman matalampia kuin elokuussa. Pisteissä havaitut yhdisteet olivat samoja kuin elokuussa, ja suunnilleen samansuuruisina prosenttiosuuksina. Koivukylän varavedenottamolla \sum_{50} PFAS-pitoisuus oli hieman suurempi kuin elokuussa ja havaitut seitsemän PFAS-yhdistettä olivat samoja kuin toukokuussa samansuuruisina osuuksina. Koivukylän varavedenottamon lähellä, Rekolanajan toisella puolella sijaitsevassa havaintoputkessa 74 42 \sum_{50} PFAS-pitoisuus oli pysytellyt aiemmalla tasollaan, mutta pisteen PFAS-koostumuksessa oli hieman vaihtelua. Putken RF1/21 \sum_{50} PFAS-pitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin kesäkuussa otetussa näytteessä, minkä lisäksi näytteen PFAS-koostumus oli erilainen. Kesäkuussa havaittujen PFOS:n ja PFOA:n lisäksi tavattiin muita lyhytketjuisia PFCA-yhdisteitä sekä myös FHxSA:a, jonka osuus oli 18 %. St1 Oy:n ja Remeo Oy:n yhteisestä havaintoputkesta HP2/22 otetuissa näytteissä \sum_{50} PFAS-pitoisuus pysytteli samansuuruisena jokaisella näytteenottokerralla, mutta eri yhdisteiden havainnot vaihtelivat jonkin verran. Lokakuun kierroksella näytteessä havaittiin ainoastaan PFOS:a, PFHxS:a ja FHxSA. Hakkilan teollisuusalueella sijaitsevien pohjavesiputkien 66-29 ja 104P osalta \sum_{50} PFAS-pitoisuus oli lokakuussa samansuuruisen kuin aiemmin ja PFAS-koostumuskin vastasi aiempia, sillä poikkeuksella että putkessa 104P ei esiintynyt lokakuussa PFOA:a, mutta sen sijaan PFHxA:a.

Pintavesinäytteissä huomattavin eroavaisuus aiempiin tuloksiin nähden oli Rekolanajan ja Keravanjoen alajuoksun näytteissä lisääntyneen 6:2FTS:n osuus. Myös summapitoisuus oli kasvanut Rekolanajan yläjuoksun pisteessä ja Keravanjoen alajuoksun pisteessä. Rekolanajan alajuoksun pisteessä \sum_{50} PFAS-pitoisuus oli myöskin edelleen korkeahko, ei tosin ihan elokuun tasolla. Keravanjoen yläjuoksun pisteessä PFAS pitoisuus ja koostumus oli samanlainen, kun toukokuun lopun näytteessä.

Kuvassa 13 on esitettyinä kaikkien Rekolanajan tutkimusalueen näytteiden PFAS koostumukset aikajärjestyksessä.



Kuva 12. Rekolan veden näytteiden PFAS-yhdisteiden jakaumat sekä summapitoisuudet 18.10.–26.10.2022 otetuissa näytteissä.



Kuva 13. Rekolanojan tutkimusalueen vesinäytteiden PFAS-koostumukset. Näytteiden järjestys vaaka-akselilla: Touko-/kesäkuu-elokuu-lokakuu. Kaikista pisteistä ei otettu näytettä kolmena ajankohtana.

