

Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen
vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.

Runeberginkatu 17, 06100 PORVOO



Föreningen vatten- och luftvård
för Östra Nyland och Borgå å r.f.

Runebergsgatan 17, 06100 BORGÅ

Jätevesien UV-desinfioinnin vaikutus Porvoonjoen ja Palojoen hygieeniseen tilaan



Mikael Henriksson
Juha Niemi

Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien-
ja ilmansuojeluyhdistys
2018



Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen
vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.

Runeberginkatu 17, 06100 PORVOO



Föreningen vatten- och luftvård
för Östra Nyland och Borgå å r.f.

Runebergsgatan 17, 06100 BORGÅ

Jätevesien UV-desinfioinnin vaikutus Porvoonjoen ja Palojoen hygieeniseen tilaan

Mikael Henriksson

Juha Niemi

Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.f.

Föreningen vatten- och luftvård för Östra Nyland och Borgå å r.f.

2018

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto	5
1.1. Ympäristöluvut	5
1.2. Jätevesien desinfiointi ultraviolettivalolla	7
1.3. Indikaattoribakteerit	8
2. Katsaus Porvoonjoen ja Palojoen hygieenisestä tilasta ajalta ennen jätevesien UV-desinfiointia	8
2.1. Porvoonjoki	9
2.1.1. Porvoonjoen latvus	12
2.1.2. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualue	13
2.1.3. Porvoonjoen yläosa	14
2.1.4. Orimattilan jätevedenpuhdistamon purkualue	15
2.1.5. Porvoonjoen keski- ja alaosa	15
2.1.6. Veden hygieenisen laadun vuodenaikaisvaihtelut	17
2.2. Palojoki	20
2.2.1. Palojoen yläosa	20
2.2.2. Nastolan jätevedenpuhdistamon purkualue	21
2.2.3. Palojoen keski- ja alaosa	21
2.2.4. Palojoen veden hygieenisen tilan vuodenaikaisvaihtelut	24
3. Aineisto ja menetelmät	24
3.1. Vedenlaatuaineisto, näytteenotto ja määritykset	24
3.2. Aineiston numeerinen käsittely	28
3.3. Vertailuarvot	29
4. Tulokset ja tulosten tarkastelu	31
4.1. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamot	31
4.1.1. Jäteveden bakteerivähenemät UV-käsittelyssä	32
4.1.2. UV-desinfioinnin vaikutukset purkupaikan lähialueilla	33
4.1.3. Pieni tapaustutkimus: Lyhyen UV-laitoksen käyttökatkoksen vaikutukset purkuvesistön hygieeniseen tilaan	35
4.1.4. UV-desinfioinnin vaikutukset Porvoonjoen yläosalla	36
4.1.5. Orimattilan jätevedenpuhdistamon vaikutus UV-desinfioinnin aikana	40
4.1.6. UV-desinfioinnin vaikutukset Porvoonjoen keski- ja alajuoksulla	41
4.1.7. UV-desinfioinnin vaikutukset Porvoonjoen veden käyttökelpoisuuteen	44

	Sivu
4.2. Nastolan jätevedenpuhdistamo	47
4.2.1. UV-desinfioinnin vaikutukset jätevesien purku-uomassa vuonna 2017	47
4.2.2. UV-desinfioinnin vaikutukset jätevesien purku-uomassa pitkällä aikavälillä	49
4.2.3. UV-desinfioinnin vaikutukset Palojoessa vuonna 2017	50
4.2.4. UV-desinfioinnin vaikutukset Palojoessa pitkällä aikavälillä	52
5. Yhteenveto	53
5.1. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamot	53
5.2. Nastolan jätevedenpuhdistamo	55
6. Tulokset lyhyesti ja johtopäätökset	56
Viiteluettelo	58
Liite 1. Näyteasemien sijainnit	
Liite 2. Porvoonjoen ja Palojoen sedimenttinäytteiden bakteeripitoisuudet	
Liite 3. Porvoonjoen ja Palojoen vesinäytteiden bakteeripitoisuudet	
Liite 4. Porvoonjoen ja Palojoen indikaattoribakteerien tilastollisia tunnuslukuja	

1. Johdanto

Tässä tutkimuksessa selvitetään Lahti Aqua Oy:n yhdyskuntajätevesien UV-desinfiointin vaikutuksia Porvoonjoessa ja Palojoessa. Käsittelmällä jätevedenpuhdistamoiden jätevesiä edelleen ultraviolettivalolla saavutetaan tehokasta ulosteperäisten mikrobien vähenemää jätevesissä. Tässä tutkimuksessa selvitetään, miten jäteveden hygieenisen laadun parannukset heijastuvat purkuvesistöissä.

1.1. Ympäristöluvut

Lahti Aqua Oy:n viimeisin, Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoita koskeva ympäristölupa sisältää jätevesien hygieenisen puhdistusvelvoitteen, joka edellyttää ulosteperäisten mikro-organismien tehostettua poistoa jätevedestä (KHO 3.3.2014, taltionro 632, drnot 3690, 3712, 3747 ja 3769/1/12). Ympäristöluvan mukaan vesistöön johdettavassa vedessä on saavutettava 1.4. - 30.11. välisenä aikana fekaalisten koliformien ja enterokokkien osalta vähintään keskimäärin 90 %:n poistuma verrattuna puhdistamoille tulevan jäteveden mikrobipitoisuuteen. Ympäristölupa edellyttää lisäksi, että jäteveden hygienisointiin käytettävä menetelmä ei heikennä jäteveden kemiallista laatua.

Ympäristöluvan myötä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden kaikki puhdistetut jätevedet ohjataan Porvoonjokeen tasausaltaan kautta, jolloin päästään ympäristöluvan edellyttämään bakteeripitoisuuksien reduktioon (kuva 1 ja 2). Käsitelty



Kuva 1. Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden tasausallas ja UV-hygienisointilaitos kuvan oikeassa alakulmassa.

jätevesi sisältää kuitenkin vielä huomattavan määrän erilaisia mikrobeja, joten jätevesien hygieenisen laadun edelleen parantamiseksi Lahti Aqua Oy otti toukokuussa 2015 ensimmäisenä Suomessa käyttöön jätevesien desinfiointilaitoksen, jossa ultraviolettivalon (UV) säteilytyksen avulla inaktivoidaan Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden puhdistettujen jätevesien sisältämiä mikrobeja.

Vaasan hallinto-oikeuden 9.10.2015 lainvoimaa saaneen, aluehallintoviraston 12.9.2013 antaman päätöksen ESAVI/3/04.08/2012 mukaisesti myös Nastolan kunnan jätevedenpuhdistamon vesistöön johdettavat jätevedet on hygienisoitava. Vuonna 2017 myös Nastolan jätevedenpuhdistamolla, joka 1.1.2016 on siirtynyt Lahti Aqua Oy:n omistukseen, otettiin käyttöön samankaltainen UV-desinfiointilaitteisto kuin Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoilla.

Vuosina 2014–2016 Kariniemen ja Ali-Juhakkalan puhdistamoiden keskimääräinen yhteenlaskettu jätevesimäärä on ollut noin 30 000 m³/d ja Nastolan kunnan jätevedenpuhdistamon jätevesimäärä noin 3000 m³/d. Lahti Aqua Oy tuottaa vesihuoltopalveluja yli 130 000 asukkaalle Lahdessa ja Hollolassa. Näistä suurin osa on Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden viemäriverkostojen piirissä ja noin 15 000 Nastolan jätevedenpuhdistamon piirissä. Lisäksi Porvoonjokeen kohdistuu yhdyskuntajätevesikuormitusta Orimattilan Vesi Oy:n Vääräkosken puhdistamolta, jossa käsitellään noin 10 000 asukkaan jätevedet (ympäristölupa ESAVI/350/04.09/2012). Vääräkosken jätevedenpuhdistamolla ei ole käytössä jätevesien desinfiointia.



Kuva 2. Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualue Porvoonjoen yläjuoksulla 94,5 km jokisuusta.

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-desinfiointi on ollut käynnissä toukokuusta 2015 lähtien vuosittain 1.4. - 30.11. välisenä aikana, jolloin puhdistetut jätevedet on ohjattu tasausaltaan kautta UV-desinfiointilaitokseen käsiteltäviksi ennen niiden laskemista Porvoonjokeen. Nastolan jätevedenpuhdistamolla jätevedet desinfioidaan UV-valolla 1.5. - 31.10. välisenä aikana. Myös Nastolassa UV-käsittely tehdään puhdistusprosessin loppupäässä ennen puhdistettujen jätevesien laskemista Palojoen vesistöön.

1.2. Jätevesien desinfiointi ultraviolettivalolla

Ultraviolettisäteilyä (UV-säteily) käytetään yleisesti talousveden tuotannossa ja sen käyttö jätevesien hygienisoinnissa on yleistymässä. UV-säteilyn avulla jätevedestä voidaan tehokkaasti vähentää mikrobeja. Jätevesien UV-desinfioinnin on optimaalisissa olosuhteissa todettu poistavan yli 99 % jätevesien sisältämistä mikrobeista (Moilanen 2014, Bäckström ym. 2015). UV-säteily vahingoittaa nukleiinihappoja, pääasiassa DNA:ta ja RNA:ta, jolloin solun jakaantuminen estyy. UV-desinfioinnissa mikrobi ei kuole vaan inaktivoituu. Inaktivoitunut, eli jakautumaan kykenemätön mikrobi, on yleensä myös infektiokyvytön.

Jätevesien UV-desinfiointi on yksi uusinta ja parhaita mahdollista tekniikkaa hyödynnettävä desinfiointimenetelmä (Leino 2008). UV-desinfioinnin käyttö on yksinkertaista, se on kustannustehokasta ja sen hiilijalanjälki on pieni, eikä sen käyttö aiheuta haitallisia sivutuotteita. Viime vuosina UV-käsittelyn, yhdistettynä muihin tekniikoihin, on todettu voivan poistaa vedestä laajan valikoiman erilaisia lääkeaineita ja UV-käsittelyn soveltaminen jätevesien lääkeaine- ja hormonijäämien poistamiseen on lähitulevaisuudessa hyvinkin mahdollista (Pereira ym. 2007). Viipymä UV-desinfioinnissa on lyhyt ja säteilyannosta voidaan säädellä säätelemällä jäteveden viipymäaika. Toimiakseen optimaalisesti menetelmä vaatii jätevesien tehokkaan esikäsittelyn.

UV-desinfiointi eliminoi tehokkaasti suolistoperäisiä bakteereita, viruksia, alkueläimiä ja niiden ookystia sekä suolistomatojen munia. Se tehoaa myös vastustuskykyisiin *Giardia*-loiseläimiin ja *Cryptosporidium*-alkueläimiin. Mikrobin herkkyys UV-säteilylle vaihtelee (Koivunen ym. 2007, Moilanen 2014). Jotkut mikro-organismit kykenevät korjaamaan UV-säteilyn aiheuttamat vauriot DNA:ssa tai RNA:ssa (Pelczar ja Reid 1965, Shafaei ym. 2017). Näistä korjausmekanismeista merkittävin on valoreaktivaatio, joka käytännössä tarkoittaa mikrobin lisääntymiskyvyn palautumista auringon säteilyn vaikutuksesta. Monilla bakteereilla on valoreaktivaatiolle tarvittavat entsyymit. Viruksilla ei ole korjaukseen tarvittavia entsyymejä, mutta ne voivat käyttää isäntäsolujen entsyymejä. Mikäli mikrobit eivät altistu näkyvälle valolle muutamien tuntien kuluttua säteilytyksestä, muuttuvat nukleiinihappojen vauriot korjauskelvottomiksi (USEPA 2006).

1.3. Indikaattoribakteerit

Tässä selvityksessä käytetään pääasiassa veden *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksia vesistöjen hygieenisen tilan kuvaajina. *E. coli* -bakteeri ilmentää tuoretta ulostesaastumista ja mahdollista patogeenien aiheuttamaa terveystilaa. *E. coli* -bakteeri on peräisin lähes yksinomaan ihmisten tai muiden tasalämpöisten eläinten ulosteesta. *Enterococcus* -suvun bakteereista osa esiintyy usein ihmisten ja tasalämpöisten eläinten ulosteissa, mutta sukuun kuuluu myös ympäristössä lisääntyviä lajeja. Enterokit säilyvät ympäristössä *E. coli* -bakteereja kauemmin, ja voivat ilmaista pidemmän ajan ennen näytteenottohetkeä tapahtunutta saastumista. Sekä *E. coli* -bakteereita että suolistoperäisiä enterokokkeja on myös käytetty tutkimuksissa jätevesien UV-desinfioinnin tehokkuudesta (Leino 2008, Moilanen 2014). *E. coli* -bakteereilla on todettu em. UV-inaktivaation jälkeistä nukleiinihappojen entsyymaattista korjausmekanismia eli valoreaktivaatiota.

E. coli -bakteereja on havaittu suomalaisissa luonnontilaisissa vesissä keskimäärin 12 kpl/100 ml. Fekaalisia streptokokkeja (nykyään enterokit) on havaittu keskimäärin 26 kpl/100 ml. (Niemi R. ja Niemi M. 1991, Hokajärvi 2013). Maatalousvaltaisten alueiden vesistöissä on suolistoperäisiä bakteereja selkeästi enemmän. Aiemmin käytetyssä pintavesien yleisen käyttökelpoisuuden mukaisessa luokituksessa erinomaisen veden laadun raja-arvo oli <10 kpl indikaattoribakteereja (fekaaliset koliformit tai enterokit) /100 ml. Hyvän veden laadun raja-arvo oli <50, tyydyttävän <100, välttävän <1000 ja huonon >1000 kpl/100ml. Virtaavissa vesissä indikaattoribakteereja on keskimäärin muita vesistöjä jonkin verran enemmän, koko Suomen mediaanien ollessa tyypillisesti fekaalisten koliformien osalta 10-100 kpl/100 ml (Leino 2008). Vesistöjen < 100 kpl/100 ml bakteeripitoisuuksien voidaan karkeasti päätellä olevan ympäristöstä peräisin olevaa luontaista kuormitusta (Leino 2008). *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien seuranta kuuluu osana Porvoonjoen vesistöalueen velvoitetarkkailua.

2. Katsaus Porvoonjoen ja Palojoen hygieenisestä tilasta ajalta ennen jätevesien UV-desinfointia

Vedessä suolistoperäiset mikro-organismit käyttäytyvät eri tavalla kuin yhdyskuntajätevesien sisältämät fysikaalis-kemialliset muuttujat. Lämminveristen isäntäorganismiensä ulkopuolella monet suolistomikrobit ovat vihamielisessä ympäristössä ja niiden määrät vähenevät nopeasti. Jokivesistössä suolistoperäisten mikrobien määrät päästölähteistä alavirtaan riippuvat paitsi jätevesien mikrobimäärästä myös veden virtausnopeudesta ja vallitsevista ympäristöolosuhteista. Mitä suurempi etäisyys päästölähteeseen, sen suurem-

mat ovat veden virtausnopeuden ja ympäristötekijöiden vaikutukset mikrobien määriin. Ympäristötekijöiden ja suolistomikrobien riippuvuussuhteet on huomioitava arvioitaessa jätevesistä aiheutuvia vaikutuksia purkupaikan alapuolisessa vesistössä ja myös arvioitaessa jätevesien hygienisoinnista syntyviä myönteisiä vesistövaikutuksia.

Tässä luvussa tiivistetään Porvoonjoen ja Palojoen hygieenistä tilaa ja yhdyskuntajätevesien vaikutuksia vuosien 2006-2016 vedenlaatuaineistoon pohjautuen. Luvussa pohditaan myös ympäristötekijöiden vaikutusta suolistomikrobien määriin ja veden hygieeniseen tilaan eri etäisyyksillä päästölähteistä ja eri vuodenaikoina.

2.1. Porvoonjoki

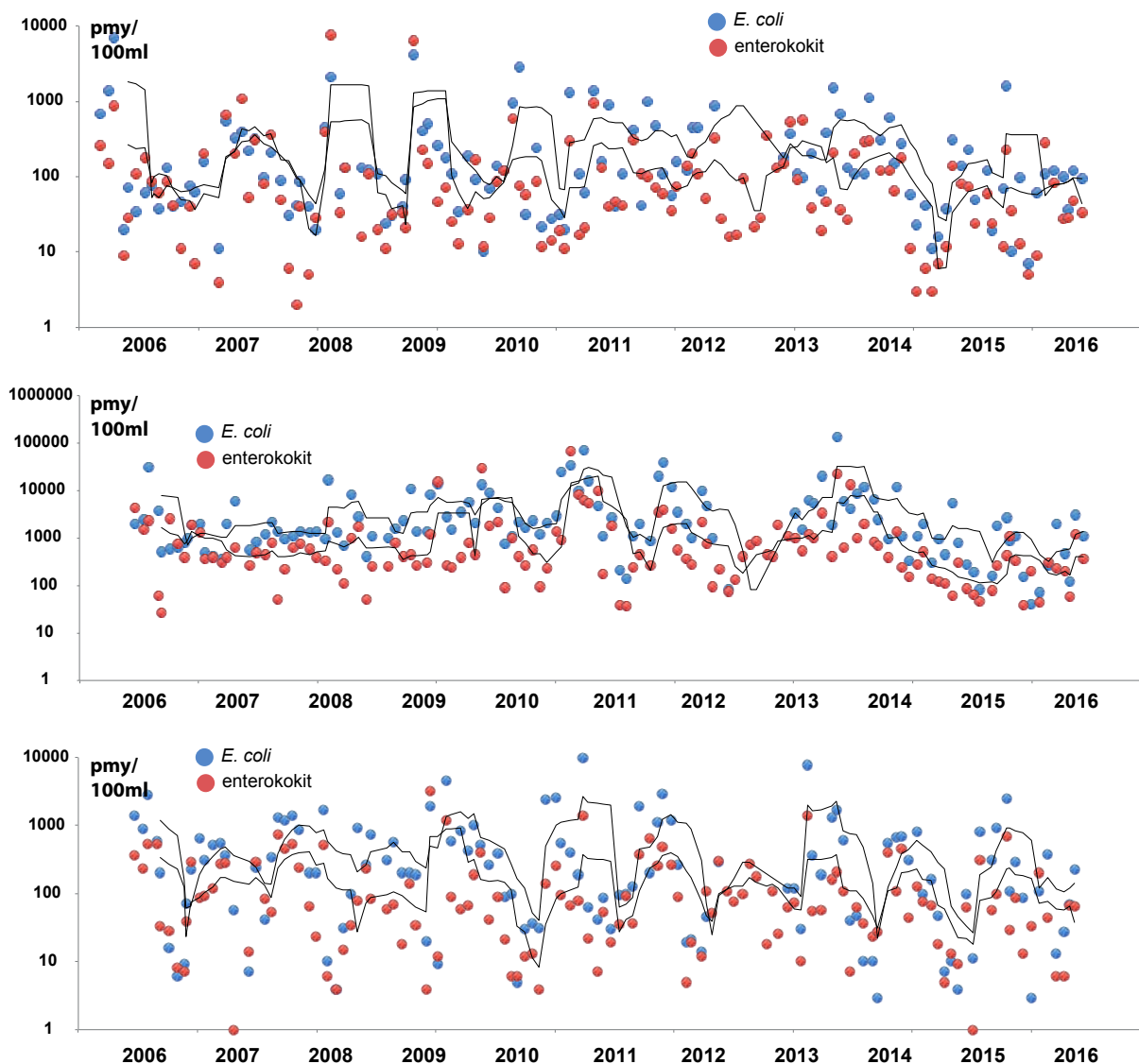
Luonteenomaista Porvoonjoen ja myös Palojoen hygienialle on pääosin yhdyskuntajätevesistä johtuvat bakteerien pitoisuuksien suuret ja lyhyellä aikavälillä tapahtuvat vaihtelut (kuva 3). Porvoonjoen eniten jätevesillä kuormitetulla seuranta-asemalla, 3.5 km Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesien purkupaikalta alavirtaan, *E. coli* -bakteerien pitoisuuksien vaihteluväli vuosina 2006-2016 oli 41-130 000 pmy/100ml ja suolistopereäisten enterokokkien 27-69 000 pmy/100ml (taulukko 1). Ajoittain poikkeuksellisen korkeat ulosteperäisten bakteerien pitoisuudet heikentävät joen hygieenistä tilaa joen koko matkalta (esim. Ramboll 2015). Vaikka bakteerien pitoisuudet alittaisivatkin esim. uima-vesille asetettuja raja-arvoja, voi veden hygieeninen laatu nopeista vaihteluista johtuen olla uimiselle kelvotonta näyteenottoajankohtien välillä.

Näyteasema	115,7	102,0	100,4	98,3	91,0	77,5	64,5	62,5	40,3	35,5	25,0	11,5	4,5
Aritmeettinen k.a. <i>E. coli</i>	116,5	71,9	554,8	364,2	5794,5	3124,4	1738,5	1591,6	993,5	631,8	476,8	286,4	445,6
Aritmeettinen k.a. enterokokit	50,6	69,1	502,0	229,7	2040,9	1201,4	312,9	400,2	178,6	179,2	157,6	100,3	125,4
Geomeetrinen k.a. <i>E. coli</i>	62,1	32,5	169,1	127,3	1843,6	1275,8	397,3	691,5	221,6	165,1	143,8	86,9	145,3
Geomeetrinen k.a. enterokokit	33,1	22,2	90,9	58,6	512,3	358,7	124,5	179,4	82,1	62,5	66,1	37,5	49,7
Keskihajonta <i>E. coli</i>	150,2	92,0	1226,9	822,9	14540,1	4710,8	3621,4	2118,7	1910,7	1294,2	800,2	403,9	1054,2
Keskihajonta enterokokit	53,1	172,2	1804,3	878,6	7030,2	3905,8	489,4	682,8	258,3	359,4	281,5	147,7	210,2
Keskiarvon keskivirhe <i>E. coli</i>	20,6	23,0	245,4	74,8	1316,4	735,7	463,7	278,2	302,1	117,6	105,1	34,6	95,8
Keskiarvon keskivirhe enterokokit	7,0	40,6	353,9	77,1	616,6	582,2	60,2	85,3	38,5	31,5	35,1	12,7	18,4
95 % luottamusväli <i>E. coli</i>	41,4	49,0	506,4	148,1	2606,2	1486,9	927,5	557,1	611,1	232,9	210,4	68,5	189,8
95 % luottamusväli enterokokit	14,0	85,6	728,8	152,5,1	1220,0	1173,4	120,3	170,6	77,6	62,4	70,3	25,1	36,5
Mediaani <i>E. coli</i>	60,0	51,0	120,0	110,0	1800,0	1400,0	550,0	785,0	320,0	200,0	230,0	125,0	150,0
Mediaani enterokokit	34,5	16,0	72,5	54,5	410,0	375,0	150,0	200,0	100,0	67,5	75,0	47,0	43,5
Min <i>E. coli</i>	3	1	20	7	41	39	7	15	4	3	3	3	1
Max <i>E. coli</i>	870	330	5500	6900	130000	20000	25000	9800	9800	9800	4900	1800	8200
Min enterokokit	0	3	9	2	27	30	2	20	4	1	1	0	2
Max enterokokit	290	750	9300	7700	69000	26000	32000	4300	1200	3200	1700	930	1200
n <i>E. coli</i>	53	16	25	121	122	41	61	58	40	121	58	136	121
n enterokokit	58	18	26	130	130	45	66	64	45	130	64	134	130

Taulukko 1. Porvoonjoen pääuoman indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistopereäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja vuosilta 2006-2016. Näyteasemien numerointi vastaa niiden etäisyyttä jokisuusta.

Pidemmällä aikavälillä bakteeripitoisuuksien keskitaso on pysynyt kutakuinkin saman tasoisena, vaikkakin pitoisuuksien vaihteluväli on suurta. Merkittävää bakteeripitoisuuksien vaihtelua aiheuttaa näytteenottojen ja korkeiden bakteerien pitoisuuksien yhteen ajoittuminen. Mikäli yksikin näytteenotoista osuu yhteen nopeasti ohimenevän pitoisuushuipun kanssa, muuttuvat keskipitoisuudet merkittävästi, varsinkin mikäli tarkasteluissa käytetään pitoisuuksien aritmeettista keskiarvoa.

Sateisuus ja sateen jakautuminen vaikuttavat mm. hulevesien määriin ja vesistöihin huuhtoutuvien bakteerien määriin. Monasti pitoisuushuippuja on mitattu pidempien kuivien kausien jälkeisten tulvien aikana, jolloin maastoon kerääntynyt ulosteperäinen aines

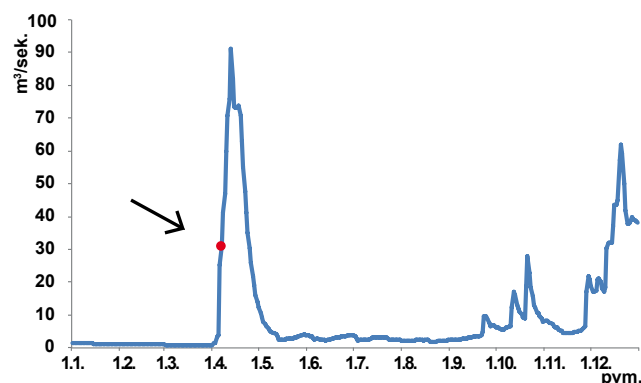


Kuva 3. *Escherichia coli* -bakteerin ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet Kariniemen ja Ali-Juhakkalan yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolisella näyteasemalla 98,3 (ylin käyrä) ja puhdistamojen purkupaikasta 3,5 km alavirtaan (keskimäinen käyrä) sekä joen keskijuoksulla Pukkilan korkeudella vuosina 2006 - 2016. Yhtenäiset viivat ovat viiden näytteen juoksevat keskiarvot (huom. logaritminen asteikko).

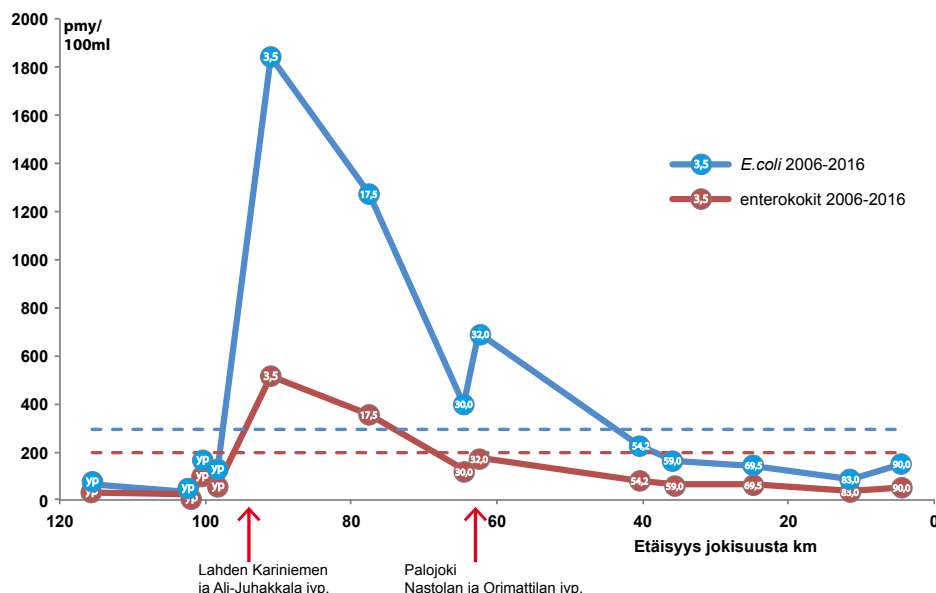
huuhtoutuu veteen (kuva 4). Kertyneen vedenlaatuaineiston perusteella näyttää siltä, että tulvien aiheuttamat pitoisuushuiput ovat monesti varsin lyhytkestoisia, pitoisuuksien laskiessa nopeasti tulvan jatkuessa.

Tulvien aikaisiin bakteeripitoisuuksiin saattaa vaikuttaa myös pohjalietteeseen kertyneiden bakteerien regeneroituminen takaisin veteen kasvavien virtausnopeuksien aikaansaaman pohjaeroosion myötä. Ympäristöolosuhteet pohjasedimenteissä

ovat monasti vesimassan olosuhteita suotuisimmat bakteereille ja on osoitettu, että jokien pohjasedimentit voivat toimia bakteerivarantoina, jotka varastoivat bakteereja suurina pitoisuuksina (LeJeune ym. 2001, Louwanda 2008, Pachepsky & Shelton 2011, Pitkänen ym. 2015). Runsassateisina aikoina bakteerien pitoisuuspiikkejä aiheuttavat myös pumppaamoiden ja jätevedenpuhdistamoiden häiriötilanteet ja jätevesien ohijuoksutukset. Jätevesivirtaaman kasvaessa myös puhdistusprosessien tehokkuus saattaa heiketä runsassa-



Kuva 4. Porvoonjoen virtaama Vakkolassa vuonna 2011. 7.4.2011 vedenlaatumittauksissa (punainen piste) mitattiin keski- ja alajuoksun näyteasemien 62,5 (Orimattila), 40,3 (Pukkila), 35,5 (Pukkila) ja 25,0 (Askola) maksimipitoisuudet ajalta 2006-2016. Näyteasemien numerointi vastaa etäisyyttä Porvoonjoen suulle.



Kuva 5. Indikaattoribakteerien keskipitoisuudet Porvoonjoen Pääuomassa vuosina 2006-2016 (pitoisuuksien geometriset keskiarvot). Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuusta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema). Katkoviivat kuvaavat veden kastelukäytölle asetettujen laatuvaatimusten raja-arvoja 300 pmy/100ml *Escherichia coli* -bakteereille ja 200 pmy/100ml suolistoperäisille enterokokeille (MMM asetus 134/2006).

