

Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla -hankkeen loppuraportti

Vesilaitosyhdistyksen
monistesarja nro 34

Helsinki 2014



Julkaisun myynti:

Vesilaitosyhdistys
Ratamestarinkatu 7 B
00520 Helsinki

puh. (09) 868 9010
fax. (09) 8689 0190
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu www.vvy.fi

ISBN 978-952-6697-02-4 (pdf)
ISSN 2242-7279

KUVAILEHTI			
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
<i>Tekijät</i>	Niina Vieno, Envieno ky		
<i>Julkaisun nimi</i>	Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla -hankkeen loppuraportti		
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 34		
<i>Julkaisun teema</i>			
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksestä sähköisenä pdf-versiona.		
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla –hanke oli lajissaan laajin Suomessa koskaan toteutettu hanke. Siinä mitattiin 42 vesiympäristölle haitalliseksi tai vaaralliseksi luokiteltua tai luokitelluksi ehdotettua ainetta 64 jätevedenpuhdistamolta. Osallistumalla hankkeeseen puhdistamot pystyivät täyttämään ympäristöministeriön heiltä edellyttämän haitta-aineiden selvittämisen jätevesissään.</p> <p>Tässä raportissa esitellään tutkitut aineet, niiden käyttötarkoitukset ja käyttömäärät Suomessa sekä mitatut pitoisuudet ja poistumat jätevedenpuhdistamoilla. Lisäksi mallinuksin arvioitiin aineiden biohajoamista ja sitoutumista lietteeseen puhdistuksen aikana.</p> <p>Hankkeessa kilpailutettiin analyysilaboratoriot julkisten hankintojen normien mukaisesti avoimella tarjouskilpailulla. Näytteenotosta huolehti jokainen puhdistamo itsenäisesti marraskuun 2013 ja helmikuun 2014 välisenä aikana.</p> <p>Mittaustuloksista selvisi, että useiden aineiden pitoisuudet olivat alle määritysrajan jo puhdistamoille tulevissa jätevesissä tai pitoisuudet pääosin laskivat puhdistusprosessin aikana. Harvan aineen kuitenkin arvioitiin biohajoavan prosessin aikana. Pitoisuuksien lasku selittyi useimmiten aineen sitoutumisella puhdistamolietteeseen. Lietepitoisuuksia ei tässä hankkeessa mitattu. Jätevesistä yleisimmin löydetyt aineet olivat peräisin kuluttajakemikaaleista tai olivat ns. kaikkialla läsnä olevia aineita. Ympäristöön purettavissa jätevesissä direktiivissä 2013/39/EU listattuja ympäristölaatonormeja (EQS) ylittäviä pitoisuuksia mitattiin joissakin näytteissä seuraavilla aineilla: nonyylifenolit- ja etoksilaatit, oktyylifenoli, dietyyliheksyyliiftalaatti (DEHP), dibutyyliftalaatti, tributyyliitina (TBT), kadmium, lyijy, nikkeli, heksabromosyklododekaani (HCDB) ja perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS). EQS-arvojen ylitykset olivat pääosin vähäisiä.</p>		
<i>Avainsanat</i>	Haitalliset aineet, vaaralliset aineet, jätevesi		
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Vesilaitosyhdistys, Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto		
		<i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-02-4	ISSN 2242-7279
	<i>Sivuja</i> 279	<i>Kieli</i> suomi	<i>luottamuksellisuus</i> julkinen
<i>Julkaisun jakelu</i>	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi		

BESKRIVNINGSBLAG			
<i>Publicerat av</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Författare</i>	Niina Vieno, Envieno ky		
<i>Publikationens titel</i>	Skadliga ämnen i avloppsreningsverk projekt slutrapport		
<i>Publikationsseriens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens publikationsserie nr 34		
<i>Publikationens tema</i>			
<i>Tillgänglighet</i>	Pdf-publikationen kan laddas ner från www.vvy.fi		
<i>Sammanfattning</i>	<p>Projektet "Skadliga ämnen i avloppsreningsverk" (Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla) var det mest omfattande i sitt slag som någonsin genomförts i Finland. I projektet mättes 42 ämnen som klassats eller som föreslås klassas som skadliga eller farliga för vattenmiljön i 64 avloppsreningsverk. Genom att delta i projektet kunde reningsverken utföra den utredning av skadliga ämnen i sina avloppsvatten som miljöministeriet förutsätter av dem.</p> <p>I denna rapport presenteras de undersökta ämnena, deras ändamål och användningsmängder i Finland samt uppmätta halter och upptag i avloppsreningsverken. Dessutom bedömdes ämnenas biologiska nedbrytning och bindning till slam under reningen genom modellering.</p> <p>I projektet konkurrensutsattes analyslaboratorier genom en öppen anbudstävling enligt normerna för offentliga upphandlingar. Varje reningsverk ansvarade själv för provtagningen mellan november 2013 och februari 2014.</p> <p>Av mätresultaten framgick det att halterna hos flera ämnen låg under bestämningsgränsen redan i det inkommande avloppsvattnet eller så sjönk halterna i huvudsak under reningsprocessen. Få ämnen bedömdes dock brytas ner biologiskt under processen. Nedgången i halterna förklarades oftast av att ämnet band sig till reningsverksslammet. Slamhalterna uppmättes inte i detta projekt. De ämnen som hittades oftast i avloppsvattnet härstammade från konsumentkemikalier eller var s.k. allestädes närvarande ämnen. <i>I avloppsvatten som släpps ut i miljön uppmättes halter som överskrider miljökvalitetsnormerna (EQS) som listas i direktiv 2013/39/EU hos följande ämnen i några av proverna: nonylfenoler och -etoxilater, oktylfenol, dietylhexylftalat (DEHP), dibutylftalat, tributyltin (TBT), kadmium, bly, nickel, hexabromocyklododekan (HCDB) och perfluorooktansulfonat (PFOS). Överskridningarna av EQS-värdena var huvudsakligen ringa.</i></p>		
<i>Nyckelord</i>	Skadliga ämnen, farliga ämnen, avloppsvatten		
<i>Finansiär/uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening, Vattentjänstfonden		
		<i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-02-4	<i>ISSN</i> 2242-7279
	<i>Sidantal</i> 279	<i>Språk</i> finska	<i>Konfidentialitet</i> Offentlig
<i>Distribution av publikationen</i>	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		

DESCRIPTION SHEET			
<i>Publisher</i>	Finnish Water Utilities Association		
<i>Contributors</i>	Niina Vieno, Envieno ky		
<i>Title of publication</i>	Hazardous substances at wastewater treatment project report		
<i>Name and number of publication series</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 34		
<i>Subject of publication</i>			
<i>Availability</i>	The publication is available online: www.vvy.fi		
<i>Abstract</i>	<p>The 'Hazardous substances at wastewater treatment plants' project was the most extensive project of its kind ever carried out in Finland. The project measured 42 substances that are classified or recommended for classification as harmful or hazardous to the aquatic environment at 64 wastewater treatment plants. By participating in the project, the wastewater treatment plants were able to fulfil their obligation to investigate pollutants in their wastewater, as required by the Ministry of the Environment.</p> <p>This report presents the substances investigated, their intended uses and quantities used in Finland as well as the concentrations and removals measured at wastewater treatment plants. In addition to this, modelling was used to analyse the biodegradation of the substances and their binding with sludge.</p> <p>In accordance with the applicable standards of public procurement, the project held open bidding for laboratory analysis services. Each treatment plant was responsible for taking its own samples between November 2013 and February 2014.</p> <p>The results showed that the concentrations of several substances were already below the limit of quantitation in raw wastewaters or the concentrations decreased during the treatment. Only few of the substances were found to biodegrade but the decrease in concentrations was usually due to the binding of substances with sludge. Sludge concentrations were not measured in this project. The most common substances found in wastewater originated from consumer chemicals or were ubiquitous substances. Concentrations in effluents exceeding the Environmental Quality Standards (EQS) listed in EU Directive 2013/39/EU were measured in some samples for the following substances: nonylphenols and ethoxylates, octylphenol, diethylhexyl phthalate (DEHP), dibutyl phthalate, tributyltin (TBT), cadmium, lead, nickel, hexabromocyclododecane (HCDB) and perfluorooctanesulphonate (PFOS). Cases in which concentrations exceeded EQS values primarily involved minor overshoots.</p>		
<i>Key words</i>	Hazardous substances, wastewater		
<i>Financed/ sponsored by</i>	Water Utilities Development Fund		
	<i>ISBN (bound) -</i> 978-952-6697-02-4		ISSN 2242-7279
	<i>Pages</i> 279	<i>Language</i> Finnish	<i>confidentiality</i> public
<i>Distribution</i>	Finnish Water Utilities Association, www.vvy.fi		

SISÄLTÖ

Sisältö	1
Alkusanat	4
1 JOHDANTO.....	5
2 Tutkittavien aineiden valinta ja lainsäädäntö.....	6
2.1 Haitallisia aineita koskeva lainsäädäntö.....	6
2.2 Aineiden valintaperusteet	8
2.3 Tutkittavia aineita koskeva lainsäädäntö ja EQS-arvot.....	11
3 Haitallisten aineiden käyttö ja päätyminen jätevedenpuhdistamolle ..	14
3.1 Tutkittujen aineiden käyttötarkoitus ja arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille	17
3.1.1 Alkyyylifenolit ja alkyyylifenolietoksilatit.....	17
3.1.2 Ftalaatit	19
3.1.3 Bromatut difenyylietterit (BDE).....	20
3.1.4 Tributyylitina (TBT)	21
3.1.5 Diuroni	23
3.1.6 4-kloori-2-metyylifenoksietikka-happo (MCPA).....	23
3.1.7 Raskasmetallit.....	24
3.1.8 Heksabromosyklododekaani (HBCD)	26
3.1.9 Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	27
3.1.10 Sybutryyni.....	29
3.1.11 Sypermetriini.....	29
3.1.12 Aklonifeeni.....	29
3.1.13 Terbutryyni.....	29
3.1.14 Bifenoksi.....	29
3.1.15 Hormonit.....	30
3.1.16 Lääkeaineet.....	31
3.1.17 Triklosaani	32
3.1.18 Sinkki ja sen yhdisteet.....	32
3.1.19 Glyfosaatti ja aminometyylifosfonihappo (AMPA).....	33
3.1.20 Vapaa syanidi.....	33
3.1.21 Endosulfaani.....	33
3.1.22 Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset yhdisteet	34
3.1.23 (Bentsotiatsoli-2-yyli-tio)metyylisyanaatti (TCMTB).....	35
3.1.24 Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	35
3.2 Haitallisten aineiden käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla.....	36
4 MENETELMÄT	42
4.1 Suomessa aiemmin tehdyt mittaukset	42
4.2 Näytteenottokohteiden kuvaus	42
4.3 Puhdistamoilla käytössä olleet käsittelymenetelmät.....	47
4.4 Rinnekoti-Säätion puhdistamon esittely	49

4.5	Näytteenotto.....	50
4.6	Analyysilaboratorioiden kilpailutus.....	53
4.7	Analyysikustannukset.....	59
4.8	Analyysimenetelmät.....	60
4.9	Aineiden käyttäytymisen arviointi TOXCHEM-mallinnuksella.....	62
5	TULOKSET	64
5.1	Analyysit	64
5.2	Ainekohtaiset tulokset.....	71
5.2.1	<i>Tulosten tarkastelumenetelmät.....</i>	71
5.2.2	<i>Nonyylifenoli -ja etoksilaatit.....</i>	73
5.2.3	<i>Oktyylifenoli -ja etoksilaatit</i>	82
5.2.4	<i>Ftalaatit</i>	89
5.2.5	<i>Bromatut difenyylietterit (BDE).....</i>	99
5.2.6	<i>Tributyylitina (TBT)</i>	105
5.2.7	<i>Diuroni</i>	111
5.2.8	<i>4-kloori-2-metyylifenoksietikka-happo (MCPA).....</i>	115
5.2.9	<i>Raskasmetallit.....</i>	119
5.2.10	<i>Heksabromosyklododekaani (HBCD).....</i>	128
5.2.11	<i>Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS).....</i>	134
5.2.12	<i>Sybutryyni.....</i>	140
5.2.13	<i>Sypermetriini.....</i>	141
5.2.14	<i>Aklonifeeni.....</i>	142
5.2.15	<i>Terbutryyni.....</i>	143
5.2.16	<i>Bifenoksi.....</i>	145
5.2.17	<i>Hormonit.....</i>	146
5.2.18	<i>Lääkeaineet.....</i>	152
5.2.19	<i>Triklosaani.....</i>	162
5.2.20	<i>Sinkki.....</i>	167
5.2.21	<i>Glyfosaatti ja AMPA.....</i>	171
5.2.22	<i>Vapaa syanidi.....</i>	178
5.2.23	<i>Endosulfaani.....</i>	179
5.2.24	<i>Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset aineet.....</i>	180
5.2.25	<i>TCMTB ja MBeT.....</i>	183
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	185
6.1	Näytteenotto ja analysointi	186
6.2	Tutkittujen aineiden pitoisuudet tulevissa ja lähtevissä jätevesissä ..	187
6.3	Tutkittujen aineiden poistuma ja käyttäytyminen puhdistamoilla	192
6.4	Jätevedenpuhdistamoiden osuus ympäristön kuormittajana	195
6.5	Tutkittujen aineiden suhteet niille määrättyihin EQS-arvoihin.....	196
	LOPPUSANAT	198
	LÄHTEET	200
	LIITTEET.....	207
	Liite 1. Tutkittujen aineiden rakennekaavat ja CAS-numerot	207

Liite 2. Puhdistamoille lähetetty näytteenotto-ohje	213
Liite 3. Puhdistamokohtaiset tulokset	217
Liite 4. Haitta-aineiden pitoisuudet jätevedessä jaoteltuna puhdistamon koon mukaan.....	246
Liite 5. Haitta-aineiden pitoisuudet jätevedessä jaoteltuna puhdistamon maantieteellisen sijainnin mukaan luokkiin	250
Liite 6. Tulevan jäteveden tulokset verrattuna puhdistamojen ilmoittamaan teollisuusjätevesien osuuteen kokonaisvirtaamasta.....	255
Liite 7. Biologisen puhdistusmenetelmän vaikutus aineiden pitoisuuksiin lähtevässä jätevedessä.....	259
Liite 8. Puhdistamolla käytössä olevan biologisen puhdistuksen ja lietteenerotuksen jälkeisen puhdistusmenetelmän vaikutus aineiden pitoisuuksiin lähtevässä jätevedessä	261
Liite 9. Puhdistamon Kokoluokka ja tutkittujen aineiden poistuma prosessissa	263
Liite 10. Puhdistamolla käytössä oleva biologisen puhdistuksen menetelmä ja tutkittujen aineiden poistuma puhdistuksen aikana	264
Liite 12. Yhteenveto tulevan jäteveden mittaustuloksista.....	266
Liite 13. Yhteenveto lähtevän jäteveden mittaustuloksista	268

ALKUSANAT

Tässä raportissa esitellään Haitta-aineet jätevesissä –hankkeen tuloksia. Hanke koostui kahdesta osasta, joiden molempien tulokset on koottu tähän raporttiin. Ensimmäinen osa ”*Selvitys aineiden käyttömääristä Suomessa sekä esiintymisestä jätevesissä*” sai rahoitusta Vesihuoltolaitosten kehittämisrahastolta, Maa- ja vesitekniikan tuki ry:ltä sekä HSY Helsingin seudun ympäristöpalveluilta. Toisen osan ”*Aineiden analysointi jätevedenpuhdistamoilla ja tulosten julkaisu*” koordinoivat yhdessä Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto ja Envieno ky. Hankkeen toinen osa rahoitettiin Vesihuoltolaitosten kehittämisrahaston laitoslähtöisenä hankkeena. Hankkeeseen osallistuneet puhdistamot vastasivat omista analysointikustannuksistaan. Rinnekoti-Säätiön analyysit rahoitettiin hankkeen puitteissa.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Jorma Kaloinen ja Airi Karvonen (Ympäristöministeriö), Jukka Mehtonen ja Jaakko Mannio (Suomen ympäristökeskus), Ari Kangas (Uudenmaan ELY-keskus), Jukka Lammentausta (Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto ry), Eeva-Kaarina Aaltonen (Pohjanmaan vesi ja ympäristö ry), Timo Lukkarinen (Metropolilab), Tommi Fred ja Mari Heinonen (HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut), Tiiu Vuori ja Pekka Laakkonen (Tampereen Vesi Liikelaitos), Riitta Moisio (Lappeenrannan Energia Oy), Tiina Oksanen (Riihimäen Vesi), Pentti Kangas (Levin Vesihuolto Oy), Petri Tuominen (JS-Puhdistamo Oy), Saijariina Toivikko (Vesilaitosyhdistys) sekä Niina Vieno (Envieno ky).

Lämpimät kiitokset kaikille rahoittajille, ohjausryhmän jäsenille sekä erityisesti puhdistamoille osallistumisesta hankkeeseen!

Turussa 30.5.2014

Niina Vieno
Envieno ky

1 JOHDANTO

Haitallisia ja vaarallisia aineita voi päätyä vesiympäristöön puhdistettujen jätevesien mukana. Useiden aineiden kohdalla jätevesiä suurempia kuormittajia ovat huuhtoumat pelloilta, kaduilta ja maanteiltä sekä laskeumana vesistöihin ja maanpinnalle päätyvät kaukokulkeutuvat aineet. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta vesistöön voi päätyä haitta-aineita, jos niitä sisältäviä aineita käytetään kotitalouksissa tai viemäröintialueen teollisuudessa eivätkä aineet poistu riittävän tehokkaasti puhdistusprosessin aikana. Haitalliset aineet jätevedenpuhdistuksessa –hankkeen tavoitteena oli selvittää kotimaisessa ja EU:n lainsäädännössä esiintyvien tai säädettäviksi ehdotettujen vesiympäristölle haitallisten ja vaarallisten aineiden pitoisuuksia jätevesissä. Hankkeen päätavoitteet olivat:

- selvittää ohjeen Ymra 15/2012 vaatimusten mukaisten aineiden esiintyminen > 10 000 AVL:n puhdistamoiden lähteissä jätevesissä. Isoimmilta puhdistamoilta (> 50 000 AVL) otettiin näytteet myös tulevasta jätevedestä. Ohje Ymra 15/2012 perustuu asetukseen 1022/2006 ja sen muutosasetukseen 868/2010 ja
- selvittää ns. tulevaisuuden aineiden (2013/39/EU uudet prioriteettiaineet, tarkkailuaineet ja mahdolliset tarkkailuaineet) esiintyminen suurimpien (> 100 000 AVL) puhdistamoiden tulevissa ja lähteissä jätevesissä.

Tavoitteena oli, että hankkeeseen osallistumalla jätevedenpuhdistamot pystyivät täyttämään ympäristöministeriön heille asettamat haitta-aineiden selvitysvaatimukset. Hankkeen tavoitteena oli myös koota eri puhdistamoiden tulokset yhteen, jotta vesihuoltolaitokset voivat käyttää niitä vertailukohtana omien tulostensa arvioinnissa. Mittausten lisäksi tavoitteena oli laboratorioden julkisen kilpailutuksen, kirjallisuusselvityksen, puhdistamoille lähetettävän taustatietokyselyn sekä haitallisten aineiden matemaattisen käyttäytymismalli TOXCHEM:in avulla muun muassa:

- selvittää kaupallisesti saatavilla olevien analyysipalvelujen määräysrajojen riittävyys,
- arvioida haitallisten aineiden lähteitä jätevedessä,
- määrittää puhdistamoiden osuudet, joiden lähteissä jätevesissä pitoisuudet ylittävät määräysrajat ja/tai aineelle asetetut ympäristölaatu normit (EQS),
- laskea laimennuskertoimet, jotka vaadittaisiin pitoisuuksien laskemiseksi alle EQS-arvojen,
- laskea aineiden poistumat puhdistamoilla ja arvioida aineiden käyttäytymistä jätevedenpuhdistamoilla,
- arvioida koko Suomen osalta kuormitukset jätevedenpuhdistamoille sekä lähtevän jäteveden mukana ympäristöön sekä
- arvioida biologisen puhdistusmenetelmän vaikutusta aineen poistumiseen puhdistamoilla.

2 TUTKITTAVIEN AINEIDEN VALINTA JA LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 HAITALLISIA AINEITA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Aineiden valinta tämän hankkeen tutkimuskohteiksi määräytyi vesiympäristölle haitallisten ja vaarallisten aineiden kansainvälisestä ja kansallisesta lainsäädännöstä. Vesiympäristölle haitallisista ja vaarallisista aineista säädetään maailmanlaajuisesti Tukholman sopimuksella (ns. POP-aineet eli **Persistent Organic Pollutant**) ja EU-alueella vesipuitteidirektiivin yhteydessä listattuina prioriteettiaineina. Suomen lainsäädäntöön prioriteettiaineet on implementoitu valtioneuvoston asetuksen vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 1022/2006 liitteisiin A, B ja C. Myöhemmin liitteiden aineluetteloita on päivitetty muutosasetuksessa 868/2010. Liitteessä A on listattu aineet, joita ei saa päästää pintaveden eikä vesihuoltolaitoksen viemäriin. Liitteen B aineille on asetettu päästöraja-arvoja kohdassa, jossa päästö johdetaan pintaveden. Liitteessä C on listattu yhteisön tasolla määritetyt vesiympäristölle vaaralliset ja haitalliset aineet sekä niiden ympäristölaatu­normit. Liitteessä D on listattu kansallisessa menettelyssä määritetyt vesiympäristölle haitalliset aineet. Kaikille prioriteettiaineille ja suurimmalle osalle liitteen D aineista on määrätty myös ympäristölaatu­normi eli EQS-arvo, joka tulee sanoista **Environmental Quality Standard**. Ympäristölaatu­normi kuvaa nimensä mukaisesti vesistöille asetettua haitta-aineen raja-arvoa. Vesistö voidaan luokitella kemialliselta puhtaustasoltaan hyväksi, jos haitallisten aineiden EQS-arvot alittuvat. Puhdistetuille jätevesille ei ole asetuksissa asetettu laatu­normeja muiden kuin elohopean ja kadmiumin osalta. Näille asetuksen liite B määrää suurimmat sallitut päästö­raja-arvot sekä pitoisuuksina että ominaiskuormituksina.

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2012 ohjeen vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten soveltamisesta (Karvonen ym. 2012). Ohjeen taulukossa 9 on listattu ne asetuksien aineet, joiden esiintymistä jätevesien päästöissä tulisi vesilaitoskohtaisesti selvittää. Aineet on listattu taulukkoon 2.1. Ympäristöministeriö kehotti kirjeellään 19.8.2013 ELY-keskuksia varmistamaan, että yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla selvitetään asianmukaisesti jätevesissä esiintyvät vesiympäristölle vaaralliset ja haitalliset aineet. Vähintään 10 000 AVL:n puhdistamoilla selvitys edellytettiin tehtäväksi viimeistään 30.9.2014 mennessä.

Taulukko 2.1. Ymra 15/2012 mukaiset aineet, joiden pitoisuuksia määrättiin selvittämään > 10 000 AVL:n puhdistamoilta.

Liitteessä 1C listatut aineet*	Liitteessä 1D listatut aineet*
Nonyylifenoli ja mono- ja dietoksilaatit	Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)
Oktyylifenolit ja mono- ja dietoksilaatit	Dibutyyliftalaatti (DBB)
Dietyyliheksyyliftalaatti (DEHP)	TCMTB
Bromatut difenyylietterit (BDE)	Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)
Tributyylitina (TBT)	MCPA
Diuroni	
Endosulfaani	
Elohopea	
Kadmium	
Nikkeli	
Lyijy	

*asetukset 1022/2006 ja 868/2010

Elokuussa 2013 EU julkaisi uusitun prioriteettiaineista säättävän direktiivin (2013/39/EU). Säädoskssä listattiin 12 uutta prioriteettiainetta tai -aineryhmää:

- Dikofoli
- Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)
- Kvinoksifeeni
- Dioksiinit ja dioksiininkaltaiset yhdisteet
 - Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PPCD)
 - Polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF)
 - Polyklooratut bifenyylit (PCB)
- Aklonifeeni
- Bifenoksi
- Sybutryyni
- Sypermetriini
- Diklorvossi
- Heksabromosyklododekaani (HBCD)
- Heptakloori ja heptaklooriepoksidi
- Terbutryyni

Lisäksi seitsemän aineen EQS-arvoa tiukennettiin:

- Antraseeni
- Bromatut difenyylietterit (BDE)
- Fluoranteeni
- Lyijy ja sen yhdisteet
- Naftaleeni
- Nikkeli ja sen yhdisteet
- Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)

Prioriteettiaineiden lisäksi EU:n jäsenmaissa tullaan jatkossa monitoroimaan vesistöistä myös ns. tarkkailuaineita. Näille aineille ei säädetä EQS-arvoa, mutta vesistötarkkailua ja tulosten raportointia komissiolle täytyy toteuttaa annettujen määräysten mukaisesti. Ensimmäinen tarkkailuainelista julkaistaan kokonaisuudessaan syksyllä 2014, mutta direktiiviin listattiin jo kolmen tarkkailuaineen nimet:

- Diklofenaakki (tulehduskipulääke)
- 17 β -estradioli (hormoni)
- 17 α -etinyyliestradioli (hormoni)

Lisäksi ainakin seuraavia aineita on ehdotettu tarkkailuaineiksi:

- Ibuprofeeni (tulehduskipulääke)
- Karbamatsepiini (epilepsialääke)
- Triklosaani (biosidi)
- Sinkki ja sen yhdisteet
- Glyfosaatti (kasvintorjunta-aine)
- AMPA (glyfosaatin hajoamistuote)
- Vapaa syanidi

2.2 AINEIDEN VALINTAPERUSTEET

Edellä esitetyt direktiivit ja asetukset sekä ympäristöministeriön ohjeet toimivat aineiden valinnan perusteena. Tutkimukseen valittiin aineita seuraavin perustein:

- A. Aine on Ympäristöministeriön julkaisemassa ohjeessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säästösten soveltamisesta (Ymra 15/2012, Karvonen ym. 2012) listattu aineeksi, jonka esiintymistä jätevesien päästöissä tulisi vesihuoltolaitoskohtaisesti selvittää.
- B. Aine on direktiivissä 2013/39/EU säädetty uudeksi prioriteettiaineeksi ja aine on Suomessa käytössä.
- C. Aine on direktiivissä 2013/39/EU säädetty tarkkailuaineeksi tai on ehdolla tarkkailuaineeksi.

Näiden perusteiden mukaan tutkittavat aineet jaettiin analyysipaketeiksi taulukon 2.2 mukaisesti. Aineiden molekyylikaavat ja CAS-numerot on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 2.2 Tutkittavien aineryhmien jaottelu analyysipaketeiksi.

Aineryhmän nimi	Jaotteluperuste
ANALYYSIPAKETTI 1	
Alkyyliifenolit ja alkyyliifenolietokсилаатit Ftalaatit Bromatut difenyylietterit Tributyylitina Diuroni 4-kloori-2-metyyliifenoksietikka-happo (MCPA) Raskasmetallit	YMr15/2012 mukaan ne aineet, joiden esiintymistä > 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoilla selvitetään 30.9.2014 mennessä. Endosulfaani sisällytettiin Analyysipakettiin 3.
ANALYYSIPAKETTI 2	
Heksabromosykloodekaani (HBCD) Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS) Sybutryyni Sypermetriini Aklonifeeni Terbutryyni Bifenoksi	Direktiivin EU/2013/39 mukaiset uudet prioriteettiaineet, joita suositeltiin analysoitavaksi > 100 000 AVL:n puhdistamoilta. Heptakloori ja heptaklooriepoksidi, diklorvossi, dikofoli, quinoxyfen jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle, sillä niitä ei käytetä tai valmisteta Suomessa.
Hormonit ¹⁾ Lääkeaineet ¹⁾ Triklosaani Sinkki ja sen yhdisteet Glyfosaatti ja Aminometyylifosfonihappo (AMPA) Vapaa syanidi	Direktiivin EU/2013/39 mukaiset tarkkailulistalle lisätyt tai ehdolla olevat aineet. Suositeltiin analysoitavaksi > 100 000 AVL:n puhdistamoilta.
ANALYYSIPAKETTI 3	
Endosulfaani ²⁾ Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PCDD) Polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF) Polyklooratut bifenyylit (PCB)	Suositteltiin analysoitavaksi > 100 000 AVL:n puhdistamoilta.
ANALYYSIPAKETTI 4	
(Bentsotiatsoli-2-yyliitio)metyylisyanaatti (TCMTB) ²⁾ Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT) ²⁾	Suositteltiin analysoitavaksi vain tietyiltä teollisuusaloilta jätevetä vastaanotettaessa.

¹⁾ Hormonit 17 α -etinyyliestradioli ja 17 β -estradioli sekä lääkeaine diklofenaakki olivat myös ehdolla prioriteettiaineiksi, mutta niitä ei kuitenkaan tässä vaiheessa listalle lisätty.

²⁾ Ohjeessa YMr15/2012 listattu aineiksi, joiden esiintymistä > 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoilla tulee selvittää 30.9.2014 mennessä.

Taulukossa 2.2 esitetyt aineryhmät sisälsivät seuraavat aineet:

Alkyylifenolit ja

alkyylifenolietoksilaatit

- Nonyylifenoli
- Nonyylifenolimonoetoksilaatti
- Nonyylifenolidietoksilaatti
- Oktyylifenoli
- Oktyylifenolimonoetoksilaatti
- Oktyylifenolidietoksilaatti

Ftalaatit

- Di-2-etyyliheksyyliftalaatti
- Dibutyyliftalaatti
- Bentsyylibutyyliftalaatti

Bromatut difenyylietterit (BDE)

- BDE-28
- BDE-47
- BDE-99
- BDE-100
- BDE-153
- BDE-154

Raskasmetallit

- Elohopea ja sen yhdisteet
- Kadmium ja sen yhdisteet
- Lyijy ja sen yhdisteet
- Nikkeli ja sen yhdisteet

Heksabromosyklododekaani

- 1,3,5,7,9,11-HBCD
- 1,2,5,6,9,10-HBCD
- α -HBCD
- β -HBCD
- γ -HBCD

Hormonit

- 17 α -etinyliestradioli
- 17 β -estradioli

Lääkeaineet

- Diklofenaakki
- Ibuprofeeni
- Karbamatsepiini

Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PCDD):

- 2,3,7,8-TCDD
- 1,2,3,7,8-PeCDD
- 1,2,3,4,7,8-HxCDD
- 1,2,3,6,7,8-HxCDD
- 1,2,3,7,8,9-HxCDD
- 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
- OCDD

Polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF)

- 2,3,7,8-TCDF
- 1,2,3,7,8-PeCDF
- 2,3,4,7,8-PeCDF
- 1,2,3,4,7,8-HxCDF
- 1,2,3,6,7,8-HxCDF
- 1,2,3,7,8,9-HxCDF
- 2,3,4,6,7,8-HxCDF
- 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
- 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF
- OCDF

Polyklooratut bifenyylit (PCB)

- PCB-77 (3,3',4,4'-TCB)
- PCB-81 (3,3',4',5-TCB)
- PCB-105 (2,3,3',4,4'-PeCB)
- PCB-114 (2,3,4,4',5-PeCB)
- PCB-118 (2,3',4,4',5-PeCB)
- PCB-123 (2,3',4,4',5'-PeCB)
- PCB-126 (3,3',4,4',5-PeCB)
- PCB-156 (2,3,3',4,4',5-HxCB)
- PCB-157 (2,3,3',4,4',5'-HxCB)
- PCB-167 (2,3',4,4',5,5'-HxCB)
- PCB-169 (3,3',4,4',5,5'-HxCB)
- PCB-189 (2,3,3',4,4',5,5'-HpCB)

2.3 TUTKITTAVIA AINEITA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA EQS-ARVOT

Suomessa prioriteettiainedirektiivi (2008/105/EC) on toimeenpantu kansalliseen lainsäädäntöön Valtioneuvoston asetuksella vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006 ja 868/2010). Myös uusi vuonna 2013 julkaistu prioriteettiainedirektiivi (2013/39/EU) tullaan sisällyttämään kansalliseen lainsäädäntöön. Ympäristön tilan kannalta tärkein lainsäädännössä määrätty raja-arvo on EQS-arvo. On huomioitava, että arvo on määrätty pintavesille. Taulukkoon 2.4 on koottu tutkittavien aineiden EQS-arvoja. Aineista TCMTB ja MBeT eivät ole EU:n prioriteettiaineita, mutta ne ovat kansallisesti tunnistettuja vesiympäristölle haitallisia aineita. Tämän vuoksi niille on määrätty EQS-arvo ainoastaan Suomen lainsäädännössä. HBCD, PFOS, sybutryyni, sypermetriini, aklonifeeni, terbutryyni ja bifenoksi ovat EU:n prioriteettiaineita, joita ei vielä ole implementoitu Suomen haitallisista ja vaarallisista aineista säätävään asetukseen. Tutkittavista aineista diklofenaakki, 17 β -estradioli ja 17 α -etinyyliestradioli ovat prioriteettiainedirektiivin mukaisia tarkkailuaineita, mutta niille ei ole säädetty EQS-arvoa. Karbamatsepiini, ibuprofeeni, triklosaani, sinkki, glyfosaatti, AMPA ja vapaa syanidi ovat ehdolla tarkkailuaineiksi.

Prioriteettiainedirektiivin ja haitallisten ja vaarallisten aineiden asetuksen lisäksi useita hankkeessa mukana olleita aineita koskee Euroopan päästö- ja siirtorekisteristä (E-PRTR) säätävä asetus 166/2006 (Taulukko 2.3). Asetuksen mukaan nämä aineet on raportoitava yli 100 000 AVL:n puhdistamoilta, jos mitattu tai laskennallinen päästön kynnyksäraja ylittyy.