Virtaamamittaukset Rekolanojalla

Rekolanojan tutkimusalueella tehtiin näytteenottojen yhteydessä virtaamamittauksia PFAS-kuormituksen arvioimiseksi käsikäyttöisellä Sontek Flowtracker mittalaitteella. Lisäksi Keravanjoen ylävirranpuoleisessa pisteessä (Ke12) sijaitsee Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä virtaamamittausasema, jonka tuloksia pyrittiin hyödyntämään kuormituksen arvioinnissa. Virtaamat olivat suurimmillaan toukokuun lopulla sekä lokakuun alun mittauksissa ja elokuussa selkeästi pienempiä (Taulukko 3). Hanalan mittausasemalla (Ke12) virtaama lokakuussa vaikuttaisi olleen poikkeuksellisen pieni verrattuna samaan aikaan Rekolanojalla mitattuihin virtaamiin, vain kymmenesosa toukokuun virtaamasta, vaikka Rekolanojalla virtaama oli samaa suuruusluokkaa. $\sum_{50}PFAS$ -pitoisuudet olivat suurimmillaan lokakuussa, mutta Rekolanojan alajuoksun pisteessä mitattiin korkein pitoisuus elokuussa. Arvioitu PFAS-kuormitus oli näin ollen myös suurimmillaan lokakuussa, paitsi pisteessä Ke12, jossa virtaamamittausaseman mittaama lukema on luultavasti vääränsuuruinen. Vuorokausikohtainen PFAS-kuormitus pisteissä vaihteli välillä 0,021–3,34 g/vrk.

Taulukko 3. Rekolanojassa tehtyjen virtaamamittausten ja Keravanjoessa sijaitsevan virtaamamittausaseman tuloksia hyödyntämällä saatu arvio vuorokausikohtaisesta PFAS-kuormituksesta näytepisteissä.

		30.5.2022	22.8.2022	7.10.2022
virtaama m ³ /s	Re6,3	0,4162	0,1207	0,4445
	Re0	0,7487	0,1485	0,7203
	Ke12	3,7	0,75	0,38
$\sum_{50}PFAS$ ng/l	Re6,3	39,5	2	50,3
	Re0	29,7	59	53,7
	Ke12	5,5	1,2	5,5
Kuormitus g/Vrk	Re6,3	1,42	0,02	1,93
	Re0	1,92	0,76	3,34
	Ke12	1,76	0,08	0,18

5 Johtopäätökset

Riihimäen alueella PFAS-pitoisuudet erityisesti pohjavesissä olivat pienempiä kuin Rekolanajan tutkimusalueella ja korkeimmat pitoisuudet tavattiin havaintoputkista, joiden läheisyydessä on eri tavoin pilaantunutta maa-ainesta (7/96 ja GA12). Riihimäeltä otettujen pohjavesinäytteiden joukossa oli myös näytteitä, joissa ei havaittu PFAS-yhdisteitä ollenkaan kesäkuun ja lokakuun näytteissä. Pintavesissä havaittiin kohonneita PFAS-pitoisuuksia Vantaanjoen näytteissä, erityisesti Riihimäen jätevedenpuhdistamon purkuputken alavirranpuoleisissa näytteissä. Herajoen pintavesinäytteessä havaittiin lokakuussa verrattain runsaasti PFBS:a, jonka pitoisuus oli myös koholla muutamassa Herajokea lähellä sijaitsevassa pohjavesinäytteessä. Pintavesi- ja pohjavesitulosten vertailun perusteella ei suoraan voi päätellä PFAS-yhdisteiden kulkeutumista pintavedestä pohjaveteen tai toisinpäin. Herajoen vedenottamon kaivoissa on kuitenkin havaittu pintavesivaikutusta aiemmin (Kivimäki ym. 2013), joten mikäli Herajoessa on liuenneena PFAS-yhdisteitä, niiden päätyminen vedenotto-kaivoihin saattaa olla mahdollista. Herajoen on todettu olevan etenkin yläjuoksultaan voimakkaasti pohjavesivaikutteinen ja alivirtaamakaudella pohjaveden osuus joen virtaamasta on suuri. PFAS-pitoisuudet pohjavesinäytteissä Herajoen valuma-alueen latvaosien alueelta (GTK112, GTK113, SK1 ja 2 /02) olivat kuitenkin hyvin pieniä eikä niitä edes havaittu kaikissa näytteissä. Vantaanjoen PFAS-pitoisuuksiin nähden Herajoessa pitoisuudet olivat kuitenkin hyvin pieniä.