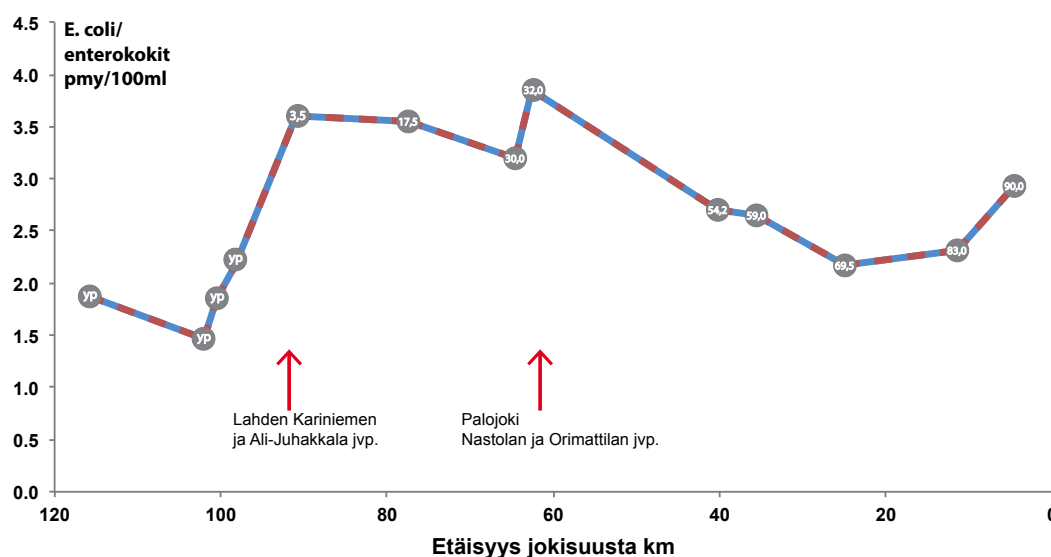
teisina aikoina. Lisäksi vaihtelut jokeen johdettavan jäteveden ja laimennusveden määrissä sekä jätevesien sisältämät suuresti vaihtelevat bakteeripitoisuudet aiheuttavat vaihtelua myös jokiveden bakteeripitoisuuksissa.

2.1.1. Porvoonjoen latvus

Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden yläpuolinen alue kerää vettä noin 320 km² laajalta maatalousvaltaiselta valuma-alueelta. Yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolinen alue on noin neljännes Porvoonjoen koko valuma-alueen pinta-alasta.

Porvoonjoen ylimmän latvan, Luhdanjoen hygieeninen vedenlaatu on pääsääntöisesti moitteetonta ja indikaattoribakteerien keskipitoisuudet ovat selkeästi alle erinomaisen uimaveden raja-arvojen, < 500 *Escherichia coli* ja < 200 enterokokkeja pmy/100 ml (arvot perustuvat 95. prosenttipisteeseen) (kuva 5).

Luhdanjoen bakteeristossa on muuta Porvoonjokea runsaammin enterokokkeja suhteessa *Escherichia coli* -bakteereihin (kuva 6). Ihmisen ulosteessa enterokokkeja on selvästi vähemmän kuin *E. coli* -bakteereja, kun taas useiden muiden tasalämpöisten eläinten ulosteissa *E. coli* -bakteereja on vähemmän (Scott ym. 2002, Bitton 2005). Suhteellisen suuret enterokokkipitoisuudet viittaavat siihen, että ihmisen osuus yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolisen alueen ulosteperäisestä saastumisesta on pienempi kuin yhdyskuntajätevesien alapuolisella alueella.



Kuva 6. *Escherichia coli* -bakteerien ja enterokokkien välinen keskimääräinen suhde Porvoonjoen pääuomassa. Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuusta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema). Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien keskipitoisuuksien (geometrinen keskiarvo) suhde ajalta 2006-2016.

Noin kuusi kilometriä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualueen yläpuolella bakteeripitoisuudet nousevat selkeästi (kuva 5). Vuosien 2006-2016 keskipitoisuuksien nousu johtuu osaltaan Hollolan Salpakankaan jätevedenpuhdistamon aikaisemmasta vaikutuksesta. Alueen näyteasemien tarkkailujakson 2006-2016 maksimipitoisuudet on mitattu alkuvuonna 2006, jolloin Salpakankaan puhdistamon puhdistetut, Hollolan Vähäjokeen johdetut jätevedet vielä kuormittivat Porvoonjoen yläjuoksua, Luhdanjoen aluetta. Vähäjoen pienen virtaaman vuoksi Salpakankaan puhdistamolla oli aiemmin huomattava vaikutus Vähäjoen veden laatuun. Vähäjoen hygieeninen tila on edelleen ajoittain heikko huolimatta siitä, että Hollolan Salpakankaan puhdistamon jätevedet on johdettu Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamolle kesäkuusta 2006 lähtien. Vähäjoen bakteerikuormituksen alkuperää olisi perusteltua maastoinventoinnein selvittää. Indikaattoribakteerien keskinäisten runsaussuhteiden perusteella esim. maatalouden pintavalumilla saattaisi olla merkittävää osuutta veden huonoon hygieniaan Lahdessa yhdyskuntajätevesien yläpuolella.

2.1.2. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualue

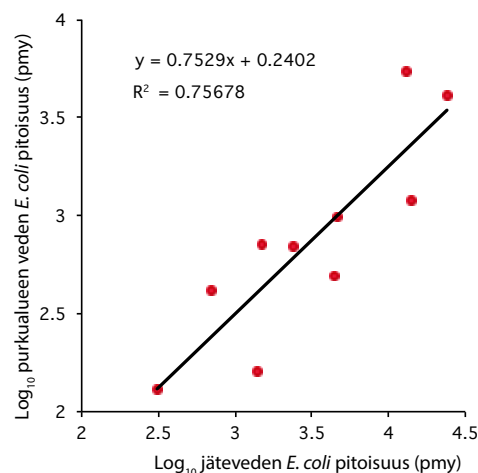
Yhdyskuntajätevesien vaikutuksesta sekä *E. coli* -bakteerien että suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet nousevat voimakkaasti Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamojen purkupisteestä alavirtaan (kuva 5 sivulla 11). Jätevesien purkupaikalla uoma on kapea ja virtaamat ovat keskimäärin vain noin 3,5 m³/s jätevedet ja mahdollinen laimennusvesi mukaan lukien. Purkautuvan jäteveden määrä, noin 0,3 m³/s, vastaa keskimäärin vajaata 10 % purkuvesistön vesimäärästä. Heikoista laimennusolosuhteista johtuen ovat jätevesien vaikutukset purkupaikan veden laatuun suuret, varsinkin vähän veden aikaan.

Puhdistettujen yhdyskuntajätevesien sekoittuessa purkualueen veteen laimenevat jätevesien bakteeripitoisuudet. Laimenemisen tehokkuuteen vaikuttavat jätevesien sisältämät lähtöpitoisuudet, vastaanottavan vesistön vesitilavuus ja veden virtaama sekä jätevesiä vastaanottavan vesistön veden bakteeripitoisuudet.

Tämän selvityksen aikana, marraskuulta 2016 elokuulle 2017, Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualueen veden *E. coli* -bakteerien pitoisuus oli keskimäärin noin 23 % ja enterokokkien pitoisuus noin 31 % alueelle purkautuvan jäteveden pitoisuudesta. Jätevesien *E. coli* -bakteeripitoisuuksien ja purkualueen veden *E. coli* -bakteeripitoisuuksien välillä on lineaarinen riippuvuus ($R^2=0,757$, $p = 0,001$, kuva 7). Vahva riippuvuus pitoisuuksien välillä osoittaa jätevesien suurta vaikutusta purkuvesistön tilaan. Myös suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien ja purkualueen veden välillä on

vastaava, mutta jonkin verran heikompi riippuvuus ($R^2=0,412$, $p < 0,05$).

Regressiosuoran yhtälön perusteella yksittäisen valvontatutkimustuloksen hyvän uimaveden raja-arvo 1000 pmy/100ml (sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 177/2008) ylittyy purkuvesistössä, mikäli *E. coli* -bakteerien pitoisuudet jätevedessä ylittävät 4500 pmy/100 ml.



Kuva 7. Indikaattoribakteerien pitoisuudet jätevedessä ja 50 m jäteveden purkukohdan alapuolella. Bakteeripitoisuuksien välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä lineaarinen riippuvuus.

2.1.3. Porvoonjoen yläosa

Kolmen ja puolen kilometrin etäisyydellä Karinien ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkuputkesta alavirtaan *E. coli* -bakteerien vuosien 2006-2016 keskipitoisuus oli 5800 pmy/100ml ja enterokokkien 2000 pmy/100ml (taulukko 1 sivulla 9 ja kuva 5 sivulla 11). Keskimääräiset bakteerimäärät ylittivät siten selkeästi "huonon" uimaveden raja-arvot, kuten myös veden kastelukäytölle annettuja raja-arvoja.

Etäämmällä, 17 kilometrin etäisyydellä purkupisteestä, jätevesivaikutukset eivät vielä ole merkittävästi lientyneet ja molempien ulosteindikaattoribakteerien pitoisuudet ylittävät edelleenkin selkeästi kastelu- ja uimavesien raja-arvoja (taulukko 1 sivulla 9 ja kuva 5 sivulla 11). Suhteellisen lyhyellä etäisyydellä päästölähteestä bakteereille epäsuotuisat abioottiset ja bioottiset ympäristötekijät eivät merkittävässä määrin vähennä veden bakteerimääriä. Virtaamanopeus on ratkaiseva jätevesien bakteerien kulkeutumiselle suurina pitoisuuksina alavirtaan. Jätevesien purkupaikan ja purkupaikan lähialueen virtaamat pysyvät kuivinakin kausina kohtalaisina ($>1\text{ m}^3/\text{sek}$) jätevesivirtaaman ja jokeen johdettavan laimennusveden takia, joten alhaiset virtaamat eivät siten ole esteenä mikrobien levittäytymiselle alavirtaan.

Alajuoksua kohden jätevesien laimeneminen ja bakteerien rajallinen säilyminen vesiympäristössä alentavat vähitellen indikaattoribakteerien pitoisuuksia. 30 kilometriä purkupisteestä alavirtaan, Palojoen ja Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon yläpuolella, ovat keskimääräiset bakteeripitoisuudet laskeneet selkeästi, mutta ovat edelleenkin korkeat veden hygieenistä tilaa kuvaaviin raja-arvoihin nähden. Myös bakteerien pitoisuusvaihtelut ovat huomattavat.

2.1.4. Orimattilan jätevedenpuhdistamon purkualue

Palojoen liittymän ja Vääräkosken jätevedenpuhdistamon alapuolella veden hygieeninen tila heikkenee entisestään jonkin verran. Palojoen hygieeninen tila on keskimäärin pääuomaa parempi ja Palojoen vedet laimentavat pääsääntöisesti pääuoman vesiä kohentaen hygieenistä vedenlaatua ennen Vääräkosken jätevedenpuhdistamoa. Vääräkosken alapuolisen alueen bakteeripitoisuuksien nousun perusteella Vääräkosken puhdistamolla on selkeä kielteinen vaikutus Porvoonjoen pääuoman veden hygieeniseen tilaan (kuva 5 sivulla 11). Vääräkosken purkupaikan korkeudella Porvoonjoki kerää vettä noin 640 km² laajuiselta valuma-alueelta, eikä yksittäisten pistekuormittajien paikallisia vaikutuksia erotu, elleivät vesistövaikutukset ole merkittäviä. Myös *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen suhde nousee jonkin verran Vääräkosken jätevedenpuhdistamon alapuolella sekä pääuoman yläpuoliseen alueeseen että Palojoen alajuoksuun verrattuna, viitaten tuoreeseen ihmisperäiseen ulostesaastumiseen (kuva 6 sivulla 12).

Vääräkosken puhdistamon yläpuolisen aseman bakteeripitoisuuksien aritmeettiseen keskiarvoon vaikuttaa merkittävästi yksittäinen 5.11.2013 mitattu korkea maksimipitoisuus, jonka vaikutuksesta *E. coli* -bakteerien aritmeettinen keskiarvo on Vääräkosken alapuolista asemaa korkeampi (taulukko 1 sivulla 9). Mikäli Palojoen liittymän ja Vääräkosken jätevedenpuhdistamon ylä- ja alapuolisten näyteasemien vedenlaatuaineistoista poistetaan korkeimmat ääriarvot, nousevat myös *E. coli* -bakteeripitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot alapuolisella asemalla yläpuolisen aseman pitoisuuksia korkeimmiksi. Nykyisellä jätevedenpuhdistamoiden velvoitetarkkailun näyteasemien sijoittelulla Vääräkosken jätevesivaikutukset aliarvioituvat jonkin verran, sillä ilman Palojoen vesien laimentavia vaikutuksia olisivat indikaattoribakteerien pitoisuusnousut Vääräkosken jätevedenpuhdistamon alapuolella nykyistä korkeampia.

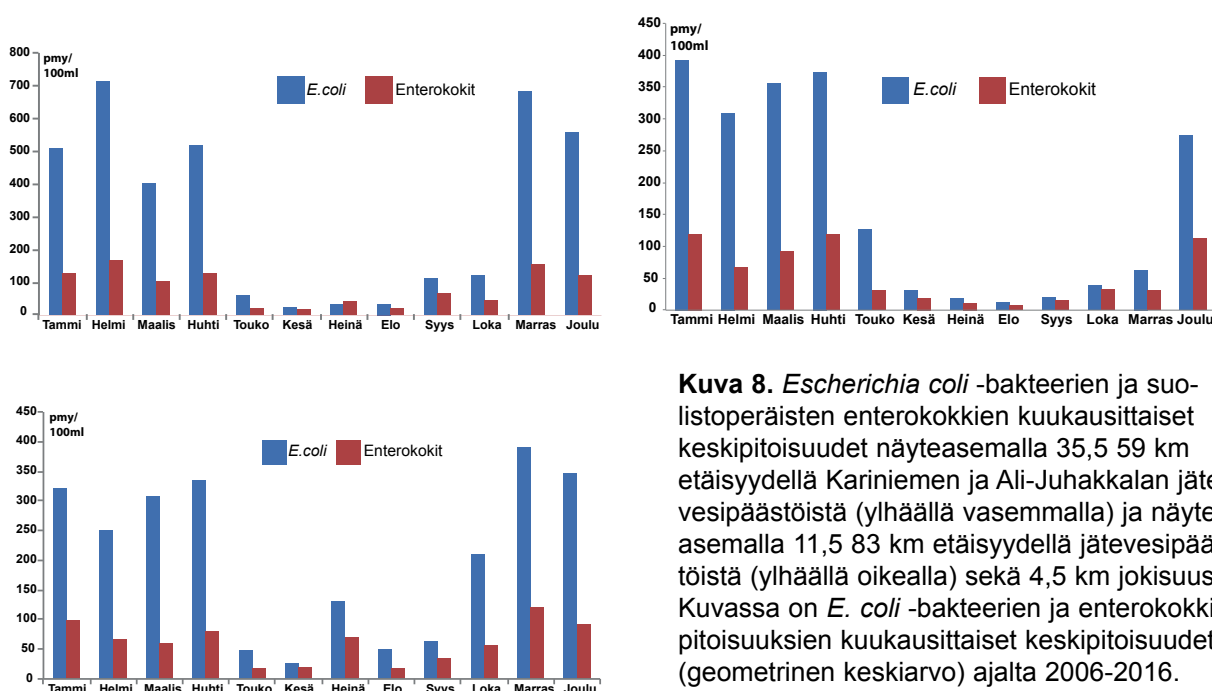
2.1.5. Porvoonjoen keski- ja alaosa

Etäisyyksien kasvaessa päästölähteisiin alkaa suolistobakteerien kyky selvitä suoliston ulkopuolella enenevässä määrin vaikuttaa bakteeripitoisuuksiin. Porvoonjoen keski- ja alajuoksulla korkeimmat bakteeripitoisuudet mitataan aikoina, jolloin alhaiset lämpötilat ja jääpeitteen suoja parantavat bakteerien selviytymismahdollisuuksia jokivedessä (kuva 8). Kesäaikainen aktiivisempi biologinen toiminta ja intensiivisempi auringon ultraviolettisäteily yhdessä keskimääräistä alhaisempien virtausnopeuksien kanssa vähentävät veden bakteerimääriä suhteellisen nopeasti kohti joen keski- ja alajuoksua.

Pukkilan jätevedenpuhdistamon toiminta on päättynyt vuonna 2013, eikä sen vaikutuksia ole erotettavissa pääuoman alajuoksun näyteasemien indikaattoribakteerien keskipitoisuuksissa vuosilta 2006 - 2016. Mallusjärveltä laskevan Vähäjoen, Rapuojan, Piurunjoen ja muiden Porvoonjoen suurimpien sivu-uomien vedet ovat pääsääntöisesti pääuoman vettä parempaa hygieeniseltä laadultaan laimentaen yhdyskuntajätevesiä kohti jokisuuta. Laimenemisen ohella bakteerien rajoitettu elinaika jokivedessä vähentää bakteerien määriä, ja Pukkilan korkeudella bakteeripitoisuudet lähentelevät jo yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolella sijaitsevan yläjuoksun tasoa (taulukko 1 sivulla 9, kuva 5 sivulla 11). Taso on kuitenkin selkeästi Porvoonjoen ylimmän osan, Luhdanjoen bakteeritasoa korkeampi.

Porvoonjoen alajuoksua aikaisemmin kuormittaneen Askolan Vakkolan jätevedenpuhdistamon toiminta päättyi vuonna 2007. Samana vuonna päättyi myös Pikkujokea kuormittavan Monninkylän jätevedenpuhdistamon toiminta. Porvoonjoen alajuoksulla esiintyy kuitenkin ajoittain varsin korkeita ja selkeästi keskipitoisuuksista poikkeavia bakteeripitoisuuksia.

Porvoonjoen alin näyteasema on muita asemia hieman alttiimpi paikalliselle bakteerikuormitukselle mm. Suomenkylänpuron suunnalta, minkä takia keskimääräiset indikaattoribakteeripitoisuudet nousevat jonkin verran jokisuuta kohden. Korkeilla vedenkorkeuksilla myös Porvoon kaupunkialueen hulevesillä on edellytykset nousta jokea ylös heikentäen alimman jokiosuuden hygieenistä tilaa. Monninkylän jätevedenpuhdistamon lakattuakin myös Pikkujoen ajoittain kohonneet bakteeripitoisuudet saattavat jonkin verran heiken-



Kuva 8. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien kuukausittaiset keskipitoisuudet näyteasemalla 35,5 59 km etäisyydellä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesipäästöistä (ylhäällä vasemmalla) ja näyteasemalla 11,5 83 km etäisyydellä jätevesipäästöistä (ylhäällä oikealla) sekä 4,5 km jokisuusta. Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien pitoisuuksien kuukausittaiset keskipitoisuudet (geometrinen keskiarvo) ajalta 2006-2016.

tää Porvoonjoen suualueen hygieenistä tilaa. Sisämaan uimavesiluokituksessa alimman jokialueen tila on *E. coli* -bakteeripitoisuuksien perusteella luokiteltavissa ”hyväksi”, 95.prosenttipisteen ollessa viimeisten kuluneiden neljän vuoden ajalta keskimäärin 644 pmy/100ml.

Toisinaan poikkeuksellisen korkeat bakteeripitoisuudet osuvat yhteen suurten virtaamamuutosten kanssa. Vertailuihin soveltuvaa vedenlaatutietoa on niukalti, mutta huippupitoisuuksien riski näyttäisi olevan suurimmillaan pitkien kuivien kausien jälkeen voimakkaasti kasvavien virtaamien aikaan (kuva 5 sivulla 11). Pitoisuusnousut johtuvat mitä todennäköisimmin maastoon kerääntyneestä ulosteperäisestä aineesta, joka pintavaluntana huuhtoutuu kertaheitolla vesistöön. Myös kasvavien virtausnopeuksien aiheuttama pohjalietteeseen kerääntyneiden bakteerien regeneroituminen takaisin veteen myötävaikuttaa omalta osaltaan huippupitoisuuksiin (esim. WHO 2003). Jätevedenpuhdistamoilla suuret hulevesimäärät saattavat aiheuttaa kapasiteettiongelmia ja häiritä jätevesien puhdistusprosessia tehokkuuden jäädessä normaalia heikommaksi. Näiden bakteeriston kannalta oleellisten mekanismien merkityksestä Porvoonjoen hygieeniselle tilalle ei tässä vaiheessa ole tarkempaa tutkimustietoa.

2.1.6. Veden hygieenisen laadun vuodenaikaisvaihtelut

Ulosteperäistä saastumista indikoivien bakteerien pitoisuudet joen keski- ja alajuoksulla vaihtelevat voimakkaasti vuodenajasta riippuen. Keski- ja alajuoksun näyteasemilla pitoisuudet ovat pääsääntöisesti korkeimmillaan talvikuukausina ja alhaisimmillaan kesä-syyskuun välisenä aikana (kuva 8). Ennen kaikkea alhaisemmat lämpötilat ja hitaampi biologinen aktiivisuus sekä vähäisempi altistus auringonvalolle parantavat mikrobien selviytymistä talvikuukausina, jolloin ne kulkeutuvat elinkelpoisina pidempiä matkoja purkupaikasta alavirtaan (Noble 2004, Blaustein ym. 2012, Tornevi 2014).

Talvella *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen suhde joen keski- ja alajuoksulla on selkeästi kesän vastaavaa suhdetta korkeampi. Korkeaa suhdetta eli suurta suhteellista osuutta *E. coli* -bakteereja verrattuna suolistoperäisiin enterokokkeihin pidetään osoituksena siitä, että ulosteperäinen kuormitus on peräisin ihmisestä (Scott ym. 2002, Bitton 2005). Kohtalaisten suurten virtausnopeuksien aikana jätevesien sisältämät bakteerit kulkeutuvat myös pidemmän matkan alavirtaan verrattuna kesäisiin kuivempiin aikoihin, jolloin ne inaktivoituvat jo ennen joen alempia osia.

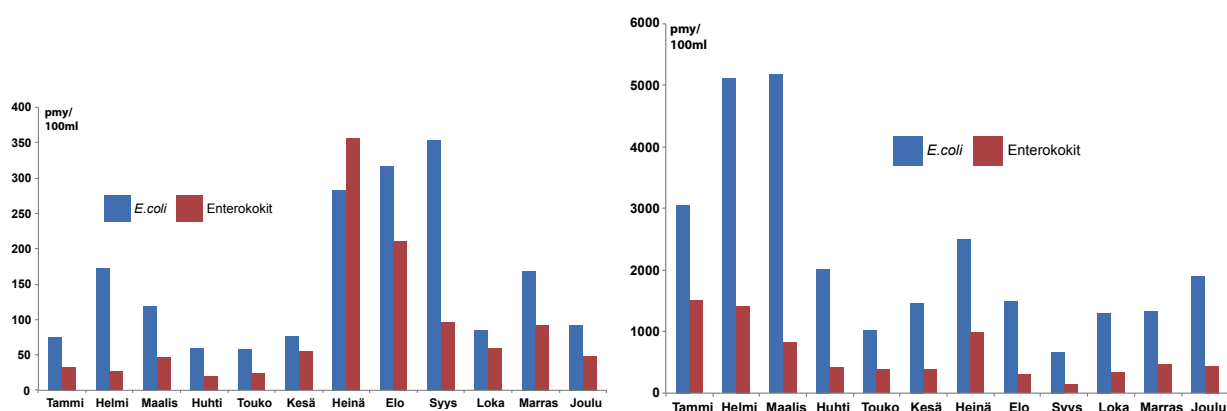
Yläjuoksulla, lähempänä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikkaa, vastaavaa joen keski- ja alajuoksun kaltaista selkeätä vuodenaikoihin liittyvää

vaihtelua bakteeripitoisuuksissa ei ole havaittavissa, kuten ei myöskään jätevesipäästöistä ylävirtaan (kuva 9). Lähempänä jätevesien purkupaikkaa ympäristötekijöillä on luonnollisesti vähäisempi vaikutus bakteerien selviytymismahdollisuuksiin ja bakteeripitoisuudet vedessä ovat suuremmassa suhteessa jokeen kohdistuvien jätevesien bakteeripitoisuuksiin.

Yhteys Porvoonjoen keski- ja alaosien bakteeripitoisuuksien ja yläosien suurten yhdyskuntajätevesipäästöjen välillä ei ole suoraviivainen. Suuresti vaihteleva virtausnopeus ja vastaavasti jätevesien kulkeutumiseen vaadittava aika vaikuttavat bakteerien vähenemään eri virtaamatilanteissa. Alhaisilla virtaamilla suuretkin bakteeripäästöt ja korkeat yläjuoksun bakteeripitoisuudet vähenevät murto-osaan jopa viikkoja kestäväällä matkalla kohti jokisuuta (kuva 10). Talviolosuhteissa bakteerien vähenemä vedessä on huomattavasti tehotomampaa ja talvisin korkeita bakteerien pitoisuuksia esiintyy joen keski- ja alajuoksulla yleisesti myös heikoilla virtaamilla, siis alhaisilla virtausnopeuksilla.

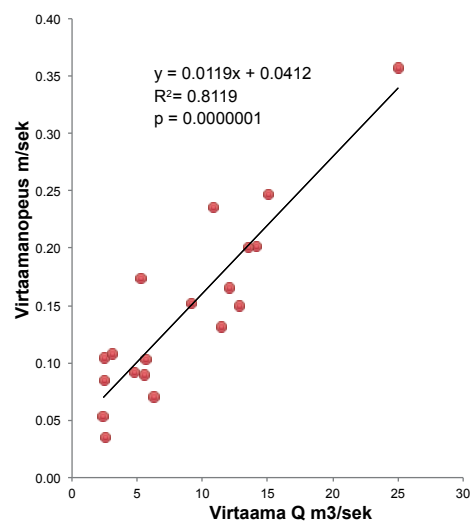
Kesällä virtausnopeus on siten ratkaisevassa asemassa Porvoonjoen keski- ja alaosien hygieenisen tilan kannalta ja virtaaman ja kesäaikaisten bakteeripitoisuuksien välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä lineaarinen yhteys (kuva 11). Talviolosuhteissa jätevesien bakteerit sitä vastoin selviävät pidempään jokivedessä, eikä virtausnopeus ole ratkaiseva bakteerien kulkeutumiselle suurina pitoisuuksina joen keski- ja alaosiin. Talviaikaan bakteeripitoisuuksien ja virtaaman välillä ei myöskään ole riippuvuutta (kuva 11).

Porvoonjoessa bakteeripitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelut perustuvat pääasiassa siihen, että yhdyskuntajätevesien sisältämien bakteerien selviytymiskyky joessa vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Sitä mukaa, kun bakteerien selviytyminen jokivedessä vaihtelee, vaihte-



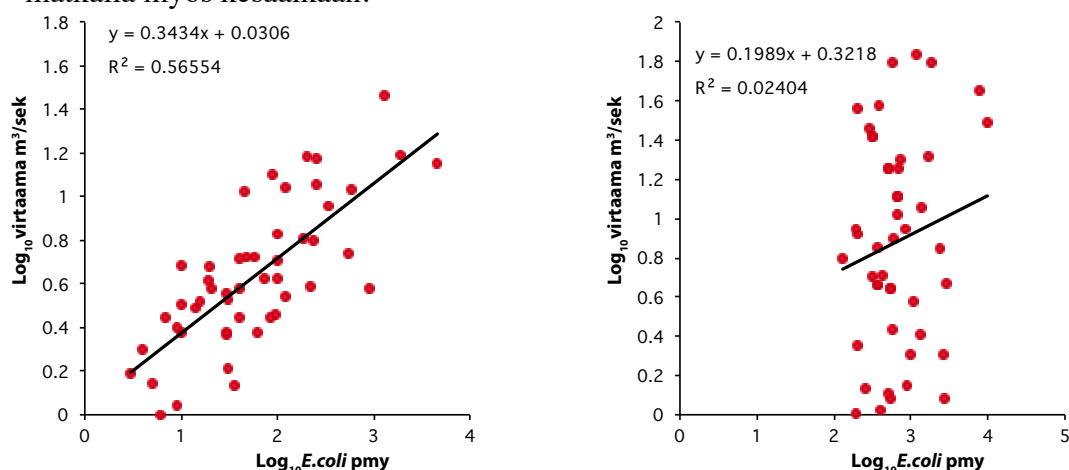
Kuva 9. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien kuukausittaiset keskipitoisuudet näyteasemalla 98,3 noin 4 km Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesipäästöjen yläpuolella (vasemmalla) ja näyteasemalla 91,0 noin 3,5 km etäisyydellä jätevesipäästöistä alavirtaan. Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien pitoisuuksien kuukausittaiset keskipitoisuudet (geometrisen keskiarvo) ajalta 2006-2016.

lee myös se matka, jonka bakteerit voivat kulkeutua elinkelpoisina alavirtaan. Hajakuormituksella tai muilla kuormituslähteillä ei ole selkeästi havaittavaa vaikutusta bakteerien vuodenaikaisvaihteluihin. Yhdyskuntajätevesien yläpuolella ei esiinny selkeätä bakteeripitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelua (kuva 9). Yhdyskuntajätevesien yläpuolella ei myöskään ole joen keski- ja alajuoksun kaltaista tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta virtaaman ja kesäaikaisten bakteeripitoisuuksien välillä (kuva 12).



Kuva 10. Virtaaman (Askolan Vakkolan virtaamamittaukset) ja virtausnopeuden välinen suhde Pukkilan korkeudella. Vuosien 2006-2016 keskivirtaamilla (10,5 m³/sec) virtausnopeus on noin 0,6 km/h ja mediaanivirtaamilla (5,0 m³/sec) noin 0,4 km/h, jolloin matka Lahdesta jokisuuhun kestäisi 6 - 10 vuorokautta.

Kesäaikaan tilanne on kaksinainen siinä mielessä, että vaaditaan suhteellisen kovia virtaamia ja suuria virtausnopeuksia, jotta bakteerit suurina pitoisuuksina kulkeutuisivat elinkelpoisina pitkiä matkoja alavirtaan. Toisaalta kovilla virtaamilla jätevedet ja bakteeripitoisuudet laimenevat tehokkaammin alentaen pitoisuuksia. Jotta jätevesivaikutukset näkyisivät selkeänä bakteerien pitoisuusnousuna alajuoksulla, tarvitaan varsin korkeita lähtöpitoisuuksia joen yläosilla. Jätevesien bakteerimäärät vaihtelevat suuresti ja keskipitoisuuksiin nähden monenkertaisia pitoisuuksia esiintyy yläjuoksulla melko yleisesti. Aika ajoin pitoisuudet ovat riittävän korkeita heikentääkseen Porvoonjoen hygieenistä vedenlaatua koko joen matkalla myös kesäaikaan.