Taulukko 2.3. Ne tutkittavat aineet, joita koskee Euroopan päästö- ja siirtorekisteristä (E-PRTR) säätävä asetus 166/2006.

Aine	Kynnysarvo	
	Päästö vesistöön (kg/v)	Päästö maa-alueelle
NP + NP_xEO	1	1
OP + OP_xEO	1	-
DEHP	1	1
BDE ¹⁾	1	1
Tributyylitina	1	1
Diuroni	1	1
Elohopea ja sen yhdisteet	1	1
Kadmium ja sen yhdisteet	5	5
Nikkeli ja sen yhdisteet	20	20
Lyijy ja sen yhdisteet	20	20
Sinkki ja sen yhdisteet	100	100
Endosulfaani	1	1
Dioksiinit ja furaanit	0.0001 (TEQ)	0.0001 (TEQ)

¹⁾ Penta-BDE + okta-BDE + deka-BDE

Taulukko 2.4. Tutkittaviksi valitut haitalliset tai vaaralliset aineet ja niille määrätty EQS-arvot eli ympäristölaatu­normit (µg/l). Aineet, jotka on listattu vaarallisiksi aineiksi on lihavoitu.

Aine	Euroopan Unioni 2013/39/EU				Suomi 1022/2006 ja 868/2010			
	Sisävedet		Rannikkoalueet		Sisävedet		Rannikkoalueet	
	AA- EQS	MAC- EQS	AA- EQS	MAC- EQS	AA- EQS	MAC- EQS	AA- EQS	MAC- EQS
NP + NP _x EO summa TEQ⁸⁾	0.3	2.0	0.3	2.0	0.3	2.0	0.3	2.0
OP	0.1	-	0.01	-	0.1	-	0.01	-
DEHP	1.3	-	1.3	-	1.3	-	1.3	-
DBP	-	-	-	-	10	-	1.0	-
BBP	-	-	-	-	10	-	1.4	-
BDE summa⁷⁾	-	0.14	-	0.014	0.0005	-	0.0002	-
Tributyyli­ti­na	0.0002	0.0015	0.0002	0.0015	0.0002	0.0015	0.0002	0.0015
Diuron	0.2	1.8	0.2	1.8	0.2	1.8	0.2	1.8
MCPA	-	-	-	-	1.6	-	0.16	-
Eloho­pea⁹⁾	-	-	0.07	0.07	0.05	-	0.05	-
Kadmium¹⁰⁾	≤0.08 ¹⁾	0.2	≤0.45 ¹⁾	≤0.45 ¹⁾	≤0.08 ¹⁾	≤0.45 ¹⁾	0.2	≤0.45 ¹⁾
	0.08 ²⁾		0.45 ²⁾	0.45 ²⁾	0.08 ²⁾	0.45 ²⁾		0.45 ²⁾
	0.09 ³⁾		0.6 ³⁾	0.6 ³⁾	0.09 ³⁾	0.6 ³⁾		0.6 ³⁾
	0.15 ⁴⁾		0.9 ⁴⁾	0.9 ⁴⁾	0.15 ⁴⁾	0.9 ⁴⁾		0.9 ⁴⁾
	0.25 ^{5)*}		1.5 ⁵⁾	1.5 ⁵⁾	0.25 ⁵⁾	1.5 ⁵⁾		1.5 ⁵⁾
Lyijy	1.2 ⁶⁾	130	1.3	130	7.2	-	7.2	-
Nikkeli	4 ⁶⁾	34	8.6	34	20	-	20	-
HBCD	0.0016	0.5	0.0008	0.05	-	-	-	-
PFOS	0.00065	36	0.00013	7.2	-	-	-	-
Sybutryyni	0.0025	0.016	0.0025	0.016	-	-	-	-
Syperm­etriini	0.00008	0.0006	0.000008	0.0000	-	-	-	-
				6				
Aklonifeeni	0.12	0.12	0.012	0.012	-	-	-	-
Terbutryyni	0.065	0.34	0.0065	0.034	-	-	-	-
Bifenoksi	0.012	0.04	0.0012	0.004	-	-	-	-
Endosulfaani	0.005	0.01	0.0005	0.004	0.005	0.01	0.0005	0.004
PCDD+PCDF+	<i>Biotalle määrätty arvo 0.0065 µg/kg TEQ</i>							
PCB								
TCMTB	-	-	-	-	0.018	-	0.0018	-
MBeT	-	-	-	-	0.8	-	0.08	-
E2	<i>Tarkkailuaine (ei ole määrätty EQS-arvoa)</i>							
EE2	<i>Tarkkailuaine (ei ole määrätty EQS-arvoa)</i>							
Diklofenaakki	<i>Tarkkailuaine (ei ole määrätty EQS-arvoa)</i>							
Ibuprofeeni	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbamatsepiini	-	-	-	-	-	-	-	-
Tri­klo­saani	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinkki	-	-	-	-	-	-	-	-
Glyfosaatti	-	-	-	-	-	-	-	-
AMPA	-	-	-	-	-	-	-	-
Vapaa syanidi	-	-	-	-	-	-	-	-

¹⁻⁵⁾ Kadmiumin ja kadmiumyhdisteiden osalta ympäristölaatu­normit vaihtelevat riippuen veden kovuudesta eriteltynä viiteen luokkaan (luokat ilmoitettu taulukossa yläindeksinä): luokka 1: 40 mg CaCO₃/l, luokka 2: 40 — 50 mg CaCO₃/l, luokka 3: 50 — 100 mg CaCO₃/l, luokka 4: 100 — 200 mg CaCO₃/l ja luokka 5: ≥200 mg CaCO₃/l.

⁶⁾ Aineen biosaatava osuus, ⁷⁾ BDE-28, -47, -99, -100, -153 ja -154 summa

⁸⁾ Summa lasketaan kaavalla: (1 x NP) + (0.5 x NP₁EO) + (0.5 x NP₂EO)

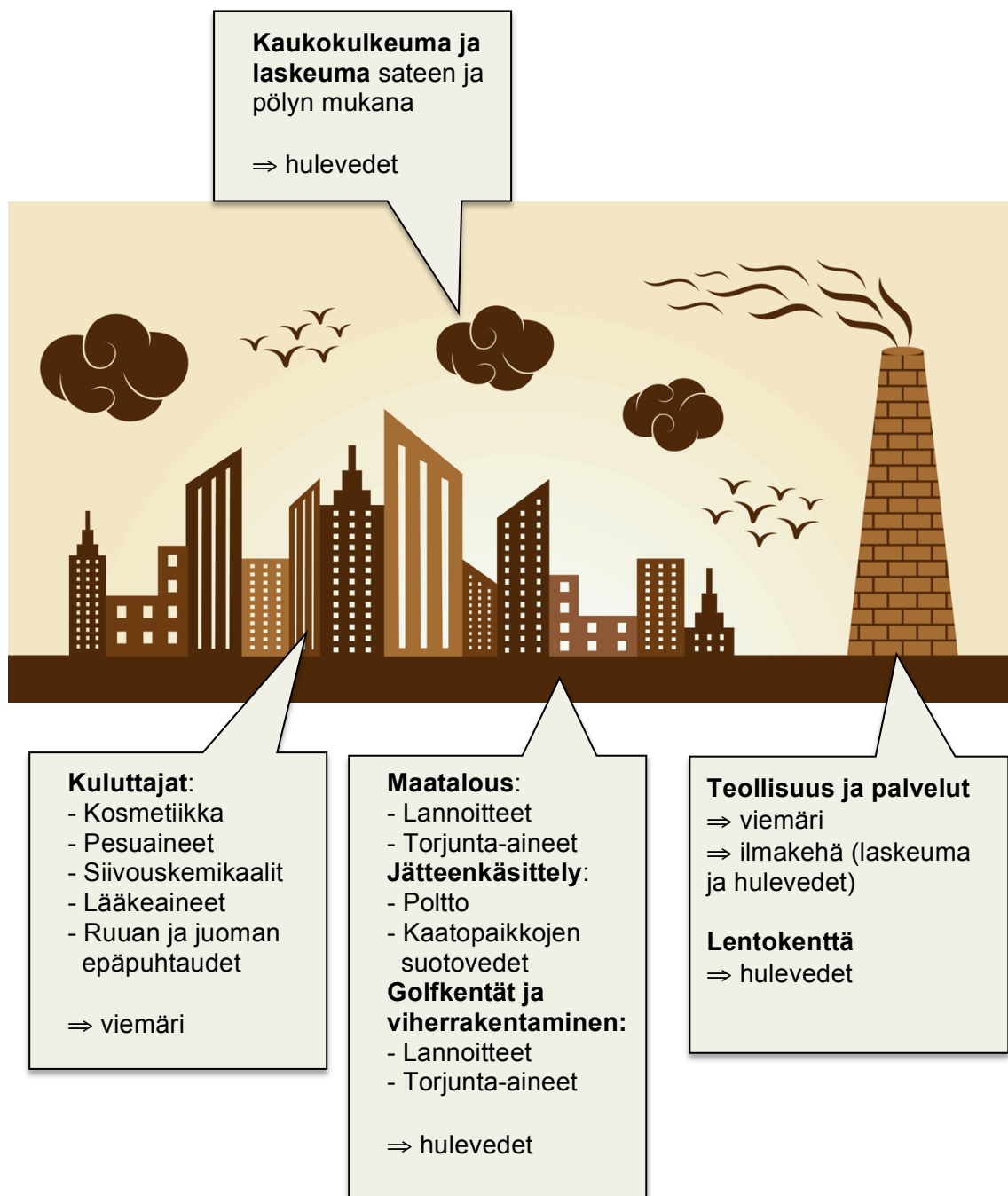
⁹⁾ HUOM Päästö­raja-arvo 5 µg/l, ¹⁰⁾ HUOM Päästö­raja-arvo 10 µg/l

Muutama valituista aineista on lisäksi Tukholman sopimuksella luokiteltu pysyväksi orgaaniseksi aineeksi eli POP-yhdisteeksi:

- BDE-47, -99, -154
- PFOS
- PCDD, PCDF, PCB-DL
- HBCD (Viittaa aineisiin CAS-numeroilla: 25637-99-4, 3194-55-6, 134237-50-6, 134237-51-7 ja 134237-52-8), luokittelu POP-aineeksi tulee voimaan 26.11.2014

3 HAITALLISTEN AINEIDEN KÄYTTÖ JA PÄÄTYMINEN JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLE

Ympäristölle haitalliseksi tai vaaralliseksi luokiteltuja aineita päätyy jätevedenpuhdistamoille joko suorana päästönä, huuhtoutumana maanpinnalta tai hule- ja vuotovesinä. Erilaiset haitallisten aineiden päästölähteet ja kulkeutumisreitit on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Haitallisten aineiden päästölähteitä ja kulkeutumisreittejä

Yksittäistä haitallista ainetta voi päätyä jätevedenpuhdistamolle monesta eri lähteestä. Tutkittavien haitta-aineiden lähteet on tarkemmin kuvattu kappaleessa 3.1. Jonkinlainen yleinen jaottelu voidaan kuitenkin eri päästölähteille tehdä:

KOTITALOUDET

- Tekstiilien pesu: nonyylifenoli- ja etoksilaatit, oktyylifenoli- ja etoksilaatit
- Muovituotteet ja kosmetiikka: ftalaatit (DEHP, BBP, DBP), triklosaani
- Maalit: biosidit diuroni ja sybutryyni
- Huonekalut ja elektroniikka (huonepöly): palonestoaineet
- Lääkeaineet ja hormonit

TEOLLISUUS

- Raskasmetallit (Hg, Cd, Pb, Ni) ja sinkki
- Palonestoaineet
- Biosidit (diuroni, tributyyliitina, sypermetriini)
- PFOS (pintakäsittelyaine)
- Syanidi
- TCMTB, MBeT (limantorjunta-aineet)

HUUHTOUMA/HULEVEDET

- Rikkakasvien hävittäminen: MCPA, glyfosaatti (+ metaboliatuote AMPA), endosulfaani
- Torjunta-aineet: aklonifeeni, terbutryyni, bifenoksi
- Kaatopaikkojen suotovedet: raskasmetallit, palonestoaineet,
- PFOS (pintakäsittelyaineet)

Yksi mahdollinen haitta-aineiden lähde jätevesissä on ravintomme epäpuhtaudet. Tunnetuimpia ovat kalojen sisältämät dioksiinien ja elohopean jäämät sekä vihannesten ja hedelmien sisältämät torjunta-ainejäämät. Ravinto voi sisältää myös muita haitta-aineita, esimerkiksi pakkausmateriaaleista ravintoon siirtyneitä yhdisteitä. Ftalaaatteja käytetään yleisesti muovituotteiden pehmentiminä ja muovi on myös ruuan yleinen pakkausmateriaali. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen EFSA (European Food Safety Authority) on arvioinut aikuisen päivittäisen altistumisen dietyyliheksyyliftalaatille olevan painokiloa kohti 2.5 µg (EFSA 2005a), bentsyylibutyyliftalaatille 0.1 – 0.3 µg (EFSA 2005b) ja 0.2 – 1.8 µg dibutyyliftalaatille (EFSA 2005c).

Ravintomme epäpuhtauksiin kuuluvat myös ns. ubikvitäariset eli kaikkialla läsnä olevat aineet. Ne kulkeutuvat pysyvyytensä vuoksi laajalle alueelle kauaksikin alkuperäisestä päästölähteestään. Tutkituista aineista ubikvitäarisiksi on luokiteltu (2013/39/EU):

- Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)
- Bromatut difenyylietterit (BDE)
- Heksabromosyklododekaani (HBCD)
- Elohopea
- Tributyylitina (TBT)
- Dioksiinit ja niiden kaltaiset yhdisteet

Ubikvitäariset aineet ovat yleensä erittäin rasvaliukoisia ja kertyvät tämän vuoksi ravintoketjussa ylöspäin mentäessä. Niiden pitoisuudet ovat suurimpia kaloissa ja äyriäisissä sekä liha- ja maitotuotteissa ja kananmunissa. Esimerkiksi perfluoro-oktaanisulfonaattia (PFOS) löydettiin EFSA:n (European Food Safety Authority) (EFSA 2011a) tekemässä tutkimuksessa erityisesti riistaeläinten lihasta ja ns. syötävistä teurasjätteistä (erityisesti maksa). Myös karjaeläinten lihasta ja syötävistä teurasjätteistä (maksa) löytyi PFOSia, mutta riistaeläimiä vähemmän. Lisäksi PFOSia löytyi kaloista ja äyriäisistä. Vihanneksista, hedelmistä sekä maito- ja viljatuotteista PFOS:ia löytyi vain satunnaisesti. On arvioitu, että ravinnosta saatava PFOS:in määrä on aikuisilla korkeintaan 5 ng painokiloa kohti vuorokaudessa (EFSA 2012).

EFSA on raportoinut myös heksabromosyklododekaanin ja bromattujen difenyyliettereiden pitoisuuksia sekä kuluttajien saamia päivittäisiä annoksia ravinnosta (EFSA 2011b,c). Näitä palonestoaineita löytyy suurimpina pitoisuuksina kaloista, liha- ja maitotuotteista sekä kananmunista. Heksabromosyklododekaanin päivittäisen saannin aikuisilla on arvioitu olevan vuorokaudessa painokiloa kohti korkeintaan 1 ng ja bromattujen palonestoaineiden 5.7 ng. Bromattujen palonestoaineiden tärkeänä lähteenä tunnistettiin myös kala- tai kalanmaksaöljyt (EFSA 2011c). Näitä tuotteita nauttivien BDE-kuorman arvioitiin olevan noin 40 % keskimääräistä korkeampi.

Tributyylitinaa (TBT) on aiemmin käytetty erityisesti laivojen ja veneiden pohjamaaleissa biosidinä. TBT:tä onkin tästä syystä löydetty erityisesti kaloista ja äyriäisistä. Vuonna 2004 julkaistun EFSA:n raportin mukaan TBT:n pitoisuus kalatuotteissa on keskimäärin 7 ng/g tuotetta (EFSA 2004). Tällöin arvioitiin, että keskimääräinen TBT-annos vuorokaudessa olisi aikuisella n. 9 ng painokiloa kohti. Eviran tutkimuksen mukaan TBT:n pitoisuus kotimaisessa kalassa oli vuonna 2005-2007 pyydetyissä näytteissä keskimäärin 17 ng/g ollen korkeimmillaan 158 ng/g (EVIRA 2008). Muutamaa vuotta myöhemmin tehdyissä mittauksissa TBT-yhdisteiden pitoisuudet kaloissa olivat jonkin verran pienentyneet (EVIRA 2011). Myös suomalaisista kaloista on Eviran toimesta mitattu ja löydetty dioksiineja, bromattuja difenyyliettereitä, PFOS:ia ja tributyylitinaa (Evira 2011). Pahimpia Itämeren kalojen saasteita olivat dioksiinit ja dioksiininkaltaiset yhdisteet. BDE- ja PFOS- ja TBT-pitoisuudet olivat pieniä muutamaa yksittäistä poikkeusta lukuun ottamatta.

Muita haitta-aineiden lähteitä jätevedenpuhdistamolla ovat talousvesi, viemäriverkosto sekä itse puhdistamo. Esimerkiksi raskasmetallien suurimmat sallitut määrät talousvedessä (461/2000) ovat korkeammat kuin niille määrätyt EQS-arvot (ks. taulukko 2.4):

- Elohopea: 1 µg/l (alhaisin EQS= 0.05 µg/l)
- Nikkeli: 20 µg/l (alhaisin EQS= 4 µg/l)
- Lyijy: 10 µg/l (alhaisin EQS= 1.2 µg/l)
- Kadmium: 5 µg/l (alhaisin EQS= 0.08 µg/l)

Täten myös talousvesi voi olla raskasmetallien lähde jätevedessä. Viemäriverkoston materiaaleista voi liueta veteen haitallisia aineita. Muovituotteista joko verkostossa tai puhdistamolla voi liueta ftalaatteja ja erilaisista metallituotteista raskasmetalleja. Raskasmetalleja, erityisesti nikkeliä, voi esiintyä myös jätevedenpuhdistamolla käytettävien kemikaalien epäpuhtautena.

3.1 TUTKITTUJEN AINEIDEN KÄYTTÖTARKOITUS JA ARVIOITU KUORMITUS JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLE

3.1.1 Alkyyylifenolit ja alkyyylifenolietokсилаatit

Nonyylifenolia (NP), oktyylifenolia (OP) tai niiden etokсилаatteja (NP_xEO ja OP_xEO) ei valmisteta Suomessa. Oktyylifenolia valmistettiin Euroopassa (Saksassa, Belgiassa, Sveitsissä, Ranskassa ja Iso-Britanniassa) vuonna 2011 arviolta 22 633 tonnia (Brooke ym. 2005). Samana vuonna EU:n alueelle tuotiin oktyylifenolia 375 tonnia (Brooke ym. 2005). Suurin osa käytetään fenolihartsiin (esim. bakeliitti) valmistuksessa. Oktyylifenolietokсилаatteja käytettiin 1050 tonnia (Brooke ym. 2005). Tästä määrästä 550 tonnia käytettiin polymeerien valmistuksessa (lopputuotteet mm. maaleja, paperia, musteita), 150 tonnia tekstiilien ja nahan pintakäsittelyssä, 200 tonnia oktyylifenolieetterisulfaatin valmistukseen, 100 tonnia pestisidien valmistuksessa, 50 tonnia vesiohenteisten maalien lisäaineena ja 3.4 tonnia eläinlääkkeiden lisäaineena (Brooke ym. 2005). Taulukkoon 3.1 on koottu kemikaalien käyttöön ja jätevesikuormitukseen liittyviä tietoja Suomen osalta. Suuri osa arvioidusta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille on peräisin EU:n ulkopuolelta tuotujen tekstiilien pesusta. (Andersson ym. 2012, Mehtonen ym. 2012).

Vuonna 2003 tuli voimaan EU-direktiivi (2003/53/EC), joka kieltää nonyyylifenolin markkinoinnin ja käytön tiettyjä kohteita lukuun ottamatta. Koska kemikaalin käyttökielto kohdistuu vain EU:n alueelle, ei se estä nonyyylifenolia tai nonyyylifenolietokсилаatteja sisältävien tekstiilien tai kosmetiikan tuontia Suomeen. Mehtonen ym. (2012) on arvioinut, että Suomessa jätevedenpuhdistamoilta päätyy vuosittain pintavesiin 159–186 kg nonyyylifenolia ja 27–81 kg nonyyylifenolietokсилаatteja, 6–36 kg oktyylifenolia ja 1–21 kg oktyylifenolietokсилаatteja.

Taulukko 3.1 Alkyylifenolien ja –etoksilaattien käyttötarkoitukset sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
NP	• Kumien ja muovien valmistus (katalyyttinä tai lisäaineena)	Ei tiedossa
	• Maalien ja lakkojen valmistus	10
	• Maalien käyttö	15
	• Rakennusmateriaalien valmistus ja käyttö (esim. betoni)	(110 – 160) ¹⁾
	• NPE:n valmistuksen välituote	0 ²⁾
	• Tekstiilien valmistus ja pesu	2400 – 5500 ³⁾
	• Kosmetiikan lisäaine	0 ³⁾
		Yhteensä: 2425 – 5525
NP_xEO	• Pinta-aktiivinen aine pesuaineissa:	
	○ teollisuus	1100
	○ autojen pesu	8000 ⁵⁾
	○ pesulat	ei tiedossa
	○ kotitaloudet	0 ²⁾
	• Maalien ja lakkojen valmistus	770
	• Maalien käyttö	25
• Kosmetiikan lisäaine	0 ³⁾	
		Yhteensä: 9895
OP	OP _x EO valmistus	Ei Suomessa
	Fenolihartsien valmistus	Ei tiedossa
	Fenolihartsien käyttökohteet:	
	• elektroniikan suojalakka	Ei tiedossa
	• autonrenkaat	Ei tiedossa ⁴⁾
• painomusteet	Ei tiedossa	
OP_xEO	Muovituotteiden valmistus	Ei tiedossa
	Maalien valmistus	Ei tiedossa
	Pinta-aktiivinen aine pesuaineissa	Ei tiedossa
	Tekstiilien valmistus ja pesu	212 – 1520
	Pestisidien valmistus	Ei Suomessa
	Eläinlääkkeiden lisäaine	Ei tiedossa
		Yhteensä: 212 – 1520

Lähteet: Andersson ym. 2012, Mehtonen ym. 2012, Karvonen ym. 2012, Brooke ym. 2005

¹⁾ Arvio betonista ympäristöön liukenevan nonyylifenolin määrästä. Osa tästä voi päätyä sadeveden mukana jätevedenpuhdistamolle.

²⁾ NP:tä tai NPE:tä ei valmisteta Suomessa.

³⁾ EU:ssa nonyylifenoleita tai –etoksilaatteja ei saa käyttää kosmetiikan lisäaineena eikä tekstiilien valmistuksessa. Käyttökielto kohdistuu vain EU:n alueelle, eikä estä näitä kemikaaleja sisältävien tekstiilien ja kosmetiikan myyntiä Suomessa. Kosmetiikkaa päätyy kuitenkin pesujen yhteydessä viemäriin ja vaatteiden pesusta irtoaa kemikaaleja pesuveteen.

⁴⁾ Oktyylifenolia on löydetty maanteiden hulevesistä, joten renkaiden kulumisesta johtuvaa kemikaalin vapautumista voi tapahtua (Mehtonen ym. 2012). Pintavesiin vuosittain vapautuvan oktyylifenolin määrän on arvioitu olevan 710 kg/v.

⁵⁾ Osa kuormasta suoraan maaperään ihmisten pestessä autoja kotipihoillaan

3.1.2 Ftalaatit

Ftalaatteja käytetään erittäin laajasti muovien ja kumituotteiden pehmentiminä mutta myös esimerkiksi lääketablettien päällystämiseen sekä kosmetiikan ainesosana (taulukko 3.2). Näissä ftalaatit toimivat kosteuttajina tai aineiden ihoon imeytymistä tehostavina aineina.

Taulukko 3.2 Ftalaattien käyttötarkoitukset sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)	
DEHP	Muovin ja kumituotteiden pehmitin	Ei tiedossa	
	Pehmitetyn PVC-muovin valmistus	”	
	Mattojen pintakäsittely	”	
	Nahka-, tekstiili- ja kenkätuotteet	”	
	Kalvot ja eristeet	”	
	<ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksissa • Pakkauksissa • Sairaala-alalla • Juomapulloissa 	”	
	Emulgaattori/pehmitin/liuotin/alkoholin denaturointiaine kosmetiikkatuotteissa	”	
	Automaaliaerosoli	”	
	Ravinnon epäpuhtaus *	240	
		Yhteensä: Ei tiedossa	
BBP	Pehmittimenä	Ei tiedossa	
	<ul style="list-style-type: none"> • Muovi- ja kumituotteissa • Puu ja metallipintojen maaleissa • Lakoissa • Painoväreissä • Liimoissa • kosmetiikkatuotteissa 	”	
	Ravinnon epäpuhtaus *	30	
		Yhteensä: Ei tiedossa	
	DBP	Pehmitin/liima- ja sideaine/väriaine	Ei tiedossa
		<ul style="list-style-type: none"> • Muovituotteissa • Maaleissa (esim. Auto) • Lakoissa • Painoväreissä • Mm. Rakentamisessa ja teollisuudessa käytetyissä liimoissa • kosmetiikkatuotteissa 	”
		Ravinnon epäpuhtaus	170
		Yhteensä: Ei tiedossa	

Lähteet: Karvonen ym. 2012

* Arvioitu seuraavien lähtötietojen perusteella: Aikuisen altistuminen ravinnon kautta vuorokaudessa painokiloa kohti: DEHP 2.5 µg, BBP 0.3 µg ja DBP 1.8 µg, > 12-vuotiaiden taajamassa asuvien määrä arviolta 3,75 miljoonaa ja keskimääräinen henkilön paino 70 kg. HUOM Aineenvaihdunnan aiheuttamaa aineen muuntumista ihmiskehossa eikä aineen kertymistä ihmiseen ole otettu huomioon.

Kaikkien kolmen tutkittavan ftalaatin käyttö on vuodesta 2005 ollut kielletty pienten lasten leluissa. REACH-asetuksen nojalla näiden ftalaattien käyttö tullaan kokonaan kieltämään vuodesta 2015 lähtien (EU 2011). Karvosen (2012) mukaan bentsyylibutyyliftalaatin (BBP) maahantuonti ja valmistusmäärä Suomessa oli vuosina 2009-2010 100 t/vuosi. Dibutyyliftalaatin (DBP) vastaava määrä oli 100-300 t/vuosi ja dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) 60-170 t/vuosi. Mannion (2011) mukaan vuosittaiset BBP:n, DBP:n ja DEHP:n käyttömäärät 2000-luvulla ovat olleet 100-600 t, 200-300 t ja 200-2000 t. Poikkeuksellinen vuosi DBP:n käytön kannalta oli 2007, jolloin kemikaalia ilmoitettiin tuoterekisteriin 3700 tonnia.

3.1.3 Bromatut difenyylietterit (BDE)

Bromattuja difenyyliettereitä käytetään sähkö- ja elektroniikkatuotteiden, rakennustuotteiden ja tekstiilien paloa hidastavina aineina eli palonestoaineina (taulukko 3.3). BDE-47, -99 ja -154 on Tukholman sopimuksella luokiteltu pysyviksi orgaanisiksi aineiksi eli POP-aineiksi. EU:ssa penta-BDE (kongeneerit 47, 85, 99, 100, 153 ja 154) kiellettiin vuonna 2004. Penta-BDE:tä ei valmisteta Suomessa, eikä sitä ole käytetty vuoden 2001 jälkeen. Bromatut palonestoaineet on luokiteltu ubikvitäärisiksi eli kaikkialla läsnä oleviksi aineiksi. Pysyvyytensä ja rasvaliukoisuutensa vuoksi niitä päätyy ympäristöön ja jätevedenpuhdistamoille toissijaisten lähteiden kuten kaatopaikkojen suotovesien ja hulevesien mukana. Myös ravintomme, erityisesti kalat, liha- ja maitotuotteet sekä kananmunat voivat sisältää epäpuhtautena palonestoaineita. Palonestoaineita voi edelleen irrota niillä aikoinaan käsitellyistä tavaroista ja kertyä huonepölyyn, josta osa päätyy siivouksen yhteydessä tai vaatteita pestessä viemäriin.

BDE:n kuormitusta jätevedenpuhdistamolle ei ole arvioitu, mutta penta-BDE:tä ja deka-BDE:tä (kongeneeri 209) kertyy maaperään jätevesilietteiden jatkokäytön seurauksena (arviolta 8–9kg/vuosi ja 70–85 kg/vuosi). Puhdistetun jäteveden kautta pintavesiin päätyvän pentaBDE:n ja dekaBDE:n määrien on arvioitu olevan melko pieniä (0.1–0.2 kg/vuosi ja 0.2-0.3 kg/vuosi).

Taulukko 3.3 Bromattujen difenyylietterien käyttötarkoitukset sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)
Penta-BDE (= BDE- 47, 85, 99, 100, 153, 154)	Palonestoaine	Ei tiedossa
	• Verhoillut huonekalut	”
	• Pehmusteet ja patjat	”
	• Auton sisäosat	”
	• Elektroniikkalaitteet	”
	• Eristeaineteollisuus	”
	Teräksen tuotanto	”
	Kaatopaikan suotovedet	0.004 ¹⁾
	Kotitaloudet	”
	Hulevedet	”
	Toissijaiset lähteet	”
• Elektroniikkajätteen kierrätys	”	
• Jätteen poltto	”	
• Autojen purku ja kierrätys	”	
		Yhteensä: Ei tiedossa
Okta-BDE	Palonestoaine	Ei tiedossa
	• ABS-polymeerien valmistus	”
	• Tietokoneet ja muut pienet laitteet	”
		Yhteensä: Ei tiedossa
Deka-BDE (BDE-209)	Palonestoaine	Ei tiedossa
	• Muovituotteiden valmistus	”
	• Tekstiilit	”
		Yhteensä: Ei tiedossa
BDE	Ravinnon epäpuhtaus *	0.5

Lähteet: Mehtonen ym. 2012, Mannio ym. 2011

¹⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

* Arvioitu seuraavien lähtötietojen perusteella: Aikuisen altistuminen ravinnon kautta vuorokaudessa BDE:lle painokiloa kohti 5.7 ng, > 12-vuotiaiden taajamassa asuvien määrä arviolta 3,75 miljoonaa ja keskimääräinen henkilön paino 70 kg. HUOM Aineenvaihdunnan aiheuttama aineen muuntumista ihmiskehossa eikä aineen kertymistä ihmiseen ole otettu huomioon.

3.1.4 Tributyyliitina (TBT)

Tributyyliitinaa (TBT) käytettiin vielä vuonna 2001 Suomessa n. 4 t/vuosi, mutta vuoden 2006 jälkeen käyttö on lopetettu. EU-direktiivi 2002/6/EC ja EU-asetus 782/2003 kieltävät orgaanisten tinayhdisteiden käytön veneiden ja laivojen pohjamaaleissa. Tributyyliitinaa ei valmisteta Suomessa ja nykyisin suurin päästölähde on maahantuodut käsitellyt puutuotteet (Karvonen ym. 2012).

TBT:tä on käytetty pääasiallisesti limanestoaineena laivojen runkomaaleissa sekä biosideinä teollisuuden eri prosesseissa 1960-luvulta alkaen, mutta laajemmin Suomessa 1970- ja 1980-luvuilla. Käyttö limantorjunnassa lopetettiin vuoteen 1985 mennessä ja homeantorjunnassa vuoteen 1991 mennessä. Käyttö laivojen ja veneiden maaleissa kiellettiin vuoden 2003 alussa.

Jätevesilietteiden jatkokäytön kautta maaperään on arvioitu päätyvän TBT:tä vuosittain 1.1–2.6 kg. Puhdistetun jäteveden kautta pintavesiin päätyvän TBT:n määrän on arvioitu olevan 0.01–0.4 kg/vuosi. Koska jätevedenpuhdistamoiden kautta muualle päätyvän TBT:n määrä on suurempi kuin jätevedenpuhdistamoille tuleva TBT (1 kg/vuosi), jotkin lähteet ovat todennäköisesti aliarvioituja tai jätetty huomioimatta.

Taulukko 3.4. Ne käyttötarkoitukset, joihin TBT:tä käytetään, tai on joskus käytetty Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)
TBT	Maahantuodut puutuotteet	ei tiedossa
	Kaatopaikan suotovedet	0.003 ¹⁾
	Biosidi	²⁾
	• Puun kyllästysaine	
	• Paperitehtaat	
	• Kengänpohjalliset	
	• Pyöräilyshortsien pehmusteet	
	• Allergisoimattomat tyynyt	²⁾
	Maalien valmistus	³⁾
	Muovituotteiden valmistus	²⁾
	Lianestoaine laivan runkomaaleissa	²⁾
	Lianestomaalien käyttö	
	Lietteen hyödyntäminen	Ei tiedossa
	Stabilointiaineena PVC-muovituotteissa	0.6
	Tekstiilien kyllästämisen	Ei tiedossa
	Hulevedet	Ei tiedossa
Sedimentit	Ei tiedossa	
Ravinnon epäpuhtaus *	0.9	
		Yhteensä 1

¹⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

²⁾ Ei käytetä enää Suomessa tähän tarkoitukseen

³⁾ Ei käytetä Suomessa muovituotteiden valmistukseen, mutta TBT:tä epäpuhtautena sisältävää DBT:tä käytettiin jonkin verran vuonna 2009.