Riihimäen jätevedenpuhdistamolta todettiin jo Vantaanjoen PFAS-hankkeessa (Junttila ym. 2021) päätyvän runsaasti PFAS-yhdisteitä Vantaanjokeen, mutta nyt tehdyillä selvityksillä saatiin tietoa aiemmin tutkimatta jääneistä yhdisteistä. Vantaanjoen PFAS-hankkeessa havaittiin Riihimäen jätevedenpuhdistamolle tulevan ja puhdistamolta lähtevän, puhdistetun jäteveden, PFAS-koostumuksissa ja pitoisuuksissa eroa, jonka arveltiin johtuvan joko tulevassa jätevedessä olevien PFAS-prekursoryhdisteiden (esiaste) läsnäololla, tai siitä että tulevan jäteveden ja lähtevän jäteveden näytteiden oletettiin edustavan eri jätevesijakeita puhdistusprosessin veden viipymästä johtuen. 6:2 fluoritelomeerisulfonaatin (6:2 FTS) on osoitettu muuttuvan hitaasti jätevesipuhdistamojen aktiivilietteessä mikrobiologisissa prosesseissa pysyviksi lopputuotteiksi PFHx:ksi ja PFPeA:ksi (mm. Wang ym. 2010). Mikäli jätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä on 6:2FTS:a, voi se mahdollisesti muuttua puhdistusprosessissa PFHxA:ksi ja PFPeA:ksi, jolloin niiden pitoisuuden nousu puhdistetussa jätevedessä johtuisi osittain tästä kuten on arveltukin. Nyt suoritetuilla näytteenotoilla pystyttiin ainakin osoittamaan 6:2FTS:n pitoisuuden lisääntyneen Vantaanjoessa Riihimäen jätevedenpuhdistamon purkuputken alapuolisissa näytteissä ja sen voisi olettaa olevan peräisin jätevedenpuhdistamolta tulevasta vedestä. Fluoritelomeerien mahdollista alkuperäistä lähdettä tulevassa jätevedessä on hyvin vaikeaa selvittää.

Rekolanajan tutkimusalueella PFAS-pitoisuudet olivat korkeampia niin pohjavesissä kuin pintavesissäkin. Tutkimusalue on huomattavasti tiheimmin asutettua ja ollut paikoin raskaamman teollisuuden käytössä vuosikymmenten ajan. Pohjavesinäytteistä suurin osa otettiin Rekolanajan valuma-alueen eteläpuolella sijaitsevalta Valkealähteen pohjavesialueelta, koska suurin osa Rekolanajan valuma-alueesta on luokitellun pohjavesialueen ulkopuolella eikä havaintoputkiverkosto näin ollen ollut tasaisesti koko aluetta kattava. Keravalla sijaitsevan Savion kierrätyspuiston alueella pohjaveden havaintoputkiverkosto on kuitenkin hyvin kattava alueella toimintaa harjoittavien yritysten ympäristölupavelvoitteista johtuen. Rekolanajan

alueelta tehdyt pohjaveden PFAS-tutkimukset painottuivat lähinnä melko suppeille alueille varsinaisen valuma-alueen eteläpuolelle ja pohjois-keskiosiin.