Kuva 11. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuuksien ja virtaaman (Askolan Vakkolan virtaamamittaukset) välinen suhde Pukkilan korkeudella (näyteasema 35,5) 59 km etäisyydellä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoilta vuosina 2006 - 2014. Touko-lokakuussa bakteeripitoisuuden ja virtaaman välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \ll 0.001$) yhteys (vasemmanpuoleinen kuva). Oikeanpuoleisessa kuvassa marras - huhtikuisten bakteeripitoisuuksien ja virtaaman välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä $p \leq 0.05$.

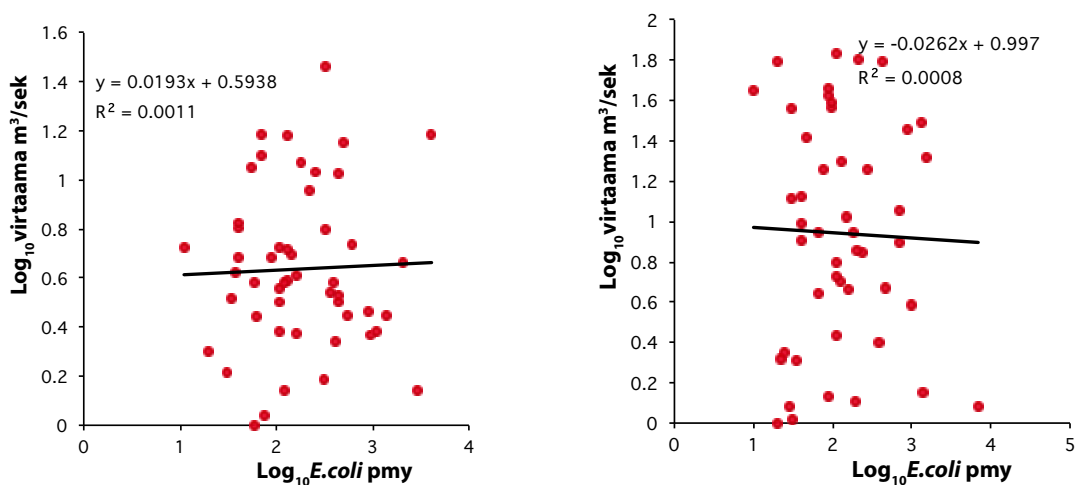
2.2. Palojoki

2.2.1. Palojoen yläosa

Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman liittymäkohdan yläpuolelta tulevien vesien hygieeninen laatu on ajoittain huono, eivätkä pitoisuuserot jätevesien yläpuolisen ja alapuolisen näyteaseman välillä ole yhtä suuria kuin esim. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan yhdyskuntajätevesien purkualueella. Enterokokkien pitoisuudet purku-uomassa ovat keskimäärin noin kaksinkertaisia verrattuna purku-uoman yläpuoliseen veteen. *Escherichia coli* -bakteereissa pitoisuuserot ovat huomattavasti suuremmat (taulukko 2, kuva 13).

Jätevesien purku-uoman liittymän yläpuolisessa vedessä on keskimäärin suhteellisen runsaasti enterokokkeja verrattuna *E. coli* -bakteereihin (kuva 14). Korkeat enterokokkipitoisuudet puhuvat sen puolesta, että yläpuolisen veden ulostekontaminaatio on suurelta osin peräisin muista tasalämpöisistä eläimistä kuin ihmisestä. Esim. maanviljelyn lietalannoiteissa ja karjatalouden pintavalumissa, kuten myös luonnoneläinten ulosteissa enterokokkeja esiintyy suhteellisesti runsaammin kuin yhdyskuntien ja kotitalouksien jätevesissä. Enterokokkien on kuitenkin myös todettu selviytyvän vesiympäristöissä *E. coli* -bakteereja paremmin, joten päästölähteiden etäisyys vaikuttaa myös indikaattoribakteerien välisiin runsaussuhteisiin vedessä.

Nastolan jätevedenpuhdistamon yläpuoliselta alueelta tuleva bakteerikuormitus heikentää ajoittain Palojoen hygieenistä tilaa merkittävästi ja kuormituksen alkuperää olisi syytä selvittää. Yhdyskuntajätevesien yläpuolisen alueen bakteerikuormituksen vaikutuksesta koko



Kuva 12. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuuksien ja virtaaman (Askolan Vakkolan virtaamamittaukset) välinen suhde Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamojen yläpuolella (näyteasema 98,3) vuosina 2006 - 2014. Kesävuosipuoliskolla touko-lokakuussa (vasemmanpuolinen kuva) ei ole riippuvuutta ($p \leq 0.5$) bakteeripitoisuuden ja virtaaman välillä kuten ei myöskään marras-maaliskuussa (oikeanpuoleinen kuva).

Palojoen vedenlaadulle kertoo se, että *E. coli* -bakteerien pitoisuuksissa on tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta yläpuolisen alueen pitoisuuksien ja joen keskijuoksun pitoisuuksien välillä ($r^2=0,30$, $p=0,01$).

2.2.2. Nastolan jätevedenpuhdistamon purkualue

Nastolan jätevedenpuhdistamon jätevedet laskevat 2,8 km pitkän ojamaisen purku-uoman kautta Palojoen yläpuoleen latvaan noin 20 km Palojoen ja Porvoonjoen liittymästä. Purku-uoman vedestä käytännössä lähestulkoon kaikki on puhdistettua jätevettä. Yhdyskuntajätevesien bakteeripitoisuudet vaihtelevat suuresti ja purku-uoman veden bakteerien maksimipitoisuudet ovat moninkertaisia keskipitoisuuksiin nähden. Esimerkiksi suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien vaihteluväli vuosina 2006-2016 purku-uoman alaosaan on ollut 5-38 000 pmy/100 ml (taulukko 2).

Yhdyskuntajätevesien purku uoman liittymäkohdassa Palojoen uoma on kapea ja virtaamat pienet. Jätevesipäästöjen yläpuolinen alue on pinta-alaltaan noin 15 km², mikä on runsaat 10 % Palojoen koko 130 km² valuma-alueen pinta-alasta. Laskennallisesti purku-uoman liittymäkohdan keskivirtaama on noin 150 l/sek. Jätevesimäärä on keskimäärin noin 30 l/sek, eli keskimäärin karkeasti viidennes purkuvesistön virtaamaan verrattuna. Alivirtaamakaupina jäteveden osuus on huomattavasti suurempi. Tehottomasta laimennuksesta johtuen ovat jätevesien vaikutukset purkupaikan veden laatuun suuret ja bakteeripitoisuudet nousevat keskimäärin voimakkaasti purku-uoman liittymän jälkeen. Purku-uoman liittymäkohdasta alavirtaan *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien keskipitoisuudet ylittävät moninkertaisesti kastelu- ja uimavesille asetettuja raja-arvoja

(taulukko 2, kuva 13).

Näyteasema	22,6	22,5	22,4	14,4	0,2
Aritmeettinen k.a. <i>E. coli</i>	1624,1	5589,2	3603,5	1510,2	864,0
Aritmeettinen k.a. enterokokit	1011,6	2126,5	1550,1	543,0	203,6
Geomeetrinen k.a. <i>E. coli</i>	423,8	1965,7	1360,0	569,8	229,0
Geomeetrinen k.a. enterokokit	148,7	304,7	339,3	145,3	75,1
Keskihajonta <i>E. coli</i>	3901,0	9685,6	6129,7	2171,6	3142,9
Keskihajonta enterokokit	4376,6	6389,9	4960,8	1376,7	392,2
Keskiarvon keskivirhe <i>E. coli</i>	813,4	2019,6	1278,1	473,9	384,0
Keskiarvon keskivirhe enterokokit	555,8	811,5	630,0	177,7	46,2
95 % luottamusväli <i>E. coli</i>	1686,9	4188,4	2650,7	988,5	766,6
95 % luottamusväli enterokokit	1111,4	1622,7	1259,8	355,6	92,1
Mediaani <i>E. coli</i>	350,0	1600,0	890,0	580,0	210,0
Mediaani enterokokit	115,0	270,0	275,0	115,0	61,5
Min <i>E. coli</i>	43	41	420	12	20
Max <i>E. coli</i>	17000	38000	24000	7700	24000
Min enterokokit	0	5	7	4	2
Max enterokokit	34000	35000	36000	9600	2100
n <i>E. coli</i>	23	23	23	21	67
n enterokokit	62	62	62	60	73

Taulukko 2. Palojoen indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja. Taulukko perustuu ympärivuotisiin tuloksiin vuosilta 2006-2016.

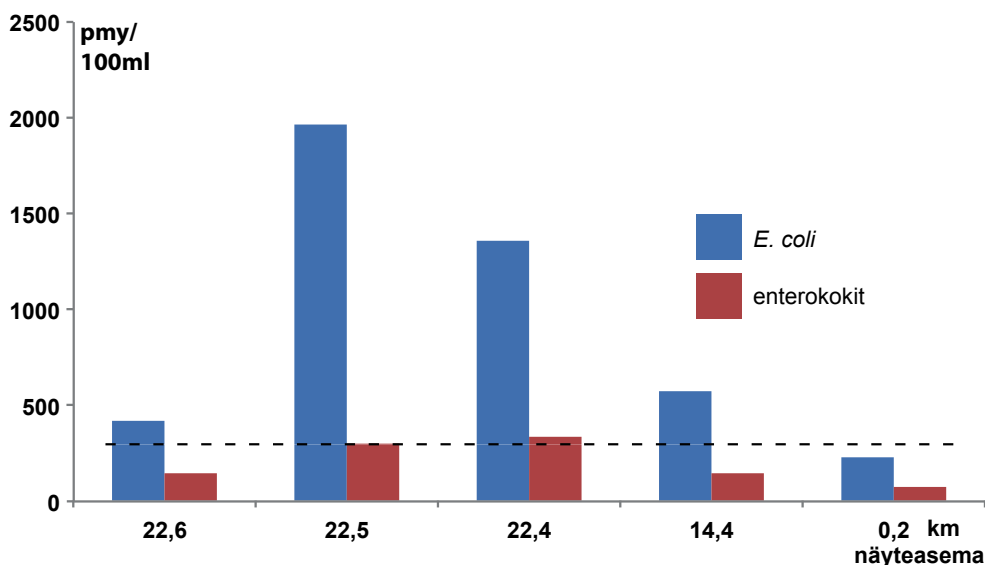
2.2.3. Palojoen keski- ja alaosa

Palojoen suurimmat sivuhaarat Heinjoki ja Köylinjoki laskevat Palojokeen vasta alajuoksun korkeudella, eivätkä valuma-alueen pinta-ala ja veden virtaama kasva merkittävässä määrin joen keskijuoksun korkeudella. Palojoen keskijuoksulla, 14,4 km joen suusta ja noin 5,5 km jätevesien purku-uoman liittymästä, valuma-alueen pinta-ala karkeasti kaksinkertaistuu.

Indikaattoribakteerien pitoisuudet vastaavasti vähenevät keskimäärin alle puoleen Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman liittymäkohdan pitoisuuksiin verrattuna (taulukko 2, kuva 13).

Porvoonjoen pääuoman tapaan Palojoen keskijuoksun ja myös alajuoksun ongelmana ovat ajoittain esiintyvät poikkeuksellisen korkeat bakteeripitoisuudet. Vaikka bakteerien keskipitoisuudet laskevat selkeästi Palojoen alajuoksua kohden, ovat maksimipitoisuudet korkeat koko joen matkalla (taulukko 2). Kertyneen vedenlaatuaineiston perusteella keskijuoksun bakteeripitoisuudet ja Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman pitoisuudet ovat koholla samanaikaisesti, osoittaen jätevesien suurta vaikutusta veden laatuun. Purku-uoman ja Palojoen keskijuoksun näyteaseman bakteeripitoisuuksien välinen riippuvuus on tilastollisesti merkitsevä (*E. coli* $r^2=0,31$, $p<0,01$, enterokokit: $r^2=0,39$, $p=0,01$). Kyseisen näyteaseman kohdalla Palojoen valuma-alueen pinta-ala on vain noin 10-12 km² suurempi kuin purku-uoman liittymäkohdan korkeudella ja jätevesien laimeneminen on verraten vähäistä keskijuoksuun mennessä.

Palojoen alajuoksulla, Palojoen ja Porvoonjoen liittymästä 0,2 km ylävirtaan sijaitsevan näyteaseman vesinäytteet on tarkkailuhistorian aikana kerätty eri aikoina kuin Palojoen muiden näyteasemien vesinäytteet. Jätevesivaikutuksia ei näin ollen ole mahdollista osoit-

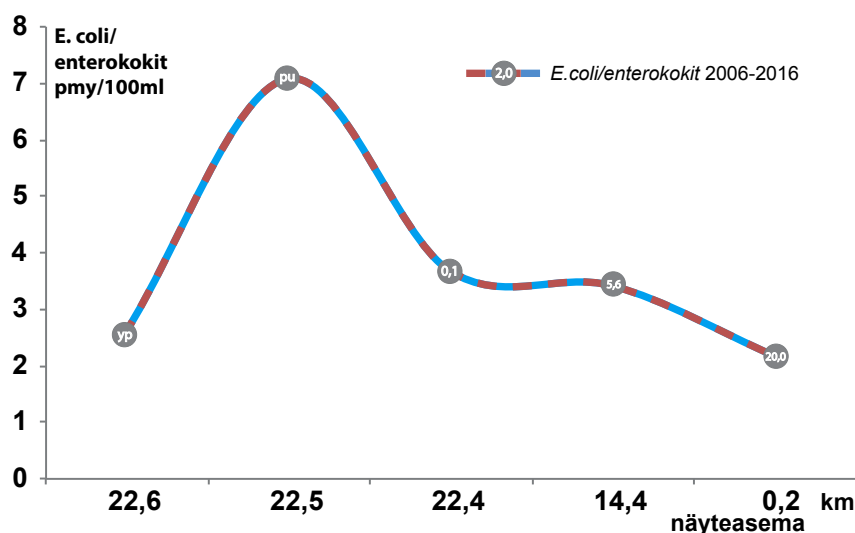


Kuva 13. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien keskipitoisuudet Palojoessa 2006-2016 ennen UV-hygienisointia. Kuvassa on näyteasemien *E. coli* pitoisuuksien (pmy/100ml) geometriset keskiarvot. Katkoviiva kuvaa kasteluveden *E. coli* -bakteerien raja-arvoa <300 pmy/100ml (MMM asetus 134/2006). Näyteasemien numerointi vastaa etäisyyttä Palojoen suulle. Näyteasema 22,6 sijaitsee yhdyskuntajätevesien yläpuolella, näyteasema 22,5 jätevesien purku-uoman loppupäässä, 22,4 purku-uoman ja Palojoen liittymäkohdasta välittömästi alavirtaan. Näyteasema 14,4 sijaitsee noin 5,5 km ja näyteasema 0,2 noin 20 km jätevesien purkupaikalta alavirtaan.

taa vertaamalla aseman bakteeripitoisuuksia samoihin aikoihin esiintyviin bakteeripitoisuuksiin purku-uomassa tai muilla yläpuolisilla näyteasemilla. Palojoessa etäisyys yhdyskuntajätevesipäästöistä jokisuuhun on kuitenkin vain 20 km, joten jätevesien bakteereilla on edellytykset kulkeutua alajuoksulle asti ilman, että niiden määrät alenevat merkittävästi. Tässä selvityksessä kerättyjen näytteiden perusteella Palojoen alajuoksun bakteeripitoisuudet vaihtelevat jossain määrin synkronoidusti yläjuoksun pitoisuuksien kanssa, mikä osoittaa yläjuoksun bakteerikuorman suurta merkitystä koko joen hygieeniselle tilalle.

Joen alajuoksulla, Orimattilan keskustassa, keskimääräiset bakteeripitoisuudet alittavat kasteluvedelle ja yksittäisille valvontatutkimustuloksille asetettuja hyvän uimaveden raja-arvoja (kuva 13). Myös vuosien 2012-2016 *E. coli* -bakteerien uimakausien pitoisuuksien 95. prosenttipiste 916 pmy/100ml, on hygieenisesti hyvälaatuisen uimaveden rajojen sisäpuolella.

Palojoessa veden *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen suhde on korkea jätevesien purkualueelta jokisuuhun asti, osoittaen ihmisperäisen ulostesaastumisen suurta osuutta Palojoen veden hygieenisen tilan heikentäjänä. Bakteerien välinen suhdeluku on keskimäärin noin neljä ylä- ja keskijuoksulla, laskien kolmeen joen suualueella (kuva 14). Jokien liittymäkohdan korkeudella Palojoen alajuoksun vesi on keskimäärin parempaa hygieeniseltä laadultaan kuin Porvoonjoen pääuoman vedet (taulukko 1 sivulla 9 ja taulukko 2 sivulla 21).



Kuva 14. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen keskimääräinen suhde Palojoessa. Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien keskipitoisuuksien (geometrisen keskiarvo) suhde ajalta touko - lokakuu 2006-2016 ennen UV-hygienisointia. Vaakasuoralla akselilla on etäisyys Palojoen suulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman liittymäkohdasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema, pu = purku-uoma alaosassa sijaitseva näyteasema).

2.2.4. Palojoen veden hygieenisen laadun vuodenaikaisvaihtelut

Palojoen lyhyiden etäisyyksien takia ympäristöolosuhteilla on vähäisempi merkitys alajuoksun bakteeripitoisuuksille. Bakteerien kulkeutuminen yläjuoksulta keski- ja alajuoksulle kestää muutamista tunneista muutamiin päiviin suurimman osan vuodesta. Lyhyessä ajassa epäsuotuisatkaan ympäristöolosuhteet eivät ratkaisevasti verota bakteerien määriä matkalla ylävirran päästölähteiltä. Tämän takia Porvoonjoen alajuoksun kaltaista, selkeätä vuodenaikojen mukaista vaihtelua bakteeripitoisuuksissa ei esiinny Palojoessa.

Palojoen keski- ja alajuoksulla bakteerien keskipitoisuudet kesällä touko-elokuussa ovat syys-huhtikuun pitoisuuksien tasoa. Yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolella veden bakteeripitoisuudet ovat keskimäärin korkeimmillaan kesä-elokuussa, jolloin alueella myös esiintyy melko tiheästi korkeita, keskipitoisuuksiin nähden usein yli kymmenkertaisia pitoisuushuippuja.

3. Aineisto ja menetelmät

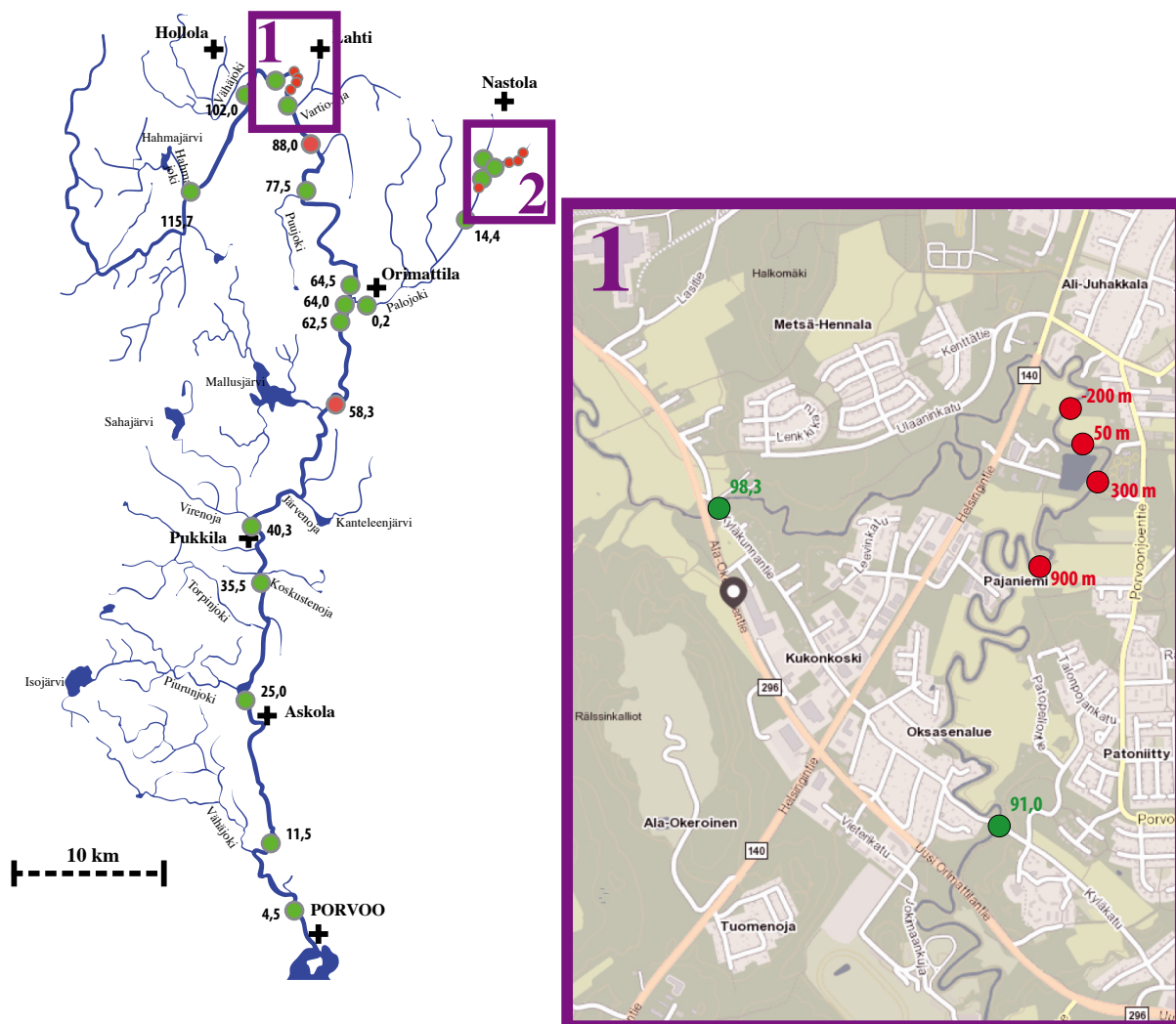
Tässä selvityksessä tarkasteltiin Porvoonjoen ja Palojoen bakteeripitoisuuksia aikoina, jolloin jätevesien UV-desinfiointi oli käytössä verrattuna aikoihin ilman jätevesien desinfiointia. Jätevesien UV-desinfioinnin vaikutuksia purkualueella ja kasvavalla etäisyydellä purkupisteestä selvitettiin. Myös veden hygieenistä tilannetta jätevesipäästöjen alapuolisilla näyteasemilla verrattuna yläpuolisiin jätevesien ulottumattomissa sijaitseviin näyteasemiin tarkasteltiin. Lisäksi seurattiin UV-desinfointilaitoksen lyhyen käyttökatkoksen vaikutusta purkualueen bakteeripitoisuuksiin.

3.1. Vedenlaatuaineisto, näytteenotto ja määritykset

Selvitystä varten kerättiin vesinäytteitä Porvoonjoesta ja Palojoesta marraskuun 2016 ja elokuun 2017 välisenä aikana. Näytteitä kerättiin sekä jätevesien UV-desinfioinnin ollessa käytössä että aikoina ilman jätevesien UV-käsittelyä. Selvityksessä hyödynnetään myös Porvoonjoen vedenlaadun seurantojen yhteydessä samalta ajalta kerättyä aineistoa, ja ympäristöhallinnon tietojärjestelmiin tallennettua, pääasiassa vuoden 2006 jälkeen kerättyä vedenlaatuaineistoa. Kattavimmin aineistoa Porvoonjoen näyteasemilta on yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolella sijaitsevalta näyteasemalta 98,3 ja Lahdessa sijaitsevalta näyteasemalta 91,0 sekä Pukkilan asemalta 35,5 ja Porvoon näyteasemilta 11,5 ja 4,5. Näiltä näyteasemilta on tarkkailujakson 2006-2017 aikana kerätty bakteerinäytteitä tavalisesti kuukausittain. Kaiken kaikkiaan hyödynnettiin tietoja kolmeltatoista Porvoonjoen

seuranta-asemalta (kuva 15, liite 1). Porvoonjoen näyteasemien numerointi vastaa asemien etäisyyttä jokisuulle ja Palojoen näyteasemien niiden etäisyyttä Palojoen suulle, Porvoonjoen ja Palojoen liittymäkohtaan.

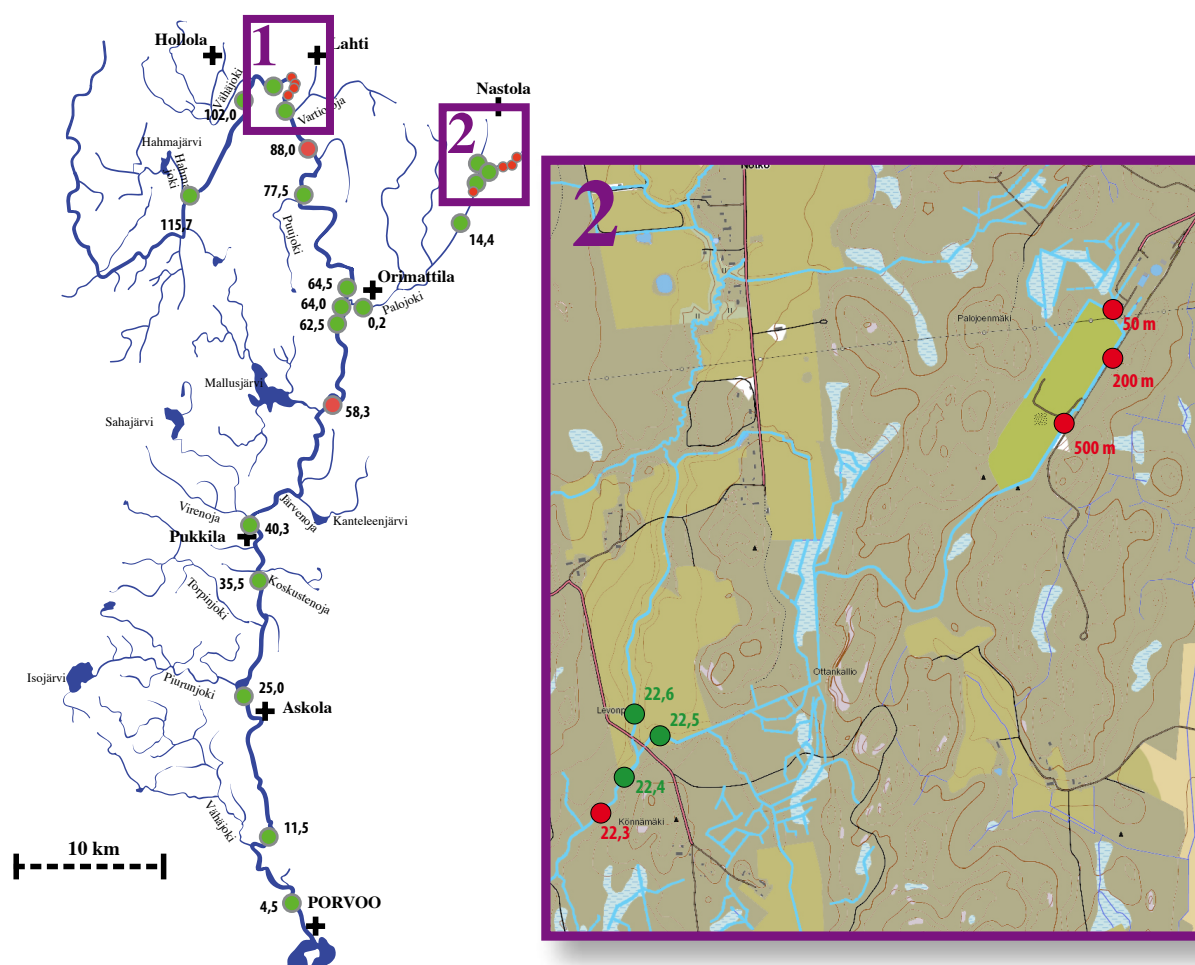
Palojoen näyteasemilta käytettiin viiden vakiintuneen näyteaseman tietoja. Näistä yksi sijaitsee Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uomassa ja yksi purku-uoman liittymästä ylävirtaan. Muut kolme on sijoitettu kasvavalla etäisyydellä purku-uoman liittymästä alavirtaan (kuva 16, liite 1). Palojoen näyteasemista kattavimmin aineistoa on alimmalta näyteasemalta 0,2, jossa on seurattu molempien indikaattoribakteerien pitoisuuksia 6-7 kertaa vuodessa ajalta 2006-2017. Muilla Palojoen näyteasemilla on seurattu suolistopereäisten enterokokkien pitoisuuksia vuodesta 2006 vuoteen 2017, mutta *E. coli* -bakteerien pitoisuuksia vasta vuodesta 2012 lähtien. Näytteitä on kerätty yleensä 4-6 kertaa vuodessa.



Kuva 15. Näyteasemien sijainnit. Vihreällä Porvoonjoen vedenlaadun velvoitetarkkailun seuranta-asemat ja punaisella tässä selvityksessä näyteasemien tihentämiseksi lisätyt näyteasemat. Oikealla Kariniemen ja Ali-Juhakkalan purkualueen näyteasemat.

Selvityksen aikana marraskuusta 2016 elokuuhun 2017 kerättiin vesinäytteet em. Porvoonjoen ja Palojoen vesistöalueiden vesistötarkkailujen vakiintuneilta näyteasemilta. Lisäksi näytteenottoa tihennettiin purkualueiden läheisyydessä (kuva 15). Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkualueen välittömässä tuntumassa kerättiin vesinäytteet 50, 300 m ja 900 m purkupisteestä alavirtaan sijaitsevilta näyteasemilta. Jätevesien ja jokiveden sekoittumisen hallitsemiseksi laskettiin pääasiallisesti em. näyteasemien keskiarvoja arvioitaessa UV-käsittelyn vaikutuksia purkupaikan lähialueen veden hygieeniseen laatuun. Vertailunäytteet kerättiin jätevesien ulottumattomissa 200 m purkupisteestä ylävirtaan.