* Arvioitu seuraavien lähtötietojen perusteella: Aikuisen altistuminen ravinnon kautta vuorokaudessa TBT:lle painokiloa kohti 9 ng, > 12-vuotiaiden taajamassa asuvien määrä arviolta 3,75 miljoonaa ja keskimääräinen henkilön paino 70 kg. HUOM Aineenvaihdunnan aiheuttama aineen muuntumista ihmiskehossa eikä aineen kertymistä ihmiseen ole otettu huomioon.

3.1.5 Diuroni

Diuroni on kasveissa fotosynteesin estävä rikkakasvien torjuntaan käytetty yhdiste. Sitä sisältäviä kemikaalituotteita on Karvonen ym. (2012) mukaan Suomessa valmistettu tai maahantuotu vuosina 2008 – 2009 6 tonnia/vuosi. Sen pääasiallinen käyttökohde on maalien biosidinä.

Taulukko 3.5. Diuronin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)
Diuroni	Rikkakasvien torjunta-aine	Ei tiedossa
	Biosidivalmiste	”
	• Puu- tai betonipintojen maaleissa	”
	• Ulkoseinämaaleissa	”
	• Veneiden antifouling-maaleissa	”
Liimat		”
		Yhteensä: Ei tiedossa

3.1.6 4-kloori-2-metyylifenoksisietikka-happo (MCPA)

4-kloori-2-metyylifenoksisietikka-happo eli MCPA on rikkakasvien torjuntaan käytetty yhdiste. Sitä sisältäviä kemikaalituotteita on Karvonen ym. (2012) mukaan Suomessa valmistettu tai maahantuotu vuosina 2009–2010 330 tonnia/vuosi. Jätevedenpuhdistamoille aine voi päätyä hulevesien mukana.

Taulukko 3.6. MCPA:n käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)
MCPA	Rikkakasvien torjunta-aine (hulevedet)	Ei tiedossa
	• Vilja	
	• Herne	
	• Pellava	
	• Nurmi	
	• Tienvartret	
	• Pientareet	

3.1.7 Raskasmetallit

Metallisen elohopean tuotanto on Suomessa vuosittain 50–100 tonnia (TTL 2014). Elohopean päästöt ovat yleensä suuremmat ilmaan (teollisuus) kuin suoraan veteen. Elohopea onkin luokiteltu ns. ubikvitääriseksi aineeksi, sillä se kulkeutuu ilmakehässä ja laskeutuu maahan sateen ja pölyn mukana (Mehtonen ym. 2012). Jätevedenpuhdistamolle laskeumana maanpinnalle päätynyt elohopea voi huuhtoutua hulevesien mukana. Muita elohopean käyttötarkoituksia ja lähteitä on esitetty taulukossa 3.7.

Nikkeliä esiintyy kallioperän sulfidimalmeissa, joista tärkein on pentlandiitti. Nikkeliä tuotetaan Suomessa noin 60 000 tonnia vuodessa. Suurin nikkelin käyttökohde on erilaiset teräkset, jossa sitä esiintyy vaihtelevia määriä terästyypistä riippuen. Usein nikkeliä käytetään erilaisina yhdisteinä, kuten nikkelisulfaattia galvanoinnissa ja elektronisten piirien valmistuksessa. (TTL 2014)

Lyijyä esiintyy kallioperän sulfidimineraaleissa. Lyijyä ja sen yhdisteitä käytetään useissa eri käyttötarkoituksissa (taulukko 3.7). Sitä käytettiin pitkään nostamaan bensiinin oktaanilukua, mutta tästä käyttötarkoituksesta on luovuttu. Lentobensiineissä lyijyä käytetään edelleen pieniä määriä. Lyijyä on käytetty myös talousvesiputkissa, mutta sen käyttö Suomessa on ollut vähäistä (Kekki ym. 2007). Valurautaputkistoissa on kuitenkin 1980-luvulle asti käytetty yleisesti lyijyliitoksia ja lisäksi messinki saattaa edelleen sisältää vähäisiä määriä lyijyä.

Kadmiumia esiintyy luonnossa sinkkimalmissa kadmiumsulfidina sekä kupari- ja lyijymalmeissa. Kadmiumin pääasiallinen päästölähde ympäristöön on sinkintuotanto, jossa sitä syntyy sivutuotteena.

Taulukko 3.7. Raskasmetallien käyttötarkoitukset sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
Hg	Amalgaamipaikat	Ei tiedossa
	Kaivosteollisuus	(1.7 ¹)
	Paperiteollisuus	(70.3 ¹)
	Valmistus	
	• Kuparin ja sinkin valmistus	(4.2 ¹)
	• Raudan ja teräksen tuotanto	(1.65 ¹)
	• Kloorialkalit	(2.54 ¹)
	• Jalostetut öljytuotteet	Ei tiedossa
	Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus	Ei tiedossa
	Kaatopaikan suotovedet	0.018 ²
	Elohopeakemikaalit	"
Paristot	"	
Valonlähteet	"	

	Mittalaitteet	”
	Sähkökomponentit	”
	Laskeuma	(240 ¹)
		Yhteensä: Ei tiedossa
Ni	Nikkeliä sisältävät metalliseokset	Ei tiedossa
	Ruostumaton teräs	”
	Elektrolyyttinen pintakäsittely	”
	Paristot	”
	Kolikot	”
	Katalyytti	”
	Hitsauslankaseos	”
	Elektronisten piirien valmistus	”
	Teollisuus:	”
	- Kaivosteollisuus	
	- Nikkelin jalostaminen	
		Yhteensä: Ei tiedossa
Pb	Sähkö- ja telekaapelit	Ei tiedossa
	Korroosionestoaine	”
	Laakerit	”
	Juotosmetalli	”
	Luodit ja haulit	”
	Ruuti	”
	Säteilysuojat	”
	Messingeissä ja pronseissa	”
	Väriaine ja pehmennin maaleissa	”
	Lisäaine kristallilasissa	”
	PVC-muovien stabiliaattori	”
		Yhteensä: Ei tiedossa
Cd	Lietteen hyödyntäminen	Ei tiedossa
	Maatalous ja lannoitteet	Ei tiedossa
	Kaivosteollisuus	(1-3 ¹)
	Autojen pesu	53
	Paperiteollisuus	(188-312 ¹)
	Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus	
	• Taidemaalit	(0,8-2,9 ¹)
	• epäorgaaniset kemikaalit	(0.4 ¹)
	• orgaaniset kemikaalit	(4.5-5.4 ¹)
	• Fosfori-, typpi- ja kaliumpohjaiset lannoitteet	(0.1 ¹)
	Lasin ja lasituotteiden valmistus	(0.1-3.8 ¹)
	Rautametallien prosessointi	(6.5-14.8 ¹)
	Lyijyn, sinkin, tinan ja kuparin valmistus	(26-57 ¹)
	Metallien käsittely ja pinnoitus	(0.1-0.2 ¹)
	Sähkön tuotanto	(0.2-0.7 ¹)
	Hulevedet	Ei tiedossa
	Kaatopaikan suotovedet	0.14 ²
	Kaatopaikan suotovedet	0.2-4.6 ³

Rakentaminen (epäpuhtaus sinkissä)	0.07-69
Yksityinen käyttö	53
• Fosfaattipohjaiset pesuaineet	14
• Lannoitteet	Ei tiedossa
• Taidemaalit	28
• Hanavesi	4
• Ruoka	21
• Tupakointi	Ei tiedossa
	Yhteensä: Ei tiedossa

Lähteet: Mehtonen ym. 2012, TTL 2014

¹⁾ Päästöt pintavesiin

²⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

³⁾ Seitsemän kaatopaikan ilmoittamat päästöt pintavesiin vuosina 2007-2009.

3.1.8 Heksabromosyklododekaani (HBCD)

Heksabromosyklododekaani (HBCD) on erilaisiin tuotteisiin lisättävä, paloa hidastava aine eli palonestoaine. Sitä ei valmisteta Suomessa, mutta sen arvioitu käyttömäärä on n. 100 – 400 t/vuosi (Mehtonen ym. 2012). HBCD:n luokittelu POP-aineeksi Tukholman sopimuksella tulee voimaan 26.11.2014.

Pääasiallisesti HBCD:tä käytetään Suomessa palonestoaineena EPS-tuotteiden valmistuksessa ja rakennusten eristelevyissä. On todennäköistä, että tulevaisuudessa rakennusten purkutyöt aiheuttavat HBCD-päästöjä, sillä sen käyttö eristeenä alkoi 1980-luvulla ja näitä rakennuksia ei vielä ole purettu.

HBCD:tä kertyy jätevesilietteisiiin, josta se päätyy lietteen jatkokäytön kautta maaperään (määrä arviolta 2–31 kg/vuosi). Puhdistetun jäteveden kautta pintavesiin päätyvän HBCD:n määrän on arvioitu olevan 0.6–0.7 kg/vuosi (SYKEN VPD-raportti).

Myös ravintomme, erityisesti kalat, liha- ja maitotuotteet sekä kananmunat voivat sisältää epäpuhtautena palonestoaineita. Palonestoaineita voi myös irrota niillä käsitellyistä tavaroista ja kertyä huonepölyyn, josta osa päätyy siivouksen yhteydessä tai vaatteita pestessä viemäriin.

Taulukko 3.8. Heksabromosyklododekaanin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
HBCD	Palonestoaineiden valmistus	Ei tiedossa
	3.2 Paisutettu polystyreeni (EPS)	Ei tiedossa ¹⁾
	3.3 Suulakepuristettu polystyreeni (XPS)	
	3.4 Iskunkestävä polystyreeni (HIPS)	Ei tiedossa
	Palonestoaineena	"
	• Maaleissa	Ei tiedossa ²⁾
	• Tekstiilien pinnoitteissa	Ei tiedossa
	• Elektroniikkalaitteissa	"
	EPS-helmien valmistus	(30) ⁴⁾
	Palosuojatun EPS-eristelevyn valmistus	5
	Palosuojatut HIPS-muovit	0.7
	Rakentaminen ja rakennusten purku	(13) ⁴⁾
	Kaatopaikan suotovedet	0.001 ³⁾
	Palosuojatut tekstiilit (elinaikaiset päästöt)	1.8
	Tekstiilien pesu	1.2
	Teollisuuden hulevedet	Ei tiedossa
	Kotitaloudet	"
Jätteen poltto	"	
Ravinnon epäpuhtaus *	0.1	
		Yhteensä 7–9

Lähteet: Mehtonen ym. 2012, SYKE:n VPD-raportti

¹⁾ HBCD:tä sisältäviä XPS-muoveja ei todennäköisesti valmisteta Suomessa.

²⁾ Ei käytetä Suomessa tekstiilien pinnoittamiseen, mutta ei ole tiedossa käytetäänkö muualla valmistettuja pinnoitettuja tekstiilejä Suomessa muiden tekstiilituotteiden valmistukseen.

³⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

⁴⁾ Päästöt pintavesiin

* Arvioitu seuraavien lähtötietojen perusteella: Aikuisen altistuminen ravinnon kautta vuorokaudessa HBCD:lle painokiloa kohti 1 ng, > 12-vuotiaiden taajamassa asuvien määrä arviolta 3,75 miljoonaa ja keskimääräinen henkilön paino 70 kg. HUOM Aineenvaihdunnan aiheuttama aineen muuntumista ihmiskehossa eikä aineen kertymistä ihmiseen ole otettu huomioon.

3.1.9 Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)

Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS) on vettä ja rasvaa hylkivä aine ja sitä käytetään näiden ominaisuuksien vuoksi pintakäsittelyaineena. PFOS on Tukholman sopimuksella luokiteltu pysyväksi orgaaniseksi aineeksi eli POP-aineeksi ja sen käyttöä on voimakkaasti rajoitettu. PFOS:ia ei valmisteta Suomessa, mutta arvioitu kokonaiskäyttö Suomessa vuosina 2004 – 2008 on ollut 140-230 kg/vuosi (SYKE VPD). Aiemmin PFOS:ia käytettiin erityisesti vahtosammuttimissa, mutta vuoden 2012 jälkeen tämä käyttö on loppunut. Tällä hetkellä pääasiallinen PFOS:in käyttö on metallin ja erityisesti kromin pinnoituksessa. Lisäksi PFOS:ia on käytetty tekstiilien ja

erityisesti mattojen pintakäsittelyyn likaa hylkiviksi (Mehtonen ym. 2012). Vaikka aineen käyttöä on rajoitettu, on olettavissa, että sitä löytyy ympäristöstämme vuosien ja jopa vuosikymmenten ajan. PFOS:in puoliintumisajaksi ympäristössä on nimittäin arvioitu olevan > 40 vuotta (Giesy ym. 2010).

Jätevedenpuhdistamot voivat myös olla PFOS:in lähde ympäristöön. Jopa lähes 100 yhdistettä voi puhdistusprosessin aikana hajota muodostaen PFOS:ia (HELCOM 2009). Jätevedenpuhdistamoiden PFOS-päästöt pintavesiin on arvioitu olevan 37 kg/vuosi. Lietteiden hyödyntämisestä aiheutuvien päästöjen maaperään on arvioitu olevan 0.8–16 kg/vuosi. (Mehtonen ym. 2012)

Taulukko 3.9. Perfluoro-oktaanisulfonaatin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
PFOS	Metallin (kromin) pinnoitus	9-28
	Valokuvateollisuus (filmit)	ei tiedossa
	Puolijohdeteollisuus	0.003-1
	Hydraulinesteet	0.06
	Vaahtosammuttimet	(120-190) ¹⁾
	Kaatopaikan suotovedet	0.06 ²⁾
	Kyllästetyt kuluttajatuotteet	
	• Vaatteet	1.2
	• Matot	98
	Lietteen hyödyntäminen	Ei tiedossa ³⁾
	Paperin valmistus	
	Hulevedet	Ei tiedossa
	Jätteen poltto	(6.5) ⁴⁾
Ravinnon epäpuhtaus *	0.5	
		Yhteensä 108–128

Lähteet: Mehtonen ym. 2012

¹⁾ arvio vuosittaisesta päästöstä maaperään ja pintavesiin. Mikäli vaahto ja vesi kerätään, päästöt kohdistuvat jätevesiin. Vuodesta 2011 eteenpäin käyttö tässä tarkoituksessa on kielletty, joten päästöjen pitäisi olla 0.

²⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

³⁾ Ei käytetä enää tähän tarkoitukseen Suomessa

⁴⁾ Kaatopaikoille päätyvä arvo, josta osa päätyy suotovesien kautta jätevedenpuhdistamoille.

* Arvioitu seuraavien lähtötietojen perusteella: Aikuisen altistuminen ravinnon kautta vuorokaudessa PFOS:ille painokiloa kohti 5 ng, > 12-vuotiaiden taajamassa asuvien määrä arviolta 3,75 miljoonaa ja keskimääräinen henkilön paino 70 kg. HUOM Aineenvaihdunnan aiheuttama aineen muuntumista ihmiskehossa eikä aineen kertymistä ihmiseen ole otettu huomioon.

3.1.10 Sybutryyni

Sybutryyni on s-triatsiinien ryhmään kuuluva biosidi, josta käytetään usein nimeä Irgarol. Sybutryyniä on 1980-luvulta asti käytetty korvaamaan veneiden ja laivojen pohjamaaleihin biosidina lisättävää tributyyliitinaa (TBT). Nykyään ainetta käytetään pääasiassa rakennusmaaleissa ja rappauksissa estämään levien kasvua. Pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on maalipinnoista irtoavan sybutryynin huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin. (Luft ym. 2014, Vorkamp ym. 2014). Suomessa sybutryyniä on käytetty biosidina maaleissa vuonna 2007 vielä n. 610 kg/vuosi, mutta vuonna 2009 käyttö on ollut 0 kg/vuosi. (SYKE VPD, KETU)

3.1.11 Sypermetriini

Sypermetriiniä käytetään pääasiassa tuhoeläinten torjuntaan esimerkiksi hedelmä- ja vihannesviljelmillä. Ainetta on käytetty myös puunsuoja-aineena. Vuosina 2009 käyttö on Suomessa ollut 350 kg/vuosi, mutta aiempina vuosina 2007-2008 ainetta ei ole Suomessa käytetty. Pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on maalipinnoista irtoavan sypermetriinin huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin (SYKE VPD, KETU)

3.1.12 Aklonifeeni

Aklonifeeni on herbisidi, jota käytetään torjunta-aineena mm. peruna-, porkkana- ja auringonkukkaviljelyksillä sekä lepotilassa olevien havupuiden taimien koulinta-aloilla ja metsätaimitarhoilla. Sen pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin. Aklonifeenin myyntimäärä vuonna 2008 oli 10 560 kg (SYKE VPD).

3.1.13 Terbutryyni

Terbutryyniä on aiemmin käytetty maataloudessa pestisidina, mutta tämä käyttö on kielletty EU:ssa vuodesta 2003 lähtien (Luft ym. 2014). Terbutryyniä käytetään edelleen biosidina (fungisidi, algisidi, puunsuoja, pintakäsittely ja säilöntä) rakennusmateriaaleissa. Tähän tarkoitukseen on Suomessa käytetty terbutryyniä vuonna 2008 5500 kg/vuosi ja vuonna 2009 2100 kg/vuosi. Pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on maalipinnoista irtoavan terbutryynin huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin (Luft ym. 2014).

3.1.14 Bifenoksi

Binefoksi on herbisidi, jota käytetään rikkakasvien torjuntaan. Suomessa sitä on myyty torjunta-ainekäyttöön 6000 kg/vuosi vuonna 2008. (SYKE VPD)

3.1.15 Hormonit

17 α -etinyyliestradioli (EE2) on synteettinen estrogeenihormoni, jota käytetään raskaudenehkäisyyden tarkoitetuissa lääkevalmisteissa. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea raportoi lääkkeiden kulutuksesta Suomessa myyntitilastojen perusteella. Suomessa ei ole myynnissä ainoastaan EE2:ta sisältäviä lääkevalmisteita vaan kaikki markkinoilla olevat tuotteet sisältävät myös muita hormoneita.

Lääkkeet luokitellaan ns. ATC-luokittelun mukaisesti. ATC tulee sanoista **A**natomical **T**herapeutic **C**hemical. Luokittelussa lääkeaineet jaetaan erilaisiin ryhmiin aineen vaikutusmekanismin tai kemiallisten ja farmakologisten ominaisuuksien mukaan (WHO 2014). EE2 esiintyy 11:ssä ATC-alaluokassa, joiden pääluokka on G03A eli systeemisesti käytettävät hormonaaliset ehkäisyvalmisteet. Lääkkeiden kulutusta raportoidaan perustuen aineiden DDD-arvoihin (**D**efined **D**aily **D**ose). DDD on se päivittäinen lääkeannos, jonka on arvioitu aikuisella ylläpitävän riittävää lääkkeen pitoisuutta elimistössä (WHO 2014). Lääkekulutus raportoidaan Suomessa arvona DDD/1000 as/vrk (Fimea 2013). Jotta päivittäinen käyttömäärä voidaan tästä arvosta laskea, pitää tietää lääkeaineen DDD-arvo. EE2:ta sisältäville lääkevalmisteille raportoidaan kaikkien vaikuttavien aineiden yhteinen DDD-arvo, jolloin kulutustiedoista laskettua EE2:n käyttömäärää on vaikea arvioida. On arvioitu, että ehkäisytabletteja käyttävien naisten vuorokausiannos länsimaissa on 26 μ g, jota voidaan pitää arvona EE2:n DDD-arvosta (Johnson ja Williams 2004). Vuonna 2012 EE2:ta sisältäviä lääkevalmisteita käytettiin yhteensä 33.55 DDD/1000 as/vrk. Arvio käyttömäärästä vuonna 2012 Suomessa on siis 1.72 kg. Virtsaan ja ulosteeseen on arvioitu erittyvän biosaatavassa muodossa olevaa EE2:ta 40 % nautitusta määrästä (Johnson ja Williams 2004). Arvio jätevedenpuhdistamoille Suomessa päätyvästä EE2:n määrästä on siis 0.55 kg/vuosi.

17 β -estradiolia (E2) erittyy luontaisesti sekä naisista että miehistä. Luontaisten estrogeenien erittymismääriä virtsaan ja ulosteeseen voidaan tarkemmin arvioida käyttäen lähteiden Liu ym. (2009) ja Johnson ja Williams (2004) tietoja ja menetelmiä. Laskelmia ei ole tässä esitetty. Suomessa voidaan arvioida biosaatavan E2:n luontaisen erittymisen virtsaan ja ulosteeseen olevan asukasta kohti vuorokaudessa 3.9 μ g. E2:ta käytetään lisäksi hormonaalisissa lääkkeissä (ATC-koodi G03CA03). Vuonna 2013 E2-valmisteita käytettiin DDD/1000 as/vrk -yksiköinä 14.31 (ATC-luokka G03CA03) ja 1.71 (ATC-luokka G03AB08) eli yhteensä 16.02. E2:n DDD-arvo vaihtelee välillä 1 – 2000 μ g riippuen lääkkeen annostustavasta. Kun valitaan käytettäväksi suurin pillereissä käytetty DDD-arvo eli 2 mg saadaan käyttömääräksi 31.7 kg/vuosi. E2 metaboloituu elimistössä niin, että nautitusta määrästä noin 35 % erittyy virtsaan ja ulosteeseen. Kun otetaan huomioon luonnollinen erittyminen sekä lääkekäyttö, jätevedenpuhdistamolle päätyvä E2-määrä Suomessa on arviolta 15.3 kg. On huomioitava, että E2:ta syntyy myös ainakin EE2:n aineenvaihduntatuotteena, mikä voi nostaa E2:n määrää jätevedessä.

Taulukko 3.10. 17 α -etinyyliestradiolin ja 17 β -estradiolin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
17α-etinyyliestradioli	Hormonaalinen ehkäisyvalmiste	0.55
17β-estradioli	Luonnollinen erittyminen	6.4
	Lääkekäyttö	8.9
	Syntyminen muiden lääkkeiden metaboliatuotteina	Ei tiedossa
		Yhteensä: 15.3

3.1.16 Lääkeaineet

Diklofenaakki on tulehduskipu- ja reumalääke (ATC-luokka M01). Suomessa sitä käytetään pääasiassa apteekkeista ilman reseptiä saatavien kipugeelien (kauppanimi Voltaren) vaikuttavana aineena, mutta myös suun kautta nautittavina tabletteina sekä peräpuikkoina. Muun kuin kipugeelien käyttömäärä Suomessa oli vuonna 2012 arviolta 1080 kg (perustuu lähteeseen Fimea 2012 sekä diklofenaakin DDD-arvoon 100 mg). Paikallishoitoihin tarkoitettujen diklofenaakkia sisältävien kipugeelien kokonaisyntihinta vuonna 2012 oli 5.876 miljoonaa euroa. Yliopiston Apteekin mukaan Voltaren-kipugeelin, jossa diklofenaakin määrä on 11.6. mg/g keskimääräinen kilohinta on 245 euroa. Näistä tiedoista voidaan arvioida diklofenaakin käyttömääräksi 280 kg. Suun kautta nautitusta diklofenaakista 11 % erittyy virtsaan ja ulosteeseen biosaatavassa muodossa (Vieno ja Sillanpää 2014). Kipugeeleinä käytetystä diklofenaakista imeytyy elimistöön n. 6 % ja loput tarttuvat vaatteisiin tai pestään pois iholta. Jätevedenpuhdistamoille Suomessa päätyy siis vuodessa arviolta n. 310 kg diklofenaakkia.

Ibuprofeeni on tulehduskipu- ja reumalääke (ATC-luokka M01). Se on yksi Suomen eniten käytetyistä lääkkeistä. Käyttömäärä Suomessa vuonna 2012 oli arviolta 106 000 kg (perustuu lähteeseen Fimea 2012 sekä ibuprofeenin DDD-arvoon 1200 mg). Suun kautta nautitusta ibuprofeenista 5 % erittyy virtsaan ja ulosteeseen biosaatavassa muodossa (Vieno 2007). Jätevedenpuhdistamoille Suomessa siis päätyy vuodessa arviolta 4240 kg.

Karbamatsepiini on epilepsialääke (ATC-luokka N03). Sitä voidaan käyttää myös kaksisuuntaisen mielialahäiriön, kolmoishermostönsäryn sekä alkoholistien vieroitushoidossa. Käyttömäärä Suomessa vuonna 2012 oli arviolta 3500 kg (perustuu lähteeseen Fimea 2012 sekä karbamatsepiinin DDD-arvoon 1000 mg). Suun kautta nautitusta karbamatsepiinistä 2 % erittyy virtsaan ja ulosteeseen biosaatavassa muodossa (Vieno 2007). Jätevedenpuhdistamoille Suomessa siis päätyy vuodessa arviolta 56 kg.

Taulukko 3.11 Diklofenaakin, ibuprofeenin ja karbamatsepiinin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille (kg/vuosi)
Diklofenaakki	Tulehduskipulääke (suun kautta)	97
	Kipugeelit	211
		Yhteensä: 308
Ibuprofeeni	Tulehduskipulääke (suun kautta)	4240
Karbamatsepiini	Epilepsialääke (suun kautta)	56

3.1.17 Triklosaani

Triklosaania käytetään yleisesti synteettisenä säilöntä- ja antimikrobisena aineena käsisäippuoissa, ihovoiteissa, hammastahnoissa, deodoranteissa sekä muovisissa leikkuulaudoissa, urheiluvälineissä, kengissä ja huonekaluissa. (Kosma ym. 2014) Aineen tunnettuja tuotemerkkejä ovat Irgasan ja Irgacare. Kosmeettisten tuotteiden suurin sallittu triklosaanin pitoisuus on 0.3 % (EU 2014). Triklosaanin tuotanto- tai käyttömääristä Suomessa ei ole tietoa. OECD on luokitellut triklosaanin ns. high production volume (HPV) –kemikaaliksi (OECD 2004). HPV-kemikaalien tuotanto tai maahantuonti ylittää 1000 tonnia vuodessa ainakin yhteen jäsenmaista tai Euroopan Unioniin.

3.1.18 Sinkki ja sen yhdisteet

Kallioperän sinkkimineraaleista yleisin on sinkkivälke. Siitä valmistetaan teollisesti sinkkiä, jota käytetään moneen tarkoitukseen. Yksi tärkeimmistä käyttökohteista on teräksen pinnoittaminen sinkillä korroosion estämiseksi. Muita käyttökohteita löytyy rakennus-, auto- ja kuljetusvälineiteollisuudesta sekä kosmetiikasta (esim. sinkkivoide). Sinkki on myös tärkeä hivenaine ja sitä myydään myös lisäravinteena. Suomessa sinkkiä valmistetaan Bolidenin tehtailla Kokkolassa (www.boliden.com). Se on yksi maailman suurimmista sinkkitehtaista. Valmistusmäärät ovat yli 285 000 tonnia vuodessa. Jätevedeen sinkkiä päätyy ihmisistä, sinkintuotannon ja pinnoitusteollisuuden jätevesien mukana, hulevesien mukana erilaisilta pinnoilta (maanpinta, tiet, katot, teräspinnat) sekä kaatopaikkojen suotovesien mukana.

3.1.19 Glyfosaatti ja aminometyylifosfonihappo (AMPA)

Glyfosaatti on yksi maailman yleisimmin käytetyistä rikkakasvien torjunta-aineista. Sen tunnetuin kaupp nimi on Roundup. Vuonna 2007 aineen myynti Suomessa vastasi 66 % kaikista myydyistä kasvintorjunta-aineista. Aineen käyttö on Suomessa sallittu keväällä ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Vuonna 2007 glyfosaattia myytiin Suomessa noin 557 000 kg. Maaperässä glyfosaatti hajoaa tehokkaasti. Pääasiallinen metaboliatuote on aminometyylifosfonihappo (AMPA), joka on glyfosaattia hitaammin hajoava. AMPA on myös useiden muiden aineiden metaboliatuote, joten sitä saattaa jätevedessä tai vesistöissä esiintyä myös ilman glyfosaattikuormitusta. Glyfosaatti ja AMPA voivat päätyä jätevedenpuhdistamolle hulevesien mukana. Molemmat aineet kuitenkin sitoutuvat voimakkaasti maaperään ja huuhtoutumisen sade- ja sulamisvesien mukana on oletettu olevan vähäistä. Huuhtoutuminen maa-aineksen mukana tosin on mahdollista. (Laitinen 2009).

3.1.20 Vapaa syanidi

Syanidit ovat syanovetyhapon suoloja, joissa on $-CN$ -ryhmä. Tavallisimmat syanidit ovat natrium- ja kaliumsyanidi. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavien aineiden ohjeiden eli OVA-ohjeen mukaan kaliumsyanidia käytetään teräksen karkaisussa, kulan ja hopean erottamisessa malmista, hopeoinnissa, desinfiointiaineena, hyönteismyrkkinä, filminkehityksessä, väriaineiden valmistuksessa ja laboratoriokemikaalina. Suomessa kaliumsyanidia käytetään esimerkiksi emäksisinä vesiliuksina hopeoinnissa, kuparoinnissa ja metallien pintakäsittelyssä. Jätevedenpuhdistamolle syanidia voi päätyä teollisuuden jätevesien mukana tai huuhtoutumana ja hulevesien mukana.

3.1.21 Endosulfaani

Endosulfaania ei valmisteta Suomessa, eikä sitä ole käytetty vuoden 2005 jälkeen. Käyttö kasvinsuojeluaineena on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta kielletty jo vuonna 1985 (Karvonen ym. 2012).

Mehtonen (2012) on arvioinut että päästöt jätevedenpuhdistamoiden kautta pintavesiin olisivat vuosittain 11–20 kg, josta α -endosulfaanin osuus olisi 34–37%, β -endosulfaanin 42–51% ja endosulfaanisulfaatin 12–23%. Laskeuman kautta pintavesiin päätyy endosulfaania arviolta 7–9 kg/vuosi.

Taulukko 3.12. Endosulfaanin käyttötarkoitus sekä arviot vuosittaisesta kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille Suomessa.

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)
Endo-sulfaani	Maatalous –torjunta-ainejäämät	Ei tiedossa
	Ruoan prosessointi	
	• Hedelmien ja kasvien huuhtelu	0.001-0.006
	Hulevedet	ei tiedossa
	Puuvillatekstiilit	ei tiedossa
	Puun kyllästys	ei tiedossa
	Kaatopaikan suotovedet	0.005 ¹⁾
	Kotitaloudet	
• Hedelmien ja kasvien huuhtelu	0.0009-0.006	
• Ulostteet	0.0008-0.006	
		Yhteensä < 0.02

Lähteet: Mehtonen ym. 2012

¹⁾ Yhden suuren kaatopaikan mittaustulosten perusteella laskettu alustava arvio.

3.1.22 Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset yhdisteet

Dioksiineja ja furaaneja ei valmisteta sellaisenaan, vaan ne ovat muiden kloorattujen kemikaalien, kuten puun kyllästysaineiden ja rikkaruohomyrkkujen valmistuksen sivutuotteita. Niitä syntyy myös jätteen-, puun- ja fossiilipolttoaineiden poltosta ja metallinsulatuksesta. Polykloorattuja bifenyylejä on käytetty teknisten ominaisuuksiensa vuoksi muuntajissa, kondensaattoreissa, lämmönsiirtojärjestelmissä sekä hydraulisissa järjestelmissä. Muu käyttö on ollut muovien ja synteettisten hartsien pehmitinaineena, itsejäljentävissä kopiopapereissa, liimoissa, maaleissa, tiivisteissä, betonin lisäaineina, painoväreissä, torjunta-aineissa, teollisuusöljyissä, palonestoaineissa ja teiden pölynhallinnassa. (Mehtonen ym. 2012)

Dioksiinit ja sen kaltaiset yhdisteet ovat ubikvitäarisä eli kaikkialla läsnä olevia aineita. Ympäristöön niitä päätyy laskeumana ja jätevedenpuhdistamoille hulevesien mukana. Myös elintarvikkeet voivat sisältää dioksiineja, furaaneja ja polykloorattuja bifenyylejä ja olla näiden aineiden lähde jätevedessä. Tyypillisiä elintarvikkeita, joihin näitä aineita kertyy, ovat kalat, maito ja maitotuotteet, liha ja lihatuotteet sekä kananmunat. Evira on arvioinut, että suomalaiset saavat elintarvikkeista yhteensä 114 pikogrammaa TEQ vuorokaudessa (Evira 2014). Jos ei oteta huomioon kertymistä ihmisten elimistöön, yhdisteitä päätyy tätä kautta jätevedenpuhdistamoille 0.19 kg vuodessa.