Koivukylän pohjavesialueelta otetuissa pohjavesinäytteissä ei esiintynyt suurta vaihtelua PFAS-yhdisteiden kokonaispitoisuuksissa tai PFAS-yhdisteiden jakaumassa, vaikka Rekolanon näytteissä vaihtelu olikin suurta. Koivukylän pohjavesinäytteissä havaitut PFAS-yhdisteet olivat pääosin PFSA-luokkaan kuuluvia, kun Rekolanon pintavesinäytteissä havaittiin enimmäkseen PFCA- ja FTS-luokkaan kuuluvia yhdisteitä. Alueen pohjavesinäytenpisteet sijaitsevat 15–135 metrin päästä Rekolanon omaa molemmin puolin. Varavedenottamon kaivo sijaitsee lähempänä Rekolanon ja siinä tavattiin hieman korkeampia PFAS-pitoisuuksia kuin etäämmällä sijaitsevasta havaintoputkesta 74 42 otetuissa näytteissä. Rekolanon elokuussa otetuissa näytteissä huomiota herätti se, että yläjuoksun pisteessä Σ_{50} PFAS-pitoisuus oli poikkeuksellisen pieni (2 ng/l), kun alajuoksun pisteessä se oli huomattavasti korkeampi (59 ng/l). Tämä voisi viitata PFAS-lähteeseen pisteiden välisellä alueella, johonkin tuntemattomaksi jääneeseen virhelähteeseen. Elokuun näytteenottopäivän aamu ja edeltävä yö olivat sateisia. Näytettä otettaessa yläjuoksun pisteeltä satoi, mutta sade oli jo laantunut alavirran pisteen näytteenottohetkellä, jolloin myös huuhtoumalla tai sen laimentavalla vaikutuksella on voinut olla osuutta tuloksiin.

Valkealähteen ja Grönbergin varavedenottamoiden näytteiden PFAS-profiileissa ja Valkealähteen pohjavesialueella yleisestikin pohjavesinäytteet sisälsivät enemmän PFCA-ryhmän yhdisteitä kuin PFSA-ryhmän yhdisteitä verrattuna Koivukylän näytteisiin. Hakkilan teollisuusalueen pohjavesinäytteissä esiintyi jonkin verran alueellista vaihtelua ja erityisesti saman pisteen eri näytteiden välillä. PFAS-koostumus eri vuodenaikoina otetuissa näytteissä vaihteli selkeimmin näytenpisteissä, joiden alueella harjoitetaan aktiivista toimintaa. Näytenpiste Stena kaivo esimerkiksi on kaivo, jonka vettä käytetään säännöllisesti vähäisiä määriä läheisen yrityksen tarpeisiin, mutta ei juomavedeksi ja oletettavasti veden vaihtuvuus pisteessä on suurta. Muissa näytenpisteissä, joissa pohjavedessä esiintyvät PFAS-yhdisteet vaihtelivat huomattavasti olivat piste RF1/21 ja HP2/22, joista ensimmäinen sijaitsee kiviaineksen varastointi- ja louhintatoimintaa harjoittavan yrityksen lähellä pohjaveden virtaussuunnassa alavirran puolella ja jälkimmäinen jätteidenkäsittelylaitoksen ja bioetanolihtaan läheisyydessä, jossa myöskin on paljon aktiivisuutta ja pohjaveden laadussa on muutenkin havaittu merkittäviä laadunvaihteluita (Turtiainen, H. ja Kivimäki, A.-L., 2021). Tulosten perusteella Pohjavedessä Hakkilan alueella on laajasti erilaisia PFAS-yhdisteitä, joiden pitoisuudet kuitenkin vaihtelevat paikoin ajallisesti huomattavasti.

Rekolanon valuma-alueen pohjoisosissa sijaitsevan Savion jätteidenkäsittelylaitoksen alueella on toiminut Keravan kaupungin kaatopaikka, Lassila & Tikanoja Oyj:n jätteiden läjitys- ja käsittelyalue sekä pilaantumattomien maiden varastointi ja loppusijoituspaikka. Kaupungin entisen kaatopaikan pohjaa ei aikanaan ole vesieristetty, sen sijaan kaatopaikan viereisen maanainesten läjitysalueen pohja on vesieristetty. Jätehuoltoalueen säännöllisen pinta- ja pohjavesitarkkailujen perusteella entisen kaatopaikan vaikutus on havaittavissa pintaveden lisäksi alueen maaperässä esiintyvässä pohjavedessä kuin myös kalliopohjavedessä. Vuonna 2022 alueen pintavesitarkkailuohjelmaan oli lisätty PFAS-yhdisteiden tarkkailu, josta saatujen huolestuttavien tulosten perusteella myös pohjavedessä oletettiin esiintyvän korkeita PFAS-pitoisuuksia. Savion kaatopaikka-alueelta päätyy runsaasti PFAS-yhdisteitä alueelta poisvirtaavaan ojaan, josta yhdisteet päätyvät edelleen Keravanjokeen ja Vantaanjoen