Jotta saataisiin käsitys UV-desinfioinnin puhdistustehosta näytteenottojen aikana, otettiin näytteenottojen yhteydessä myös näyte Nikulan tasausaltaasta UV-reaktorin tulokanavan suulta ja rinnakkaisnäyte jätevesien purkuputken suulta. Vastaavasti Nastolan jätevedenpuhdistamon alapuolelta kerättiin näytteet jätevesien purku-uomasta kasvavalla etäisyydel-



Kuva 16. Näyteasemien sijainnit. Vihreällä Porvoonjoen vedenlaadun velvoitetarkkailun seuranta-aset ja punaisella tässä selvityksessä näyteasemien tihentämiseksi lisätyt näyteasemat. Oikealla Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman ja purku-uoman ja Palojoen liittymäkohdan näyteasemat.

lä jätevesien purkupisteestä ja vertailunäytteet purku-uoman liittymäkohdasta 100 m ylävirtaan (kuva 16).

Vesinäytteet otettiin Limnos -tyyppisellä noutimella tai suoraan näytepulloon tarvittaessa jatkovartta käyttäen (kuva 17). Näytteenotto suoritettiin SFS-EN ISO 19458 standardin mukaisesti. Näytteet toimitettiin laboratorioon kahdeksan tunnin sisällä näytteenotosta ja niistä määritettiin indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja fekaalisten enterokokkien pitoisuudet SFS-EN ISO 9308-2:2012 ja SFS-EN ISO 7899-2:2000 standardien mukaisesti. Näytteet analysoitiin akkreditoidussa Metropolilab Oy:n testauslaboratoriossa.



Kuva 17. Näytteenotto suoraan pulloon jatkovarrella.

E. coli -bakteeria esiintyy ihmisten ja lämminveristen eläinten ulosteissa ja sen esiintymistä vedessä käytetään laajalti vesiympäristöjen suolistoperäisen saastumisen ja mahdollisen terveysriskin osoittajana. Myös suolistoperäiset enterokokit kuuluvat ihmisten ja muiden nisäkkäiden suoliston mikrobistoon ja niitä käytetään yleisesti suolistoperäisen saastumisen indikaattoreina (Hokajärvi ym. 2008).

Vesinäytteiden ohella otettiin pistokokeita Porvoonjoen ja Palojoen pohjasedimenteistä. Suolistoperäiset bakteerit voivat säilyä pitkään elinkelpoisina sedimenteissä, ja eräiden verraten uusien tutkimustulosten perusteella jokien sedimenteissä voi esiintyä huomattavia bakteeripitoisuuksia. Tietyissä olosuhteissa pohjasedimenttien sekoittuessa, mm. kasvavien virtaamien aikana, sedimentoituneet bakteerit voivat resuspensoitua takaisin veteen (Jamieson 2005, Pachepsky 2006).

Sedimenttinäytteiden ensisijainen tarkoitus oli hallita mahdollisesta bakteerien resuspen-siosta aiheutuvaa virhelähdettä. Lisäksi haluttiin alustavasti kartoittaa sedimenttien bakteerien merkitystä Porvoonjoen hygieeniselle tilalle. Porvoonjoen ja Palojoen pohjasedimenttien suolistobakteerien pitoisuudet olivat suuressa osassa näytteitä veden pitoisuuksia alhaisemmat mutta myös suuria pitoisuuksia sedimenteissä esiintyi (liite 2). Sedimenttien

suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet olivat pääsääntöisesti *E. coli* -bakteerien pitoisuuksia suuremmat. Enimmillään enterokokkien pitoisuudet olivat noin 7-kertaisia yläpuolisen veden pitoisuuksiin verrattuna.

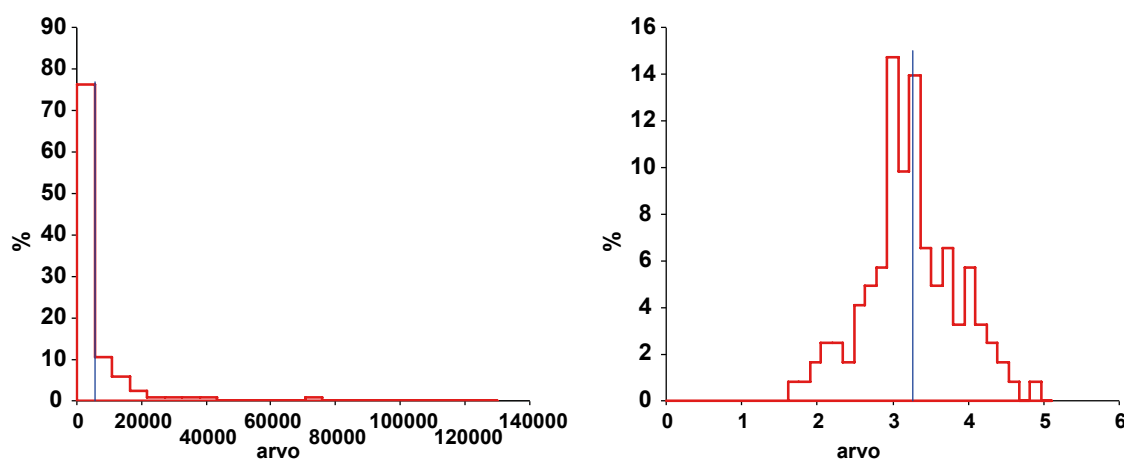
3.2. Aineiston numeerinen käsittely

Suurista pitoisuusvaihteluista johtuen joen hygieenisen tilan arvioinneissa käytettävät bakteerien keskimääräiset pitoisuudet ovat varsin alttiita yksittäisten näytteenotokertojen vaikutuksille. Yksittäisten pitoisuusarvojen vaikutusten lieventämiseksi geometrinen keskiarvo ja mediaani soveltuvat monasti aritmeettista keskiarvoa paremmin bakteeriaineistoa kuvailtaessa. Geometrinen keskiarvo on vain hivenen aritmeettista keskiarvoa pienempi, mikäli aineisto ei ole voimakkaasti vinoutunut. Geometrinen keskiarvo soveltuu aritmeettista keskiarvoa paremmin käsiteltäessä aineistoja, joissa bakteeripitoisuuksien vaihteluväli on suurta, ja joissa on suuret erot keskipitoisuuden ja mediaanipitoisuuden välillä. Esim. Porvoonjoen tarkkailuhistorian aikana kertynyt aineisto sisältää tyypillisesti poikkeuksellisen korkeita aritmeettisesta keskiarvosta kertaluokkia poikkeavia pitoisuusarvoja, jotka aiheuttavat aineistoissa vinoutumia (kuva 18).

Geometrinen keskiarvo kuvaa lukujen keskiarvoa logaritmisella asteikolla. Log-muunnun datan keskiarvon takaisin alkuperäiselle asteikolle muunnettu (anti-log) arvo on geometrinen keskiarvo. Sitä määritellään kaavalla:

$$Mg = \text{antilog } \log n/N$$

missä Mg =geometrinen keskiarvo ja n on arvo havaintosarjassa N (esim. Ranta ym. 1981).



Kuva 18. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuudet (pmy) asemalla 91,0 vuosina 2006 - 2016. Vasemmalla alkuperäinen muuntamaton ja vinoutunut aineisto. Oikealla sama aineisto log₁₀ muunnoksella. Pystysuorat viivat kuvaavat aineiston keskiarvoa.

Eri otosten keskiarvojen testaamiseen käytettiin kaksisuuntaista Student's t-testiä ja riippuvuuksien testaamiseen lineaarista regressiota. Molempien menetelmien perusoletuksena on aineiston normaalijakauma. Käyttämällä pitoisuusdatan kymmenkantaisia logaritmeja saatiin aineiston vinoutumaa korjattua parametristen tilastollisten menetelmien edellyttämällä tavalla (kuva 18).

3.3. Vertailuarvot

Porvoonjoen ja Palojoen hygieenisen laadun arvioinnissa käytetään vertailukohteina Sosiaali- ja terveysministeriön antamia laatuvaatimuksia yleisten uimarantojen uimavedelle (STM 177/2008) ja Maa- ja metsätalousministeriön antamia laatuvaatimuksia alkutuotannossa käytettävän veden laadusta (MMM 134/2006).

Alkutuotannossa käytettävälle kasteluvedelle *E. coli* -bakteerien raja-arvo on 300 pmy/100 ml ja suolistoperäisten enterokokkien 200 pmy/100 ml (MMM asetus 134/2006). Lyhenteellä pmy/100 ml tarkoitetaan elinkykyisten pesäkkeitä muodostavien yksikköjen todennäköisintä lukumäärää.

Kävijämääriltään suurten yleisten uimarantojen uimaveden laadun arviointiin käytetään Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin (2006/7/EY) mukaisesti neljän viimeisen uimakauden *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien ns. prosenttipisteet. Prosenttipisteet perustuvat uimaveden mikrobiologisten valvontatutkimustulosten kymmenkantaisen logaritmiarvon (log₁₀-arvon) normaalin todennäköisyysfunktiofunktion prosenttipisteen arviointiin (Keinänen ym. 2008). Prosenttipisteet lasketaan erikseen suolistoperäisille enterokokeille ja *E. coli* -bakteereille. Prosenttipisteet lasketaan bakteeripitoisuuksien log₁₀-arvojen aritmeettisen keskiarvon (μ) ja standardipoikkeaman (σ) perusteella kaavoilla:

$$95. \text{ prosenttipiste} = \text{antilog} (\mu + 1,65 \sigma) = 10^{(\mu + 1,65 \sigma)}$$

$$90. \text{ prosenttipiste} = \text{antilog} (\mu + 1,282 \sigma) = 10^{(\mu + 1,282 \sigma)}$$

Uimavesi luokitellaan ”erinomaiseksi”, jos prosenttipisteet ovat samat tai pienemmät kuin erinomaista laatua osoittavat raja-arvot ja ”hyväksi”, jos prosenttipisteet ovat samat tai pienemmät kuin hyvää laatua osoittavat raja-arvot, mutta jos ne eivät kuitenkaan saavuta erinomaisen luokan raja-arvoja (taulukko 3). Jos 95. prosenttipisteet ovat suuremmat kuin hyvää laatua osoittavat raja-arvot, lasketaan tuloksista 90. prosenttipisteet uimavesien mahdollisen ”tyytyttävän” laatulukituksen tarkastamiseksi. (STM 177/2008, Keinänen ym. 2008).

Indikaattoribakteereille asetettujen 95.prosenttipisteeseen perustuvien hyvän uimaveden raja-arvojen tai erinomaisen uimaveden raja-arvojen alittamiseksi on yksittäisten havaintojen bakteeripitoisuudet keskimäärin oltava selkeästi raja-arvoja alhaisemmat. Esimerkiksi neljän uimakauden valvontatutkimustuloksista koostuvan aineiston aritmeettinen keskiarvo voi olla 130 pmy *E. coli* -bakteereja/100ml, mutta sen 95.prosenttipiste on silti 550 pmy/100 ml eli erinomaisen uimavesiluokan raja-arvoa ylittävä (Keinänen ym. 2008, sivu 23).

Uimavesien luokitukseen käytettävät prosenttipisteisiin perustuvat raja-arvot ovat asianmukaisella varuksella sovellettuina käyttökelpoisia vertailukohteita, joiden avulla saadaan osviittaa Porvoonjoen vesistöalueen veden käyttökelpoisuudesta virkistyskäyttötarkoituksessa. On kuitenkin huomioitava, että Porvoonjoen vesistöalueella ei nykyisellään ole vilkkaassa käytössä olevia yleisiä uimarantoja, joihin em. raja-arvot ovat pääasiassa tarkoitettut sovellettaviksi. Lisäksi on huomioitava, että tässä selvityksessä myös uimakausien ulkopuolisia kevään, talven ja syksyn tuloksia vertaillaan uimavesille asetettuihin raja-arvoihin.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa toimenpiderajat yksittäisille sisämaan uimavesivalvontatutkimustuloksille ovat 1000 pmy/100 ml *E. coli* -bakteereille ja suolistoperäisille enterokokeille 400 pmy/100 ml. Kyseiset raja-arvot ovat korkeat verrattuna prosenttipisteisiin perustuviin raja-arvoihin ja selkeästi tasoa, joilla indikaattoribakteerien pitoisuudet ilmaisevat tuoretta ulosteperäistä kuormitusta ja mahdollista terveysriskiä (esim. WHO 2003). Erityisesti vertailtaessa bakteeripitoisuuksien keskiarvoja yksittäisille uimavesivalvontatutkimustuloksille asetettuihin raja-arvoihin, saadaan virheellinen ja todellista tilannetta myönteisempi kuva veden hygieenisestä tilasta.

Muuttuja	Yksikkö	Erinomainen laatu	Hyvä laatu	Tyydyttävä laatu
Suolistoperäiset enterokokit	pmy/mpn/100 ml	200*	400*	330**
<i>Escherichia coli</i>	pmy/mpn/100 ml	500*	1000*	900**

*perustuu 95. prosenttipisteeseen ** perustuu 90. prosenttipisteeseen

Taulukko 3. Uimaveden laadun arviointiin käytetyt raja-arvot sisämaan uimavesille (STMa 177/2008). Hyvän laadun raja-arvot ovat tyydyttävän laadun raja-arvoja tiukemmat, vaikka lukuarvoltaan ne ovat tyydyttävän luokan raja-arvoja suuremmat. Asia selittyy eri luokkiin liittyvien prosenttipisteiden erilaisesta laskentatavasta, jossa erinomaisen ja hyvän luokan raja-arvoja verrataan 95. prosenttipisteeseen, tyydyttävän luokan raja-arvoja 90. prosenttipisteeseen (Keinänen ym. 2008).

4. Tulokset ja tulosten tarkastelu

4.1. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamot

Tässä luvussa käsitellään ensin lyhyesti UV-desinfiointin puhdistustehoa ja vertaillaan lähtevän jäteveden bakteerimääriä UV-desinfiointilla ja ilman jätevesien UV-desinfiointia (luku 4.1.1). Tulosten tarkkuuteen saattaa pieneltä osin vaikuttaa se, että näytteet ennen ja jälkeen UV-käsittelyä otettiin Nikulan tasausaltaasta UV-rektorin tulokanavan suulta ja jätevesien purkuputken suulta, eikä reaktorin tulo- ja lähtevän veden kanavista. Bakteeripitoisuuksien erotus ennen ja jälkeen UV-käsittelyn antaa kuitenkin tämän purkuvesistöön keskittyvän selvityksen päämäärien kannalta riittävän hyvän kuvan UV-käsittelyn puhdistustehosta.

Tässä selvityksessä UV-desinfiointin aikaansaamia jätevesien bakteerivähenemisiä keskeisempää oli selvittää UV-käsittelyn aikaansaamia vaikutuksia purkuvesistössä. UV-käsittelyn vaikutuksia purkuvesistön hygieenisessä tilassa selvitetään ensin jätevesien purkupaikan lähialueella (luvut 4.1.2 - 4.1.3) ja sitten kasvavalla etäisyydellä purkupaikalta alavirtaan (luvut 4.1.4 - 4.1.6).

Näyteasema	115,7	102	98,3	91	77,5	64,5	62,5	40,3	35,5	25	11,5	4,5
Aritmeettinen keskarvo <i>E. coli</i>	127,9	68,8	394,3	3305,8	2388,7	1688,5	1311,5	996,8	637,7	499,3	222,1	463,8
Aritmeettinen keskarvo enterokokit	61,2	38,0	356,6	1258,6	688,8	229,6	331,2	172,3	196,2	172,6	91,4	124,6
Geomeetrinen keskarvo <i>E. coli</i>	66,2	49,8	162,4	1880,8	1068,5	272,5	470,6	128,1	109,3	102,9	50,5	102,2
Geomeetrinen keskarvo enterokokit	38,5	27,6	93,7	494,2	336,9	96,2	124,3	59,4	48,9	59,9	27,0	43,6
Keskarvo log ₁₀ <i>E. coli</i>	1,82	1,70	2,21	3,27	3,03		2,67	2,07	2,04	2,01	1,70	2,01
Keskarvo Log ₁₀ enterokokit	1,63	1,44	1,97	2,69	2,53		2,09	1,75	1,69	1,78	1,45	1,64
Mediaani <i>E. coli</i>	66,0	52,0	130,0	1800,0	1400,0	290,0	430,0	100,0	99,4	140,0	39,0	98,0
Mediaani enterokokit	39,5	38,5	86,0	450,0	280,0	95,5	105,0	49,0	45,5	77,0	29,0	34,5
Min <i>E. coli</i>	10,0	10	10	82	39,00	7	15	4	3	3	3	1
Max <i>E. coli</i>	870,0	190	4100	17000	20000,00	25000	9800	9800	9800	4900	1800	8200
Min enterokokit	0	7	4	27	33,00	2	20	4	1	1	0	2
Max enterokokit	290	85	7700	15000	5900,00	1300	4300	1200	3200	1700	930	1200
n <i>E. coli</i>	31	6	65	66	24,00	33	32	28	65	32	75	65
n enterokokit	34	8	70	70	27,00	36	36	31	70	36	75	70

Näyteasema	115,7	102	98,3	91	77,5	64,5	62,5	40,3	35,5	25	11,5	4,5
Aritmeettinen keskarvo <i>E. coli</i>	37,0	20,8	95,2	728,4	758,7	180,4	498,9	65,0	167,6	114,9	87,2	251,2
Aritmeettinen keskarvo enterokokit	34,5	26,0	53,4	188,1	256,4	54,8	116,4	28,0	55,4	57,6	50,8	54,8
Geomeetrinen keskarvo <i>E. coli</i>	28,5	11,3	68,1	300,8	373,5	70,7	284,5	34,6	56,9	46,2	28,7	78,3
Geomeetrinen keskarvo enterokokit	27,4	17,2	30,5	116,6	141,7	35,0	76,3	20,6	29,0	33,4	15,0	24,2
Keskarvo log ₁₀ <i>E. coli</i>	1,45	1,05	1,83	2,48	2,57	1,85	2,45	1,54	1,75	1,66	1,46	1,89
Keskarvo Log ₁₀ enterokokit	1,44	1,24	1,48	2,07	2,15	1,54	1,88	1,31	1,46	1,52	1,23	1,38
Mediaani <i>E. coli</i>	37,5	11,0	91,0	270,0	330,00	74,0	330,0	65,0	63,0	36,0	19,0	62,0
Mediaani enterokokit	33,5	19,0	32,0	88,0	100,00	40,0	82,5	28,0	45,0	35,0	19,0	20,5
Min <i>E. coli</i>	3	1	7	41	40,00	10	50	10	2	7	3	6
Max <i>E. coli</i>	59	77	310	5500	2800,00	1100	2400	120	1100	490	870	2900
Min enterokokit	5	3	4	38	30,00	5	18	9	1	3	0	3
Max enterokokit	61	91	280	1200	1000,00	140	550	47	310	220	680	430
n <i>E. coli</i>	8	8	20	25	15,00	15	14	2	23	14	22	24
n enterokokit	8	8	20	25	15,00	15	14	2	27	14	22	24

Taulukko 4. Porvoonjoen pääuoman indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja huhti-marraskuun välisenä aikana vuosina 2006-2014 ennen jätevesien UV-hygienisointia (ylhäällä) ja UV hygienisoinnin aikana toukokuusta 2015-syyskuuhun 2017.

Vesistövaikutuksia purkupaikan lähialueilla selvitetään vertaamalla purkuvesistön UV-käsittelyn aikaisia bakteeripitoisuuksia bakteeripitoisuuksiin ajoilta ilman UV-käsittelyä. Vertailussa hyödynnetään pääasiassa tämän selvityksen aikana marraskuulta 2016 elokuulle 2017 kerättyä aineistoa (liite 3 ja 4). Lähietäisyydellä purkupaikasta vesi kulkeutuu purkupisteestä näyteasemille ja näyteasemilta toiseen tavallisesti muutamissa minuuteissa. Tämän takia vuodenaikojen mukaan vaihtelevat ympäristöolosuhteet eivät vaikuta mikrobien määriin ja koko marraskuu 2016 - elokuu 2017 välisen jakson näytteiden tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään (katso luku 2.7.6.). Yhdyskuntajätevesistä riippumattomat vaihtelut jätevesiä vastaanottavan lähivesistön bakteeripitoisuuksissa hallitaan jätevesien purkupaikan yläpuolella sijaitsevan näyteaseman avulla.

UV-desinfioinnin vaikutuksia purkupaikan lähialueilla selvitetään lisäksi myös vertaamalla bakteeripitoisuuksia alueellisesti siten, että UV-desinfioinnin aikaisia bakteeripitoisuuksia päästöjen alapuolelta verrataan jätevesipäästöjen yläpuolelta otettujen rinnakkaisnäytteiden bakteeripitoisuuksiin (liite 4).

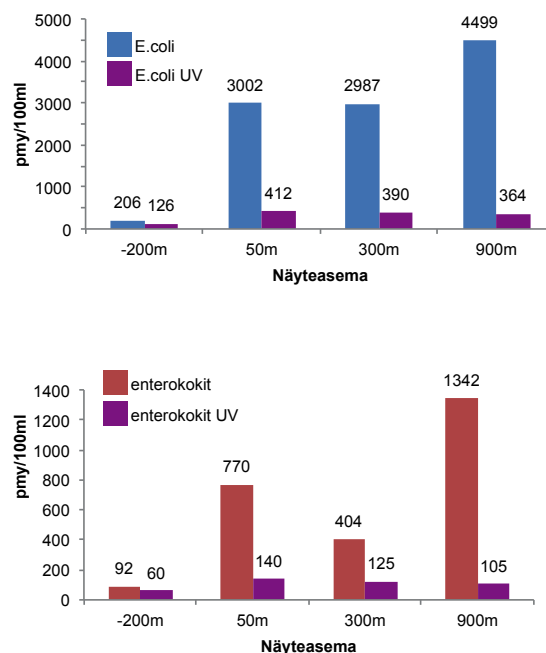
UV-desinfioinnin vesistövaikutuksia joen eri osuuksilla, kasvavalla etäisyydellä purkualueesta Porvoonjoen alajuoksulle asti, selvitetään pääasiassa vertailemalla joen UV-desinfioinnin aikaista hygieenistä tilaa keskimääräiseen hygieeniseen tilaan ennen jätevesien UV-desinfioinnin käyttöön ottoa vuosina 2006-2014 (taulukko 4). Vuodenaikaisvaihtelujen huomioimiseksi vertailuissa käytetään pääasiassa huhti-marraskuun aikaista vedenlaatuaineistoa.

4.1.1. Jäteveden bakteerivähenemät UV-käsittelyssä

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden UV-reaktorin tulokanavan suulta ja jätevesien purkuputken suulta otettujen rinnakkaisnäytteiden perusteella UV-käsittelyllä saavutettiin keskimäärin 85 %:n vähenemää *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuuksissa ja 78 %:n vähenemää suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksissa (liite 4). *E. coli* -bakteerien vähenemän vaihteluväli oli 82-96 % ja enterokokkien 17- 91 %. Kaiken kaikkiaan tämä johtaa pääsääntöisesti yli 99,9 % kokonaisvähenemään bakteeripitoisuuksissa puhdistamoihin tulevan ja puhdistamoilta lähtevän jäteveden suhteen.

Suolistobakteerien vähenemä UV-käsittelyssä oli merkittävä. Bakteerivähenemä oli kuitenkin odotettua vähäisempi, sillä UV-desinfioinnilla on mahdollista saavuttaa yli 99 %:in vähenemiä jätevesien mikrobien määrissä (esim. Moilanen 2014, Bäckström 2015).

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-laitoksesta lähtevän jäteveden ilmentäjäbakteerien pitoisuudet olivat selkeästi Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman pitoisuuksia korkeammat (katso luku 4.2.1.). Nastolan purku-uoman *E. coli* -bakteerien UV-desinfioidin aikainen mediaanipitoisuus oli 21 pmy/100 ml, kun se Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-laitoksen lähtevässä jätevedessä oli 1500 pmy/100 ml. Mikäli Lahdessa päästäisiin Nastolan jätevedenpuhdistamon ja esim. Moilasen (2014) toteamiin > 99,5 % enterobakteerien reduktioihin pelkän UV-desinfioidin osalta, olisivat jäteveden bakteeripitoisuudet monasti purkuvesistön pitoisuuksia alhaisemmat. UV-desinfioidin 99 %:in bakteerien vähenemillä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan yhdyskuntajätevedet laimentaisivat normaalitilanteessa purkuvesistön suolistoperäisten bakteerien pitoisuuksia ja parantaisivat Porvoonjoen hygieenistä tilaa.



Kuva 19. Indikaattoribakteerien pitoisuudet (pitoisuuksien geometriset keskiarvot) 50, 300 ja 900 m jätevesipäästöjen alapuolella sekä vertailuasemalla jätevesipäästöjen yläpuolella (asema -200m) UV-hygienisointilaitoksen käytön aikana (violetit pylväät) ja ilman jätevesien UV-käsittelyä.

UV-desinfioidin puhdistusteho ei näytä olevan suhteessa tulevan jäteveden bakteeripitoisuuksiin, eikä puhdistusprosentti juurikaan vaihtelee tulevan veden pitoisuuksien vaihdellessa. Tulevan jäteveden ja lähtevän jäteveden pitoisuuksien välillä on tilastollisesti merkitsevä lineaarinen riippuvuus UV-desinfioidin aikana ($p=0,03$). Tämä tarkoittaa sitä, että kun UV-käsittelyyn tulee erittäin hygieenisesti huonolaatuista vettä, ovat myös bakteeripitoisuudet lähtevässä jätevedessä varsin korkeita. Jätevesien mikrobien konsentraatiot vaihtelevat suuresti ja maksimipitoisuudet ylittävät keskipitoisuuksia moninkertaisesti. Tulevan jäteveden mikrobien alkupitoisuuksien ollessa erityisen korkeita aiheutuu myös Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden UV-käsitellyistä jätevesistä merkittävää hygieenistä kuormitusta.

4.1.2. UV-desinfioidin vaikutukset purkupaikan lähialueilla

Ajallinen vertailu

Tämän selvityksen aikana marraskuusta 2016 elokuuhun 2017 *E. coli* -bakteerien pitoisuus purkualueella 50, 300 ja 900 metrin etäisyydellä purkupisteestä alavirtaan oli keskimäärin 3300 pmy/100ml aikoina, jolloin jätevedet eivät käyneet läpi UV-käsittelyä (liite 4).

Ulosteperäisten enterokokkien vastaava keskipitoisuus oli 700 pmy/100ml.

Jätevesien UV-käsittelyn aikana 50, 300 ja 900 metrin etäisyydellä purkuputkesta sijaitsevien näyteasemien *E. coli* -bakteerien pitoisuus oli keskimäärin 390 pmy/100ml. Ulosteperäisten enterokokkien keskipitoisuus jätevesien UV-käsittelyllä oli 120 pmy/100ml. Erot purkualueen bakteeripitoisuuksissa jätevesien UV-käsittelyllä ja ilman UV-käsittelyä ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p \ll 0,001$).

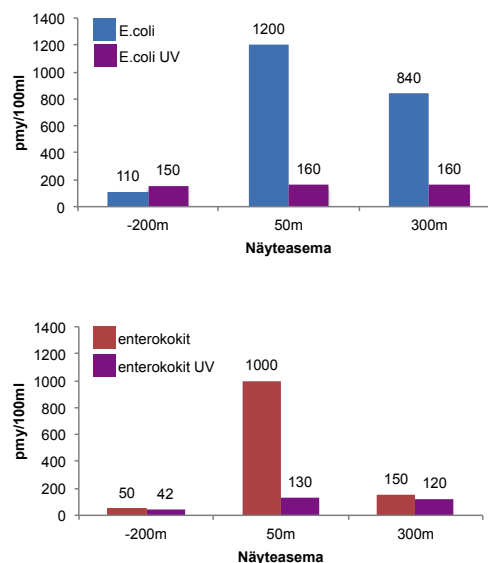
Prosentuaalisesti jätevesien UV-käsittelyn aikainen bakteerivähenemä purkualueella oli noin 88 % *E. coli* -bakteerien pitoisuuksissa ja noin 82% suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksissa.

Huolimatta siitä, että bakteerien vähenemä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-käsittelyssä ei vielä tällä hetkellä saavuta optimaalista tehokkuutta (vertaa luku 4.2.1. sivu 47), ovat UV-käsittelyn vaikutukset purkuvesistössä varsin merkittävät.

Yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolisen vertailuaseman perusteella tarkastelujakson aikaiset vaihtelut purkuvesistön veden taustapitoisuuksissa olivat vähäiset, eivätkä jätevesistä riippumattomat bakteerimäärien vaihtelut juurikaan vaikuttaneet tuloksiin.

Alueellinen vertailu

Ilman jätevesien UV-käsittelyä *E. coli* -pitoisuudet jätevesipäästöistä 50 - 900 metriä alavirtaan olivat keskimäärin noin 17-kertaisia päästölähteestä 200 metriä ylävirtaan sijaitsevan vertailuaseman pitoisuuksiin verrattuna. UV-desinfiointin aikana *E. coli* -pitoisuudet purkupisteestä alavirtaan olivat keskimäärin noin kolminkertaisia yläpuoliseen jätevesipäästöjen ulottumattomissa sijaitsevaan vertailuasemaan verrattuna (liite 4, kuva 19). Vastaavasti suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet jätevesipäästöistä välittömästi alavirtaan olivat keskimäärin noin yhdeksänkertaisia yläpuolisen näyteaseman pitoisuuksiin verrattuna ilman jätevesien UV-desinfiointia ja UV-desinfiointin aikana enää noin kaksinkertaisia.