3.1.23 (Bentsotiatsoli-2-yyllitio)metyylisyanaatti (TCMTB)

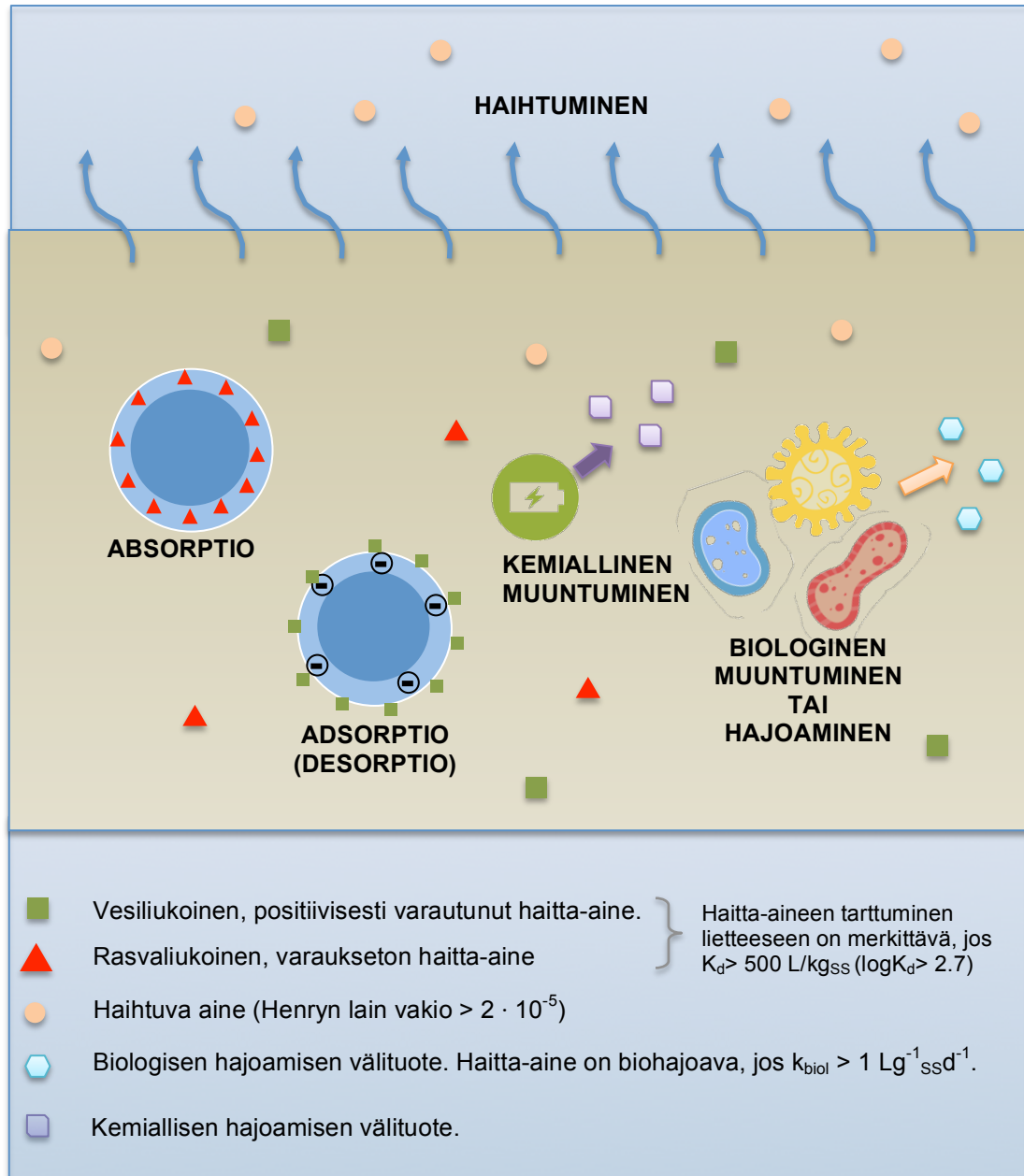
(Bentsotiatsoli-2-yyllitio)metyylisyanaattia (TCMTB) käytetään mm. nahankäsittelyssä säilytys- ja desinfiointiaineena, paperin- ja kartonginjalostuksessa limantorjunta-aineena, raudan, teräksen ja rautaseosten valmistuksessa, puunsuojamaaleissa sekä hiontatuotteiden ja ei-metallisten mineraalituotteiden valmistuksessa. Vuosina 2009-2010 TCMTB:tä sisältäviä kemikaalituotteita on Suomessa valmistettu tai maahantuotu 1000 kg/vuosi. Jätevedenpuhdistamoille TCMTB:tä voi päätyä teollisten jätevesien mukana (Karvonen ym. 2012).

3.1.24 Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)

Bentsotiatsoli-2-tiolia (MBeT) käytetään kiihdytinaineena kumin vulkanoinnissa ja renkaiden ja jalkineiden valmistuksessa. Ainetta esiintyy myös erilaisissa kumituotteissa, kuten renkaissa, hihnoissa, tiivistimissä ja jalkineissa. MBeT:tä käytetään myös limantorjuntaan, korroosionestoon ja stabilointiin massan, paperin, kartongin ja pahvin valmistuksessa, kemian teollisuudessa ja maalien ja lakkojen valmistuksessa sekä maalinpoistossa. Vuosina 2009-2010 MBeT:tä sisältäviä kemikaalituotteita on Suomessa valmistettu tai maahantuotu 10 t/vuosi. Jätevedenpuhdistamoille MBeT:tä voi päätyä teollisten jätevesien mukana (Karvonen ym. 2012)

3.2 HAITALLISTEN AINEIDEN KÄYTTÄYTYMINEN JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

Haitalliset aineet voivat jätevedenpuhdistuksen aikana haihtua, tarttua lietteeseen ja/tai hajota tai muuntua kemiallisesti tai biologisesti (kuva 3.2).



Kuva 3.2. Haitta-aineen mahdolliset poistumis- tai muuntumismekanismit jätevedenpuhdistamolla.

Haitallisen aineen haihtuvuus 20 °C lämpötilassa voidaan arvioida Henryn lain vakioista seuraavasti (yksiköt atm · m³mol) (EPA 2009):

$2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5}$	Haihtuva
$2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-6}$	Hieman haihtuva
$< 2 \cdot 10^{-6}$	Haihtumaton
$> 2 \cdot 10^{-4}$	Erittäin haihtuva

Jätevedenpuhdistuksessa aineet voivat haihtua erityisesti ilmastetuista aktiivilietealtaista tai esi-ilmastuksessa. Taulukoihin 3.13 ja 3.14 on koottu tutkittujen aineiden Henryn lain vakioita. Useimmat aineista voidaan luokitella haihtumattomiksi, koska niiden Henryn lain vakiot ovat $< 2 \cdot 10^{-6}$. Jotkin aineet voivat kuitenkin jossain määrin haihtua jätevedenpuhdistuksen aikana. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi tributyyliini, raskasmetallit, sinkki ja syanidi. Haihtuminen lienee kuitenkin vähäistä.

Jätevedenpuhdistuksessa syntyy paljon lietettä. Haitta-aine voi sitoutua lietteeseen joko absorptiolla tai adsorptiolla. Absorptiossa aineen funktionaaliset ryhmät reagoivat lietteen mikro-organismien soluseinämän sekä rasvamolekyylien kanssa (Ternes ym. 2004b). Adsorptiossa haitta-aineen positiivisesti varautuneet ryhmät reagoivat mikrobien negatiivisesti varautuneen pinnan kanssa (Ternes ym. 2004b). Adsorptoitunut aine voi myös irrota lietepartikkelista. Tätä kutsutaan desorptioksi. Aineen tarttuminen lietteeseen riippuu pääosin itse aineen, mutta myös lietteen ominaisuuksista. Aineen ominaisuuksista tärkeimmät ovat lipofiilisyyden eli rasvaliukoisuus sekä happamuus. Rasvaliukoisuutta kuvataan oktanoli-vesi – jakautumiskertoimella K_{OW} . Usein käytetään jakautumiskertoimen kymmenkantaista logaritmia $\log K_{OW}$. Mitä korkeampi arvo on, sitä rasvaliukoisempi aine. Aineen happamuudesta kertoo happovakio eli K_a -arvo. Yleensä käytetään happovakion negatiivista kymmenkantaista logaritmia pK_a . Mitä pienempi arvo on, sitä vahvempi happo on kyseessä. Esimerkiksi typpihapon pK_a arvo on -1.4. Taulukoihin 3.13 ja 3.14 on koottu tutkittujen aineiden $\log K_{OW}$ - ja pK_a -arvoja. Lietteen ominaisuudella on jätevedenpuhdistuksessa jonkin verran merkitystä, sillä puhdistuksen eri vaiheissa syntyy erityyppisiä lietteitä. Esiselkeyttimiltä kerättyä lietettä kutsutaan raakalietteeksi ja biologisen puhdistuksen aktiivilietettä ylijäämalietteeksi. Raakalietteen pH on yleensä ylijäämalietettä alhaisempi ja öljyjen ja rasvojen pitoisuus suurempi. Lietteen pH:lla on vaikutusta erityisesti haitta-aineiden adsorptioon, johon vaikuttaa aineen ionisoituminen. Esimerkiksi heikosti happamat aineet ovat sitä enemmän positiivisesti varautuneita, mitä alhaisempi on veden pH-arvo. Tällöin ne myös adsorptoituvat helpommin negatiivisesti varautuneisiin pintoihin.

Aineen tarttumista lietteeseen voidaan arvioida määrittämällä aineelle ja tietylle lietetyypille adsorptiovakio K_d . Usein tästäkin vakioista käytetään kymmenkantaista logaritmia eli $\log K_d$. Adsorptiovakio ottaa nimestään huolimatta huomioon sekä aineen adsorption että adsorptioon lietteeseen. Aineen sitoutumisen lietteeseen voidaan olettaa olevan merkittävä, jos K_d arvo on > 500 eli $\log K_d > 2.7$. Taulukoihin 3.13 ja 3.14 on koottu tutkittujen aineiden K_d -arvoja. Dioksiineille, furaaneille ja polyklooratuille bifenyyleille arvoja ei löydetty. Niille aineille, joille arvo löydettiin voidaan arvioida tarttumispotentiaalia lietteeseen. Lietteeseen tarttuminen on mahdollista ainakin näille aineille: NP, NP_{1E}EO, NP₂EO, OP, DEHP, bromatut difenyylietterit, PFOS, E2, triklosaani ja sinkki.

Taulukko 3.13. Tutkittujen aineiden fysikaalis-kemiallisia muuttujia.

Aine	Henryn vakio ($\text{atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$)	Vesiliuk. (mg/l)	pK _a	logK _{ow}	logK _d	k _{biol} L·gSS ⁻¹ ·d ⁻¹
NP	$4.3 \cdot 10^{-6}$	6	11.1	4.2-5.8	3.77-4.11	5.3-10.3
NP ₁ EO	-	3-3.4	-	4.17	3.59	<0.1 [#]
NP ₂ EO	-	3-3.4	-	4.21	3.74	<0.1 [#]
OP	$6.9 \cdot 10^{-6}$	5-12.6	>9.9	4-5.3	2.88-3.15	<0.1 [#] -12.6
OP ₁ EO	$1.2 \cdot 10^{-7}$	5.4	-	4.9	-	-
OP ₂ EO	-	5.4	-	-	-	-
DEHP	$3.5 \cdot 10^{-6}$	0.003-0.3	-	7.5	4.12	3.3
DBP	$1.8 \cdot 10^{-6}$	11.2	-	4.5	-	-
BBP	$1.3 \cdot 10^{-6}$	2.7	-	4.7	3.55	-
BDE-28	$5.0 \cdot 10^{-5}$	0.07	-	5.94	-	-
BDE-47	$1.48 \cdot 10^{-5}$	0.015	-	6.81	5.1	-
BDE-99	$2.27 \cdot 10^{-6}$	0.009	-	7.32	5.1	-
BDE-100	$6.8 \cdot 10^{-7}$	0.04	-	7.24	5.1	-
BDE-153	$6.6 \cdot 10^{-7}$	0.001	-	7.90	5.1-5.4	-
BDE-154	$7.3 \cdot 10^{-8}$	0.001	-	7.82	8	-
Tributyylitina	1.52 *	0.0073*	6.61	4.1 *	-	-
Diuroni	$5.0 \cdot 10^{-10}$	42	-	2.68	1.58	0.01-0.02 [#]
MCPA	$1.3 \cdot 10^{-9}$	630	3.13	3.25	-	-
Elohopea	$8.6 \cdot 10^{-3}$	0.06	-	0.62	-	-
Kadmium	0.031	122800	-	-0.07	-	-
Lyijy	-	185.9	-	-	-	-
Nikkeli	0.025	421600	-	-0.57	-	-
HBCD ^{†)}	$4.6 \cdot 10^{-5}$	0.0086	-	7.74	-	0.07 [#]
PFOS	$3.1 - 4.7 \cdot 10^{-9}$	370-570	0.14	<i>Ei mit.</i>	3.22	<0.1 [#]
Sybutryyni	-	7	-	3.95	2.15	0.2-0.9
Sypermetriini	$4.2 \cdot 10^{-7}$	0.004	-	6.6	-	-
Aklonifeeni	-	1.4	-	4.37	-	<0.1 [#]
Terbutryyni	$2.2 \cdot 10^{-8}$	25	4.3	3.48-3.74	2.2	0.2-0.8
Bifenoksi	$1.1 \cdot 10^{-7}$	0.398	-	3.64-4.48	-	-
E2	$3.6 \cdot 10^{-11}$	1.7-3.6	-	4.01	2.73	800
EE2	$7.9 \cdot 10^{-12}$	4.7-19	-	3.67-4.2	2.5	9
Diklofenaakki	$4.7 \cdot 10^{-12}$	2.37-50	4.15	4-4.51	1.2-2.1	<0.1-1.2
Ibuprofeeni	$1.5 \cdot 10^{-7}$	21	4.91	3.97	<1.3	35
Karbamatsepiini	$1.1 \cdot 10^{-10}$	17.7	13.9	2.45	<1.3	0.048
Triklosaani	$5.0 \cdot 10^{-9}$	10	-	4.76	3.59-4.34	0.08 [#]
Sinkki	0.025	343700	-	-0.47	3.8-5.1	-
Glyfosaatti	$2.1 \cdot 10^{-12}$	10500- 11600	pK _{a1} 0.8 pK _{a2} 3.0 pK _{a3} 6.0 pK _{a4} 10.0	-3.4	-	2.1 [#]
AMPA	-	5800	pK _{a1} 0.9 pK _{a2} 5.6 pK _{a3} 10.2	-2.17	-	-
Endosulfaani	$6.5 \cdot 10^{-5}$	0.325	-	3.6-3.83	-	-
Vapaa syanidi	0.0242	96400	-	-0.69	-	-
TCMTB	$6.5 \cdot 10^{-12}$	125	-	3.3	-	-
MBeT	$3.6 \cdot 10^{-8}$	120	6.93	2.42	-	-

* tributyltinidride, ^{†)} CAS numero 3194-55-6 (sama kuin 25637-99-4), [#] Arvioitu

Taulukko 3.14 PCDD/F- ja PCB-aineiden kongeneerien fysikaalis-kemiallisia muuttujia

	CAS numero	Vesiliukoisuus (mg/l)	logK _{ow}	Henryn vakio (atm·m ³ ·mol ⁻¹)	TEF ¹⁾
Dioksiinit (PCDD)					
2,3,7,8-TCDD	1746-01-6	1.93 · 10 ⁻⁵	7.02	3.3 · 10 ⁻⁵	1
1,2,3,7,8-PeCDD	40321-76-4	1.20 · 10 ⁻⁴	7.50	2.6 · 10 ⁻⁶	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	39227-28-6	4.42 · 10 ⁻⁹	7.80	1.1 · 10 ⁻⁵	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	57653-85-7	4.40 · 10 ⁻⁶	7.80	1.1 · 10 ⁻⁵	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	19408-74-3	4.40 · 10 ⁻⁶	7.80	1.1 · 10 ⁻³	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	35822-46-9	2.40 · 10 ⁻⁶	8.20	2.3 · 10 ⁻³	0.01
OCDD	3268-87-9	7.40 · 10 ⁻⁶	8.60	6.8 · 10 ⁻⁶	0.0003
Furaanit (PCDF)					
2,3,7,8-TCDF	51207-31-9	4.19 · 10 ⁻⁴	6.50	1.4 · 10 ⁻⁵	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	57117-41-6	2.40 · 10 ⁻⁴	7.00	5.0 · 10 ⁻⁶	0.03
2,3,4,7,8-PeCDF	57117-31-4	2.36 · 10 ⁻⁴	7.00	5.0 · 10 ⁻⁶	0.3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	70648-26-9	8.25 · 10 ⁻⁶	7.50	1.4 · 10 ⁻⁵	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	57117-44-9	1.77 · 10 ⁻⁵	7.50	7.3 · 10 ⁻⁶	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	72918-21-9	1.30 · 10 ⁻⁶	7.50	1.1 · 10 ⁻⁵	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	60851-34-5	1.30 · 10 ⁻⁶	7.50	1.1 · 10 ⁻⁵	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	67562-39-4	1.35 · 10 ⁻⁶	8.00	1.4 · 10 ⁻⁵	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	55673-89-7	1.40 · 10 ⁻⁶	8.00	1.4 · 10 ⁻⁶	0.01
OCDF	39001-02-0	1.16 · 10 ⁻⁶	8.80	1.9 · 10 ⁻⁶	0.0003
Polyklooratut bifenyylit					
PCB-77	32598-13-3	5.7 · 10 ⁻⁴	6.63	9.4 · 10 ⁻⁶	0.0001
PCB-81	70362-50-4				0.0003
PCB-105	32598-14-4	3.4 · 10 ⁻³	6.97	8.3 · 10 ⁻⁴	0.00003
PCB-114	74472-37-0	0.016	6.98	9.2 · 10 ⁻⁵	0.00003
PCB-118	31508-00-6	0.013	7.12	2.9 · 10 ⁻⁴	0.00003
PCB-123	65510-44-3				0.00003
PCB-126	57465-28-8				0.1
PCB-156	38380-08-4	0.0053	7.6	1.4 · 10 ⁻⁴	0.00003
PCB-157	69782-90-7		7.6		0.00003
PCB-167	52663-72-6	0.0022	7.5	6.9 · 10 ⁻⁵	0.00003
PCB-169	32774-16-6	5.1 · 10 ⁻⁴	7.41	6.9 · 10 ⁻⁵	0.03
PCB-189	39635-31-9	7.5 · 10 ⁻⁴	8.27	5.1 · 10 ⁻⁵	0.00003

¹⁾ Lähde: WHO 2005

Taulukoissa 3.13 ja 3.14 käytetyt lähteet: EPA 2014, Kosma ym. 2014, Luft ym. 2014, SRC 2014, Kim ym. 2013, Pomiés ym. 2013, Loos 2012a, Mehtonen ym. 2012, ECHA 2011, Wick ym. 2011, Suárez ym. 2010, Zhou ym. 2010, Laitinen 2009, Radjenovic ym. 2009, Stasinakis ym. 2009, Tran ym. 2009, Yu ym. 2009, Shen ym. 2007, Stasinakis ym. 2007, Ying ja Kookana 2007, Seriki ym. 2008, Clara ym. 2007, Joss ym. 2006, WHO 2005, Ternes ym. 2004a, Hung ym. 2004, ATSDR 2002, Fauser ym. 2001, OECD 2002.

Haitta-aineiden suora kemiallinen muuntuminen ilman voimakkaasti hapettavia olosuhteita on jätevedenpuhdistuksessa yleensä vähäistä. Kemiallista muuntumista tapahtuu kuitenkin välillisesti biologisen toiminnan johdosta. Esimerkiksi ammoniumtyypen nitrifikaatioissa syntyvä nitriitti voi reagoida haitta-aineiden kanssa muodostaen ns. nitro-yhdisteitä. Näin on todettu tapahtuvan esimerkiksi tulehduskipulääke diklofenaakille, antibiootti sulfametoksatsolille sekä synteettiselle hormonille 17 α -etinyyliestradiolille (EE2) (Barbiere ym. 2012, Gaulke ym. 2008). Nitro-yhdisteet eivät kuitenkaan ole pysyviä vaan voivat muuntua takaisin alkuperäisiksi haitta-aineiksi, kun nitriitin pitoisuus jätevedessä laskee. Kyseessä ei siis ole haitta-aineiden poistuminen vaan hetkellinen muuntuminen.

Haitta-aineen biologisessa hajoamisessa tai muuntumisessa mikrobi käyttää haitta-ainetta suoraan energianlähteenään tai aine hajoaa kometaboloitumalla. Kometaboliassa organismi voi hajottaa ainetta, mutta energian kasvuunsa se saa jonkin muun aineen samanaikaisesta hajotuksesta. Koska haitta-aineiden pitoisuudet jätevedessä ovat yleensä ng – µg/l -luokkaa ja orgaanisen matriisin määrä jopasatoja mg/l, on oletettu kometabolialla tapahtuvan haitta-aineiden hajoamisen olevan todennäköisempää (Fernandez-Fontaina ym. 2012). Kometaboliassa bakteerit erittävät entsyymejä, jotka hajottavat isokokoisia orgaanisia aineita pienemmiksi ja helpommin solun sisään vietäviksi. Monet näistä entsyymeistä voivat hajottaa myös jäteveden haitta-aineita. Esimerkiksi *E Coli* erittää β-glukuronidaasi –nimistä entsyymiä jäteveteen. Tämä entsyymi pystyy pilkkomaan haitta-aineiden ihmismetabolian tuotteina syntyneitä β-glukuronikonjugaatteja. Reaktio vapauttaa jäteveteen alkuperäistä kemiallista ainetta ja voi johtaa jopa aineen pitoisuuden kasvuun puhdistusprosessin aikana.

Toinen entsyymi, joka saattaa hajottaa jäteveden haitta-aineita, on ammoniumtyppeä hapettavien bakteerien erittämä ammonium mono-oksigenaasi (AMO). Tätä entsyymiä tarvitaan nitrifikaatioprosessissa ammoniumtypen hapettamiseksi hydroksyyliamidiksi. AMO-entsyymi kykenee hydroksyloimaan jäteveden haitta-aineita. Sen on arvioitu olevan yksi tärkeimpiä haitta-aineita hajottavia entsyymejä jätevedessä (Fernandez-Fontaina ym. 2012). Hyvät nitrifioivat olosuhteet jätevedenpuhdistamolla voivat siis edesauttaa jäteveden haitta-aineiden biologista hajoamista tai muuntumista.

Haitta-aineiden biologista hajoamista tai muuntumista voidaan arvioida biologisen hajoamisvakion k_{biol} avulla (Joss ym. 2006, Suárez ym. 2012). Biologisen hajoamisvakion yksikkönä käytetään yleensä arvoa $Lg^{-1}_{SS}d^{-1}$. Haitta-aineen biologiseen hajoamiseen vaikuttaa siis puhdistettavan veden viipymä reaktorissa sekä reaktorin lietepitoisuus. Biologista hajoamista voidaan tehostaa pidentämällä viipymää tai lisäämällä aktiivisen biomassan määrää reaktorissa.

Hajoamisvakioista voidaan arvioida aineen biologista hajoamiskykyä seuraavasti (Suárez ym. 2012):

$k_{biol} < 0.5$	ei biohajoava
$0.5 < k_{biol} < 1$	jonkin verran biohajoava
$1 < k_{biol} < 5$	biohajoava
$k_{biol} > 5$	erittäin biohajoava

Taulukkoon 3.13 on koottu tutkittujen aineiden biologisia hajoamisvakioita jätevedenpuhdistuksessa. Dioksiineille, furaaneille ja polyklooratuille bifenyyleille arvoja ei löydetty. Niille aineille, joille arvo löydettiin, voidaan arvioida biologisen hajoamisen potentiaalia jätevedenpuhdistuksessa:

<u>Ei biohajoava:</u>	NP ₁ EO, NP ₂ EO, OP, diuroni, HBCD, PFOS, karbamatsepiini, triklosaani
<u>Jonkin verran biohajoava:</u>	sybutryyni, terbutryyni, diklofenaakki
<u>Biohajoava:</u>	DEHP, glyfosaatti
<u>Erittäin biohajoava:</u>	NP, E2, EE2, ibuprofeeni

Biologinen hajoaminen ei aina johda aineen pitoisuuden laskuun puhdistusprosessin aikana. Haitallista ainetta voi myös syntyä toisten aineiden biologisen hajoamisen seurauksena. Näin käy esimerkiksi pintakäsittelyaine perfluoro-oktaanisulfonaatille (PFOS). Jopa lähes 100 jätevesissä esiintyvää PFOS:in johdannaista voivat puhdistusprosessin aikana biohajota vapauttaen PFOS:ia (HELCOM 2009). Myös nonyylifenolin ja oktyylifenolin etoksilaatit hajoavat biologisen prosessin aikana vapauttaen nonyyli- ja oktyylifenoleita (Ahel ym. 1994). Nämä aineet ovat etoksilaatteja rasvaliukoisempia ja toksisempia. Toinen esimerkki aineen lisääntymisestä biologisessa puhdistuksessa on tulehduskipulääke diklofenaakki, joka ei itsessään ole kovin biohajoava. Sitä voi kuitenkin syntyä toisen tulehduskipulääkkeenä käytetyn aineen, aseklifenaakin, biologisen hajoamisen tuloksena (Perez ja Barcelo 2008).

4 MENETELMÄT

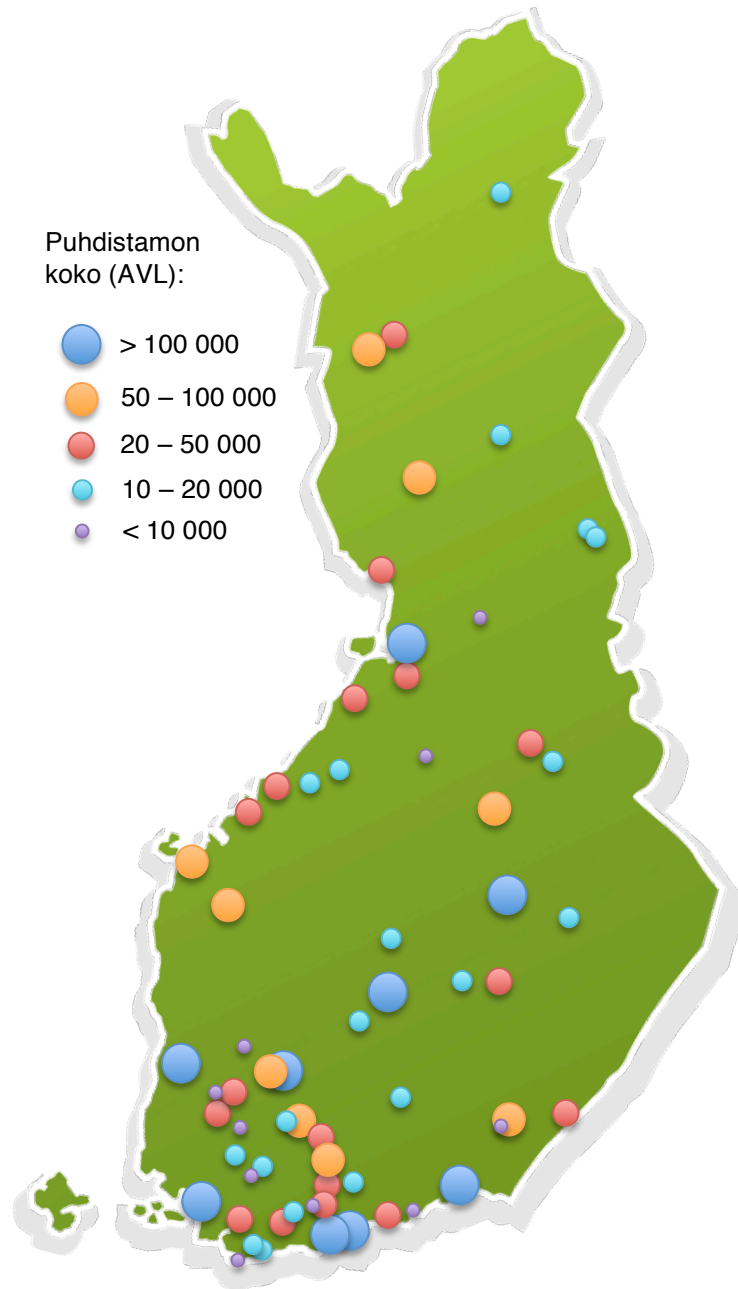
4.1 SUOMESSA AIEMMIN TEHDYT MITTAUKSET

Tähän hankkeeseen valittuja aineita on aiemminkin mitattu jätevedenpuhdistamoilla Suomessa. Erityisesti Euroopan päästö- ja siirtorekisterissä (E-PRTR) listattuja aineita (ks. Taulukko 2.3) on seurattu yli 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Lisäksi monet puhdistamot ovat olleet aktiivisia osallistumaan tutkimuksiin, joissa haitta-aineita tai mahdollisia haitta-aineita (esim. lääkaineita) on mitattu jätevesistä. Tämän hankkeen alussa puhdistamoita pyydettiin lähettämään hankekoordinaattorille aiemmin puhdistamoilla tehtyjen mittausten tuloksia. Ennen tämän hankkeen aloitusta tehtyjä mittauksia saatiin 14 puhdistamolta. Samaan aikaan tämän hankkeen kanssa tehtyjä mittauksia saatiin kuudelta (6) puhdistamolta. Näiden lisäksi käytiin läpi lähteet Loos 2012b, Mehtonen ym. (2012 b), Mannio ym. (2011), Huhtala ym. (2011), HAVAVESI-selvityksen loppuraportti (VVY 2011) ja Vieno 2007. Puhdistamolietteiden osalta käytiin läpi lähteet Kasurinen ym. 2014, Marttinen ym. 2014, Mehtonen ym. (2012 b), Mannio ym. (2011) ja Huhtala ym. (2011). Muiden selvitysten tuloksia verrattiin tämän hankkeen mittaustuloksiin.

4.2 NÄYTTEENOTTOKOHTEIDEN KUVAUS

Hankkeeseen kutsuttiin kaikki > 10 000 AVL:n puhdistamot, joita Suomessa on noin 90 kappaletta. Osallistuneita puhdistamoita oli yhteensä 64, ja näiden koot ja maantieteellinen sijainti on esitetty kuvassa 4.1. Tuloksia tarkasteltiin myös puhdistamon maantieteellisen sijainnin mukaan ja tätä tarkastelua varten ne jaettiin seuraaviin luokkiin (n= puhdistamoiden määrä):

- Etelä-Suomi (n= 22)
- Itä-Suomi (n= 5)
- Länsi-Suomi ja Sisä-Suomi (n= 15)
- Lappi (n= 6)
- Lounais-Suomi (n= 6)
- Pohjois-Suomi (n= 10)



Kuva 4.1. Hankkeeseen osallistuneiden puhdistamoiden maantieteellinen sijainti ja koot.

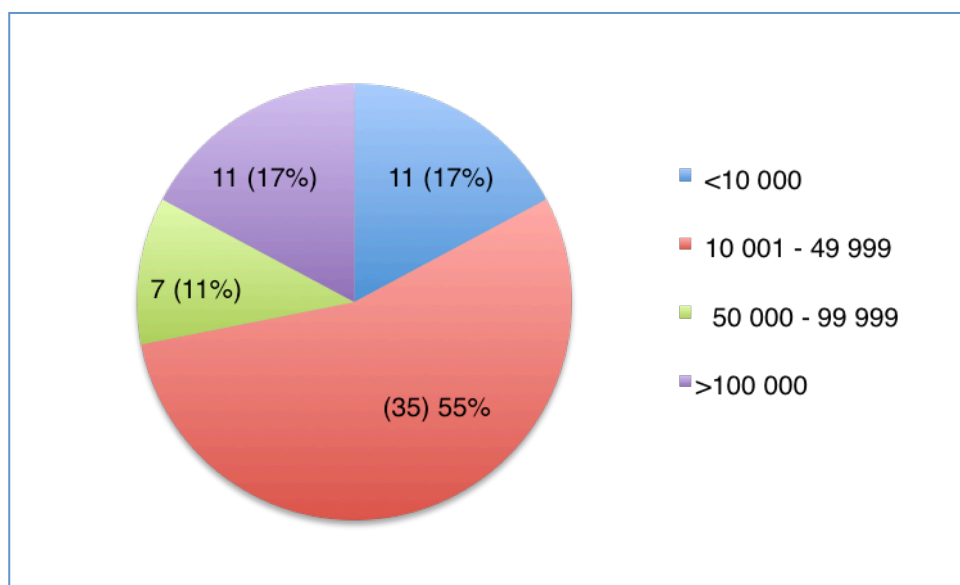
Kaikkia hankkeeseen osallistuneita puhdistamoja pyydettiin täyttämään taustatietokysely Webropol-palvelussa. Kyselyllä selvitettiin puhdistamon perustietoja, kuten käsiteltyjä jätevesimääriä ja viemäriverkostoon liittyneiden asukkaiden lukumääriä. Lisäksi pyydettiin ilmoittamaan ne teollisuuden, palveluiden ja toimintojen alat, joista puhdistamolle johdetaan jätevesiä. Taulukossa 4.1. ja kuvissa 4.2 – 4.4 on koottu yhteen kyselyn tuloksia.

Taulukko 4.1. Yhteenveto hankkeeseen osallistuneiden puhdistamojen toiminnasta.

Puhdistettu jätevesimäärä yhteensä (m³/d)	1 064 000
Teollisuusjätevesien osuus (%)	Keskimäärin 10 % (vaihteluväli 0 – 40 %)
Viemäriverkostoon liittyneiden määrä	3 222 000 asukasta
Sekaviemäroinnin osuus verkostosta (%)	Keskimäärin 11 % (vaihteluväli 0 – 97 %)

Suomalaisista noin 80 % eli 4,5 miljoonaa asuu taajamissa. Hankkeessa mukana olleet puhdistamot puhdistivat siis yhteensä 72 % taajamissa asuvien ja 60 % kaikkien suomalaisten jätevesistä. Teollisuusjätevesien osuus puhdistamoille tulevasta virtaamasta oli keskimäärin 10 %. Kolme puhdistamo ilmoitti, ettei se vastaanota teollisuusjätevesiä ja 30 puhdistamon virtaamasta teollisuusjätevesiä oli < 10 %. Korkein ilmoitettu teollisuusjätevesien osuus oli 40 % tulovirtaamasta.