alajuoksulle. Havaintoputki, josta tämän alueen näytteet otettiin (KERCA U7), sijaitsee Keravan kaupungin entisen kaatopaikan ja maa-ainesten läjitysalueen alueelta vesiä purkavan puron varrella, josta vedet lopulta virtaavat Rekolanojaan. Alueella on myös muuta jätteiden kierrätystoimintaa ja hieman pohjoisempana on toiminut tai on edelleen toiminnassa mm. kumi- ja muoviteollisuutta, joiden osuutta Rekolanojan PFAS-kuormitukseen tulisi pyrkiä selvittämään.

Kaatopaikan jätetäyttö on myös palanut useampaan kertaan esimerkiksi 2000-luvun alkupuolella ja jätekasan sammutuksessa on mahdollisesti voitu käyttää sammutusvaahdoita, joita on voinut päätyä jätekasan läpi purkautuviin vesiin. Alueen pohjavesinäytteessä havaittiin erittäin runsaasti erityisesti PFCA-ryhmään kuuluvia PFPeA ja PFHxA sekä myös FTS-ryhmään kuuluvaa 6:2 FTS, jonka lopullisia hajoamistuotteita aiemmin mainitut ovat. PFAS-yhdisteitä on käytetty hyvin monenlaisissa sovelluksissa, esimerkiksi PFOS oli yleinen ainesosa mm. sammutusvaahdoissa ennen vuotta 2011, jolloin sen käyttö kiellettiin niissä. Tämän jälkeen on siirrytty korvaaviin yhdisteisiin, jotka ovat olleet lyhyemmän hiiliketjun poly- ja perfluorattuja yhdisteitä. Näiden korvaavien sammutusvaahdossa käytettyjen komponenttien on osoitettu muuttuvan ympäristössä mm. 6:2FTS:ksi (Zhang, 2016) tai sisältävän ainesosana jo suoraan 6:2 FTS:a (Field ja Seow, 2017). PFAS-yhdisteiden käyttöä rajoittamalla on luotu uusia fluorattuja yhdisteitä, joiden on ajateltu olevan vähemmän haitallisia, mutta joiden käyttäytymistä eri ympäristöissä ei välttämättä ole tutkittu tarpeeksi. Kaatopaikka-alueen pohjavesinäytteissä oli suuria pitoisuuksia 6:2 FTS:a, jonka pitoisuus oli myös koholla Rekolanojan pintavesinäytteissä. Savion kaatopaikka-alueelta näyttäisi päätyvän Vantaanjoen vesistöön runsaasti PFAS-yhdisteitä ja PFAS-yhdisteitä on myös ainakin paikallisesti päätenyt runsaasti myös pohjavesiin. Jätteenkäsittelyalueen lounais-eteläpuolella sijaitsee myös puro, joka virtaa Keravanjokeen suoraan kuljettaen mahdollisesti myös PFAS-yhdisteitä. PFAS-yhdisteiden levinneisyyttä alueen pohjavesissä olisi syytä pyrkiä selvittämään tarkemmin alueen runsasta havaintoputkiverkostoa hyödyntäen. On mahdollista, että PFAS-yhdisteitä on päätenyt myös kalliopohjaveteen, koska myös kalliopohjavesissä on paikoin esiintynyt selvää kuormitusta alueella suoritettavissa pohjavesitarkkailuissa (Finnish Consulting Group, 2023).

Viitteet

Ahonen, I. ja Valli, T. 1998. Painovoimamittaukset & kallio- ja pohjavesipinnan mallinnus. Hakkila–Hiekkaharju–Koivukylä, Vantaa. Vantaan kaupunki, Uudenmaan ympäristökeskus. Geologian tutkimuskeskuksen raportti. 3 s. + liitteet.