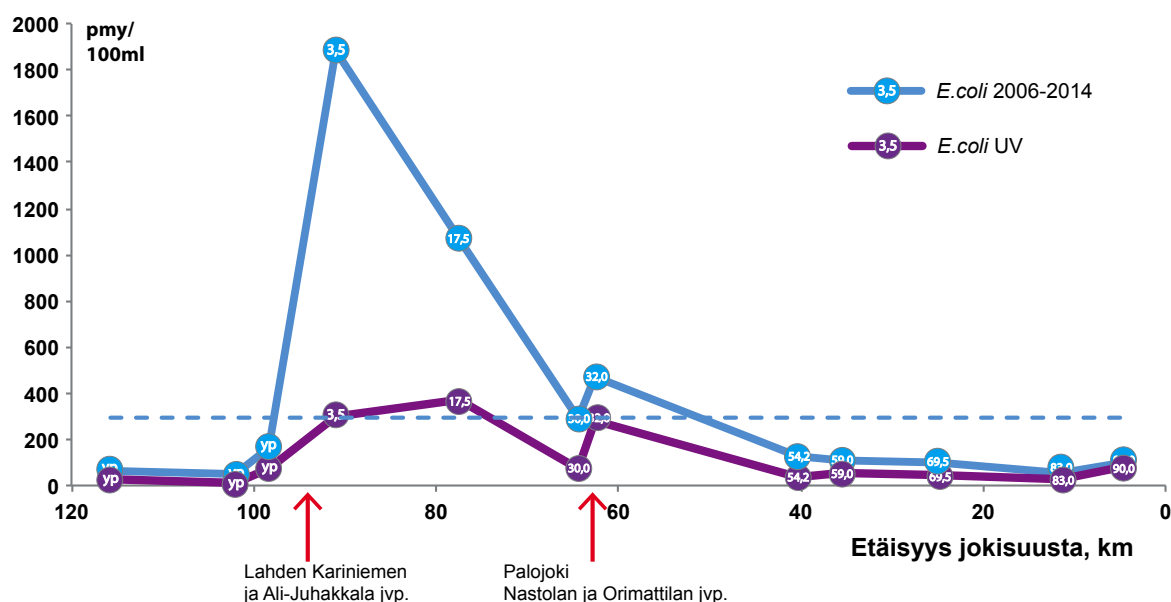
Kuva 20. Indikaattoribakteerien pitoisuudet 50 ja 300 m jätevesipäästöjen alapuolella sekä kontrolliasemalla jätevesipäästöjen yläpuolella (asema -200m) lyhytkestoisen UV-hygienisointilaitoksen käyttökatoa aikana ja sen jälkeen (violetit pylväät).

4.1.3. Pieni tapaustutkimus:

Lyhyen UV-laitoksen käyttökatkoksen vaikutukset purkuvesistön hygieeniseen tilaan

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-desinfiointilaitoksessa sattui huhtikuussa 2017 lyhytkestoinen katkos, joka ajoittui näytteenottojen aikaan. Huoltokatkoksen aikana *E. coli* -bakteerien pitoisuus noin puoli tuntia laitoksen sammuttamisen jälkeen oli 1200 pmy/100ml ja enterokokkien pitoisuus 1000 pmy/100 ml 50 metrin etäisyydellä purkuputkesta alavirtaan. Noin tunnin kuluttua UV-laitoksen jälleenkäynnistämisen jälkeen pitoisuudet laskivat pieneen osaan käyttökatkoksen aikaisiin pitoisuuksiin verrattaessa (kuva 20). Vähemmän laitoksen käynnistämisen jälkeen oli noin 87% molempien indikaattoribakteerien pitoisuuksissa 50 metrin etäisyydellä purkuputkesta alavirtaan.

Myös etäämmällä purkuputkesta (300m) lyhytkestoisen käyttökatkoksen vaikutukset bakteeripitoisuuksiin näkyivät voimakkaina *E. coli* -pitoisuuksissa, mutta vähemmässä määrin enterokokkien pitoisuuksissa (kuva 20). Pitoisuuserot johtunevat pääasiassa siitä, että etäisyyden kasvaessa purkuputkeen pitenee veden vaihtuvuuteen vaadittava aika. Lyhytkestoisen käyttökatkoksen aikana jätevedet olivat mitä todennäköisimmin varsin epätasaisesti sekoittuneet jokiveteen.

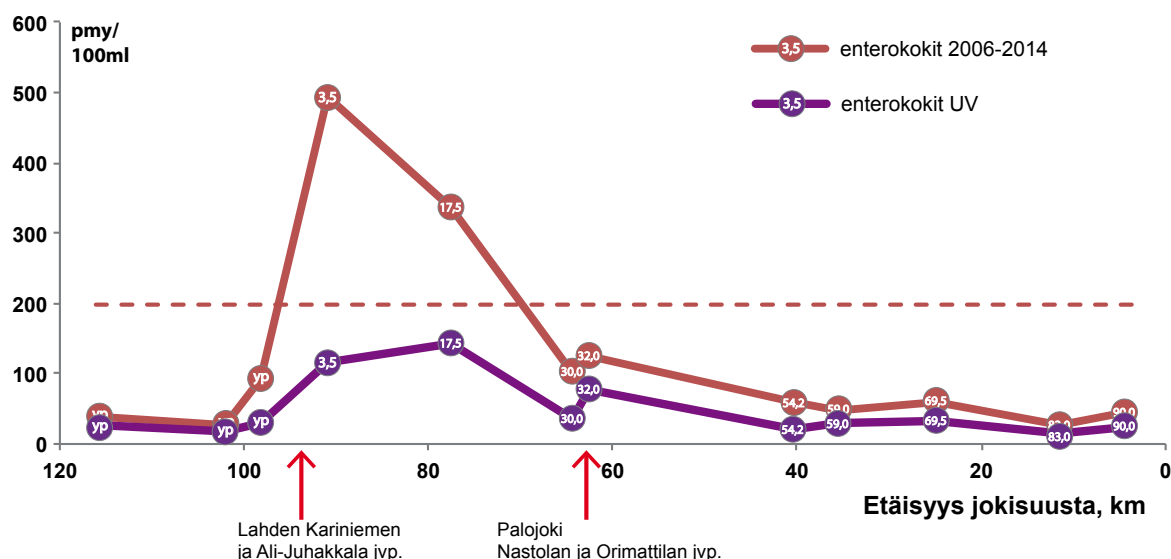


Kuva 21. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuudet Porvoonjoen pääuomassa 2006-2014 ennen UV-hygienisointia ja UV-hygienisoinnin aikana vuosina 2015-2017 (violetti käyrä). Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema). Kuvassa on näyteasemien *E. coli* pitoisuuksien geometriset keskiarvot huhti-marraskuun väliseltä ajanjaksolta. Katkoviiva kuvaa veden kastelukäytön laatuvaatimusten raja-arvoa 300 pmy/100ml (MMM asetus 134/2006).

Käyttökatkoksen aikaiset ja katkoksen jälkeiset pitoisuuserot ovat suuruusluokaltaan yhdenmukaisia edellisten kappaleiden ajallisten ja alueellisten vertailujen tulosten kanssa, ja tarkentavat kuvaa UV-desinfiointin vaikutuksesta purkuvesistön bakteeripitoisuuksiin purkupaikan lähialueilla. Suppea ja esimerkinomainen tapaus havainnollistaa, että UV-desinfiointin aikaansaamat vähenemät puhdistamolta lähtevän jäteveden bakteeripitoisuuksissa näkyvät lyhyellä aikavälillä ja selkeinä noin 80 - 90%:in bakteerivähennyksinä purkuvesistössä.

4.1.4. UV-desinfiointin vaikutukset Porvoonjoen yläosalla

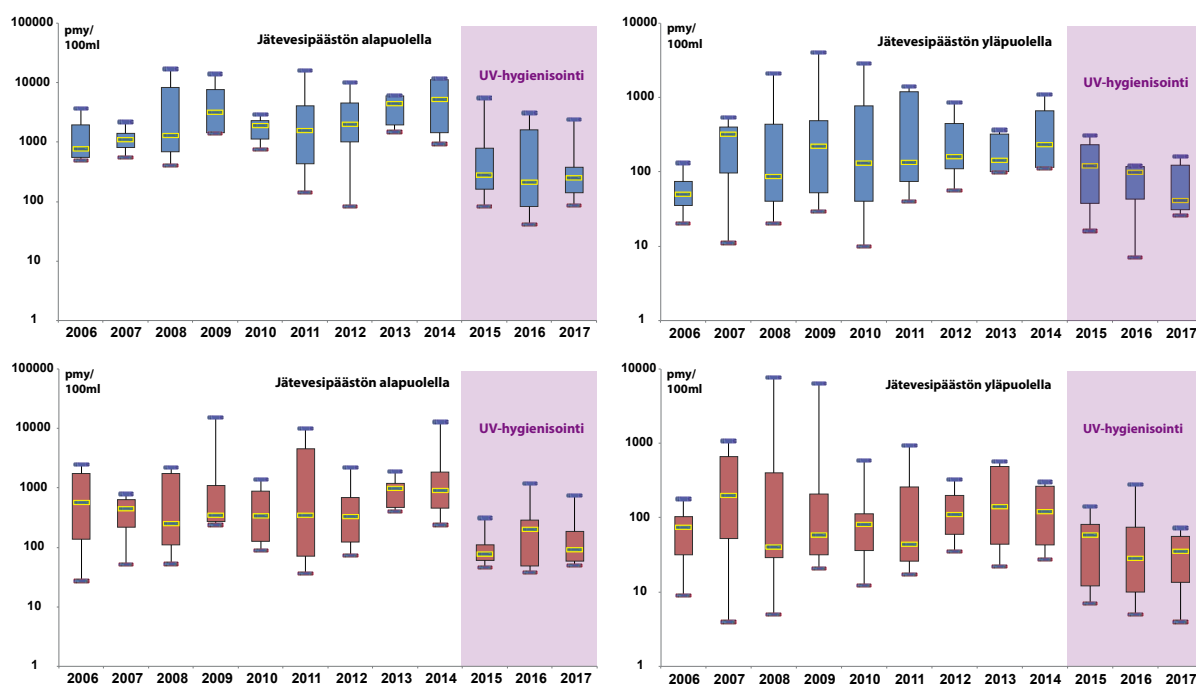
Vuosina 2006-2014 huhti - marraskuussa, ennen jätevesien UV-desinfiointin käyttöönottoa *E. coli* -pitoisuudet 3,5 km jätevesipäästöistä alavirtaan olivat keskimäärin noin 1900 pmy/100ml ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet keskimäärin noin 500 pmy/100ml (taulukko 4 sivulla 31). Vuosina 2015-2017 huhti - marraskuussa UV-käsittelyn aikana saman näyteaseman *E. coli* -pitoisuudet olivat keskimäärin noin 300 pmy/100ml ja enterokokkien pitoisuudet keskimäärin noin 120 pmy/100ml. Pitoisuuserot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0.001$). Prosentuaalisesti *E. coli* -bakteerien pitoisuudet laskivat 84 % ja enterokokkien pitoisuudet 76 % UV-desinfiointilaitoksen toiminnan vaikutuksesta (kuva 21 ja 22).



Kuva 22. Suolistoperäisten enterokokkibakteerien pitoisuudet Porvoonjoen pääuomassa 2006-2014 ennen UV-hygienisoinnin käyttöönottoa ja UV-hygienisoinnin käyttöönoton jälkeen (violetti käyrä). Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema). Kuvassa on näyteasemien suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien geometriset keskiarvot huhti-marraskuun väliseltä ajanjaksolta. Katkoviiva kuvaa veden kastelukäytön laatuvaatimusten raja-arvoa 200 pmy/100ml (MMM asetus 134/2006).

Tarkasteltaessa tämän selvityksen aikana marraskuulta 2016 elokuulle 2017 mitattuja bakteeripitoisuuksia päädytään saman tason bakteerivähenemiin kuin vuosikeskiarvoja vertailtaessa (liite 4). Marraskuun 2016 ja elokuun 2017 välisenä aikana 3,5 km purkupisteestä alavirtaan *E. coli* -bakteereja oli keskimäärin 79 % ja suolistoperäisiä enterokokkeja keskimäärin 77 % vähemmän huhti-marraskuussa UV-desinfiointin olleessa käytössä verrattuna talvikuukausiin, jolloin jätevesiä ei desinfioitu. Ero *E. coli* -bakteerien keskipitoisuuksissa UV-desinfiointin aikana verrattuna aikaan ilman jätevesien UV-desinfiointia on tilastollisesti merkitsevä 1 %:n merkitsevyystasolla ja ero enterokokkien pitoisuuksissa tilastollisesti merkitsevä 5 %:n merkitsevyystasolla.

Osa desinfiointin aikaisesta bakteeripitoisuuksien laskusta johtuu jätevesistä riippumattomasta vaihtelusta joen veden taustapitoisuuksissa, sillä myös jätevesien yläpuolisilla näyteasemilla mitattiin vuosina 2015-2017 huhti - marraskuussa keskimääräistä alhaisempia *E. coli* ja enterokokkipitoisuuksia (kuva 23). Vaihtelut bakteerien pitoisuuksissa jokivedessä ovat suuria johtuen mm. sateisuudesta ja näytteenottojen ajoittumisesta suhteessa virtaamahuippuihin. Myös lisääntynyt laimennusveden johtaminen ja Kariniemen ja



Kuva 23. *Escherichia coli* -bakteerien (ylhäällä) ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet (pmy/100ml) näyteasemalla 91,0 jätevesistä 3,5 km alavirtaan ja asemalla 98,3 jätevesipäästöjen yläpuolella huhti-marraskuussa vuosina 2006-17 (huom. poikkeavat asteikot). Vuodesta 2015, UV-hygienisoinnin käyttöönotosta lähtien, on jätevesien alapuolisen näyteaseman pitoisuuksissa selkeästi erottuva pitoisuuksien tason lasku. Myös jätevesien yläpuolella on veden hygieeninen tila vuosina 2015-2017 ollut keskimääräistä jonkin verran parempi. Kaaviossa laatikon alareuna vastaa aineiston alaneljännestä, yläreuna yläneljännestä, alin ja ylin poikkiviiva ovat pienin ja suurin arvo ja laatikossa oleva poikkiviiva on aineiston mediaani (huom. logaritminen asteikko).

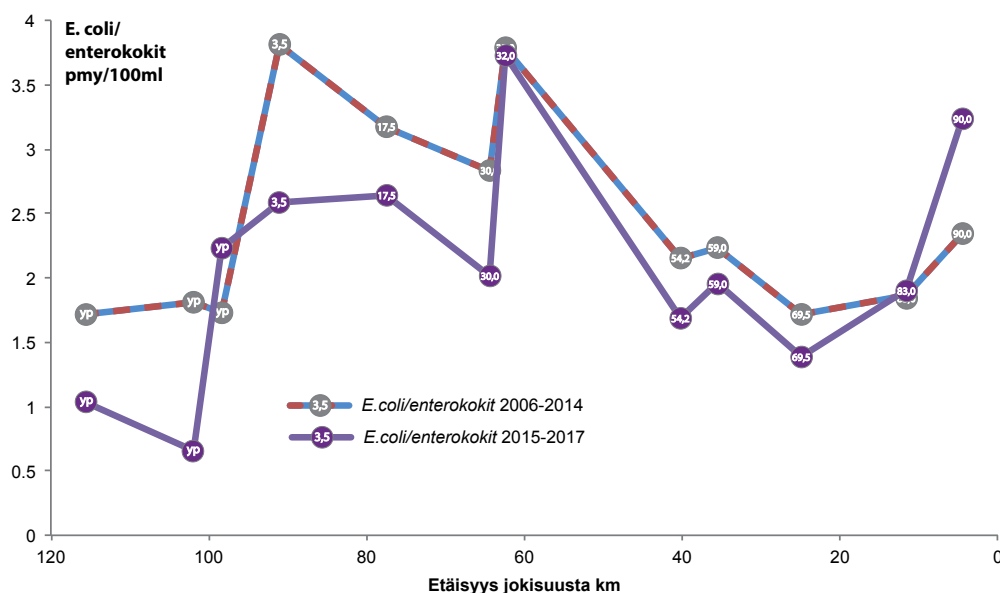
Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden vuosina 2014 - 2016 pienentyneet jätevesimäärät ovat omalta osaltaan vaikuttaneet myönteisesti joen hygieeniseen tilaan (Ramboll 2017).

Jätevesien yläpuolisten asemien tarkastelujaksojen väliset erot bakteeripitoisuuksissa olivat kuitenkin pienet verrattuna alapuolisen näyteaseman saman ajanjakson pitoisuuseroihin. Yhdyskuntajätevesistä riippumattomia vaihteluja huomioiden ovat UV-desinfiointin aikaiset bakteeripitoisuuksien vähenemät 3,5 km etäisyydellä purkupaikasta noin 80 % *E. coli* -bakteerien ja noin 75 % suolistoperäisten enterokokkien osalta.

17 km päästölähteestä

Myös etäämmällä, seitsemäntoista kilometrin etäisyydellä jätevesien purkupaikasta bakteeripitoisuudet alenivat selkeästi UV-desinfiointin aikana (taulukko 4 sivulla 31, kuva 21 ja 22). UV-desinfiointin vaikutuksesta *E. coli* -bakteerien pitoisuudet olivat keskimäärin 35 % ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet keskimäärin 42 % pitoisuuksista ennen jätevesien UV-käsittelyä. Bakteerivähennys oli siis 58 - 65 % UV-desinfiointin aikana.

Ennen UV-desinfiointia joen bakteeripitoisuudet laskivat jyrkästi Lahti-Orimattila välisellä jokiosuudella, jonka jälkeen oli havaittavissa Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon ja Palojoen tuoman kuormituksen aiheuttama pitoisuusnousu (kuva 21 ja 22).



Kuva 24. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen keskimääräinen suhde Porvoonjoen pääuomassa. Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien keskipitoisuuksien (geometrisen keskiarvo) suhde ajalta huhti - marraskuu 2006-2014 ennen UV-hygienisointia ja samoina kuukausina 2015-2017 UV-hygienisoinnin käyttöönoton jälkeen (violetti käyrä). Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema).

UV-desinfiointin aikaisissa bakteeripitoisuuksissa ei samankaltaista jyrkkää pitoisuuslaskua ole havaittavissa. Sen sijaan molempien indikaattoribakteerien pitoisuuksien keskitaso pysyy melko samansuuruisena, pitoisuudet vielä jonkin verran nousevat 17 kilometrin päästä jätevesien purkupisteestä. Indikaattoribakteerien pitoisuusnousu 17 km etäisyydellä jätevesien purkupaikasta johtuu todennäköisesti enimmäkseen siitä, että kokonaisbakteerikuorman pienentyessä korostuvat muiden bakteerilähteiden vaikutukset jätevesipäästöjen alapuolisella alueella. Pitoisuuksien tason laskiessa UV-desinfiointin myötä tulevat pienempien, mutta lähempänä sijaitsevien bakteerilähteiden vaikutukset entistä selkeämmin näkyviin. Alueen yläpuolella jokeen kertyy kuormitusta mm. Vartio-ojan kaupunkipuroilta, jonka bakteerikuorma on aika-ajoin merkittävä.

30 km päästölähteestä

UV-desinfiointin aikana *E. coli* -bakteerien suhteelliset määrät mikrobistossa laskivat koko Lahti-Orimattila jokiosuudella päästöistä 30 km alavirtaan (kuva 24). Korkeaa *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien välistä suhdetta pidetään viitteenä siitä, että ulostekontaminaatio on ihmisestä peräisin. Enterokokit säilyvät myös *E. coli* -bakteereja pidempään vesiympäristössä. Erot indikaattoribakteerien runsaussuhteissa viittaavat siihen, että UV-desinfiointin aikana aiempaa pienempi osuus alueen bakteeristosta on peräisin yhdyskuntajätevesistä.

Kolmekymmentä kilometriä jätevesien purkupisteestä alavirtaan, Palojoen liittymän ja Vääräkosken jätevedenpuhdistamon yläpuolella, ovat veden UV-desinfiointin aikaiset keskimääräiset bakteeripitoisuudet laskeneet jätevesipäästöjen yläpuolisen alueen tasolle. Joen ylimpään osaan Luhdanjokeen verrattuna veden hygieeninen laatu on kuitenkin heikompi (taulukko 4 sivulla 31, kuva 21 ja 22 sivuilla 35 ja 36). Alueen *E. coli* -pitoisuudet vuosina 2015 - 2017 olivat keskimäärin noin neljännes ja suolistoperäisten enterokokkien

Näyteasema	115,7	102	98,3	91	77,5	64,5	62,5	40,3	35,5	25	11,5	4,5
Aritmeettinen k.a. <i>E.coli</i>	79.6	68.6	175.2	1048.9	1904.2	540.3	722.4	140.0	327.5	192.7	195.8	294.8
Aritmeettinen k.a. enterokokit	42.0	96.8	53.1	308.4	399.3	159.0	194.5	48.3	84.9	80.5	66.4	68.1
Geomeetrinen k.a. <i>E.coli</i>	43.6	21	81.6	479.1	594.1	144.3	357.9	70.3	95.1	73.9	55.7	119.5
Geomeetrinen k.a. enterokokit	29.9	23.8	30.8	170.1	182.9	61.3	102.6	33.5	40.5	41.2	22.2	31.8
Mediaani <i>E.coli</i>	47.0	17.5	94.5	450.0	440.0	93.0	390.0	120.0	100.0	60.0	40.0	110.0
Mediaani enterokokit	33.5	19.0	31.0	180.0	140.0	57.0	110.0	47.0	57.0	40.5	26.0	25.0
Min <i>E.coli</i>	3	1	7	41.0	40.0	10	50	10	2	7	3	6
Max <i>E.coli</i>	320	330	1600	5500.0	17000.0	3700	5000	290	2500	1000	1200	2900
Min enterokokit	5	3	4	38.0	30.0	5	18	9	1	3	0	3
Max enterokokit	130	750	280	2000.0	2800.0	1200	940	89	680	490	680	430
n <i>E.coli</i>	10	10	28	35	19	21	19	3	37	18	29	33
n enterokokit	10	10	28	35	19	21	19	3	37	18	29	33

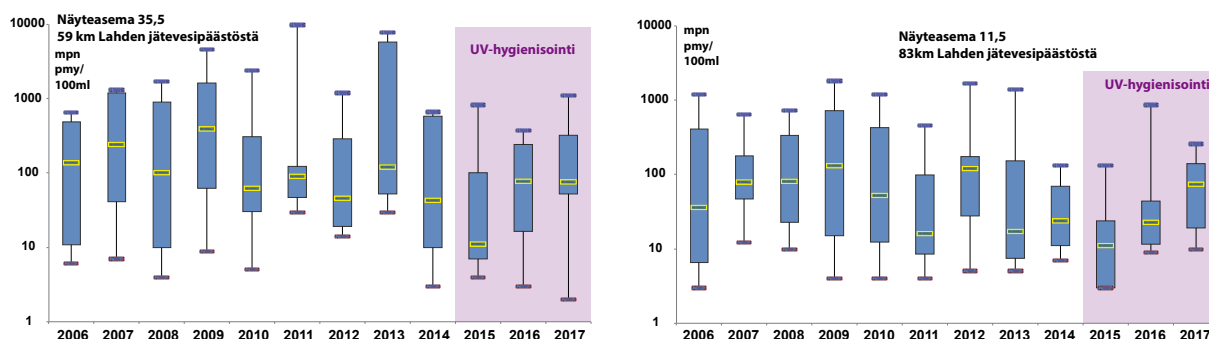
Taulukko 5. Porvoonjoen pääuoman indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) keskeisiä tilastollisia tunnuslukuja toukokuusta 2015 UV-desinfiointin käyttöönoton jälkeiseltä ajalta. Luvuissa on mukana myös talviaikaiset pitoisuudet jolloin jätevesien UV-käsittely ei ole käytössä.

pitoisuudet keskimäärin noin kolmannes verrattuna pitoisuuksiin ennen jätevesien UV-desinfiointia (taulukko 4 sivulla 31). Mikäli vertaillaan vuosikeskiarvoja, joissa ovat mukana myös talviaikaiset pitoisuudet, ovat bakteerimäärät karkeasti puolittuneet jätevesien desinfioinnin aloittamisesta lähtien (taulukko 5).

Vuosina 2015-17 desinfioinnin aikana Orimattilan yläpuolisen alueen näyteaseman *E. coli* -bakteerien pitoisuuksien 95. prosenttipiste uimakausina kesäkuun puolestavälistä elokuun loppuun oli alle 400 pmy/100ml. Pitoisuus alittaa sisämaan uimavesilukituksessa erinomaisen laadun raja-arvon 500 pmy/100ml (sosiaali- ja terveysministeriön asetus 177/2008). Myös enterokokkien pitoisuuksien 95. prosenttipisteen perusteella veden uimakauden aikainen laatu oli sisämaan uimaveden laatuluokituksessa ”erinomainen”. Vuodenaikoina ilman jätevesien UV-desinfiointia Palojoen ja Vääräkosken puhdistamon yläpuolisen alueen veden hygieeninen tila oli sitä vastoin selkeästi huonompi *E. coli* -bakteerien keskiarvon ollessa noin 1500 pmy/100 ml.

4.1.5. Orimattilan jätevedenpuhdistamon vaikutus UV-desinfioinnin aikana

Palojoen ja Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon vaikutuksista johtuen UV-desinfioinnin aikainen bakteerivähennys Palojoen liittymän ja Vääräkosken puhdistamon alapuolella oli huomattavasti vähäisempi kuin niiden yläpuolella. Alapuolisella alueella *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet laskivat keskimäärin noin 40% UV-desinfioinnin aikana. Palojoen liittymän ja Vääräkosken puhdistamon yläpuolella bakteeripitoisuuksien lasku desinfioinnin aikana oli sen sijaan 65 - 75 % (taulukko 4 sivulla 31, kuva 21 ja 22 sivuilla 35 ja 36).



Kuva 25. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuudet (pmy/100ml) näyteasemalla 35,5 jätevesistä 59 km alavirtaan ja asemalla 11,5 jätevesipäästöistä 83 km alavirtaan huhti-marraskuussa vuosina 2006-2017. Kaaviossa laatikon alareuna vastaa aineiston alaneljännestä, yläreuna yläneljännestä, alin ja ylin poikkiviiva ovat pienin ja suurin arvo ja laatikossa oleva poikkiviiva on aineiston mediaani (huom. logaritminen asteikko).

Vääräkosken yläpuolisen jokiosuuden *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen suhde laski selkeästi kaikilla näyteasemilla Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesien UV-desinfiointin vaikutuksesta (kuva 24). Palojoen liittymän ja Vääräkosken jätevedenpuhdistamon alapuolella suhde sen sijaan nousee merkittävästi. Yläpuoliseen jokiosuuteen verrattuna selkeästi kohonneet bakteeripitoisuudet ja *E. coli* -bakteerien suhteellisen suuri osuus bakteeristossa ovat yhdessä osoitus siitä, että tuoreella ihmisperäisellä ulostesaastumisella on merkittävä vaikutus Vääräkosken alapuolisen alueen veden hygieniaan. UV-käsittelyn käynnistyttyä ja yläpuolelta tulevan bakteerikuorman vähennyttyä korostuu paikallinen, pääosin Vääräkosken jätevedenpuhdistamolta tuleva kuormitus entisestään.

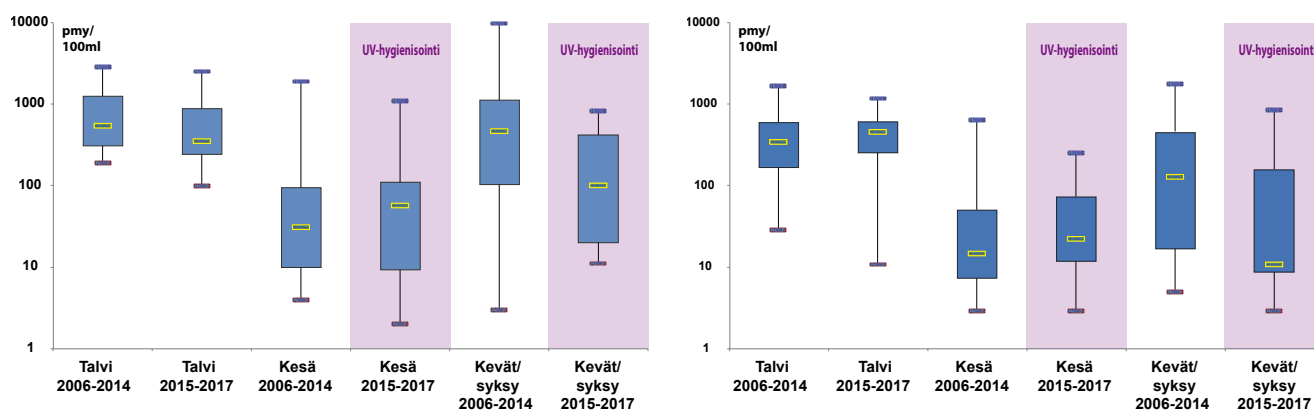
4.1.6. UV-desinfiointin vaikutukset Porvoonjoen keski- ja alaosalla

Vuodesta 2015, UV-desinfiointin käyttöönoton jälkeen, joen ala- ja keskijuoksun bakteeripitoisuudet ovat olleet pitkän ajanjakson keskiarvoja alhaisemmat (kuva 21 ja 22 sivuilla 35 ja 36). Näyteasemilla, joilta aineistoa on kattavammin, UV-desinfiointin aikaiset (huhti - marraskuun) *E. coli* -bakteerien pitoisuudet olivat noin 20 - 50 % ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet noin 40 - 45 % alle vuosien 2006-2014 pitkäaikaisten keskiarvojen (taulukko 4 sivulla 31, kuva 25).