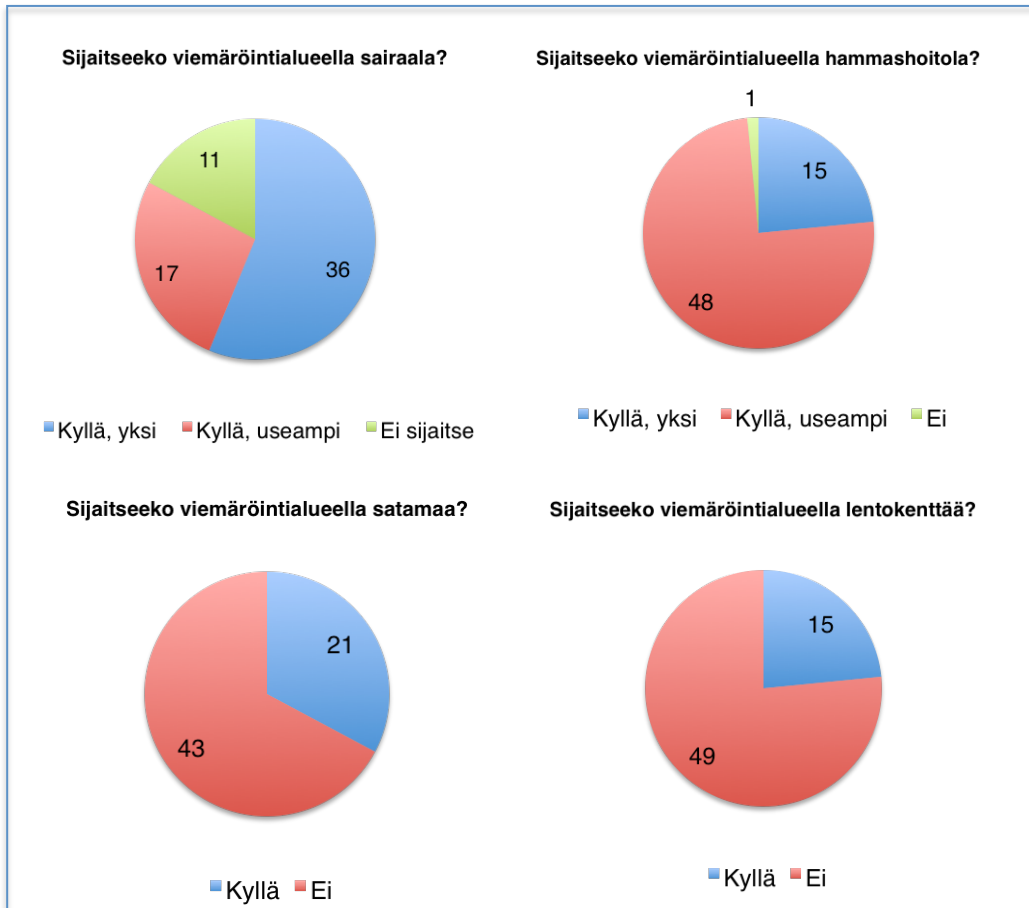
Hankkeeseen kutsuttiin mukaan > 10 000 AVL:n puhdistamot, mutta myös 11 kappaletta tätä raja-arvoa pienempiä puhdistamoita osallistui. Joidenkin puhdistamojen kohdalla asukasvastineluku oli hyvin lähellä rajaa 10 000 ja laskentaperiaate voi vaikuttaa siihen kummalle puolelle tätä raja-arvoa tulos kallistuu. Määrällisesti suurin puhdistamojoukko eli 35 puhdistamo oli kokoluokassa AVL 10 001 – 49 999. Yli 100 000 AVL:n puhdistamoita osallistui 11 kappaletta, mutta suuren kokonsa vuoksi nämä puhdistamot vastasivat vuorokaudessa yhteensä noin 745 000 m³ jätevesimäärän puhdistuksesta. Kaikkien tutkimukseen osallistuneiden puhdistamoiden jätevesimäärästä tämä oli 70 %.



Kuva 4.2. Hankkeeseen osallistuneiden puhdistamojen koot jaettuna asukasvastineluvun (AVL) mukaan ryhmiin.

Suurimmalla osalla viemäröntialueista sijaitsi yksi tai useampi sairaala tai hammashoitola. Satamia ja lentokenttiä esiintyi viemäröntialueilla harvemmin. Teollisuusaloista jätevedenpuhdistamoiden viemäröntialueilla oli yleisimmin

huoltoasemia (95 % viemäröntialueista), koneiden ja laitteiden korjaamoja (89 %) sekä pesuloita (75 %). Myös elintarvike- ja juomateollisuus (69 %) sekä metalliteollisuus (63 %) olivat vahvasti edustettuina. Viemäröntialueilla oli myös muuta kuin kuvassa 4.4 listattua teollisuutta. Puhdistamot ilmoittivat tällaisiksi aloiksi ainakin entsyymien valmistuksen, lasikuituteollisuuden, betonteollisuuden, varastoinnin, sahan, talotehtaan sekä turkisvalmistuksen ja teurastamon.



Kuva 4.3 Palvelutoimintojen jakautuminen puhdistamoiden viemäröntialueella. Luvut viittaavat puhdistamoiden lukumäärään.

Miltä teollisuuden aloilta saapuu jätevesiä laitokselle?

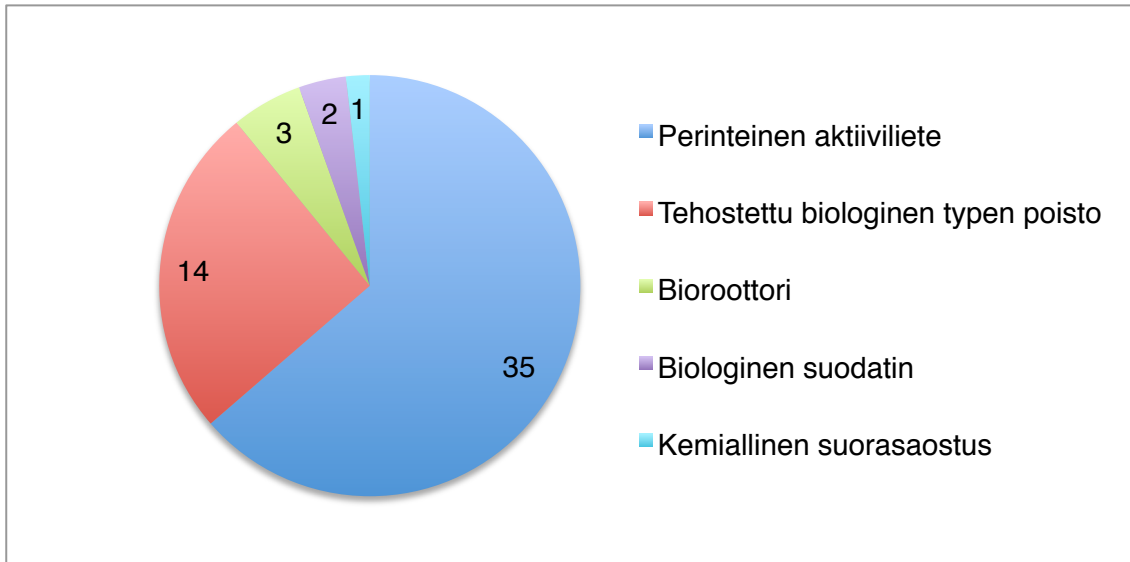


Kuva 4.4. Teollisuuden alat, joilta saapuu jätevesiä vähintään yhdelle hankkeessa mukana olleelle puhdistamolle.

4.3 PUHDISTAMOILLA KÄYTÖSSÄ OLLEET KÄSITTELYMENETELMÄT

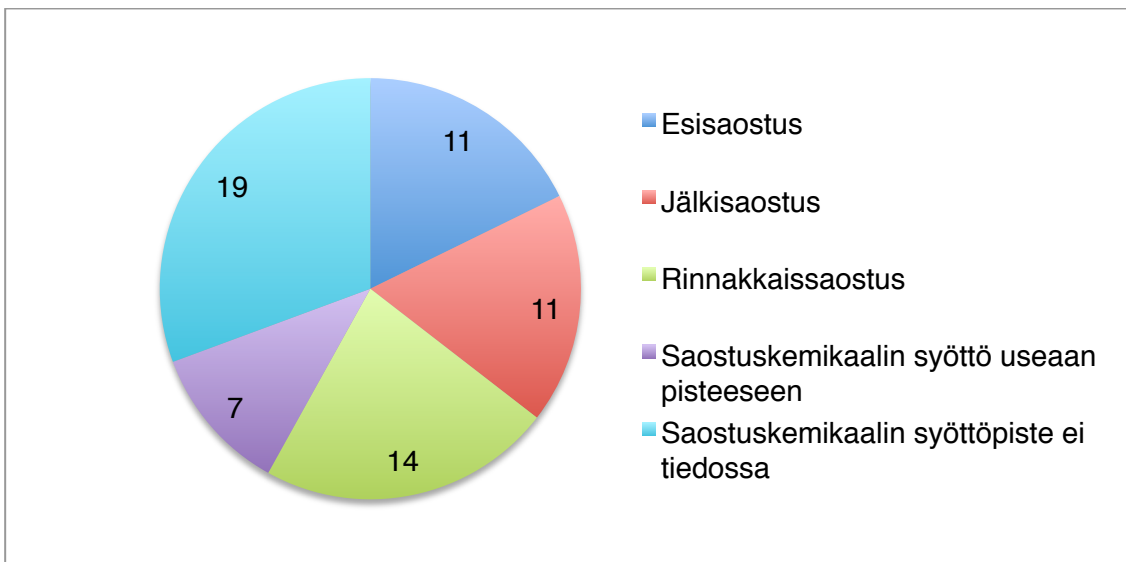
Hankkeeseen osallistuneita puhdistamoja pyydettiin toimittamaan puhdistamonsa prosessikaavio tai kuvaus prosessivaiheista. Niiltä puhdistamoilta, joilta näitä tietoja ei saatu, tiedot pyrittiin löytämään laitosten verkkosivuilta tai kirjallisuusmateriaalista. Muutamalta puhdistamolta näytteitä otettiin vain tulevasta jätevedestä. Näiden puhdistamojen prosesseja ei ole tähän yhteenvedoon otettu mukaan. Tässä on esitetty 55 puhdistamon prosessien yhteenvedo.

Yksi puhdistamo oli ns. kemiallinen suorasaostuslaitos, jossa fosforia ja orgaanista ainetta saostettiin kemiallisesti (kuva 4.5). Erillistä biologista prosessivaihetta ei ollut vaan biologista hajoamista tapahtui jälkiselkeytysaltaissa. Lopuilla puhdistamoilla jätevesi puhdistettiin myös biologisesti. Kolmella puhdistamolla oli käytössä biorootorit ja kahdella biologiseen suodatukseen perustuvat menetelmät. Yleisimmin puhdistamoilla kuitenkin toteutettiin aktiivilietteeseen perustuvaa puhdistusta altaissa. Niin sanottuja perinteisiä aktiivilietelaitoksia oli 35 kappaletta. Tähän kategoriaan on laskettu myös nitrifioivat laitokset. Tässä prosessissa aktiivilietteeseen rikastuvat bakteerit hajottavat orgaanista ainetta eli puhdistavat vettä. Prosessi on aina ilmastettu eli olosuhteet ovat hapelliset. Typen poisto perinteisessä aktiivilieteprosessissa on yleensä noin 30 %. Hapellisissa olosuhteissa jäteveden ammoniumtyyppi hapettuu ensin nitriitiksi ja nitraatiksi ns. nitrifikaatio-prosessissa. Pelkistämällä nitraatti tyyppikaasuksi voidaan päästä 60 – 90 % typenpoistoon, mutta se vaatii hapettomat, ns. anoksiset, olosuhteet. Niillä puhdistamoilla, jotka pyrkivät korkeaan typenpoistoon, onkin yleensä käytössä tehostettu biologinen typen poisto. Tämä sisältää sekä nitrifikaation (N) että denitrifikaation (DN). Hankkeeseen osallistuneista puhdistamoista 14 poisti tehostetusti typpeä eli prosessi sisälsi sekä hapellisen että anoksisen osan. Biologisen puhdistuksen tekniikka on tärkeää tarkasteltaessa haitta-aineiden poistumista puhdistamoilla. On nimittäin todettu, että korkea kokonaistypen poisto puhdistamolla indikoisi myös alemmaa kemiallisten haitta-aineiden pitoisuutta puhdistetussa vedessä. Tämän on ehdotettu johtuvan perinteiseen aktiivilieteprosessiin verrattuna korkeammasta lieteiästä. Se taas mahdollistaa haitta-aineita hajottavien bakteerien rikastumisen aktiivilietteeseen. Toisaalta parempi poistuma voi johtua myös siitä, että typpeä hajottavat bakteerit erittävät entsyymejä, jotka hajottavat haitta-aineet kemiallisesti.



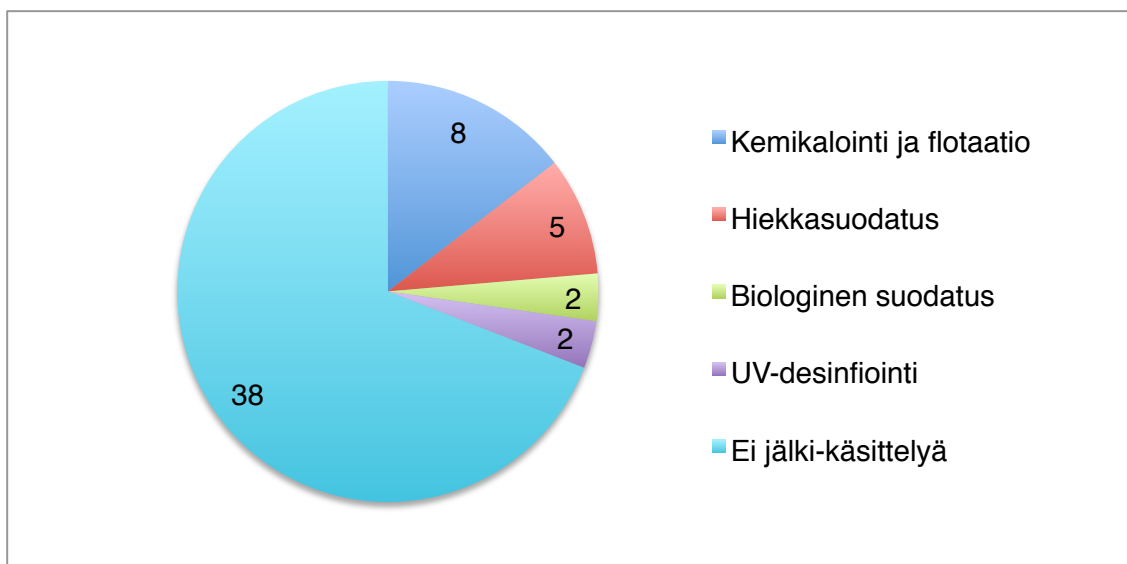
Kuva 4.5. Puhdistamoiden pääprosessit ja niitä soveltavien puhdistamoiden lukumäärät

Kaikki puhdistamot poistivat fosforia kemiallisesti saostamalla. Yleisimmin käytettiin rautapohjaisia kemikaaleja, kuten ferro- tai ferrisulfaattia. Fosforin annostelukohtaa ei oltu raportoitu kaikilla laitoksilla. Ainakin 11 puhdistamolla saostuskemikaali lisättiin jo välppäyksen jälkeen ennen hiekkasuodatusta (kuva 4.6). Fosforin jälkisaostus oli käytössä ainakin 11 puhdistamolla. 14 puhdistamolla käytössä oli fosforin rinnakkaissaostus eli saostuskemikaali lisättiin aktiivilieteprosessin yhteyteen. Joillakin laitoksilla saostuskemikaalia annosteltiin kahteen eri pisteeseen, yleensä heti välppäyksen jälkeen ja jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeytyksessä käytettiin joillakin laitoksilla myös polymeeria laskeutuksen apuaineena.



Kuva 4.6. Fosforin kemialliseen saostamiseen liittyvät menetelmävaihtoehdot.

Osalla puhdistamoista oli käytössä jälkiselkeytyksen jälkeisiä puhdistusvaiheita (kuva 4.7). Fosforin ja kiintoaineen poistoa tehostettiin saostamalla ja flotaatiolla 8 puhdistamolla sekä hiekkasuodatuksella 5 puhdistamolla. Yhdellä puhdistamolla hiekkasuodatus oli ns. denitrifioiva hiekkasuodatus eli sen tavoitteena on myös tehostaa nitraattityypen poistoa. Typen poistoa tehostavaa biologista suodatusta sovellettiin kahdella (2) puhdistamolla. Kaksi (2) puhdistamoaa lisäksi UV-desinfioi puhdistetun jäteveden ennen vesistöön purkamista.



Kuva 4.7. Puhdistamoilla käytössä olevat jälkikäsittelymenetelmät (biologisen puhdistuksen ja lietteen erotuksen jälkeen) ja niitä soveltavien puhdistamoiden lukumäärät.

4.4 RINNEKOTI-SÄÄTIÖN PUHDISTAMON ESITTELY

Hankkeen puitteissa haitta-aineet analysoitiin myös Rinnekoti-Säätiön puhdistamolta. Rinnekoti-Säätiön puhdistamo sijaitsee Espoossa ja sillä käsitellään noin 1000 asukkaan ja henkilökunnan jätevedet, jotka muodostuvat säätiön kiinteistöissä. Alueen viemäroinnin piiriin kuuluu noin 70 rakennusta, joista n. 30 on asuinrakennuksia ja hoitokoteja (FCG 2012). Alueella asuu noin 500 asukasta, jonka lisäksi siellä työskentelee noin 500 alueen ulkopuolella asuvaa henkilöä. Puhdistamoalueen viemäriverkoston kokonaispituus on n. 10 km. Verkosto on pääosin sekaviemärointiä ja vuotovesiä puhdistamolle tulee jonkin verran. Puhdistamo sijaitsee golfkentän ympäröimänä. Vuonna 2011 laitoksella käsiteltiin vuorokaudessa keskimäärin 329 m³ jätevettä. Puhdistamo on biologis-kemiallinen rinnakkaissaostuslaitos. Biologinen käsittely alkaa anoksisella denitrifikaatio-osalla, josta vesi johdetaan ilmastettuun nitrifikaatioaltaaseen. Saostuskemikaaleina käytetään ferrosulfaattia ja kalkkia. Orgaanisen aineen tulokuormitus on vaihdellut 2008 – 2011 välisenä aikana 78 ja 140 kg/d. Samana aikana typen tulokuorma on vaihdellut välillä 17 – 46 kg/d ja fosforin välillä 3.6 – 7.1 kg/d. Orgaanisen aineen ja ravinteiden poistumat olivat vuonna 2011 keskimäärin seuraavat: BOD7 99 %, fosfori 97 % ja typpi 90 %. (VHVSY 2011)

4.5 NÄYTTEENOTTO

Näytteet haitta-aineiden analysoimiseksi otettiin marraskuun 2013 ja tammikuun 2014 välisenä aikana. Näytteenoton toteutti puhdistamohenkilökunta tai heidän valitsema konsultti. Hankkeen puitteissa ohjausryhmä esitti taulukon 4.2 mukaisia analyysiohjelmia eri kokoisille puhdistamoille. Jokainen puhdistamo kuitenkin valitsi itse millä tavoin toteutti analysoinnin eli toteutus saattoi poiketa ehdotetusta.

Taulukko 4.2. Esitetyt analyysiohjelmat puhdistamoiden koon mukaan jaoteltuna.

	Puhdistamon koko (AVL)					
	10 000 – 50 000		50 000 – 100 000		> 100 000	
	Analysoitava näyte		Analysoitava näyte		Analysoitava näyte	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
Analyysipaketti 1	-	X	X	X	X	X
Analyysipaketti 2	-	-	-	-	X	X
Analyysipaketti 3	-	-	-	-	X	X
Analyysipaketti 4	-	X*	X*	X*	X*	X*

* Analysoitiin sellaisilta puhdistamoilta, jotka vastaanottivat jätevesiä seuraavilta teollisuusaloilta: massanvalmistus, paperin- ja kartonginvalmistus, nahan valmistus ja käsittely, kumiteollisuus, maalien valmistus tai puunsuoja-aineita käyttävät teollisuuden alat.

Liitteeksi 2 on lisätty puhdistamoille lähetetty näytteenotto-ohje sekä näytteenottopöytäkirja, joka pyydettiin täyttämään ja palauttamaan hankekoordinaattorille. Näiden ohjeiden lisäksi laboratoriot lähettivät näytepullojen mukana tarkempia ohjeita mm. näytteenottotapaan, pullojen materiaaleihin sekä täyttöasteeseen liittyen.

Orgaanisten haitta-aineiden näytteenotossa on otettava huomioon, että jotkin analysoidut aineet (erityisesti ftalaatit) voivat esiintyä muovimateriaaleissa. Tästä syystä näytteenotossa on tärkeää välttää näytteen pitkäaikaista kosketusta muovisten näytteenottovälineiden kanssa. Muovitarvikkeissa on hyvä suosia elintarvikelaatuista HDPE (high-density polyethylene) muovia. Mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää lasista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja näytteenottovälineitä. Näytteenotossa voi käyttää kertakäyttöhanskoja, mutta näytepullojen suuhun ei saa koskea.

Näytteen edustavuuden kannalta hankkeessa suositeltiin kokoomanäytteen ottamista. Automaattisissa näytteenottimissa on muoviosia, mutta kontakti näytteen kanssa on lyhytaikaista. Vuorokauden kokoomanäyte ottaa huomioon jäteveden laadun ajallisen vaihtelun ja kuvaa kertanäytettä paremmin jäteveden keskimääräistä laatua. Jos halutaan välttää muovisten näytteenottimien käyttöä, voidaan näyte kerätä osanäytteistä esimerkiksi työpäivän aikana ja koota kokoomanäytteeksi. Tällöin tulee huolehtia siitä, että osanäytteen tilavuus on > 50 ml ja osanäytteet pidetään viileässä. Kertanäytteenotossa sekä kokoomanäytteestä näytettä pulloon siirrettäessä on hyvä varmistaa laboratorion ohjeista onko näytepullo juuri kyseiselle aineelle tarkoitettu ja

täytetäänkö pullo korkkiin asti vai jätetäänkö siihen ilmavara. Taulukkoon 4.3. on koottu tutkittujen haitta-aineiden näytteenotossa käytettyjen pullojen materiaalit. Tarvittava näytemäärä voi vaihdella laboratorioiden välillä ja tämä asia kannattaa myös varmistaa ohjeista. Yhden hankkeessa mukana olleen laboratorion puhdistamoille lähettämässä ohjeessa neuvottiin osakokooman otosta näin:

“Näytteet otetaan käsin työpäivän aikana. Otetaan pullo täyteen niin, että siihen tulee esim. 5 osanäytettä samaan pulloon päivän aikana. Ennen näytteenottoa suppilo, kauha ja pullot huuhdotaan näytevedellä. Näytteet otetaan piriin. Pullot säilytetään näytteenottopäivän ajan jääkaapissa n 4 °C:ssa (alle 8 °C).

Näytteet lähetetään näytteenottopäivänä takaisin laboratorioon. Mukaan laitetaan kylmävaraajia. Jos näytteitä joudutaan säilyttämään yön yli, pullot säilytetään jääkaapissa n 4 °C:ssa (alle 8 °C).”

Toinen laboratorio ohjeisti näytteenottoa seuraavasti:

”Kerää edustava näyte (esim. pienissä erissä kerättävä kokoomanäyte tietyllä ajanjaksolla) siten, että kahteen litran pulloon tulee samanlainen näyte. Käytä esim. teräksisiä näytteenottovälineitä, jotka huuhdotaan tai pestään huolellisesti eri näytetyyppien (tuleva ja lähtevä jätevesi) välillä.”

Kertanäytteenotossa näyte otetaan kauhalla tai näytteenottimella suoraan pulloon. Näytteenottoaika on valittava huolella ja sen tulee olla sellainen, ettei kiintoaine laskeudu näytteenottoaikaan pohjalle. Jos näyte otetaan altaasta, kannattaa ottaa vähintään kolme osanäytettä eri kohdista allasta ja koota ne yhdeksi näytteeksi.

Puhdistamoista 45 palautti täytettynä heille lähetetyn näytteenottopöytäkirjan. Suurin osa puhdistamoista (19 kpl) otti näytteitä sekä vuorokauden kokoomanäytteenä automaattisella näytteenottimella sekä työpäivän aikana 3-5 osanäytteen kokoomana. Puhdistamoista 19 kpl ilmoitti ottaneensa näytteet pelkästään vuorokauden kokoomana ja yksi puhdistamo 48 h kokoomanäytteenä. Kokoomanäytteistä 2 ilmoitettiin olleen virtaamapainotteisia ja 3 aikapainotteisia. Lopuista näytteistä ei kerrottu oliko näyte otettu virtaama- vai aikapainotteisesti. Kuusi (6) puhdistamo raportoi ottaneensa näytteet kertanäytteenä.

Tulevan jäteveden näyte neuvottiin ottamaan väljän ja hiekanerotuksen jälkeen. Näytteenottoaika vaihteli jonkin verran. Suurin osa (14 kpl) puhdistamoista otti näytteen ennen mitään käsittelyä. Väljän jälkeen näyte otettiin kahdeksalla (8) ja väljän ja hiekanerotuksen jälkeen kuudella (6) puhdistamolla. Joillakin laitoksilla tuloviemäriin vesi kuvastaa tulevaa jätevettä paremmin erityisesti, jos laitos ottaa vastaan sakokaivolietteitä. Lähtevän jäteveden näyte pyydettiin ottamaan siitä kohdasta, josta puhdistettu jätevesi puretaan ympäristöön.

Taulukko 4.3. Haitta-aineiden näytteenotossa käytettyjen pullojen materiaalit.

Aineryhmän nimi	Näytepullon materiaali
Alkyylifenolit ja alkyylifenolietoksisilaatit	Lasi
Ftalaatit	Lasi
Bromatut difenyylieetterit	Lasi
Tributyylitina	Tumma lasi
Diuroni	Lasi
4-kloori-2-metyylifenoksisietikka-happo (MCPA)	Lasi
Raskasmetallit	Elohopea: lasi Muut: muovi
Heksabromosyklododekaani	Lasi
Perfluoro-oktaanisulfonaatti	Muovi
Sybutryyni	Lasi
Sypermtriini	Lasi
Aklonifeeni	Lasi
Terbutryyni	Lasi
Bifenoksi	Lasi
Hormonit	Lasi
Lääkeaineet	Lasi
Triklosaani	Lasi
Sinkki ja sen yhdisteet	Muovi
Glyfosaatti ja Aminometyylifosfonihappo (AMPA)	Muovi
Vapaa syanidi	Muovi (näytteeseen lisätään mukana olleet NaOH tabletit)
Endosulfaani	Lasi
PCDD, PCDF ja PCB	Lasi
(Bentsotiatsoli-2-yyllitio)metyylisyanaatti (TCMTB)	Lasi
Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	Lasi

4.6 ANALYYSILABORATORIOIDEN KILPAILUTUS

Hankkeessa toteutettiin avoin tarjouskilpailu, jonka puitteissa valittiin tietyt ehdot täyttäneet analyysilaboratoriot aineryhmittäin puitejärjestelyyn. Hankkeeseen osallistuneet puhdistuslaitokset sitoutuivat käyttämään puitejärjestelyyn valittuja laboratorioita. Tarjouskilpailua varten aineille asetettiin tavoitemääritysrajat. Ne perustuivat Vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden asetuksen (868/2010) liitteen 3 vaatimuksiin:

Analyysimenetelmien määritysrajan arvo on enintään 30 % kyseisen aineen ympäristölaatunormin arvosta. Jos tiettyä parametria varten ei ole sopivaa ympäristölaatunormia tai jos käytettävissä ei ole analyysimenetelmää, joka täyttää edellä määritetyt suorituskykyä koskevat vähimmäisvaatimukset, seuranta suoritetaan käyttäen parhaita käytettävissä olevia tekniikoita, joista ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia.

Niille aineille, joille ympäristölaatunormia ei oltu määrätty, ohjausryhmä asetti tavoitemääritysrajan. Tavoitemääritysrajat, puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden tarjouksissaan ilmoittamat määritysrajat sekä mittausepävarmuudet on esitetty taulukoissa 4.4 – 4.7.

Tarjouspyynnössä listattiin lisäksi palvelua koskevat ehdottomat vaatimukset, jotka perustuivat Vesiympäristölle haitallisten ja vaarallisten aineiden asetuksen (868/2010) liitteen 3 vaatimuksiin:

- *Määritykset tulee tehdä standardoiduilla menetelmillä tai vastaavilla validoiduilla menetelmillä. Käytetty standardimenetelmä on ilmoitettava Liitteen 2 lomakkeessa. Jos menetelmänä on käytetty muuta kuin standardimenetelmää, vaikka sellainen olisi saatavilla, on erillisellä selvityksellä osoitettava, että käytetty menetelmä vastaa vähintään standardimenetelmää.*
- *Jos standardimenetelmää ei ole olemassa, on menetelmä kuvattava lyhyesti (esim. SPE-LC-MS/MS) Lomakkeessa 2.*
- *Käytetyn menetelmän laajennettu mittausepävarmuus ($U = 2u$) määritysrajan tasolla on oltava $< 50 \%$.*

Tarjoukset pisteytettiin määritysrajan perusteella aineryhmittäin niin, että maksimipistemäärä oli 100. Jos aineryhmässä oli enemmän kuin yksi aine, jaettiin maksimipistemäärä aineiden lukumäärällä. Pisteet laskettiin aineittain ja laskettiin yhteen aineryhmittäin. Ohjausryhmä päätti jokaiselle aineelle ja aineryhmälle minimipistemäärävaatimuksen. Kaikki minimipistemäärän saavuttaneet tai ylittäneet palveluntarjoajat otettiin mukaan puitejärjestelyyn. Tarjoukset pisteytettiin seuraavasti:

1. *Jos tarjoajan ilmoittama menetelmän määritysraja on pienempi tai yhtä suuri kuin tavoitemääritysraja, saa tarjoaja maksimipisteet.*
2. *Jos tarjoajan ilmoittama menetelmän määritysraja on suurempi kuin tavoitemääritysraja, saa tarjoaja pisteitä seuraavan kaavan mukaisesti: (tavoitemääritysraja / palveluntarjoajan määritysraja) x maksimipisteet.*

Analyysin hinta ei ollut kriteerinä puitejärjestelyyn pääsemiseksi. Hinta otettiin huomioon, kun valittiin palveluntoimittajaa puitejärjestelyyn valituista palveluntarjoajista. Jokainen hankkeeseen osallistunut puhdistamo sai aineryhmittäin valita haluamansa analyysilaboratorion puitejärjestelyyn valittujen joukosta.

Joidenkin aineryhmien osalta ei saatu yhtään minimipistemäärärajan ylittänyttä tarjousta. Näiden aineryhmien osalta sovellettiin suora hankintamenettelyä. Puitejärjestelyyn valittiin kaksi eniten pisteitä saanutta palveluntarjoajaa. Jos kaksi tarjoajaa sai samat pisteet, molemmat valittiin puitejärjestelyyn.

Puitejärjestelyyn yhden tai useamman aineryhmän osalta valittiin seuraavat laboratoriot:

- Jyväskylän Yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus Ambiotica (29.3.2014 alkaen Nab Labs Oy)
- MetropoliLab (Helsinki)
- Ramboll (Lahti)
- SGS Inspection Services (Kotka)
- ALS Environmental (Helsinki)
- Eurofins Scientific Finland Oy (Tampere)
- Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL) (Kuopio)

Taulukko 4.4. Analyysipaketin 1 aineiden laboratorioiden kilpailutuksessa käytetyt tavoitemääritysrajat sekä puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittamat määritysrajat (MR). Suluissa on esitetty laajennettu mittausepävarmuus (U= 2u).

Aineen nimi	Tavoite-MR (µg/l)	Puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittama MR (µg/l) ja mittausepävarmuus					
<i>Alkyyylifenolit ja alkyyylifenolietoksisilaatit:</i>		ALS			Eurofins		
4-NP	0.03	0.1 (11 %)			0.05 (30 %)		
4-NP ₁ EO	0.06	0.06 (12 %)			0.05 (30 %)		
4-NP ₂ EO	0.06	0.06 (12 %)			0.1 (30 %)		
OP	0.001	0.01 (11 %)			0.1 (40 %)		
OP ₁ EO	0.002	0.003 (12 %)			0.1 (40 %)		
OP ₂ EO	0.002	0.003 (12 %)			0.1 (40 %)		
<i>Ftalaatit:</i>		MetropoliLab		ALS		Eurofins	
DEHP	0.4	0.3 (40 %)		0.4 (16 %)		0.1 (24 %)	
BBP	0.4	0.1 (40 %)		0.4 (16 %)		0.1 (24 %)	
DBP	0.3	0.1 (30 %)		0.3 (16 %)		0.1 (24 %)	
<i>BDE-yhdisteet</i>		ALS					
BDE-28	0.00001	0.00004 (20 %)					
BDE-47	0.00001	0.00004 (20 %)					
BDE-99	0.00001	0.00004 (20 %)					
BDE-100	0.00001	0.00004 (20 %)					
BDE-153	0.00001	0.00004 (20 %)					
BDE-154	0.00001	0.00004 (20 %)					
<i>Tributyylitinayhdisteet: tributyylitinakationi</i>	0.00006	Ambiotica 0.0002 (30 %)	Metrop. 0.0002 (30 %)	Ramboll 0.0002 (18 %)	SGS 0.001 (30 %)	ALS 0.0003 (14 %)	Eurofins 0.0015 (40 %)
Diuroni	0.06	Metrop. 0.05 (30 %)		Ramboll 0.01 (22 %)	SGS 0.05 (30 %)	ALS 0.005 (30 %)	Eurofins 0.01 (40 %)
MCPA	0.05	Metrop. 0.02 (40 %)		Ramboll 0.01 (17 %)	SGS 0.05 (30 %)	ALS 0.05 (21 %)	Eurofins 0.01 (45 %)
<i>Raskasmetallit:</i>		Ambiotica					
Hg	0.015	0.004 (45 %)					
Ni	6	0.2 (45 %)					
Pb	2	0.05 (45 %)					
Cd	0.02	0.01 (45 %)					

Taulukko 4.5. Analyysipaketin 2 aineiden laboratorioiden kilpailutuksessa käytetyt tavoitemääritysrajat sekä puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittamat määritysrajat (MR). Suluissa on esitetty laajennettu mittausepävarmuus (U= 2u).