Ahonen, J. ja Valjus, T. 2009. Yhteenvedoraportti Herajoen vedenottamon valuma-alueen geologisen rakenteen selvityksistä. Riihimäen vesihuoltolaitos. Geologian tutkimuskeskus, Etelä-Suomen yksikkö, Maankäyttö ja ympäristö. 15 s. + liitteet

Field, J.A. ja Seow, J. 2017. Properties, occurrence, and fate of fluorotelomer sulfonates. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(8), pp.643-691.

Finnish Consulting Group. 2023. Savion jätehuoltoalueen vesien tarkkailu – perusteellinen yhteenvetoraportti 2020–2022.

Hoke, R.A., Ferrell, B.D., Ryan, T., Sloman, T.L., Green, J.W., Nabb, D.L., Mingoia, R., Buck, R.C., Korzeniowski, S.H. 2015. Aquatic hazard, bioaccumulation and screening risk assessment for 6:2 fluorotelomer sulfonate. *Chemosphere*. 2015 Jun; 128:258-65.

ISO 5667-11:2009. Water quality — Sampling — Part 11: Guidance on sampling of groundwaters.

Junttila, V., Vahtera, H., Männynsalu, J., Virkkunen, H., Högmander, P., Perkola, N. & Mehtonen, J. 2021. Vantaanjoen PFAS-hanke – Loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Julkaisu 89/2021. 66 s.

Kangas, A. 2018. Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen - Kuvaus hyvistä menettelytavoista. Ympäristöministeriön raportteja 19/2018.

Kivimäki A-L., Rautio A., Korkka-Niemi K., Brander M., Nygård M., Vahtera H., Karhu J., Salonen V-P., Kiirikki M., Lahti K. 2013. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Julkaisu 69/2013. 133 s.

Kivimäki, A-L. 2014. Riihimäen pohjavesialueiden suojelusuunnitelma Herajoen, Arolammin ja Riihiviidankallion pohjavesialueet. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys.

Kivimäki, A-L. 2015. Vantaan pohjavesialueiden suojelusuunnitelma – Valkealähteen, Koivukylän ja Lentoaseman pohjavesialueet. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n raportti 1/2015.

Rintala, J. ja Suokko, T. 2008. Pohjavesinäytteenotto – Nykytila ja kehitystarpeet. Suomen ympäristö 48 | 2008, Suomen ympäristökeskus. 65 s.

Turtiainen, H. ja Kivimäki, A.-L. 2022. Pääkaupunkiseudun pohjavesiyhteistarkkailu - Vuosiraportti 2021. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 6/2022.

Vähä, E., Perkola, N., Siimes, K. 2019. PFAS-yhdisteet jokivesissä, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8 | 2019.

Wang N, Liu J, Buck RC, Korzeniowski SH, Wolstenholme BW, Folsom PW, Sulecki LM. 2010. 6:2 fluorotelomer sulfonate aerobic biotransformation in activated sludge of waste water treatment plants. *Chemosphere*. 2011 Feb;82(6):853-8.

Zhang S, Lu X, Wang N, Buck RC. 2016. Biotransformation potential of 6:2 fluorotelomer sulfonate (6:2 FTSA) in aerobic and anaerobic sediment. *Chemosphere*. 2016 Jul;154:224-230.

PFAS-yhdisteiden esiintyminen taajama-alueiden pohjavesissä

VHVSY ry toteutti vuonna 2022 PFAS-yhdisteitä pohjavesistä kartoittavan hankkeen kahdella tutkimusalueella: Riihimäen Herajoen alue ja Vantaan/Keravan Rekolanojan alue. PFAS-yhdisteitä tavattiin pohjavesissä erityisesti pilaantuneiden alueiden pohjavesissä, sekä myös taajama-alueilla yleisesti.



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry

Ratamestarinkatu 7 B, 3. krs, 00520 Helsinki

vhvsy@vantaanjoki.fi

www.vantaanjoki.fi