Näyteasema:	35,5 <i>E. Coli</i>	35,5 Enterokit	11,5 <i>E. Coli</i>	11,5 Enterokit	4,5 <i>E. Coli</i>	4,5 Enterokit
Talvi 2006-14 k.a. aritm.	862,2	206,2	462,2	125,2	580,5	162,0
Talvi 2006-14 k.a. geom.	605,9	143,1	316,0	89,1	329,1	91,7
Talvi 2006-14 mediaani	550,0	140,0	350,0	89,5	240,0	72,5
Talvi 2015-17 k.a. aritm.	732,4	152,3	472,1	119,8	375,0	83,0
Talvi 2015-17 k.a. geom.	439,1	96,1	311,4	79,0	331,4	46,2
Talvi 2015-17 mediaani	350,0	71,5	470,0	55,0	340,0	43,5
Kesä 2006-14 k.a. aritm.	115,9	122,1	55,1	29,9	372,3	71,6
Kesä 2006-14 k.a. geom.	35,6	20,6	20,5	11,4	55,7	26,0
Kesä 2006-14 mediaani	31,0	19,0	15,0	13,5	69,0	18,0
Kesä 2015-17 k.a. aritm.	130,7	44,1	55,7	21,0	240,0	45,8
Kesä 2015-17 k.a. geom.	42,6	28,2	29,9	12,3	57,0	19,1
Kesä 2015-17 mediaani	57,0	29,0	23,0	18,0	45,0	38,6
Kevät/syysy 2006-14 k.a. aritm.	1175,7	274,8	376,2	148,1	566,7	188,5
Kevät/syysy 2006-14 k.a. geom.	347,5	122,2	116,3	60,0	188,5	73,3
Kevät/syysy 2006-14 mediaani	465,0	110,0	130,0	62,0	180,0	72,0
Kevät/syysy 2015-17 k.a. aritm.	241,2	78,0	154,7	114,6	273,5	72,8
Kevät/syysy 2015-17 k.a. geom.	101,3	30,5	26,3	23,0	147,8	38,6
Kevät/syysy 2015-17 mediaani	100,0	63,0	11,0	20,0	135,0	32,0

Taulukko 6. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet (pmy/100ml) talvella joulou-maaliskuussa, kesällä touko-elokuussa sekä keväällä ja syksyllä (huhtikuussa ja syys-marraskuussa) vuosina 2006-2014 ja 2015 - 2017. Taulukossa on esitetty pitoisuudet Porvoonjoen keski- ja alajuoksun näyteasemilla 35,5 (Pukkila), 11,5 (Porvoo) ja 4,5 (jokisuu), joilta aineistoa on kattavasti. k.a. aritm. = aritmeettinen keskiarvo. k.a. geom. = geometrinen keskiarvo.

Mikäli tarkastellaan vain kevään ja syksyn bakteeripitoisuuksia ja jätetään kesän pitoisuudet tarkastelun ulkopuolelle, on Porvoonjoen keski- ja alaosien hygieenisessä tilassa tapahtunut selkeä myönteinen muutos jätevesien UV-desinfiointin aikana. Pukkilassa 35,5 km jokisuusta *E. coli* -bakteerien pitoisuudet huhtikuussa ja syys- - marraskuussa olivat keskimäärin noin 70 % ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet keskimäärin noin 75 % alhaisempia jätevesien UV-desinfiointin aikana verrattuna samoihin vuodenaikoihin ennen desinfiointin käyttöönottoa (taulukko 6, kuva 26 ja 27). Porvoossa 11,5 km jokisuusta *E. coli* -bakteerien vähenemä UV-desinfiointin aikana oli keskimäärin noin 75 % ja enterokokkien vähenemä keskimäärin noin 60 %. Voimakkaasti paikallisen kuormituksen vaikutuksen alaisella Porvoonjoen alimmalla näyteasemalla keväinen ja syksyinen indikaattoribakteerien vähenemä oli vähäisempi (taulukko 6). Jokisuulla UV-hygienisoinnista johtuva bakteerivähenemä oli arviolta suuruusluokkaa 70 % *E. coli* -bakteereissa ja 60 % suolistoperäisissä enterokokeissa. Erot kevään ja syksyn indikaattoribakteerien keskipitoisuuksissa UV-desinfiointin ajalta verrattuna kevään ja syksyn keskipitoisuuksiin ajalta ennen desinfiointia ovat osin tilastollisesti merkitseviä ($p=0.02$), osin lähentelevät tilastollista merkitsevyyttä. Tilastollista vertailua vaikeuttaa UV-desinfiointin käyttöönoton jälkeisen vedenlaatuaineiston niukkuus keväältä ja syksyltä ($n=7-9$).



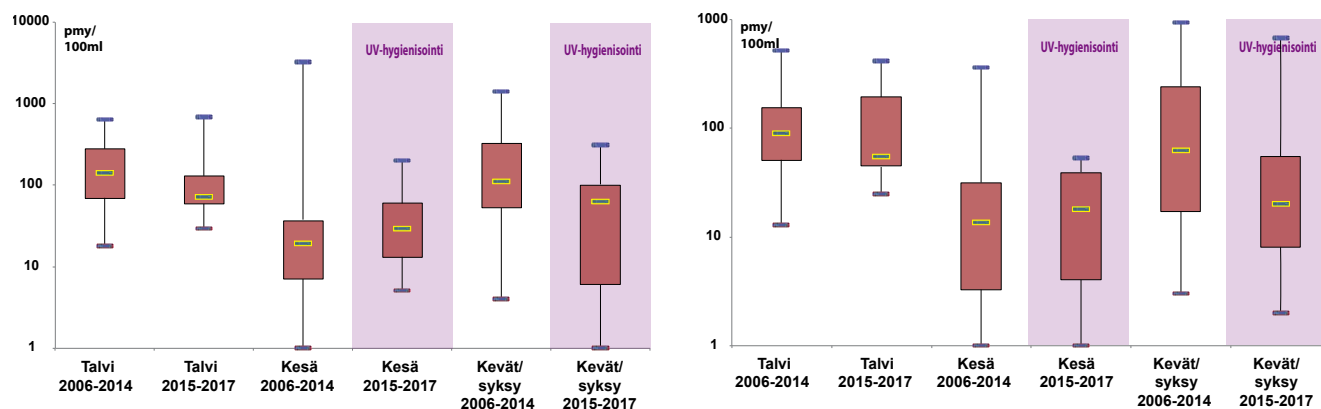
Kuva 26. *Escherichia coli* -bakteerien pitoisuudet Porvoonjoen keski- ja alajuoksun näyteasemilla 35,5, (vasemmalla) ja 11,5. Kaavioissa on esitetty talven (joulu-maaliskuun), kesän (touko-elokuun) sekä kevään ja syksyn (huhtikuun ja syys-marraskuun) pitoisuudet ennen jätevesien UV-hygienisointia vuosilta 2006-2014 ja UV-hygienisoinnin aikana vuosilta 2015-2017.

Bakteerien pitoisuudet ovat pysyneet samantasoisina tai hieman laskeneet talvella, jolloin jätevesien UV-desinfiointia ei käytetä. Kesällä, jolloin jätevesien hygieeniset vaikutukset eivät ulotu Porvoonjoen alaosaan saakka, ovat bakteeripitoisuudet samaa tasoa tai hienoisesti nousseet UV-desinfiointin aikana. Keväällä ja syksyllä UV-desinfiointin vaikutukset joen alaosalla ovat sen sijaan nähtävissä indikaattoribakteerien pitoisuuksien selkeänä laskuna.

Kaaviossa laatikon alareuna vastaa aineiston alaneljänneestä, yläreuna yläneljänneestä, alin ja ylin poikkiviiva ovat pienin ja suurin arvo ja laatikossa oleva poikkiviiva on aineiston mediaani (huom. logaritminen asteikko).

Porvoonjoen keski- ja alaosan veden selkeä myönteinen kehitys keväällä ja syksyllä perustuu siihen, että UV-desinfiointin ollessa käytössä huhti – marraskuun välisenä aikana bakteereilla on pääsääntöisesti vain keväällä ja syksyllä - syystalvella mahdollisuus selviytyä suurina pitoisuuksina joen alajuoksulle asti. Kesällä UV-desinfiointin vaikutukset joen keski- ja alaosalla ovat sen sijaan vähäisempiä, eivätkä vaikutukset tule esiin suolistobakteerien kesäaikaisissa keskipitoisuuksissa (taulukko 6, kuva 26 ja 27). Kesällä touko-elokuussa bakteerien luonnollinen mm. lämpötilasta ja auringonvalon UV-säteilystä johtuva reduktio on suurimmillaan ja virtausnopeudet keskimääräistä alhaisemmat. Tämän johdosta tähän vuodenaikaan pääsääntöisesti vain pieni osuus yhdyskuntajätevesien bakteereista päättyy elinkelpoisina joen keski- ja alaosille asti.

Mikäli jätevesien desinfiointi olisi ympärivuotista, olisivat Lahden yhdyskuntajätevesien vaikutukset joen keski- ja alaosien veden hygieenisen laadun heikentäjänä enää marginaaliset. Ympärivuotisen hygienisoinnin myötä päästäisiin normaalitilanteessa eroon jätevesistä aiheutuvista talviaikaisia korkeista bakteeripitoisuuksista, jolloin Lahden jätevesistä koituisi merkittävää hygieenistä haittaa joen alaosille enää lähinnä poikkeustilanteissa. Mikäli Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-desinfiointissa saavutettaisiin Nastolan desinfiointilaitoksen kaltaista bakteerien yli 99 % reduktioita (katso luku 4.2.1.), olisivat vaikutukset luonnollisesti vieläkin merkittävämpiä.



Kuva 27. Suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet Porvoonjoen keski- ja alajuoksun näyteasemilla 35,5, (ylhäällä) ja 11,5. Kaavioissa on esitetty talven (joulu-maaliskuun), kesän (touko-elokuun) sekä kevään ja syksyn (huhtikuun ja syys-marraskuun) pitoisuudet ennen jätevesien UV-hygienisointia vuosilta 2006-2014 ja UV-hygienisoinnin aikana vuosilta 2015-2017.

Bakteerien pitoisuudet ovat pysyneet samantasoisina tai hieman laskeneet talvella, jolloin jätevesien UV-desinfiointia ei käytetä. Kesällä, jolloin jätevesien hygieeniset vaikutukset eivät ulotu Porvoonjoen alaosaan saakka, ovat bakteeripitoisuudet samaa tasoa tai hienoisesti nousseet UV-desinfiointin aikana. Keväällä ja syksyllä UV-desinfiointin vaikutukset joen alaosalla ovat sen sijaan nähtävissä indikaattoribakteerien pitoisuuksien selkeänä laskuna.

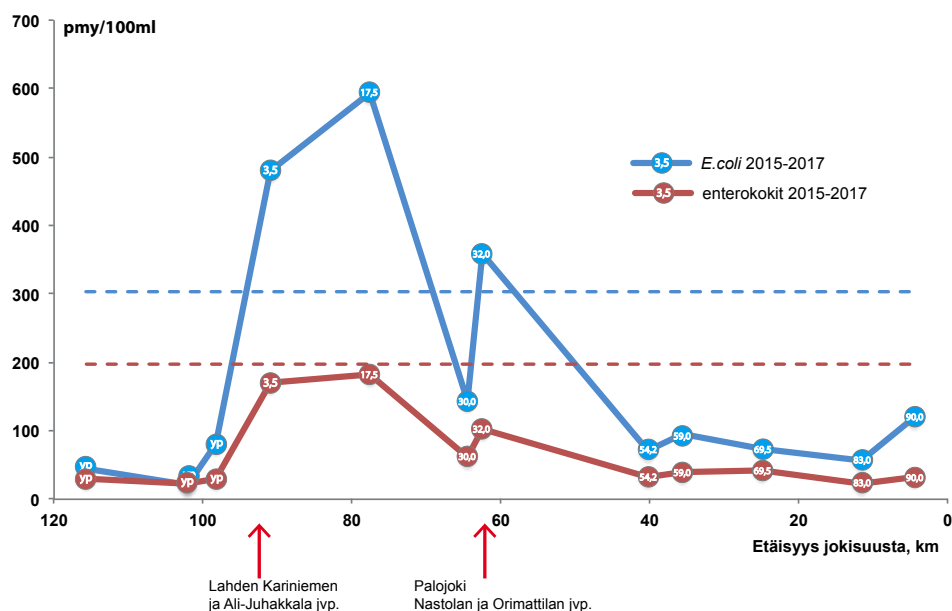
Kaaviossa laatikon alareuna vastaa aineiston alaneljännestä, yläreuna yläneljänneistä, alin ja ylin poikkiviiva ovat pienin ja suurin arvo ja laatikossa oleva poikkiviiva on aineiston mediaani (huom. logaritminen asteikko).

Mitä todennäköisimmin jätevesien UV-desinfiointi on jonkin verran vähentänyt myös joen keski- ja alaosilla ajoittain esiintyviä ongelmallisia bakteerien pitoisuushuippuja. UV-desinfioinnin aikana joen alaosalla, Pukkila-Porvoo osuudella, ovat *E. coli* -bakteerien pitoisuudet ylittäneet 1000 pmy/100 ml vain kerran. Keskimääräisistä pitoisuuksista poikkeavat korkeat pitoisuudet esiintyvät pääasiassa talvella ja ovat harvinaisempia kesäaikaan.

Huhti - marraskuun välisenä aikana jätevesien UV-desinfioinnin ollessa käytössä ovat Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon jätevedet Porvoonjoen keski- ja alaosien merkittävin yksittäinen hygieenisen kuormituksen lähde. Talvella joului-maaliskuussa, jolloin jätevesien UV-desinfiointi ei ole käytössä, ovat bakteeripitoisuudet huomattavasti korkeampia ja hygieniset hättävähäikutukset ulottuvat voimakkaina päästölähteistä joen alaosille (taulukko 5 sivulla 39, kuva 28). Talvella jätevesien mikrobit kulkeutuvat elinkel-poisina pitkiä matkoja alas jokea ja tällöin kaikki Porvoonjokea kuormittavat jäteveden-puhdistamot ovat osallisina joen hygieenisen tilan heikentämisessä.

4.1.7. UV-desinfioinnin vaikutukset Porvoonjoen veden käyttökelpoisuuteen

Jätevesien UV-desinfioinnin aikaansaamasta keväisestä ja syksyisestä bakteeripitoisuuksien vähenemisestä johtuen saavuttivat keskimääräiset bakteeripitoisuudet jo Pukkilassa



Kuva 28. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien keskipitoisuudet Porvoonjoen pääuomassa toukokuusta 2015 UV-hygienisoinnin käyttöönoton jälkeen. Vaakasuoralla akselilla on etäisyys jokisuulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden purkupaikasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema). Kuvassa on näyteasemien bakteeripitoisuuksien geometriset vuosikeskiarvot. Katkoviivat kuvaavat veden kastelukäytölle asetettujen laatuvaatimusten raja-arvoja 300 pmy/100ml *E. coli* -bakteereille ja 200 pmy/100ml suolistoperäisille enterokokeille (MMM asetus 134/2006).

noin 30 km päässä Vääräkosken jätevedenpuhdistamolta tason, jota Porvoonjoen olosuhteissa voidaan pitää vähintään tyydyttävänä (kuva 21 ja 22 sivuilla 35 ja 36). Desinfioinnin aikana suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet alittivat keskimäärin kasteluveden raja-arvon joen koko matkalta. Ilman Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon vaikutusta *E. coli* -bakteerien keskipitoisuudet alittaisivat kasteluveden raja-arvon Orimattilasta jokisuulle asti.

Kevät- ja syysaikaisen veden hygieenisen laadun paranemisen ansiosta ilmentäjäbakteerien pitoisuudet joen keski- ja alaosissa alittivat uima- ja kasteluvedelle sekä veden yleiselle käyttökelpoisuudelle annettuja raja-arvoja suurimman osan vuodesta. Esimerkiksi joen alajuoksulla 11,5 kilometriä jokisuusta olivat *E. coli* -bakteerien pitoisuuksien 95. prosenttipiste UV-desinfioinnin käytön aikana (huhti-marraskuussa 2015-17) 298 pmy/100ml. Pitoisuus alittaa sisämaan uimavesiluokituksessa erinomaisen laadun raja-arvon 500 pmy/100ml (sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 177/2008). Saman alueen ja saman ajanjakson suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien 95. prosenttipisteen (180 pmy/100ml) perusteella veden uimakauden aikainen laatu oli myöskin uimavesien laatu-luokituksessa ”erinomainen” (katso luku 3.3.).

Nykytilanteessa Porvoonjoessa ei ole vilkkaassa käytössä olevia yleisiä uimarantoja, joiden mikrobiologisen vedenlaadun seurantaan prosenttipisteisiin perustuvat raja-arvot ovat tarkoitettut. Veden laadun ja eritoten hygieenisen laadun parantuessa sellaisia otetaan mitä todennäköisimmin tulevaisuudessa Porvoonjoessa käyttöön.

<i>Escherichia coli</i>						Suolistoperäiset enterokokit						
Näyteasema:	35,5		11,5		4,5		35,5		11,5		4,5	
	95.-p	90.-p	95.-p	90.-p	95.-p	90.-p	95.-p	90.-p	95.-p	90.-p	95.-p	90.-p
Talvi 2011-14	3135	2204	1683	1198	1534	1100	613	454	322	230	388	276
Talvi 2015-17	2730	1737	1132	919	803	659	390	284	326	237	302	199
Kesä 2011-14	184	128	79	55	685	475	115	81	144	82	189	127
Kesä 2015-17 UV-desinfiointi	665	360	210	136	554	333	149	103	93	59	128	84
Kevät/syysy 2011-14	8558	3889	1455	771	2162	1214	1119	680	507	301	954	573
Kevät/syysy 2015-17 UV-desinfiointi	1427	791	664	323	838	569	578	305	462	244	229	154
Uimaveden laatu:	erinomainen		hyvä		tyydyttävä		huono					

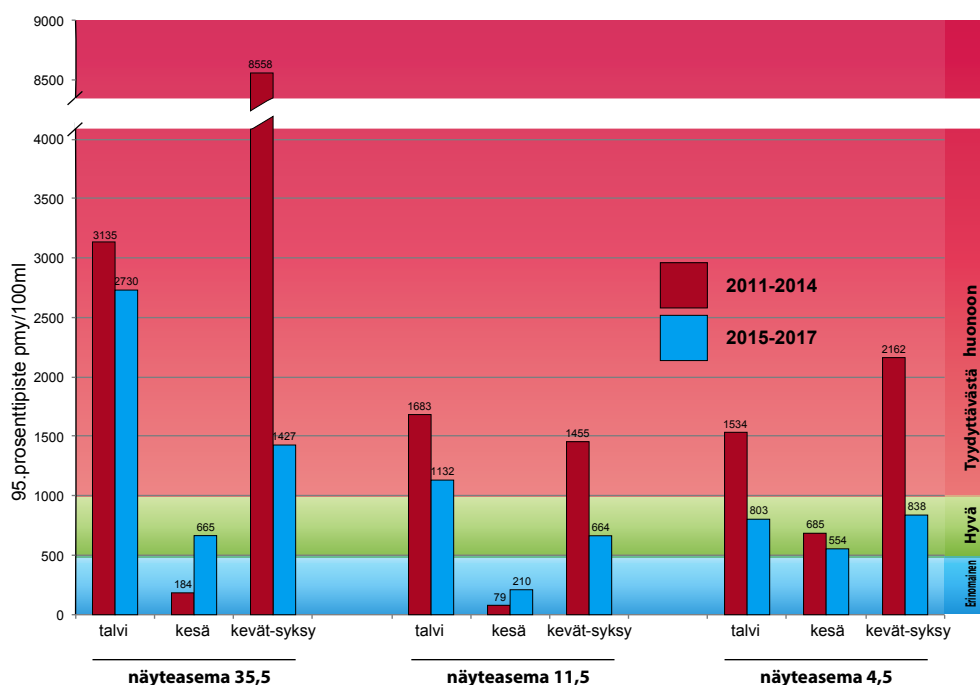
Taulukko 7. Uimaveden laadun arvioinnissa käytettävät 95.prosenttipisteet ja 90.prosenttipisteet (pmy/100ml) UV-desinfioinnin käyttöönoton jälkeisinä vuosina ja neljän vuoden vertailujaksona ennen yhdyskuntajätevesien UV-desinfioinnin käyttöönottoa (katso luku 3.3.). Taulukossa on mukana Porvoonjoen keski- ja alaosien Pukkilan (as. 35,5), Porvoon (as. 11,5) ja jokisuun (as. 4,5) näyteasemat, joilta aineistoa on kattavimmin. Kunkin näyteaseman tunnus ilmoittaa etäisyyden jokisuulle.

Veden käyttökelpoisuus eri vuodenaikoina

Kesällä, jolloin yhdyskuntajätevesien hygieeniset vaikutukset eivät normaalitilanteissa juurikaan vaikuta Porvoonjoen alaosan hygieeniseen tilaan, on veden laatu esim. uimavetenä indikaattoribakteerien prosenttipisteiden perusteella pääsääntöisesti hyvä – erinomainen (taulukko 7, kuva 29).

Talvella, jolloin UV-desinfiointia ei käytetä mutta jolloin ympäristöolosuhteet mahdollistavat bakteerien kulkeutumisen suurina pitoisuuksia jokisuulle asti, ovat erityisesti *E. coli* –bakteerien prosenttipisteet korkeita ja veden hygieeninen laatu on keskimäärin huonoimillaan. Talvikuukausina veden virkistys- ja muulle käytölle asetettuja raja-arvoja ylittyy edelleenkin ajoittain moninkertaisesti myös joen alemmissa osissa (taulukko 7).

UV-desinfioinnin aikaansaamat parannukset veden käyttökelpoisuuteen esim. uimavetenä tulevat parhaiten näkyviin keväällä ja syksyllä - syystalvella (huhtikuussa ja syys-, loka-, marraskuussa). Kevään ja syksyn - syystalven *E. coli* -bakteerien ja ulosteperäisten enterokokkien pitoisuuksien prosenttipisteet ovat selkeästi laskeneet ja uimaveden laatu on kohentunut aikaisempaan, UV-desinfiointia edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna kaikilla joen keski- ja alaosien näyteasemilla (taulukko 7, kuva 29).



Kuva 29. Uimaveden laadun arvioinnissa käytettävät *E. coli* -bakteerien pitoisuuksien perusteella lasketut 95.prosenttipisteet UV-desinfioinnin käyttöönoton jälkeisinä vuosina 2015-2017 ja neljän vuoden (2011-2014) vertailujaksona ennen yhdyskuntajätevesien UV-desinfioinnin käyttöönottoa (katso luku 3.3.). Kuvassa on mukana Porvoonjoen keski- ja alaosien Pukkilan (as. 35,5), Porvoon (as. 11,5) ja jokisuun (as. 4,5) näyteasemat, joilta aineistoa on kattavimmin. Kunkin näyteaseman tunnus ilmoittaa etäisyyden jokisuulle.

Porvoonjoen keski- ja alaosissa esiintyy kuitenkin edelleen ajoittain veden käyttökelpoisuuden raja-arvoja ylittäviä bakteeripitoisuuksia myös keväällä ja syksyllä jätevesien UV-desinfiointin aikana. Vääräkosken jätevesin kielteiset hygieniavaikutukset ulottuvat erityisesti talvella, mutta lievempinä myös keväällä ja syksyllä Orimattilasta jokisuuhun asti. Kariniemen ja Ali-juhakkalan jätevesien UV-desinfiointin puhdistustehon optimointi Nastolan UV-laitoksen tasolle vaikuttaisi myös omalta osaltaan myönteisesti veden käyttökelpoisuuteen (katso kpl 4.1.1.).

4.2. Nastolan jätevedenpuhdistamo

Tässä luvussa Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfiointin vaikutuksia arvioidaan vertaamalla purkuvesistön hygieenistä tilaa jätevesien UV-desinfiointin aikana suhteessa aikaan ennen desinfointia. Desinfiointin vaikutusten selvittämiseksi vertaillaan osin vuoden 2017 eri vuodenaikoina kerättyjen bakteerinäytteiden tuloksia keskenään (liite 4). Palojoessa ei juurikaan esiinny indikaattoribakteerien vuodenaikaisvaihtelua ja muiltakin osin tuloksia eri vuodenaajoilta voidaan hyvällä luotettavuudella verrata keskenään (katso luku 2.2.4.). Jätevesien purku-uoman ja Palojoen eri osien UV-desinfiointin aikaisia indikaattoribakteeripitoisuuksia verrataan myös bakteeripitoisuuksien pitkiin keskiarvoihin ajalta 2006-2016 ennen jätevesien desinfointia (taulukko 8).

4.2.1. UV-desinfiointin vaikutukset jätevesien purku-uomassa 2017

Vuoden 2017 Jätevesien UV-desinfiointin vaikutukset Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman hygieeniseen tilaan olivat merkittävät. Purku-uoman indikaattoribakteerien pitoisuudet UV-desinfiointin aikana olivat Palojoen pääuoman pitoisuuksia selkeästi alhaisempia (liite 4, kuva 30). Desinfiointin aikana Nastolan jätevesien purku-uoma oli indikaattoribakteerien perusteella Palojoen hygieenisesti puhtainta aluetta. Aikoina ilman jätevesien UV-desinfointia purku-uoman vesi oli indikaattoribakteerien keskipitoisuuksien perusteella Porvoonjoen koko vesistöalueen heikkolaatuisinta.

Vuonna 2017 *E. coli* -bakteerien keskipitoisuus jätevesien purku-uomassa 50 m, 200 m ja 500 m etäisyydellä jätevesien UV-käsittelylaitoksesta oli 5400 pmy/100ml maalishuhtikuussa ennen jätevesien UV-desinfointia. UV-desinfiointin aikana touko-elokuussa *E. coli* -bakteerien keskipitoisuus oli 135 pmy/100ml (liite 4, kuva 30). Enterokokkien vastaavat pitoisuudet olivat noin 1500 pmy/100ml ilman UV-desinfointia ja noin 40 pmy/100ml UV-desinfiointin aikana. Bakteerinäytteitä tulovedestä ennen Nastolan UV-reaktoria ei otettu tämän selvityksen yhteydessä, mutta purku-uoman pitoisuuksien perusteella bakteerireduktio UV-käsittelyssä on luokkaa 2-3log (99% - 99,9%). Purku-uoman

pitoisuuksien perusteella UV-käsittely Nastolan jätevedenpuhdistamolla vähentää bakteerien määriä siten, että jätevedet täyttävät uimaveden laatuvaatimukset.

Molemmissa indikaattoribakteereissa touko - elokuun UV-desinfioinnin aikainen keskimääräinen bakteerivähennys purku-uomassa oli 97% verrattuna helmi-huhtikuun pitoisuuksiin, siis aikoihin ilman jätevesien desinfiointia vuonna 2017. Mikäli yhden 13.6. suoritettun näytteenottokerran muista tuloksista poikkeava korkea bakteeripitoisuus jätetään laskuista pois (tai lasketaan pitoisuuksien geometriset keskiarvot), olisi bakteerireduktio yli 99% molemmissa indikaattorimikrobeissa.

Purku-uoman loppupäässä ennen uoman ja Palojoen liittymää bakteerien vähenemä oli 90 % *E. coli* -bakteerien ja 83 % enterokokkien pitoisuuksissa. Erot purku-uoman bakteerien keskipitoisuuksissa UV-desinfioinnilla ja ilman UV-desinfiointia ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$).

Näyteasema	22,6	22,5	22,4	14,4	0,2
Aritmeettinen k.a. <i>E.coli</i>	2123.3	5029.0	4125.0	1255.2	272.2
Aritmeettinen k.a. enterokokit	1516.1	1072.3	1701.3	422.2	187.8
Geomeetrinen k.a. <i>E.coli</i>	768.9	1604.7	1416.0	501.0	147.4
Geomeetrinen k.a. enterokokit	300.8	227.1	385.8	147.1	68.0
Mediaani <i>E.coli</i>	635.0	1150.0	1095.0	625.0	140.0
Mediaani enterokokit	340.0	270.0	330.0	110.0	59.0
Min <i>E.coli</i>	100	510	420	12	20
Max <i>E.coli</i>	17000	38000	24000	7700	1500
Min enterokokit	13	5	7	4	2
Max enterokokit	34000	18000	36000	4400	2100
n <i>E.coli</i>	12	10	12	10	31
n enterokokit	38	37	37	35	33

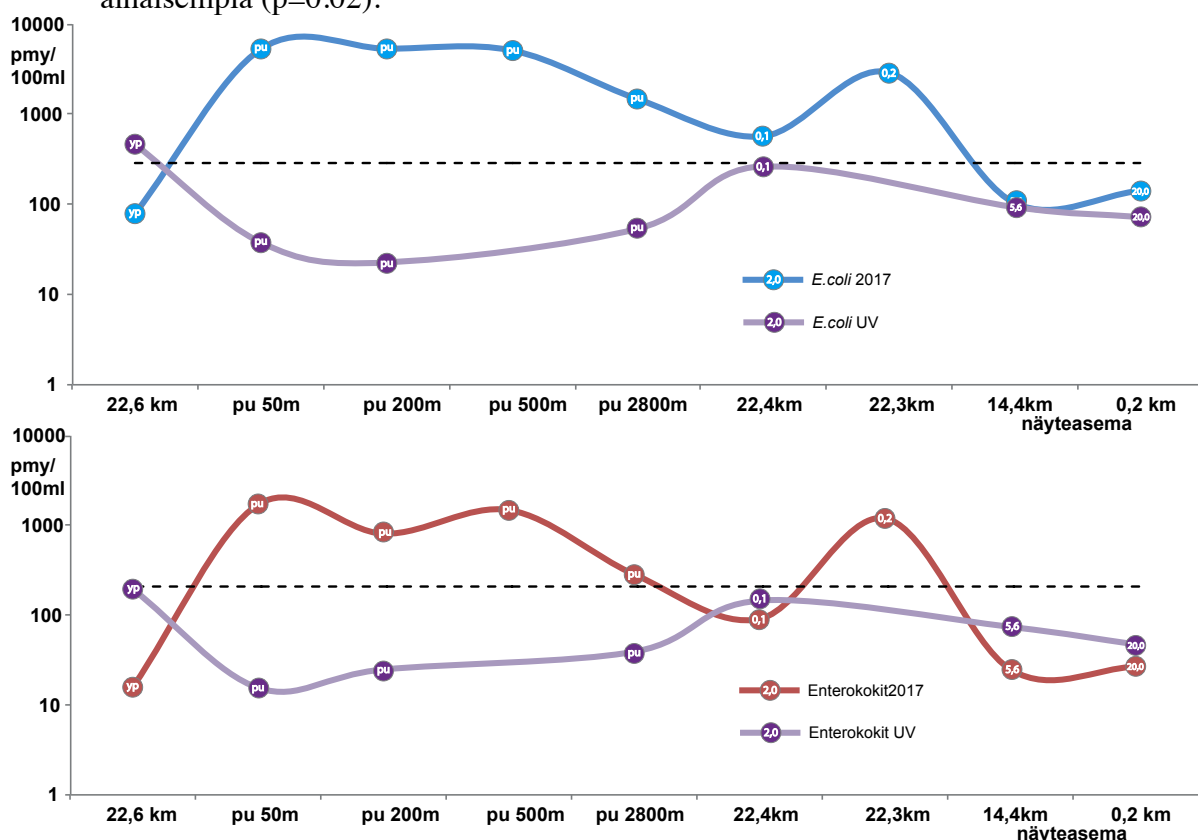
Näyteasema	22,6	22,5	22,4	14,4	0,2
Aritmeettinen k.a. <i>E.coli</i>	872.2	184.5	456.7	374.8	161.7
Aritmeettinen k.a. enterokokit	943.8	71.2	537.3	491.0	186.8
Geomeetrinen k.a. <i>E.coli</i>	463.7	53.8	266.3	93.4	72.4
Geomeetrinen k.a. enterokokit	199.5	39.5	145.5	74.2	47.3
Mediaani <i>E. coli</i>	475.0	32.5	330.0	94.5	59.0
Mediaani enterokokit	145.0	42.0	134.0	80.5	35.5
Min <i>E. coli</i>	63	12	20	10	15
Max <i>E. coli</i>	2000	680	1200	1300	710
Min enterokokit	7	3	6	3	7
Max enterokokit	3000	160	1900	1800	900
n <i>E. coli</i>	6	6	6	4	6
n enterokokit	6	6	6	4	6

Taulukko 8. Palojoen indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja touko-elokuussa. Ylhäällä on tiedot vuosilta 2006-2016 ennen jätevesien UV-hygienisointia ja alhaalla vuoden 2017 UV-hygienisoinnin aikaiset tiedot.