Aineen nimi	Tavoite-MR (µg/l)	Puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittama MR (µg/l)					
<i>HBCD-yhdisteet:</i>		MetropoliLab			SGS		
1,3,5,7,9,11-HBCD	0.00005						
1,2,5,6,9,10- HBCD	0.00005	0.05 (25 %)			0.01 (40 %)		
α-HBCD	0.00005	0.05 (25 %)			0.01 (40 %)		
β-HBCD	0.00005	0.0005 (25 %)			0.01 (40 %)		
γ-HBCD	0.00005	0.0005 (25 %)			0.01 (40 %)		
PFOS	0.00004	SGS 0.004 (30 %)			ALS 0.001 (20 %)		
Sybutryyni	0.00075	ALS 0.0025 (15 – 20 %)					
Sypermetriini	0.000002	ALS 0.001 (30 %)			Eurofins 0.03		
Aklonifeeni	0.004	Metrop. 0.01 (31 %)	Ramboll 0.01 (31 %)	ALS 0.0033 (30 %)	Eurofins 0.01 (45 %)		
Terbutryyni	0.002	Metrop. 0.01 (16 %)	Ramboll 0.01 (31 %)	SGS 0.05 (30 %)	ALS 0.025 (30 %)	Eurofins 0.02 (20 %)	
Bifenoksi	0.004	MetropoliLab 0.03 (40 %)		Ramboll 0.03 (42 %)		Eurofins 0.02 (30 %)	
<i>Hormonit:</i>		ALS			Eurofins		
EE2	0.0003	0.001 (15 – 20 %)			0.001 (30 %)		
E2	0.03	0.005 (21 %)			0.001 (32 %)		
<i>Lääkeaineet:</i>		MetropoliLab		Ramboll		ALS	
Diklofenaakki	0.01	0.05 (< 50 %)		0.05 (40 %)		0.01 (15 – 20 %)	
Ibuprofeeni	0.01	0.05 (< 50 %)		0.05 (40 %)		0.01 (16 %)	
Karbamatsepiini	0.01	0.05 (< 50 %)		0.05 (40 %)		0.01 (15 – 20 %)	
Triklosaani	0.05	Metrop. 0.1 (24 %)	Ramboll 0.05 (40 %)	SGS 0.05 (30 %)	ALS 0.0057 (30 %)	Eurofins 0.1 (24 %)	
Sinkki ja sen yhdisteet	10	Ambiot. 0.5 (45 %)	Metrop. 2 (25 %)	Ramboll 5 (25 %)	SGS 5 (29 %)	ALS 3 (10 %)	Eurofins 10 (18 %)
<i>Torjunta-aineet:</i>		Metrop.		Ramboll		ALS	
Glyfosaatti	100	0.1 (36 %)		0.1 (36 %)		0.05 (40 %)	
AMPA	100	0.05 (31 %)		0.05 (31 %)		0.05 (40 %)	
Vapaa syanidi	5	Metrop. 5 (20 %)	Ramboll 5 (25 %)	SGS 0.01 (30 %)	ALS 5 (30 %)	Eurofins 5 (13 %)	

Taulukko 4.6. Analyysipaketin 3 aineiden laboratorioiden kilpailutuksessa käytetyt tavoitemääritysrajat sekä puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittamat määritysrajat (MR). Suluissa on esitetty laajennettu mittausepävarmuus (U= 2u).

Aineen nimi	Tavoite-MR (µg/l)	Puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittama MR (µg/l)			
Endosulfaani	0.00015	SGS 0.00025 (40 %)			
<i>Dioksiinit ja dioksiinin kaltaiset aineet (PCDD)</i>		ALS ¹⁾		THL ⁵⁾	
2,3,7,8-T4CDD	0.000001	0.000001		0.000000754	
1,2,3,7,8-P5CDD	0.000001	0.0000015		0.000001053	
1,2,3,4,7,8-H6CDD	0.000001	0.000003		0.000001575	
1,2,3,6,7,8-H6CDD	0.000001	0.000003		0.00000163	
1,2,3,7,8,9-H6CDD	0.000001	0.000003		0.000001527	
1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	0.000001	0.000003		0.000001825	
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD	0.000001	0.000005		0.000003913	
<i>Dioksiinit ja dioksiinin kaltaiset aineet (PCDF)</i>		ALS ¹⁾		THL ⁵⁾	
2,3,7,8-T4CDF	0.000001	0.000001		0.00000044	
1,2,3,7,8-P5CDF	0.000001	0.0000015		0.000000503	
2,3,4,7,8-P5CDF	0.000001	0.0000015		0.000000535	
1,2,3,4,7,8-H6CDF	0.000001	0.000003		0.000000694	
1,2,3,6,7,8-H6CDF	0.000001	0.000003		0.000000633	
1,2,3,7,8,9-H6CDF	0.000001	0.000003		0.000002452	
2,3,4,6,7,8-H6CDF	0.000001	0.000003		0.000000947	
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0.000001	0.000003		0.000000764	
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	0.000001	0.000003		0.000003285	
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF	0.000001	0.000005		0.000009378	
<i>Dioksiinit ja dioksiinin kaltaiset aineet (PCB-DL)</i>		Metrop. ³⁾	Ramboll ⁴⁾	ALS ²⁾	THL ⁶⁾
3,3',4,4'-T4CB (PCB 77)	0.00004	0.00001	0.00005	0.00005	0.0000044
3,3',4',5-T4CB (PCB 81)	0.00004	0.00001	0.00005	0.00005	0.0000061
2,3,3',4,4'-P5CB (PCB 105)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.00007
2,3,4,4',5-P5CB (PCB 114)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.00007
2,3',4,4',5-P5CB (PCB 118)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.000014
2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 123)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.000028
3,3',4,4',5-P5CB (PCB 126)	0.00004	0.000008	0.00005	0.00006	0.0000038
2,3,3',4,4',5-H6CB (PCB 156)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00008	0.000032
2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 157)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00008	0.000018
2,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 167)	0.00004	0.00005	0.00005	0.00008	0.000018
3,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 169)	0.00004	0.000008	0.00005	0.00008	0.0000041
2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (PCB 189)	0.00004	0.00005	0.00005	0.0001	0.000026

¹⁾ Mittausepävarmuus 30 %, ²⁾ Mittausepävarmuus 13 %, ³⁾ Mittausepävarmuus 20 %, ⁴⁾ Mittausepävarmuus välillä 11 – 28 %, ⁵⁾ Mittausepävarmuus välillä 25 – 50 %, ⁶⁾ Mittausepävarmuus välillä 14 – 34 %

Taulukko 4.7. Analyysipaketin 4 aineiden laboratorioiden kilpailutuksessa käytetyt tavoitemääritysrajat sekä puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittamat määritysrajat (MR). Suluissa on esitetty laajennettu mittausepävarmuus ($U=2u$).

Aineen nimi	Tavoite-MR ($\mu\text{g/l}$)	Puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden ilmoittama MR ($\mu\text{g/l}$)	
(Bentsotiatsoli-2-yyllitio)metyylisyanaatti (TCMTB)	0.005	MetropoliLab 0.01 (40 %)	Ramboll 0.01 (40 %)
Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	0.02	MetropoliLab 0.5 (40 %)	Ramboll 0.5 (40 %)

4.7 ANALYYSIKUSTANNUKSET

Avoimen tarjouskilpailun perusteella puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden tarjoamien analyysien hintahaarukat on esitetty taulukossa 4.8.

Taulukko 4.8. Analyysipaketin 1 aineiden analyysikustannukset (alv 0 %). Huomioon on otettu puitejärjestelyyn päässeiden laboratorioiden tarjouksissaan ilmoittamat hinnat.

Aineen nimi	Analyysihinnat (EUR)
Analyysipaketti 1	
Alkyyliifenolit ja alkyyliifenolietoksilaatit	200 – 235.30
Ftalaatit	100 – 185
Bromatut difenyylietterit	490
Tributyyliitina	100 – 218.75
Diuronit	50 – 368.75
MCPA	50 – 368.75
Raskasmetallit	120
<i>Yhteensä:</i>	<i>n. 1110 – 1987 EUR</i>
Analyysipaketti 2	
Heksabromosyklododekaani	490 – 531.25
Perfluoro-oktaanisulfonaatti	215.70 – 231.25
Sybutryyni	196
Sypermetriini	196.10 – 200
Aklonifeeni	14 – 200
Terbutryyni	14 – 406.25
Bifenoksi	14 – 250
Hormonit	165 – 253.30
Lääkeaineet	200 – 520
Triklosaani	130 – 280
Sinkki ja sen yhdisteet	6 – 55
Glyfosaatti ja AMPA	110 – 220
Vapaa syanidi	30 – 70
<i>Yhteensä:</i>	<i>n. 1781 – 3413 EUR</i>
Analyysipaketti 3	
Endosulfaani	406.25
PCDD	350 – 550
PCDF	350 - 550
PCB	167 - 560
PCDD + PCDF + PCB *	915
<i>Yhteensä:</i>	<i>n. 1273 – 1321 EUR</i>
Analyysipaketti 4	
(Bentsotiatsoli-2-yyliitio)metyylisyanaatti (TCMTB)	200 – 220
Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	200 – 220
<i>Yhteensä:</i>	<i>400 – 440 EUR</i>

* yksi laboratorio ilmoitti kokonaissumman siinä tapauksessa, että kaikki kolme aineryhmää analysoitiin samasta näytteestä

4.8 ANALYYSIMENETELMÄT

Hankkeen puitejärjestelyssä mukana olleiden laboratorioiden ilmoittamat analyysimenetelmät on kuvattu taulukossa 4.9.

Taulukko 4.9. Hankkeeseen valittujen aineiden analyysimenetelmät puitejärjestelyyn valituissa laboratorioissa.

Aineryhmän nimi	Analyysimenetelmän kuvaus
Alkyylifenolit ja alkyyliifenolietoksilatit	ALS: DIN ISO 18857 Eurofins: Hapotus-LLE-GC-MS
Ftalaatit	MetropoliLab: LLE-GC-MS/MS ALS: DIN EN ISO 18856 Eurofins: Hapotus-LLE-GC-MS
Bromatut difenyylietterit	ALS: DIN EN ISO 22032
Tributyylitina	Ambiotica: LLE-GC-ICPMS MetropoliLab: SFS-EN ISO 17353:2004 Ramboll: mod. SFS-EN 17353 SGS: EN ISO 17353 + EN ISO 17294-2 ALS: DIN EN ISO 17353 (F13) Eurofins: Derivatisointi-LLE-GC-MS (vertailukelpoinen ISO 17353 kanssa)
Diuroni	MetropoliLab: SPE-LC-MS/MS Ramboll: mod. ISO 10695 SGS: LC/MS ALS: Application list Applied Biosystems 114AP43-01 Eurofins: ES&T Vol 31, no 2
4-kloori-2-metyylifenoksisietikka-happo (MCPA)	MetropoliLab: SPE-LC-MS/MS Ramboll: mod. ISO 10695 SGS: LC/MS ALS: DIN EN ISO 38407-35 Eurofins: ES&T Vol 31, no 2
Raskasmetallit	Ambiotica: SFS-EN ISO 17852:2006 ja SFS-EN ISO 17294-2:05
Heksabromosyklododekaani	MetropoliLab: HPLC-MS/MS ja GC/MS SGS: LS/MS
Perfluoro-oktaanisulfonaatti	SGS: LC/MS ALS: DIN EN ISO 38407-42
Sybutryyni	ALS: DIN EN ISO 38407-35
Sypermetriini	ALS: DIN EN ISO 6468-F1 Eurofins: ES&T Vol 31, no 2
Aklonifeeni	MetropoliLab: SPE-GC-MS/MS Ramboll: mod. ISO 10695 ALS: Application list Applied Biosystems 114AP43-01 Eurofins: ES&T Vol 31, no 2
Terbutryyni	MetropoliLab: SPE-GC-MS/MS Ramboll: mod. ISO 10695 SGS: LV-GC/MS ALS: Application list Applied Biosystems 114AP43-01 Eurofins: LS/MS/MS suorainjektointi
Bifenoksi	MetropoliLab: SPE-GC-MS/MS Ramboll: mod. ISO 10695 Eurofins: GC-MS

Hormonit	ALS: LLE-GC-MS Eurofins: SPE-derivatisointi-LS-MS/MS
Lääkeaineet	MetropoliLab: HPLC-MS/MS Ramboll: mo. EPA 1694 ALS: Mod. HM-MA U-2-25
Triklosaani	MetropoliLab: GC-MS Ramboll: GC-MS/MS SGS: LV-GC/MS ALS: Application list Applied Biosystems 114AP59-01 Eurofins: SPE-derivatisointi-GC/MS
Sinkki ja sen yhdisteet	Ambiotica: SFS-EN ISO 17294-2:05 MetropoliLab: EN ISO 17294-2:2005 Ramboll: SFS-EN ISO 17294-2 SGS: EN ISO 17294-2 ALS: EPA 2007, ISO 11885 Eurofins: ISO 17294-2
Glyfosaatti ja Aminometyylifosfonihappo (AMPA)	MetropoliLab: Derivatisointi-UPLC-MS/MS Ramboll: UPLC-MS/MS ALS: Application list Applied Biosystems 114P51-01 Eurofins: ISO 21458 muunneltu
Vapaa syanidi	MetropoliLab: SFS 5747:1992 Ramboll: CFA SGS: SFS-5734 ALS: CSN ISO 6703-2 Eurofins: EN ISO 14403
Endosulfaani	SGS: HRGC-HRMS
PCDD ja PCDF	ALS: US EPA 1613 THL: Uutto tolueenilla, rikkiyhdisteiden poisto akt. kuparilla, puhdistus silika- ja alox-pylväällä, fraktiointi hiilellä, GC-HRMS ajo
PCB	MetropoliLab: LLE-HRGC/HRMS Ramboll: mod. EPA 1613, mod. EPA 8280A, EN 1948-2 ALS: ISO 17858 THL: Uutto tolueenilla, rikkiyhdisteiden poisto akt. kuparilla, puhdistus silika- ja alox-pylväällä, fraktiointi hiilellä, GC-HRMS ajo
(Bentsotiatsoli-2-yyllitio)metyylisyanaatti (TCMTB)	MetropoliLab: SPE-UPLC-MS/MS Ramboll: UPLC-MS/MS
Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	MetropoliLab: UPLC-MS/MS suorainjektointi Ramboll: UPLC-MS/MS

4.9 AINEIDEN KÄYTTÄYTYMISEN ARVIOINTI TOXCHEM-MALLINNUKSELLA

Haitta-aineiden käyttäytymistä jätevedenpuhdistamoilla mallinnettiin TOXCHEM-mallinnusohjelmalla (Hydromantis Environmental Software Solutions Inc.). Suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla on pääasiassa käytössä perinteinen aktiivilieteprosessi tai tehostettu biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatiomenetelmällä. TOXCHEM-ohjelmalla rakennettiin mallit vastaamaan näitä biologisen prosessin menetelmiä. Lisäksi molemmilla malleilla testattiin viipymän vaikutusta haitta-aineiden käyttäytymiseen. Biologisen prosessin viipymäaikoja 4 h ja 20 h testattiin molemmilla puhdistamomalleilla. Perinteisen aktiivilietelaitoksen lieteiäksi asetettiin 3 d ja biologisen typenpoistoprosessin 12 d. Tulevan veden lämpötila asetettiin arvoon 14 °C ja pH arvoon 7.0. Ilmastuksen lietepitoisuus oli molemmilla malleilla 4000 mg/l.

TOXCHEM-mallinnusohjelman tietokanta sisältää n. 850 haitta-aineen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, jotka ovat käyttäytymisen mallintamisen perusta. Mitä tarkemmin seuraavat tiedot haitta-aineesta tiedetään sitä tarkemmin sen käyttäytyminen voidaan mallintaa:

- Henryn lain vakio (haihtumisen mallintaminen)
- Vesi-oktanolijakautumisvakio K_{ow} ja/tai adsorptiovakio K_d (lietteeseen sitoutumisen mallintaminen). Jos K_d -arvoa ei tiedetä, arvioidaan sitoutuminen K_{ow} -arvon perusteella.
- Biologinen hajoamisvakio k_{biol} (biohajoamisen mallintaminen). Voidaan määrittää erikseen aerobisille, anaerobisille ja anoksisille olosuhteille. Lisäksi voidaan määrittää erikseen lietteessä tapahtuva hajoaminen sekä vesifaasissa tapahtuva hajoaminen.
- Happovakio pK_a -arvo (ei pakollinen). Happovakio otetaan huomioon määritettäessä aineen ionisoitumista prosessiin säädetyssä pH:ssa.

Osa tutkittavista aineista löytyi TOXCHEM:in tietokannasta. Niille asetetut arvot tarkistettiin ja säädettiin tarvittaessa kirjallisuuden perusteella, jos se nähtiin tarpeelliseksi. Taulukkoon 4.10 on koottu mallissa käytetyt fysikaalis-kemialliset muuttujat. Yksiköinä on käytetty mallin vaatimia yksiköitä, jotka voivat poiketa taulukoissa 3.13 ja 3.14 esitetyistä.

Taulukko 4.10. TOXCHEM-mallinnuksessa käytetyt haitta-aineiden fysikaalis-kemialliset muuttujat.

Aine	Henryn vakio ($\text{atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$)	pK_a	$\log K_{ow}$	K_d (l/g)	k_{biol} (liete) L/mg·h	k_{biol} (vesi) L/mg·h
NP	$4.3 \cdot 10^{-6}$	11.1	4.2	5.89	0.00022	0.00429
NP_xEO	$4.3 \cdot 10^{-6}$	-	4.17	3.89	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$4.2 \cdot 10^{-6}$
OP	$6.9 \cdot 10^{-6}$	-	4.0	0.759	0.000525	$4.2 \cdot 10^{-6}$
OP_xEO	$1.2 \cdot 10^{-7}$	-	4.9	3.89	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$4.2 \cdot 10^{-6}$
DEHP	$3.5 \cdot 10^{-6}$	-	7.5	13.18	0.0001375	0.0001375
DBP	$1.8 \cdot 10^{-6}$	-	4.5	7.54	0.000984 ^{AE} 0.000030 ^A	0.000984 ^{AE} 0.000030 ^A
BBP	$1.3 \cdot 10^{-6}$	-	4.7	3.55	0.000142 ^{AE} 0.00224 ^A	0.000142 ^{AE} 0.00224 ^A
BDE	$6.8 \cdot 10^{-7}$	-	7	251	0.00001	0.00001
Tributyyliini	1.52	6.61	4.1	8.2	0.0161	0.0161
Diuron	$5.0 \cdot 10^{-10}$	-	2.68	0.038	0.0000005 ^A 0.0000008 ^{AX}	0.0000005 ^A 0.0000008 ^{AX}
HBCD	$4.6 \cdot 10^{-5}$	-	7.74	- *	0.00003	0.00003
PFOS	$3.1 \cdot 10^{-9}$	0.14	2.8	1.66	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$4.2 \cdot 10^{-6}$
E2	$3.6 \cdot 10^{-11}$	-	4.01	0.536	0.033	0.033
EE2	$7.9 \cdot 10^{-12}$	-	3.67	0.316	0.000375	0.000375
Diklofenaakki	$4.7 \cdot 10^{-12}$	4.15	4.0	0.015	0.000022 ^A 0.0000017 ^{AX}	0.000022 ^A 0.0000017 ^{AX}
Ibuprofeeni	$1.5 \cdot 10^{-7}$	4.91	3.97	0.02	0.0015	0.0015
Karbamatsepiini	$1.1 \cdot 10^{-10}$	13.9	2.45	0.02	0.000002	0.000002
Triklosaani	$5.0 \cdot 10^{-9}$	-	4.76	3.89	0.0000032	0.0000032
Glyfosaatti	$2.1 \cdot 10^{-12}$	pK_{a1} 0.8 pK_{a2} 3.0 pK_{a3} 6.0 pK_{a4} 10.0	-3.4	- *	0.0000875	0.0000875

^{AE}= anaerobinen, ^A= aerobinen, ^{AX}= Anoksinen

* Tietoa ei löytynyt eikä arvoa ollut myöskään valmiina TOXCHEM-tietokannassa. Tarttumista lietteeseen arvioidaan $\log K_{ow}$ -arvon perusteella.

5 TULOKSET

5.1 ANALYYSIT

Kappaleessa 4.4 esitettiin mittausten epävarmuudet laboratorioiden tarjousasiakirjojen perusteella. Tarjouksessa oli vaatimuksena, että menetelmän laajennettu mittausepävarmuus ($U= 2u$) määritysrajan tasolla oli oltava $< 50 \%$. Tulosten raportoinnin yhteydessä esitetyt mittausepävarmuudet olivat samat tai alle tarjouksessa esitettyjen. Kaikki mittausepävarmuudet olivat alle 50% .

Kappaleessa 4.4 esitettiin kilpailutuksella puitejärjestelyyn valittujen laboratorioiden tarjouksissaan esittämät määritysrajat tutkittaville aineille. Kaikissa analyyseissä tarjouksissa esitettyihin määritysrajoihin ei päästy, joten taulukoissa 5.1 – 5.4 on esitetty toteutuneet määritysrajat niiden laboratorioiden osalta, joihin näytteitä lähetettiin. Erityisesti tulevan jäteveden kohdalla laboratoriot joutuivat joissain näytteissä nostamaan tarjouksessaan esitettyä määritysrajaa. Tulevan jäteveden matriisi voi vaihdella suurestikin puhdistamojen välillä ja samallakin puhdistamolla eri aikoina. Koska mitattavien aineiden pitoisuudet ovat erittäin pieniä, matriisihäiriöitä voi esiintyä. Lähtevässä jätevedessä ongelma ei ole niin suuri, sillä häiritsevän matriisin määrä on alhaisempi. Määritysrajan ylitykset olivatkin lähtevän jäteveden näytteissä tulevaa vettä harvinaisempia.

Hankkeen ohjausryhmä laati ehdotuksen siitä, millä tavoin hankkeeseen osallistuneille vesihuoltolaitoksille korvattiin tästä aiheutunut haitta. Laboratoriot suostuivat ehdotettuihin korvauksiin tai lupasivat toistaa analyysit. Ohjausryhmä arvioi vesihuoltolaitoksille koituneen haitan tapauskohtaisesti asteikolla, vähäinen, kohtalainen, suuri tai erittäin suuri. Analyysihinnasta ehdotettiin alennusta vastaavasti 10% , 25% , 40% tai 50% . Haitan suuruus ja korvausperusteet harkittiin aine- ja analyysikohtaisesti. Arvioinnissa otettiin huomioon mm. määrittelyn hinta, määritysraja ja sen sijoittuminen suhteessa muiden laboratorioiden tarjouksiin ja toteutuneisiin tuloksiin sekä tuloksen tosiasiallinen informaatioarvo. Koska tuleva jätevesi on näytematriisina käsiteltyä jätevettä haastavampi, ehdotettiin korvauksia maksettavaksi vain lähtevän jäteveden näytteiden osalta.

Laboratorioilta tarjouksia pyydettyä on hyvä varmistaa, että määritysraja on ilmoitettu tilaajan haluamassa näytematriisissa. Lisäksi laboratorioiden on hyvä jo tarjous- tai viimeistään tilausvaiheessa kertoa asiakkaalle, että määritysrajan nosto jossain tilanteissa on mahdollista. Tällöin ei jälkikäteen tule yllätyksiä, jos määritysrajaa joudutaan nostamaan. Jo tarjouspyynnössä voidaan edellyttää tai etukäteen sopia mahdollisista korvauksista tai näytteiden uudelleenanalysoinneista, jos tuloksen laatu ei ole sovitun mukainen.

Taulukko 5.1. Analyysipaketin 1 aineiden toteutuneet määrittärajat (korkeimmat ilmoitetut) tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Vihreä= vastaa tarjouksessa esitettyä määrittärajaa. Punainen= määrittärajaa korkeampi kuin tarjouksessa.

Aineen nimi	Toteutuneet määrittärajat (µg/l)					
	ALS		Eurofins			
<i>Alkyyliifenolit ja alkyyliifenolietoksisilaatit:</i>	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
4-NP	0.1 - 1	0.1	0.05 - 2	0.05 - 0.07		
4-NP ₁ EO	0.1 - 1	0.06 - 0.1	0.05 - 2	0.05 - 0.1		
4-NP ₂ EO	0.1	0.03 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1		
OP	0.05 - 0.5	0.01 - 0.1	0.1	0.1		
OP ₁ EO	0.02 - 0.1	0.003 - 0.02	0.1	0.1		
OP ₂ EO	0.02 - 0.8	0.003 - 0.02	0.1	0.1		
<i>Ftalaatit:</i>	MetropoliLab		ALS			
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
DEHP	0.3	0.3	0.4 - 3	0.4 - 1		
BBP	0.1	0.1	0.4 - 0.6	0.4 - 1		
DBP	0.1	0.1	0.3 - 0.4	0.3 - 1		
<i>BDE-yhdisteet</i>	ALS					
	Tuleva		Lähtevä			
BDE-28	0.0001 - 0.0003		0.00004 - 0.0001			
BDE-47	0.0001 - 0.0001		0.00004 - 0.0001			
BDE-99	0.0001 - 0.0007		0.00004 - 0.0001			
BDE-100	0.0001 - 0.0003		0.00004 - 0.0001			
BDE-153	0.0001 - 0.001		0.00004 - 0.0003			
BDE-154	0.0001 - 0.001		0.00004 - 0.0003			
<i>Tributyylitinayhdisteet:</i> tributyylitinakationi	Ambiotica		Metrop.		ALS	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.001 - 0.005	0.001
Diuroni	Metrop.		ALS			
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
	0.05	0.05	0.005	0.005		
MCPA	Metrop.		ALS			
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva		Lähtevä	
	0.02	0.02	0.05		0.05	
<i>Raskasmetallit:</i>	Ambiotica					
	Tuleva			Lähtevä		
Hg	0.004			0.004		
Ni	0.2			0.05		
Pb	0.05			0.01		
Cd	0.01			0.01		

Taulukko 5.2. Analyysipaketin 2 aineiden toteutuneet määrittärajat (korkeimmat ilmoitetut) tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Vihreä= vastaa tarjouksessa esitettyä määrittärajaa. Punainen= määrittärajaa korkeampi kuin tarjouksessa.

Aineen nimi	Toteutuneet määrittärajat (µg/l)					
	MetropoliLab					
<i>HBCD-yhdisteet</i>	Tuleva		Lähtevä			
1,2,5,6,9,10- HBCD	0.05		0.0001			
α-HBCD	0.0005		0.0001 – 0.00012			
β-HBCD	0.0001		0.0001 – 0.00012			
γ-HBCD	0.0001		0.00009 – 0.00012			
PFOS	Tuleva			Lähtevä		
	0.01 – 1			0.005 – 1		
Sybutryyini	Tuleva					Lähtevä
	0.01					0.01
Sypermtriini	Tuleva					Lähtevä
	0.01 – 0.2					0.001
Aklonifeeni	MetropoliLab			ALS		
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
	0.01	0.01	0.003	0.003		
Terbutryyini	Tuleva					Lähtevä
	0.1					0.01
Bifenoksi	Tuleva					Lähtevä
	0.3					0.03
Hormonit:	ALS			Eurofins		
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
17α-etinyyliestradioli	0.001 – 0.1	0.001	0.001 – 0.005	0.001		0.001
17β-estradioli	0.005 – 0.1	0.005	0.001			0.001
Lääkeaineet	MetropoliLab		ALS		Ramboll	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
Diklofenaakki	0.05	0.05	0.01	0.01	0.05 - 0.5	0.05
Ibuprofeeni	0.05	0.05	0.01	0.05 - 1	0.05	0.5
Karbamatsepiini	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.05
Trikloraani	Metrop.		Ramboll		ALS	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
	0.1	0.1	0.05	0.05	0.006	0.01
Sinkki ja sen yhdisteet	Tuleva					Lähtevä
	2					2
Torjunta-aineet	MetropoliLab		ALS		Eurofins	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
Glyfosaatti	0.1	0.1	0.05	0.1	0.01	0.01
AMPA	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.01
Vapaa syanidi	Metrop.			SGS		
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä		
	5	5	10	10		

Taulukko 5.3. Analyysipaketin 3 aineiden toteutuneet (korkeimmat ilmoitetut) määrittärajat lähteessä jätevedessä. Vihreä= vastaa tarjouksessa esitettyä määrittärajaa. Punainen= määrittärajaa korkeampi kuin tarjouksessa.

Aineen nimi	Toteutuneet määrittärajat (µg/l)	
Endosulfaani	SGS 0.00015	
<i>Dioksiinit (PCDD)</i>	ALS	THL
2,3,7,8-T4CDD	0.0000029	0.00000023
1,2,3,7,8-P5CDD	0.0000035	0.00000033
1,2,3,4,7,8-H6CDD	0.0000048	0.00000052
1,2,3,6,7,8-H6CDD	0.0000048	0.00000049
1,2,3,7,8,9-H6CDD	0.0000048	0.00000047
1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	0.000064	0.00000056
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD	0.00011	0.000001
<i>Furaanit (PCDF)</i>	ALS	THL
2,3,7,8-T4CDF	0.0000056	0.00000014
1,2,3,7,8-P5CDF	0.0000015	0.00000014
2,3,4,7,8-P5CDF	0.0000015	0.00000019
1,2,3,4,7,8-H6CDF	0.000004	0.00000043
1,2,3,6,7,8-H6CDF	0.0000036	0.00000029
1,2,3,7,8,9-H6CDF	0.0000036	0.00000033
2,3,4,6,7,8-H6CDF	0.0000036	0.00000042
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0.000083	0.00000056
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	0.000083	0.00000039
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF	0.000075	0.0000011
<i>Polyklooratut bifenyylit (PCB)</i>	Metrop.	THL
3,3',4,4'-T4CB (PCB 77)	0.00005	0.000003
3,3',4',5-T4CB (PCB 81)	0.00005	0.00000013
2,3,3',4,4'-P5CB (PCB 105)	0.0005	0.0000065
2,3,4,4',5-P5CB (PCB 114)	0.0002	0.0000017
2,3',4,4',5- P5CB (PCB 118)	0.001	0.000014
2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 123)	0.0002	0.000002
3,3',4,4',5-P5CB (PCB 126)	0.00005	0.00015
2,3,3',4,4',5-H6CB (PCB 156)	0.0002	0.000032
2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 157)	0.0002	0.0000013
2,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 167)	0.0002	0.0000013
3,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 169)	0.00005	0.00000017
2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (PCB 189)	0.0002	0.0000008
PCDD+PCDF+PCB (TEQ) ¹⁾	ALS+ ML 0.0000193	THL 0.0000159

¹⁾ Ks. WHO 2005

Taulukko 5.4. Analyysipaketin 4 aineiden toteutuneet määrittämissrajat (korkeimmat ilmoitetut) tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Vihreä= vastaa tarjouksessa esitettyä määrittämissrajaa. Punainen= määrittämissraja korkeampi kuin tarjouksessa.

Aineen nimi	Toteutuneet määrittämissrajat (µg/l)			
	MetropoliLab		Ramboll	
(Bentsotiatsoli-2-yyliiti)metyyliisyyanaatti (TCMTB)	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
		0.1	0.1 - 1	0.1
Bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT)	MetropoliLab		Ramboll	
	0.5		0.5	
	Tuleva	Lähtevä	Tuleva	Lähtevä
	0.5	0.5	0.5	0.5

Taulukoissa 5.5 ja 5.6 on esitetty hankkeen tavoitemäärittämissrajat sekä alimmat toteutuneet määrittämissrajat. Taulukosta saa hyvän kuvan siitä, millä tasolla analyttisten menetelmien kyky määrittää haitta-aineiden alhaisia pitoisuuksia jätevesissä on verrattuna direktiivien ja asetusten vaatimuksiin. Tavoitemäärittämissraja laskettiin alimman EQS-arvon mukaan seuraavasti: 0.3 x EQS. Niille aineille, joille EQS-arvoa ei ole määrätty, ohjausryhmä arvioi tavoitemäärittämissrajan suuruuden. Dioksiinien, furaanien ja polykloorattujen bifenyyliden osalta tavoitemäärittämissrajat pystyttiin alittamaan. Vain yhden kongeneerin (PCB114) osalta tulevassa jätevedessä tavoitteeseen ei päästy. Muiden aineiden osalta sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä tavoitemäärittämissrajaan ei päästy 22 aineella 42:sta (52 %). Kaupina tavoitemäärittämissrajasta oltiin tributyyliitinin, PFOS:in, sybutryynin ja sypermetriinin osalta.