Vuonna 2014 Nastolan jätevedenpuhdistamolla toteutettiin jätevesien kemiallisen hygienisoinnin koeajoa (Ramboll 2015). Suolistoperäisten indikaattoribakteerien keskipitoisuudet jätevesien purku-uomassa UV-desinfioinnin aikana vuonna 2017 olivat selkeästi kemiallisen hygienisoinnin koeajon aikaisia pitoisuuksia alhaisempia.

4.2.2. UV-desinfioinnin vaikutukset jätevesien purku-uomassa pitkällä aikavälillä

Pidemmällä aikavälillä jätevesien purku-uoman veden hygienian muutos parempaan on yhtä dramaattinen kuin edellä käsiteltyjen vuoden 2017 tulosten perusteella (taulukko 8, kuva 31 ja 32). UV-desinfioinnin aikana *E. coli* -bakteerien pitoisuudet purku-uomassa laskivat keskimäärin 97 % verrattuna vuosiin 2006-16 (touko-elokuun pitoisuuksiin) ennen jätevesien UV-käsittelyn käyttöönottoa ($p < 0.001$). Enterokokkien pitoisuudet UV-desinfioinnin aikana olivat puolestaan keskimäärin 83% vuosien 2006-2016 pitoisuuksia alhaisempia ($p = 0.02$).

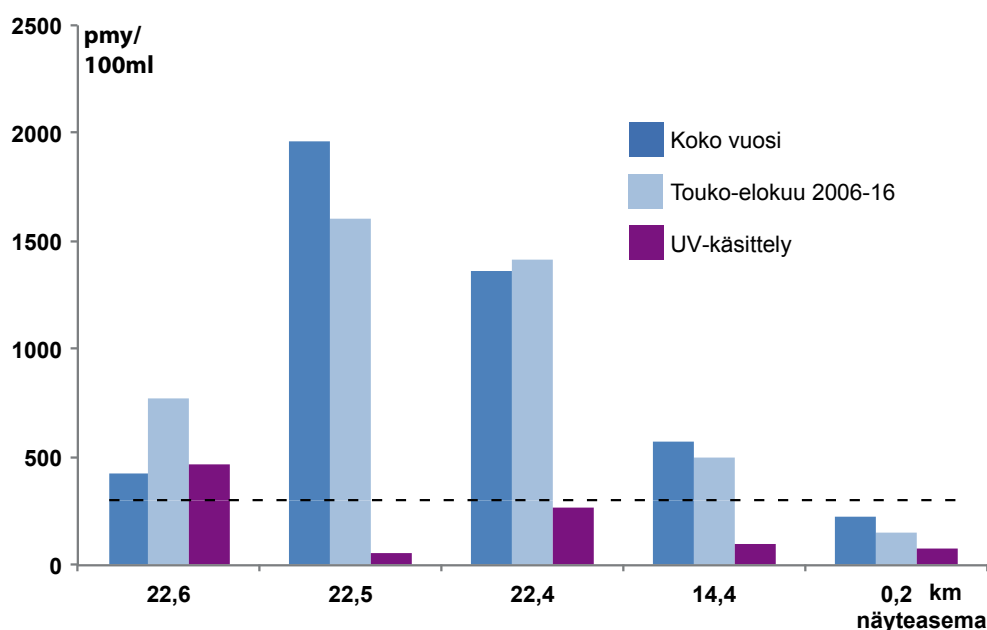


Kuva 30. *E. coli* -bakteerien (ylhäällä) ja enterokokkibakteerien keskipitoisuudet (geometrinen keskiarvo) Palojoessa vuonna 2017 UV-hygienisoinnin aikana (violetti käyrä) ja ilman jätevesien UV-hygienisointia (huom. logaritminen asteikko). Vaakasuoralla akselilla on näyteasemien etäisyydet Palojoen suulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Nastolan jätevedenpuhdistamon purkupaikalta. yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema ja pu = purku-uomassa 50 m, 200 m, 500 m ja 2800 m etäisyydellä jätevedenpuhdistamolta sijaitsevat näyteasemat. Katkoviivat kuvaavat veden kastelukäytölle asetettujen laatuvaatimusten raja-arvoja 300 pmy/100ml *E. coli* -bakteereille ja 200 pmy/100ml suolistoperäisille enterokokeille (MMM asetus 134/2006).

4.2.3. UV-desinfioinnin vaikutukset Palojoessa vuonna 2017

Vuonna 2017 Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman liittymäkohdasta välittömästi alavirtaan *E. coli* -bakteerien pitoisuudet olivat noin 40 % alhaisemmat jätevesien UV-desinfiointin aikana (liite 4, kuva 30). Enterokokkien pitoisuudet olivat puolestaan selkeästi korkeampia UV-desinfiointin aikana kuin aikoina ilman jätevesien UV-käsittelyä. UV-desinfiointin aikanakin bakteeripitoisuudet purku-uoman liittymän alapuolella olivat pääsääntöisesti korkeita ja veden käyttökelpoisuus oli huono.

Huono hygieeninen tila Palojoessa purku-uoman alapuolella UV-desinfiointin aikana johtui jätevedenpuhdistamon yläpuolisilta alueilta tulevasta bakteerikuormituksesta (katso luku 2.2.1.). Molempien indikaattoribakteerien suhteen Palojoen vesi Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uomasta alavirtaan oli selkeästi purku-uoman vettä heikompaa hygieeniseltä laadultaan. UV-desinfiointin aikana bakteeripitoisuudet olivat kohonneita vielä runsaat viisi kilometriä purku-uoman liittymästä alavirtaan verrattuna purku-uoman pitoisuuksiin. Palojoessa bakteeripitoisuudet laskivat Purku-uoman pitoisuuksien tasolle vasta Palojoen alimmalla näyteasemalla 20 km purku-uoman liittymästä alavirtaan. Jäte-

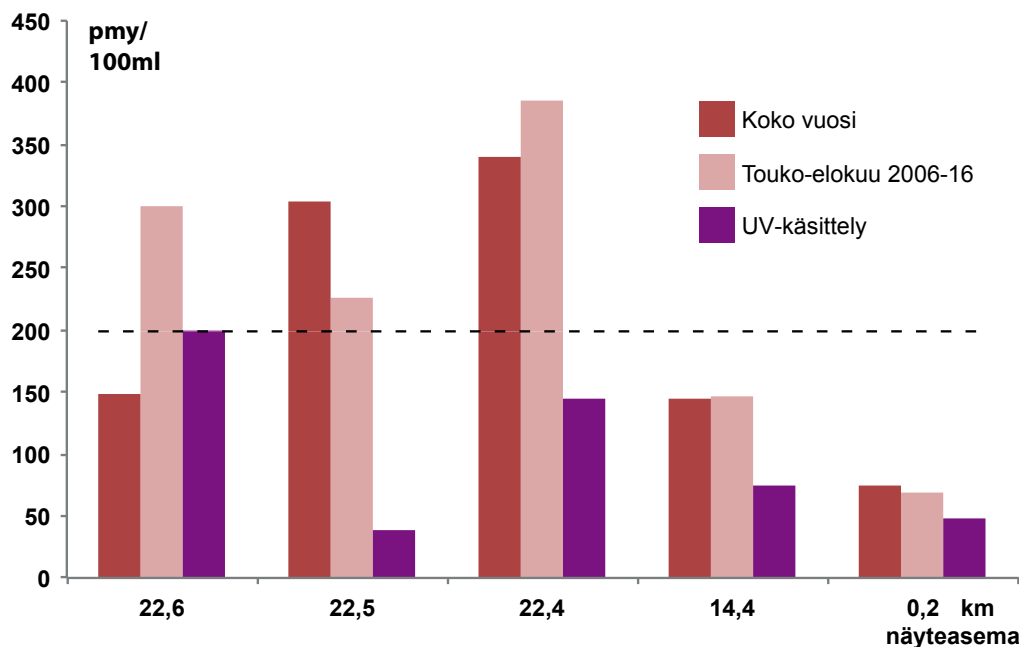


Kuva 31. *Escherichia coli* -bakteerien keskipitoisuudet Palojoessa 2006-2016 ennen UV-hygienisointia koko vuodelta, touko-elokuun väliseltä ajalta ja UV-hygienisoinnin aikaiset pitoisuudet touko-elokuussa 2017 (violetit pylväät). Kuvassa on näyteasemien *E. coli* -pitoisuuksien (pmy/100ml) geometriset keskiarvot. Vaakasuoralla akselilla on etäisyys Palojoen suulta. Katkoviiva kuvaa kasteluvien *E. coli* -bakteerien raja-arvoa <300 pmy/100ml (MMM asetus 134/2006). Näyteasema 22,6 sijaitsee yhdyskuntajätevesien yläpuolella, näyteasema 22,5 jätevesien purku-uoman loppupäässä, 22,4 purku-uoman ja Palojoen liittymäkohdasta välittömästi alavirtaan. Näyteasema 14,4 sijaitsee Palojoessa noin 5,5 km ja näyteasema 0,2 noin 20 km jätevesien purkupaikalta alavirtaan.

vesien UV-desinfiointista huolimatta Palojoen uimaveden laatuluokitus uimakautena oli bakteeripitoisuuksien 95.produktipisteiden perusteella "huono" joen alinta näyteasemaa lukuun ottamatta.

Palojoen veden hygienian kannalta yhdyskuntajätevesillä on ollut ratkaiseva vaikutus. Tilanteen parannuttua jätevesien UV-desinfiointin myötä kasvaa yhdyskuntajätevesipäästöjen yläpuolisen alueen merkitys Palojoen tilan heikentäjänä. Vuonna 2017 jätevesien UV-desinfiointin ollessa käytössä Palojoen hygieeninen laatu olikin keskimäärin heikoimmillaan purku-uoman yläpuolisella, yhdyskuntajätevesien ulottumattomissa sijaitsevalla jokiosuudella. UV-desinfiointin aikana Palojoen bakteeripitoisuudet jäteveden purku-uoman liittymästä alavirtaan laskivat huomattavasti desinfioitujen jätevesien laimentaessa jokiveden bakteeripitoisuuksia ja parantaessa Palojoen hygieenistä tilaa indikaattoribakteerien osalta (liite 4, kuva 30). Tilanne on päinvastainen verrattuna aikaan ennen jätevesien UV-desinfiointia, jolloin yhdyskuntajätevedet lisäsivät Palojoen bakteerikuormaa.

E. coli -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen alhainen suhde on luonteenomaista jätevesien yläpuolisen alueen vesille (katso luku 2.2.1). Jätevesien UV-desinfiointi



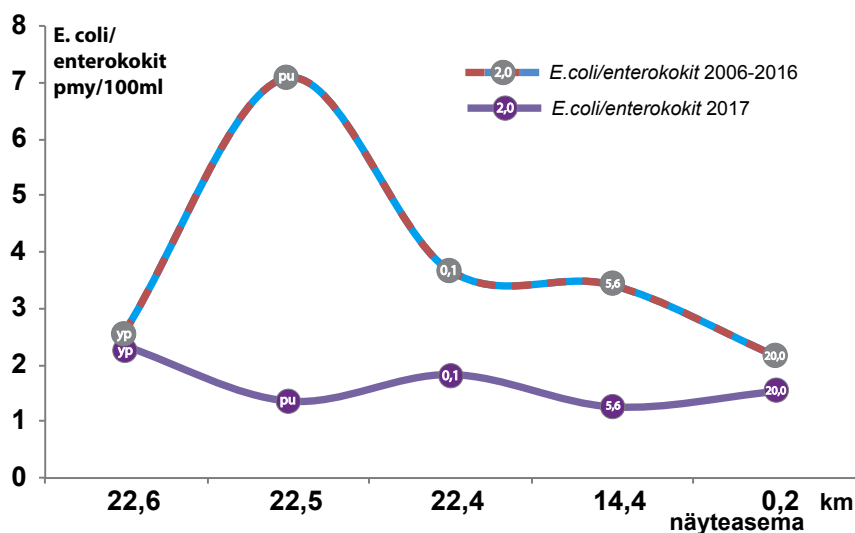
Kuva 32. Suolistoperäisten enterokokkibakteerien keskipitoisuudet Palojoessa 2006-2016 ennen UV-hygienisointia koko vuodelta, touko-elokuun väliseltä ajalta ja UV-hygienisoinnin aikaiset pitoisuudet touko-elokuussa 2017 (violetit pylväät). Kuvassa on näyteasemien enterokokkibakteerien pitoisuuksien (pmy/100ml) geometriset keskiarvot. Vaakasuoralla akselilla on etäisyys Palojoen suulta. Katkoviiva kuvaa kasteluveden suolistoperäisten enterokokkibakteerien raja-arvoa <200 pmy/100ml (MMM asetus 134/2006). Näyteasema 22,6 sijaitsee yhdyskuntajätevesien yläpuolella, näyteasema 22,5 jätevesien purku-uoman loppupäässä, 22,4 purku-uoman ja Palojoen liittymäkohdasta välittömästi alavirtaan. Näyteasema 14,4 sijaitsee Palojoessa noin 5,5 km ja näyteasema 0,2 noin 20 km jätevesien purkupaikalta alavirtaan.

nin aikana bakteerien välinen suhde muuttui ja suolistoperäisten enterokokkien osuus oli suuri kaikilla Palojoen näyteasemilla (kuva 33). Bakteerien muuttuneet runsaussuhteet kertovat yhdyskuntajätevesien yläpuolisen alueen kuormituksen kokonaisvaltaisesta vaikutuksesta Palojoen hygieenisen tilaan jätevesien UV-desinfioinnin aikana. Toisaalta indikaattoribakteerien muuttuneet runsaussuhteet kertovat myös yhdyskuntajätevesien pienentyneestä merkityksestä hygieenisen kuormituksen lähteenä Palojoessa.

4.2.4. UV-desinfioinnin vaikutukset Palojoessa pitkällä aikavälillä

Nastolan jätevesien purku-uoman liittymästä alavirtaan Palojoen *E. coli* -bakteerien pitoisuudet laskivat noin 50 - 80 % ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet noin 30 - 60 % UV-desinfioinnin aikana touko-lokakuussa 2017 verrattuna samaan vuodenaikaan ennen jätevesien UV-desinfiointia vuosina 2006-2016 (taulukko 8, kuva 31 ja 32). Palojoen latvoilta tuleva yhdyskuntajätevesistä rippumaton kuormitus heikensi kuitenkin merkittävästi veden hygieenistä laatua UV-desinfioinnin aikana peittäen suurelta osin desinfioinnin myönteisiä vaikutuksia Palojoessa.

Tulosten perusteella Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfiointi parantaa merkittävästi jätevesien hygieenistä laatua ja vaikutukset ovat nähtävissä selkeänä myös Palojoessa. UV-desinfioinnin aikana jätevesien purku-uoman vesi täyttää uimaveden laatuvaatimukset ja laskiessaan Palojokeen jätevedet laimentavat Palojoen veden suolistomikrobien pitoisuuksia.



Kuva 33. *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien välinen keskimääräinen suhde Palojoessa. Kuvassa on *E. coli* -bakteerien ja enterokokkien keskipitoisuuksien (geometrinen keskiarvo) suhde ajalta touko - elokuussa 2006-2016 ennen UV-hygienisointia ja samoina kausina vuonna 2017 UV-hygienisoinnin käyttöönoton jälkeen (violetti käyrä). Vaakasuoralla akselilla on etäisyys Palojoen suulta ja symbolien sisällä näyteasemien etäisyydet kilometreissä Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman liittymäkohdasta (yp = jätevesipäästöjen yläpuolella sijaitseva näyteasema, pu = purku-uoma alaosassa sijaitseva näyteasema).

Ilman yhdyskuntajätevesien yläpuoliselta alueelta tulevaa hygieenistä kuormitusta yhdyskuntajätevesien alapuolisen alueen hygieeninen tila olisi todennäköisesti jätevesien purku-uoman tasoista. Tämä merkitsisi merkittävää parannusta Palojoen hygieenisessä tilassa ja veden käyttökelpoisuudessa. Ilman Palojoen latvuksen yhdyskuntajätevesistä riippumattomasta kuormitusta jätevesien UV-desinfiointi saisi parhaassa tapauksessa aikaan arviolta noin 90 %:in vähenemää *E. coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien määrissä jätevesien purku-uomasta alavirtaan. Palojoen alajuoksulla vähenemä suolistobakteerien määrissä olisi arviolta noin 40 - 60 % verrattuna tilanteeseen ilman UV-desinfiointia.

5. Yhteenveto

Käsittlemällä jätevedenpuhdistamoiden jätevesiä edelleen ultraviolettivalolla saavutetaan tehokasta ulosteperäisten mikrobien vähenemää jätevesissä. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten jäteveden laadun parannukset Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan sekä Nastolan jätevedenpuhdistamoilla UV-desinfioinnin myötä heijastuvat purkuvesistöissä Porvoonjoessa ja Palojoessa

Porvoonjokeen ja sen sivuhaaran Palojokeen kohdistuvat Lahden, Nastolan ja Orimattilan jätevedenpuhdistamoiden lähes 150 000 asukkaan puhdistetut jätevedet. Käsitelty jätevesi sisältää vielä huomattavan määrän erilaisia mikrobeja ja Porvoonjoen ja Palojoen hygieeninen veden laatu on heikko.

Vuonna 2015 Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoilla ja vuonna 2017 Nastolan jätevedenpuhdistamolla alettiin käsitellä puhdistettuja jätevesiä edelleen ultraviolettivalolla (UV) jätevesien aiheuttamien hygieenisten haittojen vähentämiseksi. UV-desinfioinnin on optimaalisissa olosuhteissa todettu poistavan yli 99 % jätevesien sisältämistä mikrobeista. Tässä tutkimuksessa selvitettiin jätevesien UV-desinfioinnin vaikutuksia purkuvesistöissä ulosteperäisen saastutuksen ilmentäjäorganismien *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkibakteerien avulla.

5.1. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamot

Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesien UV-desinfioinnilla saavutettiin merkittävää mikro-organismien vähenemää Porvoonjokeen laskettavassa jätevedessä. Tulosten perusteella jätevesien laadun parannukset heijastuivat selkeinä purkuvesistössä. Jätevesien UV-desinfioinnin vaikutuksesta Porvoonjoen veden hygieeninen tila koheni merkittävästi. Desinfioinnin myönteiset vaikutukset veden hygieeniseen laatuun olivat nähtävissä koko 90 km:n matkalla jätevesien purkualueelta jokisuulle asti.

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesien purkualueella jokiveden *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet vähenivät 80 - 90 % UV-desinfiointin vaikutuksesta.

Lahti - Orimattila jokiosuudella, 30 kilometrin etäisyydellä purkupaikasta, jätevesien UV-käsittely vähensi indikaattoribakteerien pitoisuuksia 60 - 75 %.

Kesällä yhdyskuntajätevesien suolistobakteerit eivät normaalitilanteissa kulkeudu suurina pitoisuuksina joen alaosille. Kevään ja syksyn - syystalven bakteeripitoisuudet alueella Orimattila-Pukkila-Askola-Porvoo sen sijaan vähenivät 60 - 75 % jätevesien UV-desinfiointin vaikutuksesta. Vaikutus näkyy myös alueen veden käyttökelpoisuudessa, joka koheni UV-desinfiointin aikana keväällä ja syksyllä-syystalvella.

Joen alaosien veden bakteeripitoisuuksiin vaikuttavat jätevesien sisältämät suuresti vaihtelevat lähtökohtaiset bakteeripitoisuudet, veden virtausnopeus ja ympäristötekijät, joista oleelliset todennäköisesti ovat veden lämpötila sekä auringon UV-säteilyn intensiteetti. Kyseiset muuttujat ovat voimakkaasti vuodenaikoihin sidotut ja aiheuttavat siten voimakasta vuodenaikaisvaihtelua joen alaosien bakteeripitoisuuksissa ja veden hygieenisessä tilassa (vertaa kpl. 2.1.5. ja 2.1.6.).

UV-desinfiointin aikana suolistoperäisten enterokokkien keskipitoisuudet olivat alle veden kastelukäytön raja-arvon Kariniemen ja Ali-Juhakkalan yhdyskuntajätevesien purkupaikasta jokisuulle asti (kuva 22 sivulla 36). Ilman Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon vaikutusta myös *E. coli* -bakteerien UV-desinfiointin aikaiset keskipitoisuudet alittaisivat kastelukäytön raja-arvon Orimattilasta alavirtaan (kuva 21 sivulla 35).

Nykyisellään jätevesien UV-desinfiointin myötä Lahdessa päästään pääsääntöisesti jopa yli 99,9 %:in bakteerivähenemiin koko puhdistusprosessissa. Bakteerimäärät jätevedenpuhdistamoille tulevassa käsittelemättömässä jätevedessä vaihtelevat kuitenkin merkittävästi ja 100 millilitrassa jätevettä on usein kymmeniä miljoonia *E. coli* -bakteereita. Korkeista lähtöpitoisuuksista johtuen on vesistöön johdettavien jätevesien hygieeninen laatu ajoittain heikko tehokkaasta ulosteperäisten mikrobien reduktiosta huolimatta. Mikäli esim. 10 miljoonaa pmy:tä *E. coli* -bakteereja/100 ml sisältävän jäteveden puhdistuksessa päästään 4-logaritmiseen (99,99 %:in) reduktioon, on puhdistetun jäteveden *E. coli* -bakteerien pitoisuus vielä 1000 pmy/100ml. Porvoonjoen ja Palojoen kaltaisissa kuormitusherkissä purkuvesistöissä tämän taseisia bakteeripitoisuuksia sisältävillä jätevesillä on selkeitä veden hygieenistä laatua heikentäviä vaikutuksia. Jätevesien UV-desinfiointi antaa

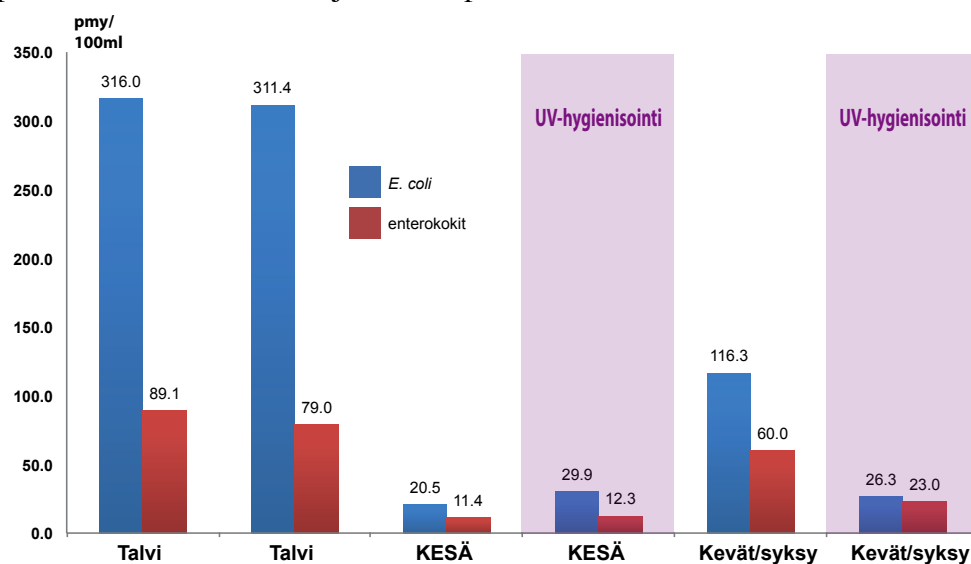
kuitenkin mahdollisuudet siihen, että jokeen laskettavien jätevesien ulosteperäisten bakteerien pitoisuudet olisivat jätevesiä vastaanottavan vesistön pitoisuuksia alhaisempia. Tämä edellyttää, että bakteerien vähenemät UV-käsittelyssä ovat vähintään 2-logaritmisia (99 %) ja vähenemät jätevesien koko puhdistusprosessissa vähintään 5-logaritmisia (99,999 %).

Mikäli jätevesien desinfiointi olisi ympärivuotista, koituisi Lahden jätevesistä merkittävää hygieenistä haittaa Porvoonjoen ylä-, keski- ja alajuoksulle lähinnä poikkeustilanteissa. Talviaikaisen jätevesien desinfioinnin myönteiset vaikutukset ilmenisivät korostuneina joen alaosissa, jossa erityisesti talvikuukausien korkeat bakteeripitoisuudet heikentävät veden hygieenistä laatua.

5.2. Nastolan jätevedenpuhdistamo

Tulosten perusteella Nastolan jätevesien UV-desinfioinnin vaikutukset ovat nähtävissä selkeänä Palojoen veden hygieenisen laadun kohenemisena.

Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfiointi vähensi *E. coli* -bakteerien määriä jätevesien purku-uomassa 97 - 99 % ja suolistoperäisten enterokokkien määriä 83 - 99 %. Jäte-



Kuva 34. *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet Porvoonjoen alajuoksun näyteasemalla 11,5. Kaavioissa on esitetty talven (joulu-maaliskuun), kesän (touko-elokuun) sekä kevään ja syksyn (huhtikuun ja syys-marraskuuden) pitoisuudet ennen jätevesien UV-hygienisointia vuosilta 2006-2014 ja UV-hygienisoinnin aikana vuosilta 2015-2017.

Bakteerien pitoisuudet ovat pysyneet samantasoisina talvella, jolloin jätevesien UV-desinfiointia ei käytetä. Kesällä, jolloin jätevesien hygieeniset vaikutukset eivät ulotu Porvoonjoen alaosaan saakka, ovat bakteeripitoisuudet samaa tasoa tai hienoisesti nousseet UV-desinfioinnin aikana. Keväällä ja syksyllä UV-desinfioinnin vaikutukset joen alaosalla ovat sen sijaan nähtävissä indikaattoribakteerien pitoisuuksien selkeänä laskuna.

Kuva esittää bakteerien pitoisuuksien (pmy/100ml) geometriset keskiarvot (vertaa taulukko 6).

vedet purku-uomassa täyttivät uimaveden laatuvaatimukset. UV-desinfiointin aikana Nastolan jätevesien hygieeninen laatu oli indikaattoribakteerien osalta parempi kuin Palojoen veden hygieeninen laatu. Sekoittuessaan Palojoen veteen Nastolan desinfioidut jätevedet laimensivat purkualueen bakteeripitoisuuksia ja kohensivat jokiveden hygieenistä laatua.

Palojoessa Nastolan jätevesien purkupaikasta alavirtaan UV-desinfiointi vähensi *E. coli* -bakteerien määriä arviolta 50 - 80 % ja suolistoperäisten enterokokkien määriä arviolta 30 - 60 %. Osa Nastolan desinfiointin myönteisistä vaikutuksista Palojoessa peittyi Palojoen latvoilta tulevan yhdyskuntajätevesistä riippumattoman ulosteperäisen kuormituksen takia. Palojoen ylimmän latvan ulosteperäisen saastumisen alkuperää olisi syytä selvittää ja saada aisoihin.

6. Tulokset lyhyesti ja johtopäätökset

Lahden Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamoiden jätevesien UV-desinfiointi vähensi Porvoonjokeen kohdistuvaa hygieenistä haittaa merkittävästi. Myönteiset vaikutukset olivat nähtävissä koko Porvoonjoen tilassa Lahdesta alavirtaan. Yhdyskuntajätevesien UV-desinfiointi merkitsee selkeätä edistysaskelta Porvoonjoen vesistön tilan kehityksessä.

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan jätevesien purkualueella suolistobakteerien vähenemä UV-desinfiointin vaikutuksesta oli luokkaa 80 - 90 %. Lahti - Orimattila jokiosuudella, 30 kilometrin etäisyydellä purkupaikasta, jätevesien UV-käsittely vähensi indikaattoribakteerien pitoisuuksia 60 - 75 %.

Joen alaosalla Pukkila-Askola-Porvoo -alueella UV-hygienisoinnin vaikutukset ilmenivät selkeinä kevään ja syksyn-syystalven bakteeripitoisuuksien 60 - 75 % vähenemänä. Jokiveden kevään ja syksyn-syystalven selkeästi kohentunut hygieeninen laatu parantaa joen keski- ja alaosien virkistyskäyttömahdollisuuksia ja veden käyttökelpoisuutta (kuva 34).

Porvoonjoen uimaveden laatu joen alaosalla UV-desinfiointin ollessa päällä keväällä ja syksyllä on pääosin hyvä-tydyttävä ja kesällä hyvä-erinomainen, mikä avaa mahdollisuuksia virkistyskäytön kehittämiseksi. Esimerkiksi Porvoon Maarin alueelle kaavaillulle uimarannalle veden hygieeninen laatu on aikaisempaa vähäisempi este.

Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfiointi vähensi suolistobakteerien pitoisuuksia siten, että puhdistettu jätevesi täytti uimaveden laatuvaatimukset.

Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfioinnin myönteiset vaikutukset Palojoen veden hygieeniseen tilaan ulottuivat jätevesien purkupaikasta 20 km alavirtaan Porvoonjoen liittymään asti. Laskiessaan Palojokeen Nastolan desinfioitujen jäteveden laimensivat Palojoen veden suolistomikrobien pitoisuuksia.

Yhdyskuntajätevesien yläpuoliseen Palojoen latvaan kohdistuva kuormitus peittää merkittävässä määrin Nastolan jätevedenpuhdistamon UV-desinfioinnin myönteisiä vaikutuksia ja kuormituksen alkuperää tulee selvittää. Kyseisen kartoittamattoman kuormituslähteen hygieeniset haittavaikutukset ovat ajoittain nähtävissä koko Palojoessa ja mahdolliset vaikutukset myös muihin vedenlaatumuuttujiin on selvitettävä.

Jätevesien UV-desinfioinnin käytön aikana Orimattilan Vääräkosken jätevedenpuhdistamon jätevedet ovat Porvoonjoen keski- ja alaosien merkittävin bakteerikuormituksen lähde. Mikäli myös Vääräkosken jätevedenpuhdistamolla otettaisiin käyttöön tehokas käsiteltyjen jätevesien hygienisointi, parantaisi se Orimattila-Porvoo alueen veden hygieenistä tilaa merkittävästi.

Bakteeripitoisuudet ovat suurimmillaan talvivuodenpuoliskolla ja jätevesien UV-desinfioinnin käyttöajan pidentäminen vaikuttaisi myönteisesti Porvoonjoen ja Palojoen hygieeniseen tilaan ympäri vuoden. Porvoonjoessa myönteiset vaikutukset käyttöajan pidentämisessä ulottuisivat vielä selkeämmin joen keski- ja alaosille. Tämä parantaisi Porvoonjoen talviaikaisia virkistyskäyttömahdollisuuksia koko matkalla myös Porvoossa ja joen suistoalueella.

Puhdistusvaatimusten jatkuvasti kiristyessä tullaan lähitulevaisuudessa todennäköisesti asettamaan raja-arvoja puhdistetun yhdyskuntajäteveden bakteeripitoisuuksille. Tällöin kaikkia jätevesiä on lähtökohtaisista pitoisuuksista riippumatta puhdistettava samalle hygieeniselle tasolle. UV-tekniikka antaa jo nyt mahdollisuudet puhdistaa jätevedet siten, että ne ovat hygieeniseltä laadultaan vähintään purkuvesistön veden laadun tasoa, mikä kaikilla laatuvaatimuksilla on ensiluokkainen tulos.

Kariniemen ja Ali-Juhakkalan ja Nastolan UV-desinfioinnin tehokkuudessa on havaittu selkeä ero vertailtaessa niitä keskenään. Nastolan parempaan puhdistustehokkuuteen voivat vaikuttaa mm. jäteveden hitaampi virtaama UV-käsittelyssä ja UV-lamppujen erilainen kohdennus. Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-desinfioinnin toimivuutta voisi optimoida soveltamalla Nastolassa hyväksi havaittuja säätöjä ja käytäntöjä Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-laitteistoon ja kokeilemalla desinfiointia jätevesien eri virtaamilla ja viipymäajoilla.

Nikulan tasausaltaan veden absorptio- ja läpäisevyysominaisuuksien selvittäminen ja säteilyannosten sovittaminen puhdistettavan jäteveden ominaisuuksia vastaavaksi voisi parantaa desinfiointitehoa. UV-reaktoriin tulevan ja reaktorista lähtevän jäteveden tiheä seuranta selvittäisi desinfioinnin toimivuutta jätevesien eri viipymillä ja eri jäteveden ominaisuuksilla.

Mikäli Kariniemen ja Ali-Juhakkalan UV-desinfioinnissa saavutettaisiin Nastolan UV-desinfiointilaitoksen kaltaista yli 99 % vähenemää bakteeripitoisuuksissa, olisivat myönteiset vaikutukset vielä nykyistäkin merkittävämpiä. UV-desinfioinnin 99 % bakteerien reduktiolla Kariniemen ja Ali-Juhakkalan yhdyskuntajätevedet pääsääntöisesti laimentaisivat purkuvesistön bakteerien pitoisuuksia ja parantaisivat Porvoonjoen hygieenistä tilaa.

Optimaalisesti jätevesien UV-desinfioinnin myötä on mahdollista päästä tilanteeseen, jossa yhdyskuntajätevedet vaikuttavat kielteisesti Porvoonjoen ja Palojoen veden hygieeniseen tilaan vain poikkeustilanteissa.

Viiteluettelo

Bitton G. 2005. Microbial Indicators of Fecal Contamination: Application to Microbial Source Tracking. F. S. Association. University of Florida; Gainesville, FL.

Bäckström, M., Alexandersson, A., Bäcklund, I., Lindgren, P-E. ja Skredsvik-Raudberget, C. 2015. UV-behandling av avloppsvatten – utvärdering av två svenska fullskaleanläggningar. Rapportnummer: 2015-04. Svenskt Vatten AB.

Hokajärvi, A., Pitkänen, T., Torvinen, E. & Miettinen, I. 2008. Suolistoperäisten tau-din-aiheuttajamikrobien esiintyminen luonnonvesissä. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B 1/2008. Kansanterveyslaitos, Ympäristöterveyden osasto, Ympäristömikrobiologian laboratorio, Helsinki.

Hokajärvi A, Pitkänen T, Siljanen H, Nakari U, Torvinen E, Siitonen A, Miettinen I (2013) Occurrence of thermotolerant *Campylobacter* spp. and adenoviruses in Finnish bathing waters and purified sewage effluents. *Journal of Water and Health* 11 (1):120-134.

Jamieson, R., Joy, D. M., Lee, H., Kostaschuk, R., and Gordon, R. 2005. Transport and deposition of sediment-associated *Escherichia coli* in natural streams. *Water Research*, 39(12), 2665-2675.

Keinänen, J., Räsänen, S., Peltovuori, M., Hanski, M., Santala, E., Rapala, J., Torkkeli-Pitkäranta, T., Kalso, S. & Zacheus, O. Soveltamisopas uimavesiasetukseen 177/2008 – Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 177/2008 yleisten uimarantojen uimaveden laatu-vaatimuksista ja valvonnasta.

Koivunen, J. 2007. Effects of conventional treatment, tertiary treatment and disinfection processes on hygienic and physico-chemical quality of municipal wastewaters. Doctoral dissertation. Kuopio. University of Kuopio, Department of Environmental Science, Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 215.

Leino, N. 2008. Puhdistetun jäteveden patogeeneit ja desinfiointitarve. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

MMM 134/2006. Maa- ja metsätalousministeriön asetus N:o 134/2006 alkutuotannolle elintarviketurvallisuuden varmistamiseksi asetettavista vaatimuksista. Helsinki, 16.2.2006.

Moilanen, K. 2014. Käsitellyn yhdyskuntajäteveden hygienisointi Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma.

Niemi R.M. ja Niemi J.S. 1991. Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural lands. Journal of Environmental Quality. No 20. s. 620-627.

Noble, R. T., Lee, I. M. & Schiff. K. C. 2004. Inactivation of micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater. Journal of applied microbiology, 96, 464-472 .

Pachepsky, Y. A., Sadeghi, A. M., Bradford, S. A., Shelton, D. R., Guber, A. K., and Dao, T. 2006. Transport and fate of manure-borne pathogens: Modeling perspective. Agricultural Water Management, 86(1-2), 81-92.

Pachepsky, Y. A. & Shelton, D. R. 2011. *Escherichia Coli* and Fecal Coliforms in Freshwater and Estuarine Sediments', Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 41: 12, 1067-1110.

Pelczar, M. J., & Reid, R. D. 1958. Microbiology. McGraw-Hill, NY; toinen painos (1965); ISBN-10: 0070492220; ISBN-13: 978-0070492226.

Pereira, J. V., Linden, K. G. & Weinberg, H. S. 2007. Evaluation of UV irradiation for photolytic and oxidative degradation of pharmaceutical compounds in water. Water res. 41: 4413-4423.

Pitkänen, T., Hokajärvi, A-M., Kauppinen, A., Tiwari, A., Zacheus, O. & Miettinen, I.T. Vesivarojen saastelähteiden jäljitysmenetelmien kehitys. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 16/2015. 19 sivua. Helsinki 2015. ISBN 978-952-302-517-2 (verkkojulkaisu).

Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino, Helsinki, s. 247 - 253.

Ramboll Finland Oy 2015. Porvoonjoen vesistöalue. Vesistötarkkailu vuonna 2007-2014.

Ramboll Finland Oy 2017. Porvoonjoen vesistöalue. Vesistötarkkailu vuonna 2016.

Shafaei, S., Klammerth, N., Zhang, Y., McPhedran, K., Bolton, J.R. & El-Din, M.D. 2017. Impact of environmental conditions on bacterial photoreactivation in wastewater effluents. Environ. Sci.: Processes Impacts, 2017, 19, 31.

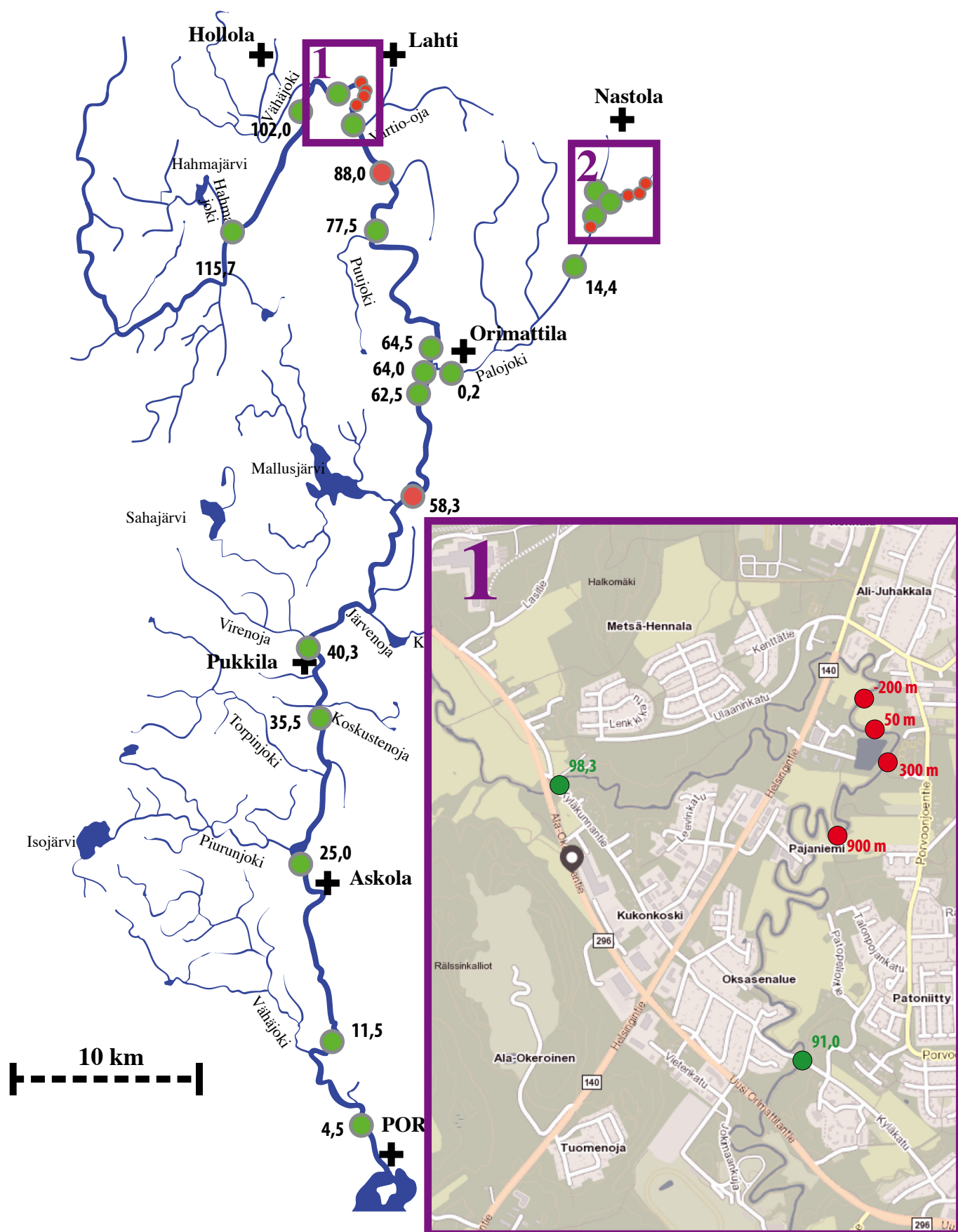
STM 177/2008. Suomen säädöskokoelma 2008 N:o 177. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus yleisten uimarantojen uimaveden laatuvaatimuksista ja valvonnasta 28.3.2008.

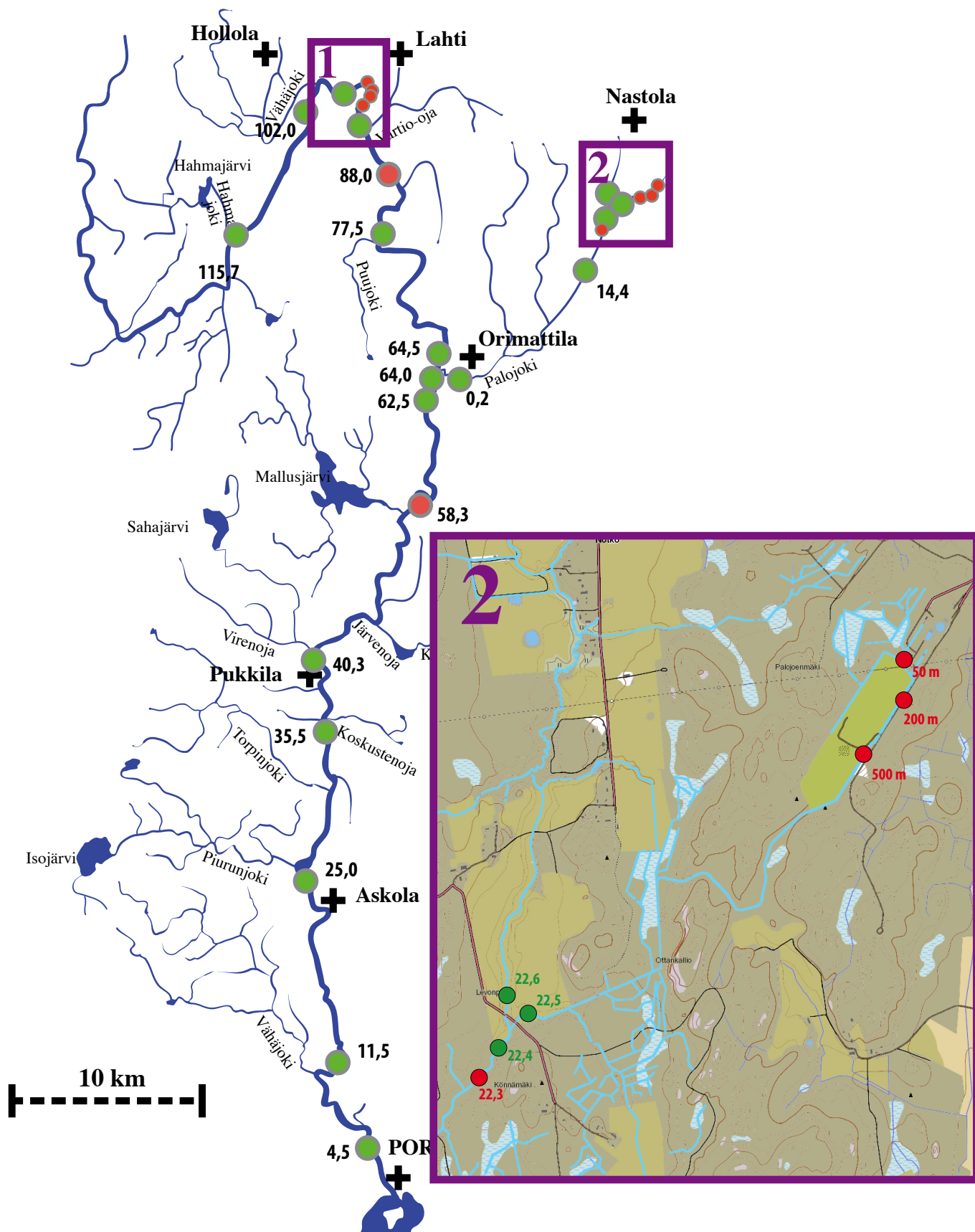
USEPA, 2006. Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule. EPA 815-R-06-007. November 2006. EPA, Washington DC, USA.

WHO (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1: Coastal and fresh waters. Geneva, World Health Organization.

LIITE I

Näyteasemien sijainnit





Näyteasemien sijainnit. Vihreällä Porvoonjoen vedenlaadun velvoitetarkkailun seuranta-asemat ja punaisella tässä selvityksessä näyteasemien tihentämiseksi lisätyt näyteasemat (pääuoman näyteasemien numerointi vastaa asemien etäisyyttä kilometreissä Porvoonjoen suulle ja Palojoen näyteasemien numerointi etäisyyttä Palojoen ja Porvoonjoen liittymäkohtaan). Oikealla Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uoman ja purku-uoman ja Palojoen liittymän näyteasemat (näyteasemien 50m-500m numerointi kuvaa asemien etäisyyttä Nastolan jätevedenpuhdistamon purkupisteestä).

LIITE II

Porvoonjoen ja Palojoen
sedimenttinäytteiden bakteeripitoisuudet

Porvoonjoki:

pvm.	Näyteasema	-200 m		50m		300m		900m		91,0		77,5	
		<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit
28.11.2016	Vesi	91	40	690	120			340	100				
	Sedimentti	230	100	160	640			160	<100				
21.2.2017	Vesi	500	130	5500	2400	6900	2000	4600	1500	520	2000		
	Sedimentti	20	<100	31	<100	120	<100	63	<100	10	100		
25.7.2017	Vesi									120	67		
	Sedimentti									10	<100		

Palojoki:

pvm.	Näyteasema	22,6 km		pu 50m		pu 200m		pu 500m		pu 2700m		22,4km		22,3km		14,4km		0,2 km	
		<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit
20.2.2016	Vesi	22	10	5100.0	1300	5000.0	1100	4000	1100	4700	900	2000	600	2500.0	1200.0				
	Sedimentti	10	<100	800	8600	1200	2000	700	3000	140	600	1000	1600	1200	300				
20.4.2017	Vesi															600	70		
	Sedimentti															63	<100		

Indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet (pmy/g) Porvoonjoen pääuoman ja Palojoen pohjesedimenteissa ja samana ajankohtana sedimenttien yläpuolisissa vedessä.

LIITE III
Porvoonjoen ja Palojoen
vesinäytteiden bakteeripitoisuudet

Pvm.	-200m	50m	200m	900m	910km	88km	77.5km	64.5	64	62.5	58.3	40.3	35.5	25	11.5	4.5	Nikulan allas	0,0m
28.11.16	<i>E.coli</i>	91	690															2400
28.11.16	Enerokkitt	40	120	340													250	13000
21.2.17	<i>E.coli</i>	500	6900	4600	520													3700
21.2.17	Enerokkitt	130	2000	1500	2000													
14.3.17	<i>E.coli</i>							720		460								
14.3.17	Enerokkitt							140		130								
15.3.17	<i>E.coli</i>	160	4100	4400	4100	3300							320				17000	24000
15.3.17	Enerokkitt	120	190	220	1200	230							60				2600	2200
29-30.3.17	<i>E.coli</i>	74	490	290	380	600		200	200	230	310	290	32	390	390	420	24000	4400
29-30.3.17	Enerokkitt	28	360	250	150	140		57	55	55	71	89	72	60	71	68	11000	1900
3.4.17	<i>E.coli</i>	110	1200	840													2200	14000
3.4.17	Enerokkitt	50	1000	150													3000	3000
3-5.4.17	<i>E.coli</i>	150	160	160					150	200			450	360			12000	1400
3-5.4.17	Enerokkitt	42	130	120	100	53			53	54			50	52			2600	1400
15-16.6.2017	<i>E.coli</i>																	
15-16.6.2017	Enerokkitt																	
14-16.6.17	<i>E.coli</i>	510	710	720	670	1000	1300	550	890	390		120	130	30	120	41	9800	1500
14-16.6.17	Enerokkitt	160	150	150	120	210	1000	140	130	110		47	57	43	24	17	250	180
25-26.7.17	<i>E.coli</i>												63					
25-26.7.17	Enerokkitt												81					
24-26.7.17	<i>E.coli</i>	52	130	160	200	150	230	86	130	98	10	10	52	52	63	20	1900	310
24-26.7.17	Enerokkitt	71	92	94	93	88	95	41	23	18	23	9	68	22	50	19	310	110
16-18.8.17	<i>E.coli</i>	41	990	1500	840	350	1500	85	56	57			52	10	10	31	24000	4600
16-18.8.17	Enerokkitt	59	97	75	86	77	100	40	50	39			54	38	18	25	230	190
29-31.8.17	<i>E.coli</i>	460	410	440	290	330	130	30	41	270	120		110	41	74	2900	16000	690
29-31.8.17	Enerokkitt	88	140	120	99	110	46	12	25	47	45		25	15	8	52	1800	160

	22.6 km	50m	200m	900m	22.5km	22.4km	22km	14.4	0,2 km
<i>E.coli</i>	Enerokkitt	<i>E.coli</i>	Enerokkitt	<i>E.coli</i>	Enerokkitt	<i>E.coli</i>	Enerokkitt	<i>E.coli</i>	Enerokkitt
20.2.17	22	10	1300	4500	1300	4700	900	2000	600
14.3.17	250	150	5500	2300	4900	1700	1000	450	180
20.4.17	41	8		8700	1100	2100	330	1100	100
25.4.17	41	0		4100	170	700	48	180	25
27.4.17	50	3		5500	580	1000	130	330	58
28.4.17									
4.5.17	63	7	62	15	10	10	3	20	6
13.6.17	2000	3000		580	140	680	150	1200	1900
28.8.17	2000	2300	23	16	2	19	38	650	1000
								1300	1800
								150	110
								54	130

Porvoonjoen pääuoman (ylhäällä) ja Palojoen indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuudet (pmy/100ml) marraskuun 2016 - elokuun 2017 välisenä aikana.

LIITE IV
Porvoonjoen ja Palojoen
indikaattoribakteerien tilastollisia
tunnuslukuja

Näytesama	115,7	102,0	98,3	-200m	50m	300m	900m	91,0	88,0	77,5	64,5	64,0	62,5	58,3	40,3	35,5	25,0	11,5	4,5	Tasausallas	0,0
Aritmeettinen k.a. <i>E. coli</i>	320,0	190,0	403,3	257	360	4113	4500	2206		3600	1860		2730			878	220	827	533	9600	17000
Aritmeettinen k.a. <i>E. coli</i>	47,0	8,5	69,8	197	511	545	417	456	575	608	158	245	209	147	140	210	143	124	379	14617	2166
Aritmeettinen k.a. enterokokit	14,0	10,0	29,0	100	1197	790	1350	719		400	450		470			161	30	82	87	2800	2967
Aritmeettinen k.a. enterokokit	59,5	22,0	34,8	70	156	135	107	167	146	228	60	56	61	46	48	51	59	34	34	2698	599
Geomeetrinen k.a. <i>E. coli</i>	320,0	190,0	334,0	206	3002	2997	4499	1711		3587	1470		1517			588	220	789	489	6116	16347
Geomeetrinen k.a. <i>E. coli</i>	46,7	8,4	55,5	126	412	390	364	264	387	415	109	141	175	72	70	85	64	68	79	11279	1553
Geomeetrinen k.a. enterokokit	14,0	10,0	23,3	92	770	404	1342	439		362	326		324			116	30	70	75	2793	2901
Geomeetrinen k.a. enterokokit	59,5	20,9	24,7	60	140	125	105	113	130	145	45	47	52	42	34	40	41	24	24	986	327
Mediaani <i>E. coli</i>	320,0	190,0	470,0	160	4100	4600	4500	2700		3600	1860		2730			395	220	670	650	9600	14000
Mediaani <i>E. coli</i>	47,0	8,5	41,0	91	490	365	340	250	575	415	90	140	215	120	120	62	47	74	59	14000	1500
Mediaani enterokokit	14	10	17,0	120	1000	220	1350	380		400	450		470			92	30	51	69	2800	3000
Mediaani enterokokit	59,5	22	35,0	59	130	120	100	92	146	140	46	52	51	45	47	53	41	39	24	1055	190
Min <i>E. coli</i>	320	190	130,0	110	1200	840	4400	520	0	3300	720	0	460	0	0	320	220	610	260	2200	13000
Min <i>E. coli</i>	42	7	26,0	41	130	160	200	86	150	110	30	41	57	10	10	2	10	10	6	1900	310
Max <i>E. coli</i>	320	190	610,0	500	5500	6900	4600	4100	0	3900	3000	0	5000	0	0	2400	220	1200	690	17000	24000
Max <i>E. coli</i>	52	10	160,0	510	990	1500	840	2400	1000	1500	550	890	390	310	290	1100	390	390	2900	24000	4600
Min enterokokit	14	10	13,0	50	190	150	1200	83	0	230	140	0	130	0	0	60	220	45	41	2600	2200
Min enterokokit	58	15	4,0	28	92	75	86	50	81	46	12	23	18	23	9	5	15	3	3	230	110
Max enterokokit	14	10	57,0	130	2400	2000	1500	2000	0	570	760	0	810	0	0	400	30	150	150	3000	3700
Max enterokokit	61	29	73,0	160	360	250	150	740	210	1000	140	130	130	71	89	110	220	71	85	11000	1900
n <i>E. coli</i>	1	1	3,0	3	3	3	2	5	0	2	2	0	2	0	0	4	1	3	3	2	3
n <i>E. coli</i>	2	2	5,0	7	7	6	7	10	2	9	8	6	8	3	3	12	8	9	10	6	7
n enterokokit	1	1	3,0	3	3	3	2	5	0	2	2	0	2	0	0	4	1	3	3	2	3
n enterokokit	2	2	5,0	7	7	6	7	10	2	9	8	6	8	3	3	12	8	9	10	6	7

Porvoonjoen pääuoman indikaattoribakteerien *Escherichia coli* ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja marraskuun 2016 - elokuun 2017 välisenä aikana. Violetin värinen aineisto on ajalta, jolloin jätevesien UV-desinfiointi oli käytössä.

Näyteasema	22,6 km		pu 50m		pu 200m		pu 500m		pu 2700m		22,4km		22,3km		14,4km		0,2 km	
	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit	<i>E.coli</i>	Enterokokit
Artimeittinen k.a.	120.6	53.4	5300.0	1800.0	5540.0	1130.0	5250.0	1550.0	1798.6	425.4	755.7	158.9	2900.0	1200.0	161.7	63.7	202.1	50.4
Artimeittinen k.a.	872.2	943.8	42.5	15.5	197.3	54.3			184.5	71.2	456.7	537.3			374.8	491.0	161.7	186.8
Geomeetrinen k.a.	77.5	16.1	5296.2	1729.2	5336.0	811.8	5099.0	1483.2	1470.2	283.4	570.9	91.7	2900.0	1200.0	103.8	24.7	141.8	26.8
Geomeetrinen k.a.	463.7	199.5	37.8	15.5	22.6	25.0			53.8	39.5	266.3	145.5			93.4	74.2	72.4	47.3
Mediaani	50.0	10.0	5300.0	1800.0	4900.0	1100.0	5250.0	1550.0	1600.0	330.0	450.0	100.0	2900.0	1200.0	130.0	19.0	135.0	17.0
Mediaani	475.0	145.0	42.5	15.5	10.0	16.0			32.5	42.0	330.0	134.0			94.5	80.5	59.0	35.5
Min	22	1	5100	1300	4100	170	4000	1100	700	48	180	25	2900	1200	10	4	57	8
Min	63	7	23	15	2	7			10	3	20	6			10	3	15	7
Max	330	150	5500	2300	8700	2500	6500	2000	4700	1000	2000	600	2900	1200	440	290	600	200
Max	2000	3000	62	16	580	140			680	160	1200	1900			1300	1800	710	900
n	7	7	2	2	5	5	2	2	7	7	7	7	1	1	6	6	8	8
n	6	6	2	2	3	3	0	0	6	6	6	6	0	0	4	4	6	6

Escherichia coli -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien (pmy/100ml) tilastollisia tunnuslukuja Palojoessa. Taulukossa on vuoden 2017 tulokset ennen jätevesien UV-hygienisointia helmi-huhtikuussa ja UV-hygienisoinnin aikaiset touko-elokuussa (violetit luvut). Näyteasemien numerot ovat Porvoonjoen yhteistarkkailusta vakintuneita ja kuvaavat etäisyyttä Palojoen ja Porvoonjoen liittymäkohtaan. pu -merkityt näyteasemat sijaitsevat Nastolan jätevedenpuhdistamon purku-uomassa 50, 200, 500 ja 2700 metrin etäisyydellä jätevedenpuhdistamosta.