Asetuksen 868/2010 liitteessä 3 on todettu, että jos tiettyä parametria varten ei ole käytettävissä analyysimenetelmää, joka täyttää asetuksessa määritetyt suorituskykyä koskevat vähimmäisvaatimukset, haitta-aineiden seuranta suoritetaan käyttäen parhaita käytettävissä olevia tekniikoita, joista ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia. Hankkeessa tehdyn kilpailutuksen ja saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta, että analysoitaessa käsittelemätöntä tai käsiteltyä jätevettä usean aineen kohdalla joudutaan jatkossa hyödyntämään menetelmiä, jossa asetuksessa asetetut määrittämissrajaa koskevat vaatimukset eivät täyty.

Taulukko 5.5. Tutkittujen aineiden analyysien tavoitemääritysrajat sekä alimmat toteutuneet määritysrajat tulevassa ja lähtevässä jätevedessä ($\mu\text{g/l}$). Tavoitemääritysrajaan päässeet tai sen alittaneet arvot on merkitty vihreällä ja ylittäneet arvot punaisella.

	Tavoite	Tuleva jätevesi	Lähtevä jätevesi
NP	0.03	0.05	0.05
NP ₁ EO	0.06	0.05	0.05
NP ₂ EO	0.06	0.1	0.03
OP	0.001	0.05	0.01
OP ₁ EO	0.002	0.02	0.003
OP ₂ EO	0.002	0.02	0.003
DEHP	0.4	0.3	0.3
DBP	0.4	0.1	0.1
BBP	0.3	0.1	0.1
BDE-28	0.00001	0.0001	0.00004
BDE-47	0.00001	0.0001	0.00004
BDE-99	0.00001	0.0001	0.00004
BDE-100	0.00001	0.0001	0.00004
BDE-153	0.00001	0.0001	0.00004
BDE-154	0.00001	0.0001	0.00004
Tributyylitina	0.00006	0.0002	0.0002
Diuroni	0.06	0.005	0.005
MCPA	0.05	0.02	0.02
Elohopea	0.015	0.004	0.004
Kadmium	6	0.01	0.01
Lyijy	2	0.05	0.01
Nikkeli	0.02	0.2	0.05
HBCD	0.00005	0.05	0.0001
PFOS	0.00004	0.01	0.005
Sybutryyni	0.00075	0.01	0.01
Sypermetriini	0.000002	0.01	0.001
Aklonifeeni	0.004	0.003	0.003
Terbutryyni	0.002	0.1	0.01
Bifenoksi	0.004	0.3	0.03
E2	0.0003	0.001	0.001
EE2	0.03	0.001	0.001
Diklofenaakki	0.01	0.01	0.01
Ibuprofeeni	0.01	0.01	0.05
Karbamatsepiini	0.01	0.01	0.01
Triklosaani	0.05	0.006	0.01
Sinkki	10	2	2
Glyfosaatti	100	0.01	0.01

AMPA	100	0.05	0.05
Endosulfaani	0.00015	0.00015	0.00015
Vapaa syanidi	5	5	5
TCMTB	0.005	0.1	0.01
MBeT	0.02	0.5	0.5

Taulukko 5.6. Dioksiinien, furaanien ja polykloorattujen bifenyyliden analyysien tavoitemääritysrajat sekä alimmat toteutuneet määritysrajat tulevassa ja lähtevässä jätevedessä ($\mu\text{g/l}$). Tavoitemääritysrajaan päässeet tai sen alittaneet arvot on merkitty vihreällä ja ylittäneet arvot punaisella.

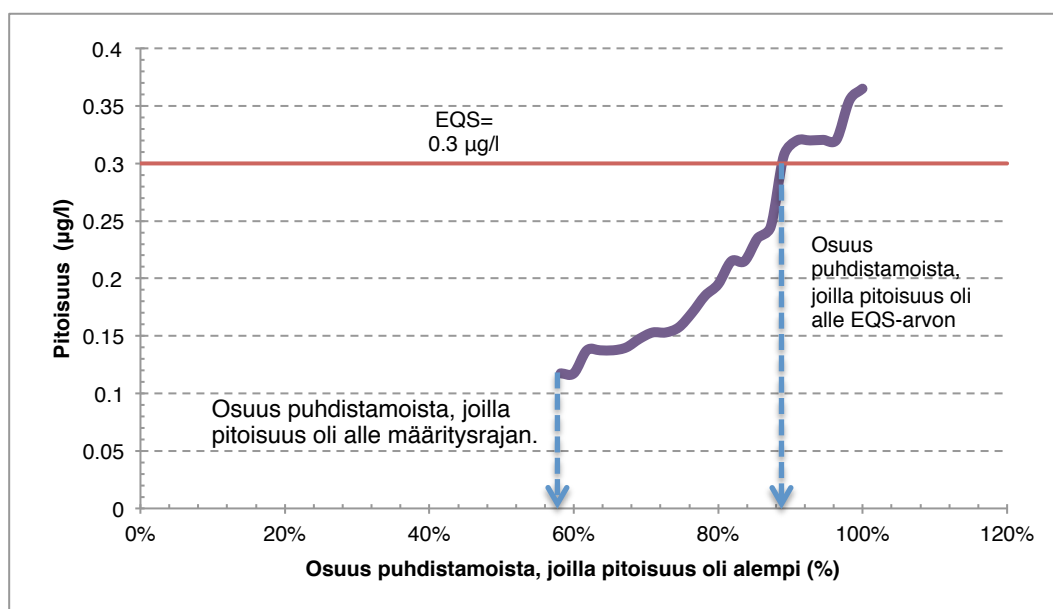
Aine	Tavoite	Tuleva jätevesi	Lähtevä jätevesi
<i>Dioksiinit (PCDD)</i>			
2,3,7,8-T4CDD	0.000001	0.00000017	0.00000016
1,2,3,7,8-P5CDD	0.000001	0.00000029	0.00000029
1,2,3,4,7,8-H6CDD	0.000001	0.00000060	0.00000045
1,2,3,6,7,8-H6CDD	0.000001	0.00000043	0.00000004
1,2,3,7,8,9-H6CDD	0.000001	0.00000051	0.00000041
1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	0.000001	0.00000018	0.00000056
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD	0.000001	0.00000039	0.00000001
<i>Furaanit (PCDF)</i>			
2,3,7,8-T4CDF	0.000001	0.00000017	0.00000013
1,2,3,7,8-P5CDF	0.000001	0.00000023	0.00000013
2,3,4,7,8-P5CDF	0.000001	0.00000032	0.00000018
1,2,3,4,7,8-H6CDF	0.000001	0.00000043	0.00000043
1,2,3,6,7,8-H6CDF	0.000001	0.00000027	0.00000026
1,2,3,7,8,9-H6CDF	0.000001	0.00000039	0.00000028
2,3,4,6,7,8-H6CDF	0.000001	0.00000033	0.00000032
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0.000001	0.00000076	0.00000056
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	0.000001	0.00000046	0.00000031
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF	0.000001	0.00000094	0.00000011
<i>Polyklooratut bifenyylit (PCB)</i>			
3,3',4,4'-T4CB (PCB 77)	0.00004	0.0000044	0.000003
3,3',4',5'-T4CB (PCB 81)	0.00004	0.0000061	0.0000013
2,3,3',4,4'-P5CB (PCB 105)	0.00004	0.00000037	0.0000065
2,3,4,4',5'-P5CB (PCB 114)	0.00004	0.000007	0.0000017
2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 118)	0.00004	0.0000029	0.000014
2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 123)	0.00004	0.000028	0.0000014
3,3',4,4',5'-P5CB (PCB 126)	0.00004	0.00000038	0.00015
2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 156)	0.00004	0.000032	0.000032
2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 157)	0.00004	0.000018	0.0000013
2,3',4,4',5',5'-H6CB (PCB 167)	0.00004	0.000018	0.0000013
3,3',4,4',5',5'-H6CB (PCB 169)	0.00004	0.00000041	0.00000017
2,3,3',4,4',5',5'-H7CB (PCB 189)	0.00004	0.000026	0.0000007

5.2 AINEKOHTAISET TULOKSET

5.2.1 Tulosten tarkastelumenetelmät

Kaikista tehdyistä analyyseistä laskettiin ainekohtaisesti keskiarvot ja mediaanit. Jos mittaustulos oli alle määrittärajän käytettiin laskuissa määrittärajän puolikasta joitakin poikkeuksia lukuunottamatta. Poikkeuksista on erikseen kerrottu kyseisten aineiden tulosten yhteydessä. Jos tällä tavoin laskettu keskiarvon tai mediaanin lukuarvo oli alle määrittärajän, merkittiin tuloksen olevan alle määrittärajän. Liitteessä 3 on esitetty kaikkien puhdistamojen tulokset, joista yhteenvedot on laskettu.

Jos määrittärajän ylittäneitä tuloksia oli riittävä määrä, piirrettiin haitta-aineille pitoisuuksien pysyvyyskäyrät sekä tulevan että lähtevän jäteveden tuloksille. Kuvassa 5.1 on esitetty pysyvyyskäyrän esimerkki.



Kuva 5.1. Esimerkki pysyvyyskäyrästä. Niille aineille, joilla EQS-arvo on määrätty se on piirretty lähtevän jäteveden pitoisuuksien pysyvyyskäyrään.

Tulokset käsiteltiin myös puhdistamon koon, maantieteellisen sijainnin, teollisuusjätevesiosuuden, biologisen prosessimenetelmän sekä jälkikäsittelymenetelmän mukaan. Nämä tulokset on esitetty liitteissä 4-8.

Haitta-aineiden poistumat laskettiin tulevan ja lähtevän veden tuloksista niille puhdistamoille, joilla haitta-aine analysoitiin sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä ja tulevan jäteveden pitoisuus ylitti määrittärajän. Jos lähtevän jäteveden pitoisuus oli alle määrittärajän, käytettiin laskuissa määrittärajän puolikasta.

Mitatuista pitoisuuksista sekä puhdistamoiden ilmoittamista virtaamatiedoista laskettiin aineiden kuormat puhdistamoille. Puhdistamot ilmoittivat näytteenottopäiväkijassaan näytteenottopäivän virtaaman laitokselle. Haitta-aineiden kuormat puhdistamoille ja vesistöön laskettiin kertomalla virtaama-arvot haitta-aineiden pitoisuuksilla. Jos näytteenottopäivän virtaamaa ei oltu ilmoitettu, käytettiin puhdistamon taustakyselyssä

ilmoittamaa laitoksen keskimääräistä virtaamaa. Jos mitattu pitoisuus oli alle määritysrajan, huomioitiin laskuissa määritysrajan puolikas. Jos mittauksista > 90 % oli alle määritysrajan, kuormituksia ei laskettu. Kuormitus asukasta kohti vuodessa Suomessa laskettiin kaavalla 1, jossa n= puhdistamoiden määrä. Kokonaiskuorma taajama-alueilla Suomessa laskettiin kaavalla 2. Siinä on otettu huomioon, että taajama-alueilla asuu noin 4,5 miljoonaa suomalaista. Tämä osuus väestöstä on liittynyt viemäriverkkoon.

$$\text{Kuorma (g/as/v)} = \sum_1^n \frac{\text{Haitta-aineen kuorma puhdistamolle (g/d)}}{\text{Viemäriverkoston liittyneiden määrä (as)}} \cdot 365 \text{ d/v} \quad (1)$$

$$\text{Kuorma taajama-alueilla (g/d)} = \frac{\text{Kuorma (g/as/v)} \cdot 4\,500\,000 \text{ as}}{365 \text{ d/v}} \quad (2)$$

Haitta-aineille ilmoitetut pitoisuuksista lasketut poistumat voivat erota jonkin verran kokonaiskuormista lasketuista poistumista. Tämä johtuu siitä, että laskettaessa kuormituksia, otettiin huomioon myös ne laitokset, joissa pitoisuusmittaukset olivat alle määritysrajan. Pitoisuuksista lasketuissa poistumissa huomioitiin vain tulosparit, joissa tulevan jäteveden mittausero ylitti määritysrajan.

5.2.2 Nonyylifenoli –ja etoksilaatit

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.2. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5.2. Yhteenveto nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksista. Määrittärajat ks. taulukko 5.1.

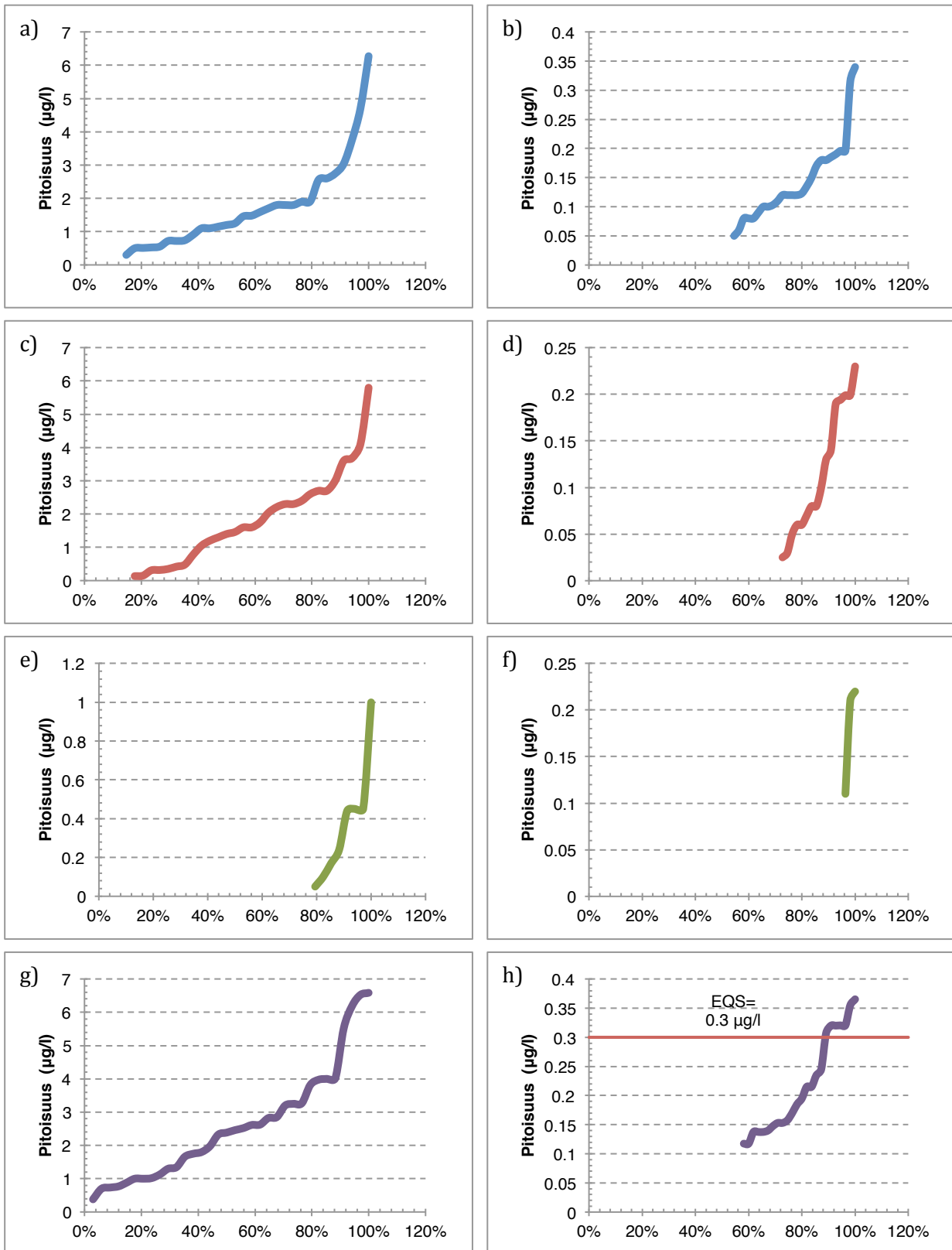
	NP	NP ₁ EO	NP ₂ EO	NP + NP _x EO TEQ ¹⁾
Tuleva jätevesi				
n	34	34	34	34
n > mr	29	29	7	29
Min (µg/l)	< 1	< 0.3	< 0.1	0.38
Max (µg/l)	6.28	5.8	1.0	6.6
Keskiarvo (µg/l)	1.61	1.70	0.33	2.48
Mediaani (µg/l)	1.23	1.53	0.30	2.42
Lähtevä jätevesi				
n	56	56	56	55
n > mr	25	14	3	25
Min (µg/l)	<0.05	<0.05	<0.03	< 0.125
Max (µg/l)	0.340	0.230	0.220	0.49
Keskiarvo (µg/l)	0.09	0.08	0.06	0.16
Mediaani (µg/l)	0.05	0.05	0.05	< 0.125
AA-EQS (µg/l)	-	-	-	0.3
MAC-EQS (µg/l)	-	-	-	2
n (puhdistamot, joilla AA-EQS ylittyi)	-	-	-	8

AA= vuosikeskiarvo,

¹⁾ TEF: NP= 1, NP_xEO= 0.5 (WHO 2005) (tuloksen ollessa <mr käytettiin laskuissa määrittärajän puolikasta)

Yhteenveto tuloksista

- Nonyylifenolin (NP) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 1.61 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.10 µg/l. Nonyylifenolimonooksisilaatin pitoisuudet olivat samaa luokkaa (tuleva 1.70 µg/l ja lähtevä 0.07 µg/l). Nonyylifenolidietoksilaatin pitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä selvästi alemmat (0.33 µg/l), mutta lähtevässä jätevedessä samaa luokkaa nonyylifenolin ja -monooksisilaatin kanssa (0.06 µg/l).
- Nonyylifenolien ja –etoksilaattien (NP + NP_xEO) summaparametrin pitoisuus oli tulevassa jätevedessä keskimäärin 2.48 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.16 µg/l. Kahdeksan puhdistamon osalta summaparametrin EQS-arvo 0.3 µg/l lähtevässä jätevedessä ylittyi. Näillä puhdistamoilla NP + NP_xEO TEQ oli välillä 0.31 – 0.49 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.03 – 1.63.



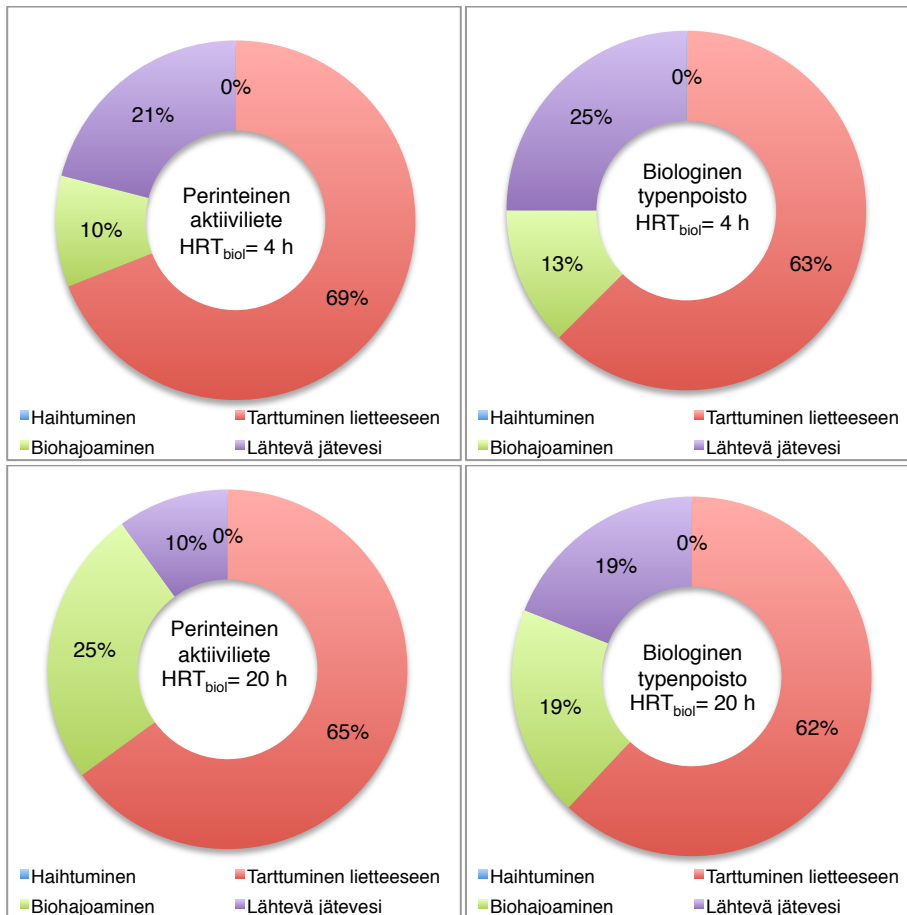
Kuva 5.3. Nonyylifenolin ja -etoksilaattien pysyvyysskäyrät tulevassa ja lähtevässä jätevedessä: a) NP tuleva, b) NP lähtevä, c) NP₁EO tuleva, d) NP₁EO lähtevä, e) NP₂EO tuleva, f) NP₂EO lähtevä, g) NP + NP_xEO tuleva ja h) NP + NP_xEO lähtevä. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Nonyylifenolia mitattiin yli määrittäysrajan 85 % tulevan jäteveden näytteistä ja lähtevässä jätevedessä 45 % näytteistä (kuva 5.3). NP₁EO:n osalta luvut olivat 86 % ja 25 %. NP₂EO mitattiin lähtevässä vedessä yli määrittäysrajan vain 5 % näytteistä ja tulevassakin jätevedessä selvästi nonyylifenolia ja -monoetoksilaattia harvemmin (21 %).
- Tulevan jäteveden NP + NP_xEO –pitoisuus oli < 50 000 AVL:n puhdistamoilla hieman isompia puhdistamoita pienempi (liite 4). Lähtevän jäteveden näytteissä 50 000 – 99 999 AVL:n puhdistamoilla pitoisuus oli < 0.125 µg/l ja muilla melko tasaisesti noin 0.15 µg/l.
- Etelä-Suomen puhdistamoiden tulevassa jätevedessä nonyylifenolia ja –etoksilaatteja oli selvästi muita alueita enemmän eli keskimäärin 3.25 µg/l (n= 13) (liite 5). Itä-Suomen puhdistamoilla pitoisuus oli alhaisin, 0.88 µg/l, mutta arvo perustuu vain yhden puhdistamon tulokseen. Muilla alueilla pitoisuudet olivat samalla tasolla eli noin 2.5 µg/l.
- Lähtevän jäteveden osalta puhdistamon maantieteellisellä sijainnilla ei ollut merkittävästi vaikutusta nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksiin (liite 5).
- Selkeää trendiä ei havaittu nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksien ja puhdistamolle tulevan jäteveden teollisuusjätevesiprosentin välillä (liite 6). On kuitenkin huomioitavaa, että korkea teollisuusjätevesien osuus saattaa laskea nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksia. Näiden haitta-aineiden tärkein lähde on kuluttajat, jolloin teollisuusjätevedet laimentavat näytettä ja pitoisuudet laskevat.
- Puhdistamoiden ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden NP + NP_xEO-pitoisuuksiin. Puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella esiintyi pesuloita, pitoisuus jätevedessä oli keskimäärin 2.9 µg/l, kun taas puhdistamoilla, jotka eivät vastaanota pesuloiden jätevesiä, keskimääräinen pitoisuus oli 2.1 µg/l. Suurin ero oli lentokenttien esiintymisessä viemäröintialueella. Jos viemäröintialueella oli lentokenttä, jäteveden NP + NP_xEO –pitoisuus oli keskimäärin 3.4 µg/l verrattuna pitoisuuteen 2.3 µg/l, jos lentokenttiä ei viemäröintialueella ollut. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden NP + NP_xEO –pitoisuuksissa havaittu.
- Suurin vaikutus nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuteen lähtevässä jätevedessä oli laitoksen puhdistusprosessilla (liite 7). Korkein pitoisuus mitattiin puhdistamolla, jossa jätevesiä ei puhdistettu biologisesti. Biologisen typenpoistoprosessin jälkeiset pitoisuudet olivat noin 20 % perinteistä aktiivilieteprosessia alhaisemmat.
- Jälkikäsittelymenetelmistä alhaisimmat nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuudet mitattiin UV-desinfiointin jälkeen (liite 8). Menetelmä oli käytössä kahdella puhdistamolla. Muiden jälkikäsittelymenetelmien (biologinen suodatin, hiekkasuodatus ja kemikalointi ja flotaatio) jälkeiset pitoisuudet olivat samalla tasolla tai hieman korkeampia kuin puhdistamoilla, joilla ei ollut käytössä jälkikäsittelymenetelmiä.

- Nonyylifenolin ja –etoksilaattien poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

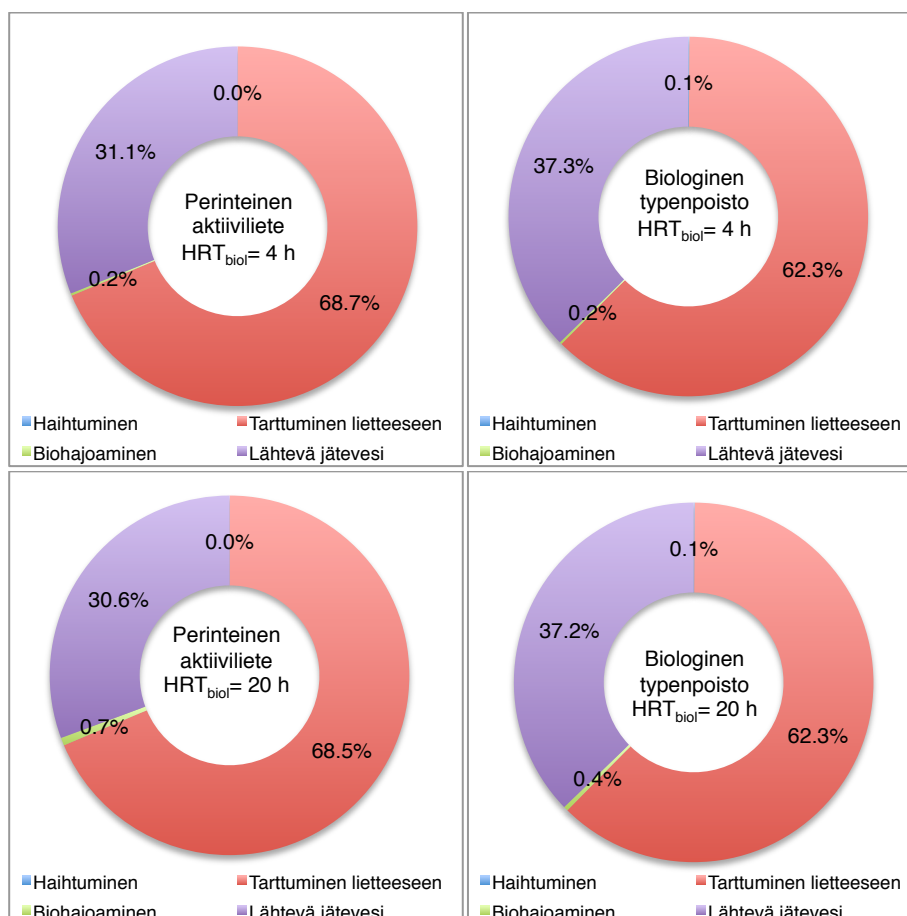
	NP	NP ₁ EO	NP ₂ EO
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	1245	984	164
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	38	29	29
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	92 % (35 – 99 %)	96 % (83 – 99 %)	83 % (71 – 89 %)

- Nonyylifenolien ja –etoksilaattien poistumat puhdistamoilla olivat pääsääntöisesti > 90 %. Merkittäviä eroja poistumisissa ei havaittu puhdistamon koon mukaan tarkasteltuna (liite 9).
- Biologinen typenpoistoprosessi poisti nonyylifenolia ja –etoksilaatteja keskimäärin 96 % (liite 10). Perinteisessä aktiivilieteprosessissa keskimääräinen poistuma oli hieman alempi (89 %).
- Jälkikäsitteilynä kemikalointia ja flotaatiota käyttävillä laitoksilla nonyylifenolien ja –etoksilaattien poistumat olivat keskimäärin alhaisimpia (77 %) (liite 11). Tosin tässä yhden puhdistamon alhainen poistuma (47 %) alensi ryhmän tulosta selvästi.
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.4) pääosa nonyylifenolista eli 62 – 69 % tulevasta kuormasta tarttuu lietteeseen ja 10 – 25 % biohajoaa. Haihtumista ei tapahdu. Biologisen puhdistuksen viipymän pidentäminen tehostaa nonyylifenolin poistumista. On huomioitavaa, että nonyylifenolietoksilaatit voivat hajota nonyylifenoliksi ja lisätä näin aineen pitoisuutta vedessä. Tätä ei otettu mallinnuksessa huomioon.



Kuva 5.4. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset nonyylifenolin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa.

- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.5) 62 – 69 % nonyylifenolietoksilaateista sitoutuu puhdistuksen aikana lietteeseen. Biohajoaminen ja haihtuminen on mallin mukaan vähäistä. Viipymän pidentäminen ei mallin mukaan merkittävästi lisää biohajoamista eikä sitoutumista lietteeseen.



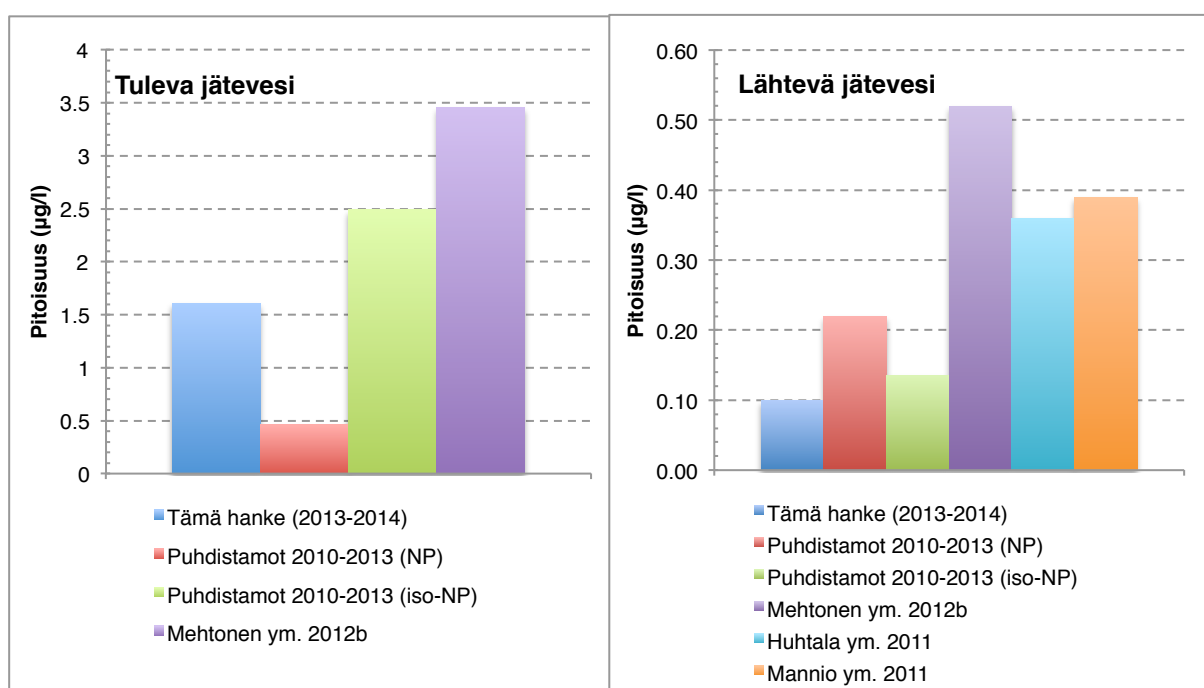
Kuva 5.5. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset nonyylifenolietoksilaattien (NP₁EO + NP₂EO) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Nonyylifenolia ja –etoksilaatteja näyttäisi päätyvän jätevedenpuhdistamoille pääasiassa kotitalouksien jätevesien mukana. Aineita mitattiin suuresta osasta tulevan jäteveden näytteitä eikä tarkastelussa havaittu korkeiden pitoisuuksien liittymistä selkeästi johonkin teollisuuden tai palvelun alaan. Hieman korkeampia pitoisuuksia mitattiin puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella sijaitti lentokenttä. Etelä-Suomen puhdistamoilla nonyylifenolin ja –etoksilaattien pitoisuudet olivat hieman muuta maata korkeammat. Syytä tähän ei osata sanoa.

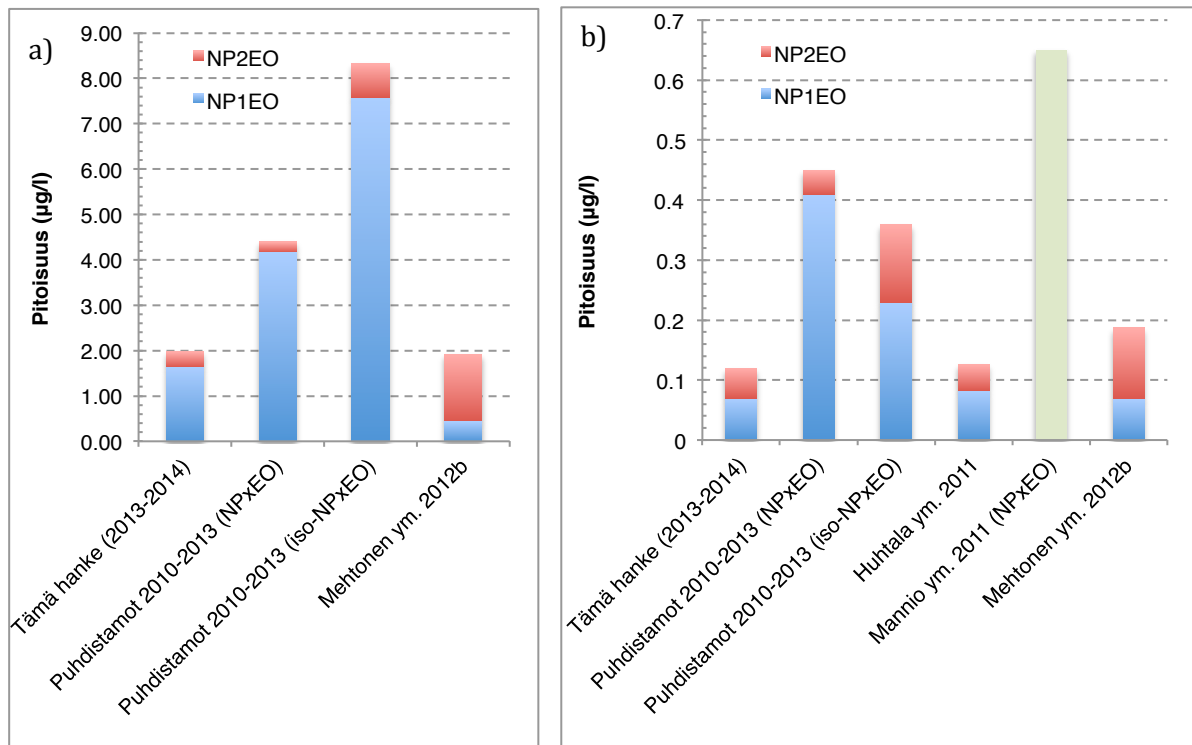
Pitoisuuksien vertailu muiden selvitysten tuloksiin on vaikeaa, koska nonyylifenolia on näissä mitattu useilla eri tavoilla (Kuva 5.6). Tässä selvityksessä mitattiin 4-nonyylifenolin teknistä seosta (CAS 84852-15-3). Muita mahdollisia nonyylifenolimittauksia ovat esimerkiksi 4-n-nonyylifenoli (fenolin hiileen nro 4 on liittynyt suoraketjuinen hiilivetyketju) tai iso-nonyylifenoli (3-nonyylifenoli, jossa fenolin hiileen numero 3 on liittynyt suoraketjuinen hiilivetyketju). Toivikon (2011) raportoimassa selvityksessä kaikki 4-n-nonyylifenolin lähtevän jäteveden näytteet yhdeksältä puhdistamolta olivat alle määritysrajan 0.01 µg/l. Puhdistamoilla on usein mitattu iso-nonyylifenolia ja sen pitoisuudet ovatkin olleet selvästi 4-nonyylifenolin teknistä seosta korkeampia tulevassa jätevedessä (kuva 5.6: Puhdistamot 2010-2013).

Lähtevässä jätevedessä iso-nonyylifenolia oli näiden tulosten mukaan kuitenkin keskimäärin vähemmän kuin 4-nonyylifenolia. Tässä selvityksessä mitatut 4-nonyylifenolin pitoisuudet olivat sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä selvästi alempia kuin Mehtonen ym. (2012b) raportoimissa, vuonna 2008 kolmelta puhdistamolta otetuissa näytteissä. Lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat myös selvästi alempia kuin Mannion ym. (2011) raportoimassa selvityksessä, jossa näytteitä otettiin kymmeneltä puhdistamolta vuosina 2003–2005. Nonyylifenoli on vuodesta 2003 ollut tiettyjä käyttökohteita lukuunottamatta kielletty EU-maissa. Pitoisuudet jätevesissä näyttäisivätkin olevan laskussa. Käyttökielto ei kuitenkaan estä nonyyllifenolia tai nonyyllifenolietoksilaatteja sisältävien tekstiilien tai kosmetiikan tuontia Suomeen EU:n ulkopuolelta. Niin kauan, kun aineiden käyttö on sallittu jossain päin maailmaa, sitä tullaan suurella todennäköisyydellä löytämään myös jätevesistä Suomessa.



Kuva 5.6. Nonyylifenolin mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Nonyylifenolietoksilaattien suhteen tässä selvityksessä monoetoksilaatin osuus oli selvästi dietoksilaattia suurempi tulevassa jätevedessä (kuva 5.7). Mehtonen ym. (2012b) selvityksessä tilanne oli päinvastainen. Lähtevässä jätevedessä etoksilaattien suhde oli tasaisempi. Tässä selvityksessä mitattujen nonyyllifenolietoksilaattien pitoisuudet olivat alempia tai samalla tasolla kuin muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä.



Kuva 5.7. Nonyylifenolietokсилаattien mittausten keskiarvoja tulevassa (a) ja lähtevässä (b) jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa. Mannio ym. 2011 on ilmoitettu ainoastaan etoksilaattien summana.

Sekä nonyyylifenolien että nonyyylifenolimono- ja dietoksilaattien pitoisuudet olivat keskimäärin 80–90 % alemmat lähtevän kuin tulevan jäteveden näytteissä. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan nonyyylifenoli on jossain määrin biohajoava (poistuma 10 – 25 %) ja veden pidempi viipymä biologisessa puhdistuksessa lisää aineen poistumista. Suurin osa nonyyylifenolista kuitenkin tarttuu mallin mukaan lietteeseen (60 – 70 %). Tulokset ovat yhteneviä aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan nonyyylifenolin poistumisesta jätevedenpuhdistamoilla 25 – 55 % voidaan olettaa johtuvan biohajoamisesta ja 50 – 80 % tartumisesta lietteeseen (Samaras ym. 2013, Clara ym. 2012). Mallinnuksen mukaan taas etoksilaatit eivät olisi biohajoavia juuri ollenkaan vaan tarttuisivat pääasiassa lietteeseen (60 – 70 %). Samaras ym. (2013) mukaan etoksilaatit kuitenkin hajoavat puhdistamoilla biologisesti 60 – 70% ja tarttuvat lietteeseen selvästi nonyyylifenolia vähemmän. Stasinakis ym. (2007) mukaan taas NP₁EO olisi osittain biohajoava, kun taas NP₂EO ei biohajoaisi juuri ollenkaan. Tämän selvityksen tuloksista voidaan nähdä, että NP₁EO:n poistumat olivat puhdistamoilla keskimäärin 95 %, mutta NP₂EO:n 83 %, mikä tukee kirjallisuuden näkemystä. Kuitenkin puhdistamolla mitatut poistumat olivat tässä selvityksessä korkeammat kuin mallin arvioima tarttuminen lietteeseen. Voidaan siis olettaa, että ainakin 10 – 30 % etoksilaateista biohajoaa puhdistuksen aikana. Kirjallisuudessa on todettu, että nonyyylifenolietoksilaatit voivat hajota nonyyylifenoliksi. Tämä kuitenkin vaatii anaerobiset olosuhteet. Etoksilaatit hajoavat aerobisissa olosuhteissa nonyyylifenolietoksietikkahapoksi, mutta lopullinen hajoaminen nonyyylifenoliksi vaatii hapettomat olosuhteet (Clara ym. 2005). Tässä selvityksessä kuitenkin nonyyylifenolin poistuminen oli keskimäärin 20 % suurempi biologisilla typenpoistolaitoksilla kuin pelkästään hapellisen puhdistuksen sisältävillä perinteisillä aktiivilietelaitoksilla. Clara

ym. 2007 mukaan nonyylifenolien ja –etoksilaattien poistuminen puhdistamoilla oli > 80 % olipa puhdistamolla käytössä bioroottori, biologinen suodatus, perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida nonyylifenolien + -etoksilaattien massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 2393 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 65 %: 1555 kg/v
- Biohajooa n. 31 %: 742 kg
- Lähtevä jätevesi n. 4 %: 96 kg/v

Mehtonen ym. (2012b) on arvioinut, että Suomessa jätevedenpuhdistamoilta päätyy vuosittain pintavesiin 186 – 267 kg nonyylifenolia ja –etoksilaatteja. Tämän selvityksen mukaan määrä olisi jopa yli puolet tätä arviota alhaisempi.

Tässä selvityksessä ei mitattu aineiden pitoisuuksia lietteissä. Muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä on nonyylifenolia mitattu lietenäytteissä keskimäärin 1 – 10 mg/kg k.a. ja nonyylifenolietoksilaatteja 0.3 – 21 mg/kg k.a. (Mehtonen ym. 2012b, Mannio ym. 2011, Huhtala ym. 2011). Biokaasulaitosten mädätysjäännöksissä NP + NP_xEO –pitoisuudet ovat olleet keskimäärin 11.2 mg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014).

Vaikka nonyylifenolin ja -etoksilaattien poistuminen vesifaasista oli puhdistamoilla tehokasta, mitattiin määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia 45 % lähtevän jäteveden näytteestä. Kahdeksan puhdistamon osalta NP + NP_xEO summaparametrin EQS-arvo 0.3 µg/l lähtevässä jätevedessä ylittyi. Ylitykset olivat kuitenkin vähäisiä ja laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.03 – 1.63.

5.2.3 Oktyylifenoli –ja etoksilaatit

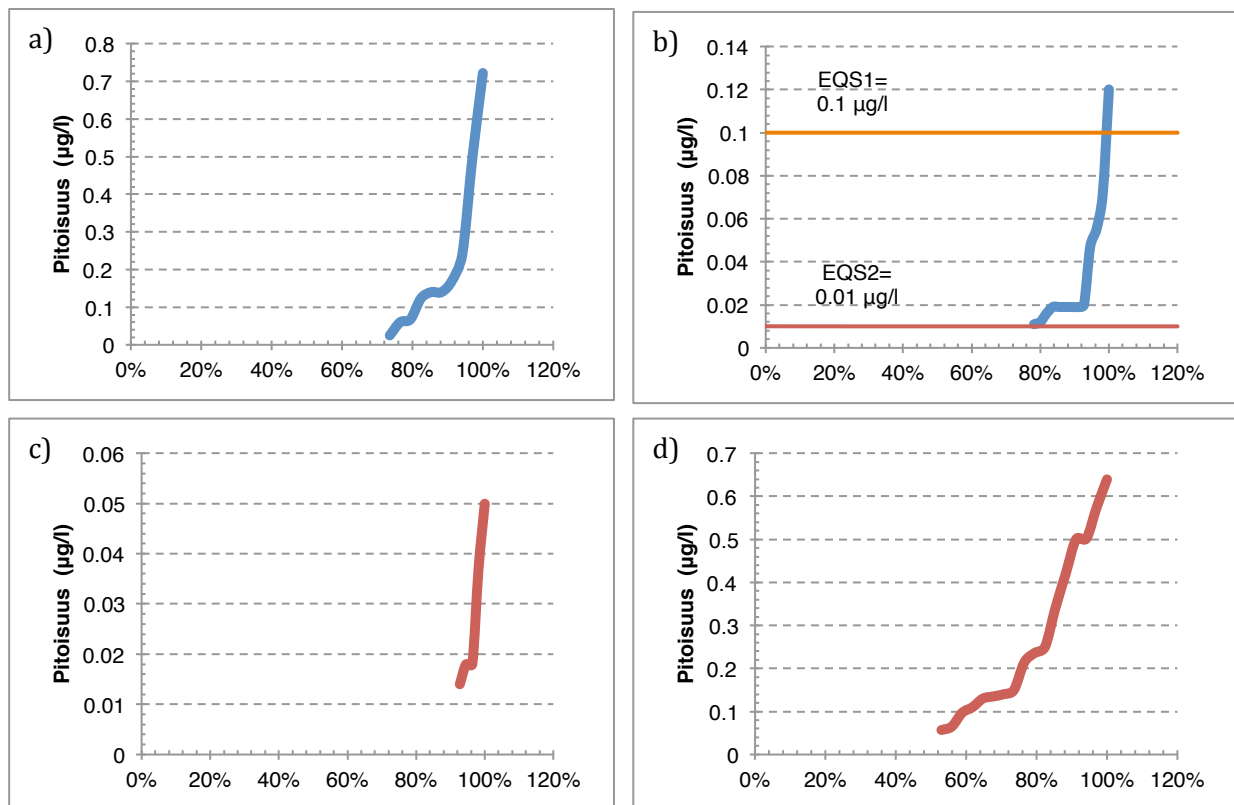
Taulukko 5.3. Yhteenveto oktyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksista. Määrittärajat ks. taulukko 5.1.

	OP	OP ₁ EO	OP ₂ EO
Tuleva jätevesi			
n	34	34	34
n > mr	10	19	0
Min (µg/l)	< 0.1	< 0.09	<0.015
Max (µg/l)	0.72	0.64	<0.8
Keskiarvo (µg/l)	0.12	0.18	<0.015
Mediaani (µg/l)	0.05	0.11	<0.015
Lähtevä jätevesi			
n	56	56	56
n > mr	13	5	3
Min (µg/l)	<0.01	<0.003	<0.003
Max (µg/l)	0.120	0.037	0.14
Keskiarvo (µg/l)	0.04	0.03	0.03
Mediaani (µg/l)	0.05	0.05	0.05
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.1	-	-
AA-EQS (µg/l) rannikot	0.01	-	-
n (puhdistamot, joilla EQS ylittyi)	1 (> 0.1 µg/l) 12 (> 0.01 µg/l)	-	-

AA= vuosikeskiarvo

Yhteenveto tuloksista

- Oktyylifenolin (OP) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.12 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.04 µg/l. Oktyylifenolimonoetoksilaatin pitoisuus oli tulevassa jätevedessä hieman korkeampi (0.18 µg/l), mutta lähtevässä samaa luokkaa (0.03 µg/l). Oktyylifenolidietoksilaatin pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat alle määrittärajän, mutta lähtevässä jätevedessä samaa luokkaa nonyyllifenolin ja -monoetoksilaatin kanssa (0.03 µg/l).
- Oktyylifenolietoksilaateille EQS-arvoja ei ole määrätty. Oktyylifenolille EQS-arvo sisävesille on 0.1 µg/l ja rannikkovesille 0.01 µg/l. Yhden puhdistamon osalta sisävesien EQS-arvo ylittyi (mittaustulos 0.12 µg/l). Kahdentoista puhdistamon osalta rannikkovesien EQS-arvo ylittyi. Näillä puhdistamoilla OP:n pitoisuus oli välillä 0.011 – 0.071 µg/l. On huomioitavaa, että 29 analyysin määrittärajä oli 0.05 µg/l eli rannikkovesien EQS-arvoa korkeampi. Vaikka mittaustulos oli alle määrittärajän, ei se välttämättä ole ollut alle EQS-arvon. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle alhaisimman EQS-arvon puhdistamoilla oli 1.1–12.



Kuva 5.8. Oktyylifenoli ja –monoetoksilaatin pysyvyyskäyrät tulevassa ja lähtevässä jätevedessä: a) OP tuleva, b) OP lähtevä (EQS1= arvo sisävesissä, EQS2= arvo rannikkovesissä), c) OP₁EO tulevassa ja d) OP₁EO lähtevässä. OP₂EO:n arvot olivat pääasiassa alle määrittärajien ja sen pysyvyyskäyriä ei piirretty. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Oktyylifenolia mitattiin yli määrittärajän 29 % tulevan jäteveden näytteistä ja lähtevässä jätevedessä 24 % näytteistä (kuva 5.8). OP₁EO:ta mitattiin yli määrittärajän 56 % tulevan veden näytteessä ja 9 % lähtevän veden näytteessä. OP₂EO mitattiin lähtevässä vedessä yli määrittärajän vain 5 % näytteistä, mutta tulevassa jätevedessä kaikki mittaukset alittavat määrittärajän.
- Tulevan jäteveden OP + OP_xEO –pitoisuus oli pienillä, < 10 000 AVL:n puhdistamoilla alhaisin (alle määrittärajän) (liite 4). Lähtevän jäteveden näytteissä taas alhaisin summaparametrin arvo mitattiin isoilla, > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Pitoisuuserot olivat kuitenkin vähäiset eri kokoisten puhdistamojen välillä.
- Oktyylifenolin + etoksilaattien keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli suurin Lounais-Suomen ja Lapin puhdistamoilla (n. 0.5 µg/l) (liite 5). Itä-Suomen puhdistamoilla pitoisuus oli keskimäärin alle määrittärajän. Sekä Lapin että Itä-Suomen arvot kuitenkin perustuvat vain yhden puhdistamon tuloksiin.
- Lähtevän jäteveden osalta Lounais-Suomen puhdistamojen OP + OP_xEO – pitoisuudet olivat korkeimmat (keskimäärin 0.23 µg/l, n= 5). Matalimmat pitoisuudet mitattiin Etelä-Suomen puhdistamoilla (keskimäärin < 0.145 µg/l, n= 22). Muiden alueiden pitoisuudet olivat tasolla 0.17 µg/l.

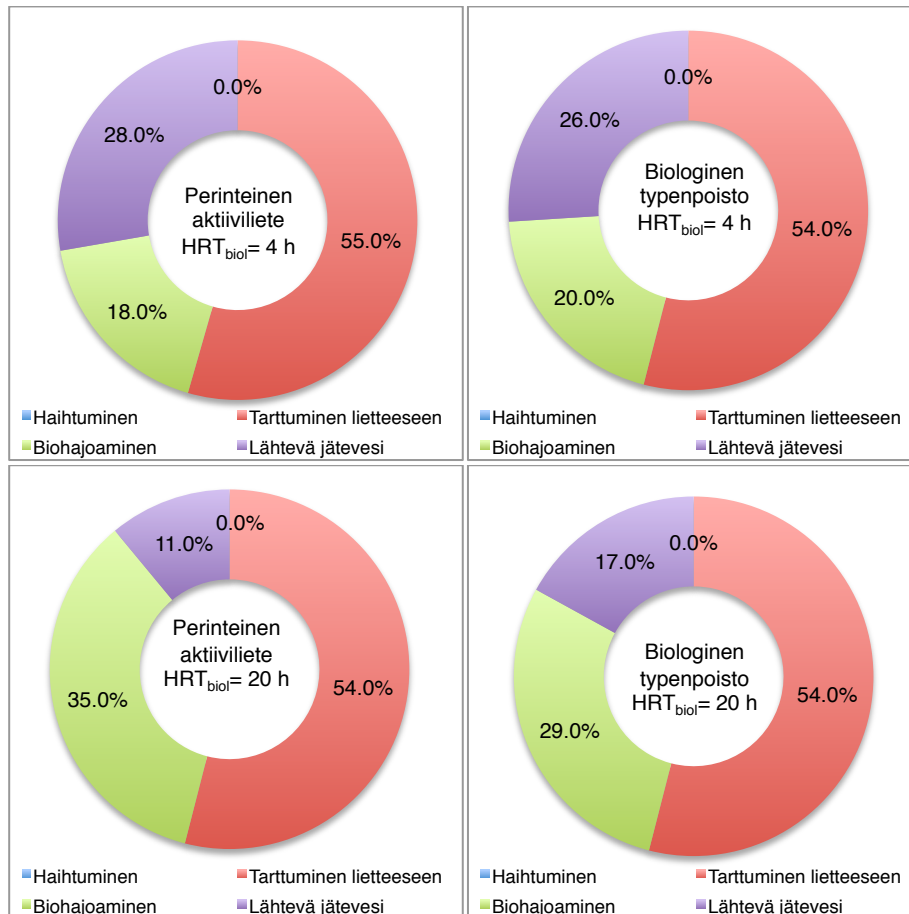
- Selkeää trendiä ei ole havaittavissa oktyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksien ja puhdistamolle tulevan jäteveden teollisuusjätevesiprosentin välillä (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröntialueella sijaitsevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja verrattiin tulevan jäteveden OP + OP_xEO- pitoisuuksiin. Puhdistamoilla, joiden viemäröntialueella esiintyi pesuloita, pitoisuus jätevedessä oli keskimäärin 0.47 µg/l, kun taas puhdistamoilla, jotka eivät vastaanota pesuloiden jätevesiä, pitoisuus oli 0.25 µg/l. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden OP + OP_xEO –pitoisuuksissa havaittu.
- Eri puhdistusprosesseista alhaisin OP + OP_xEO –pitoisuus mitattiin puhdistamolla, jossa jätevedet puhdistetaan ainoastaan mekaanisesti ja kemiallisesti (liite 7). Biologisen typenpoistoprosessin jälkeiset pitoisuudet olivat noin 50 % perinteistä aktiivilieteprosessia alhaisemmat.
- Jälkikäsittelymenetelmistä alhaisimmat oktyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuudet mitattiin biologisen suodatuksen (n= 2) ja hiekkasuodatuksen (n= 5) jälkeen (liite 8). Muiden jälkikäsittelymenetelmien (UV-desinfiointi sekä kemikalointi ja flotaatio) jälkeiset pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin puhdistamoilla, joilla ei ollut käytössä jälkikäsittelymenetelmiä.
- Oktyylifenolin ja –etoksilaattien poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	OP	OP ₁ EO	OP ₂ EO	OP+OP _x EO
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	63	175	Ei voida laskea *	238
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	13	9	10	32
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	65 % (-88 – 98 %)	89 % (62 – 99 %)	Ei voida laskea *	72 % (-27 – 98 %)

* tulevan veden mittaukset alle määritysrajan

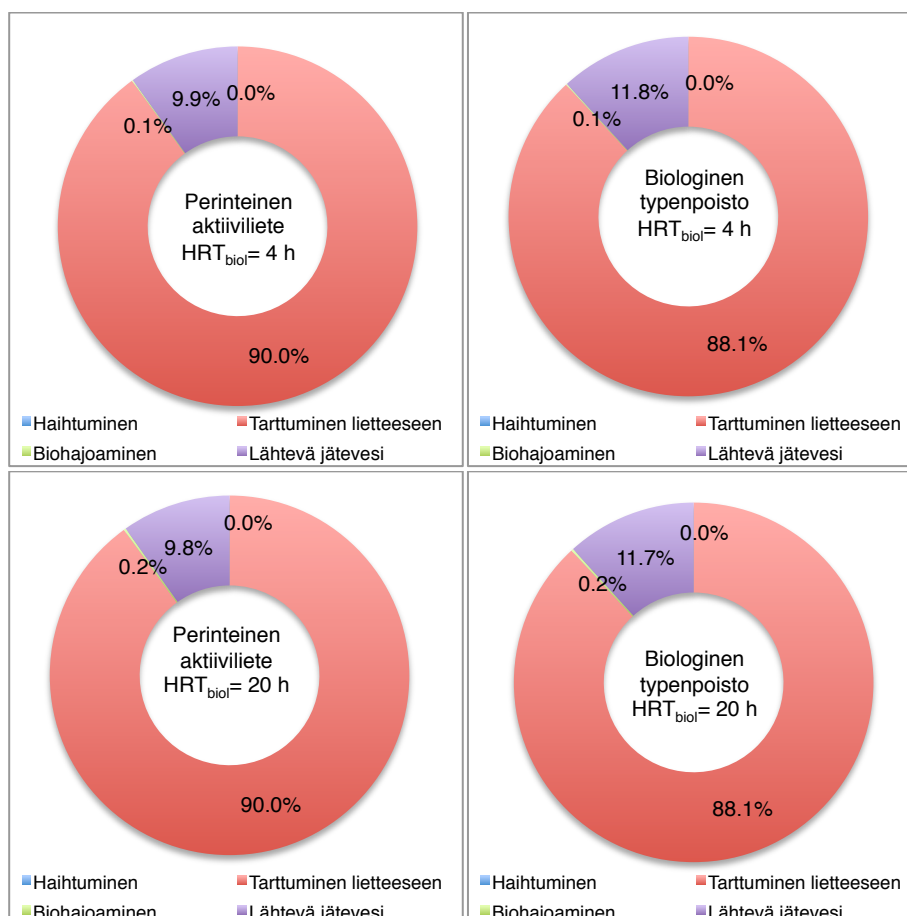
- Oktyylifenolien ja –etoksilaattien poistumat puhdistamoilla olivat pääsääntöisesti > 80 % muutamia poikkeuksia lukuunottamatta. Yhdellä puhdistamolla oktyylifenolin pitoisuus oli lähtevässä jätevedessä tulevaa korkeampi. Puhdistamo oli kokoluokkaa AVL 10 000 – 49 999 ja tämä heijastuu myös keskimääräiseen oktyylifenolien ja –etoksilaattien poistumaan tämän kokoluokan puhdistamoilla.
- Biologista typenpoistoprosessia käytävillä puhdistamoilla oktyylifenoleja ja –etoksilaatteja poistui keskimäärin 92 % (liite 10). Perinteisessä aktiivilieteprosessissa keskimääräinen poistuma oli 63 % ja biologisessa suodattimessa 57 %.

- Jälkikäsittelynä kemikalointia ja flotaatiota käyttävillä laitoksilla nonyyliifenolien ja –etoksilaattien poistumat olivat keskimäärin alhaisimpia (35 %) (liite 11). Korkein poistuma oli biologista jälkisuodatusta harjoittavalla laitoksella, mutta tämä perustuu vain yhteen mittaukseen.



Kuva 5.9. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset oktyylifenolin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.9) pääosa oktyylifenolista eli n. 55 % tulevasta kuormasta tarttuu lietteeseen ja 18 – 35 % biohajoaa. Haihtumista ei tapahdu. Biologisen puhdistuksen viipymän pidentäminen tehostaa oktyylifenolin poistumista hieman. On huomioitavaa, että oktyylifenolietoksilaatit voivat hajota nonyyliifenoliksi ja lisätä näin aineen pitoisuutta vedessä. Tätä ei otettu mallinnuksessa huomioon.
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.10) pääosa oktyylifenolietoksilaateista eli 88 – 90 % tarttuu lietteeseen. Biohajoaminen on vähäistä (< 1 %). Biologisen puhdistuksen viipymän pidentäminen ei vaikuttanut merkittävästi poistumiseen.

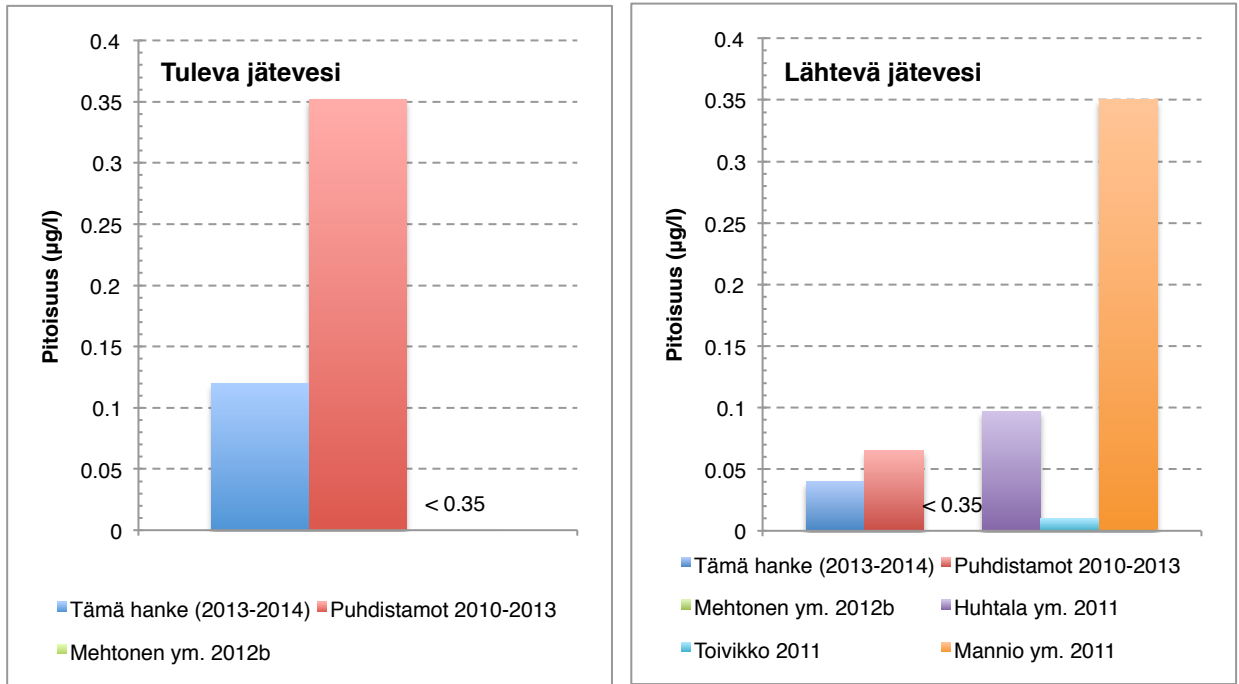


Kuva 5.10. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset oktyylifenolietoksilaattien ($OP_1EO + OP_2EO$) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

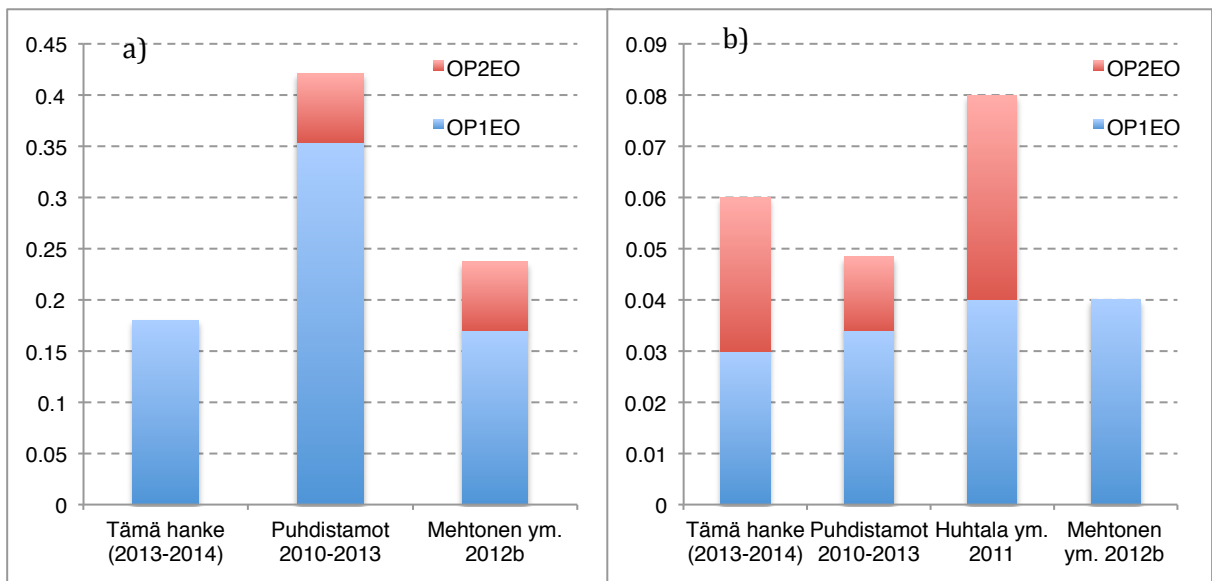
Oktyylifenolia ja –etoksilaatteja esiintyi tulevassa jätevedessä nonyyylifenolia ja sen etoksilaatteja harvemmin ja alhaisemmissa pitoisuuksissa. Määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia mitattiin 29 % tulevan jäteveden näytteistä. Pitoisuudet olivat selvästi suurimpia > 50 000 AVL:n puhdistamoilla. Tätä pienemmillä puhdistamoilla $OP + OP_xEO$ –pitoisuudet olivat alle määritysrajan 0.3 $\mu g/l$. Syytä tähän ei tiedetä. Hieman korkeampia pitoisuuksia mitattiin puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella sijaitti pesula.

Puhdistamoilta saatuihin muihin tuloksiin verrattuna tämän selvityksen keskimääräinen oktyylifenolin pitoisuus tulevassa jätevedessä oli selvästi pienempi (kuva 5.11). Ero ei ole lähtevän jäteveden näytteissä niin selkeä. Verrattuna selvityksiin Mannio ym. 2011 (10 puhdistamoa vuosina 2003 – 2005) ja Huhtala ym. 2011 (3 puhdistamoa vuosina 2009 – 2010), pitoisuudet olivat keskimäärin 10 – 40 % alhaisemmat. Mehtonen ym. 2012 b (3 puhdistamoa vuonna 2008) mittasi pitoisuuksien olevan alle määritysrajan, joka kuitenkin oli 0.35 $\mu g/l$ ja korkeampi kuin useimmat tässä selvityksessä mitatut pitoisuudet. Toivikon (2011) raporttoimissa tuloksissa oktyylifenolia mitattiin lähtevässä jätevedessä yli määritysrajan 0.01 $\mu g/l$ vain kahdella yhdeksästä puhdistamosta ja mittausten keskiarvo oli selvästi tämän selvityksen tuloksia pienempi.



Kuva 5.11. Oktyylifenolin mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Tässä hankkeessa OP₂EO –pitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä alle määritysrajan, mutta lähtevässä jätevedessä niiden osuus oli noin puolet etoksilaattien kokonaispitoisuudesta (kuva 5.12). Etoksilaattien kokonaispitoisuuksissa ei havaittu niin suurta vaihtelua muiden selvitysten tuloksiin verrattuna kuin oktyylifenolilla. Erityisesti lähtevässä jätevedessä oktyylifenolietoksilaattien pitoisuudet olivat jopa hieman korkeammat kuin Mehtonen ym. 2012b raportoimissa, vuonna 2008 puhdistamoilta mitatuissa näytteissä.



Kuva 5.12. Oktyylifenolietoksilaattien mittausten keskiarvoja tulevassa (a) ja lähtevässä (b) jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Oktyylifenolin keskimääräinen poistuma puhdistamoilla oli tässä selvityksessä 65 % ja joillakin puhdistamoilla mitattiin jopa suurempia pitoisuuksia lähtevässä kuin tulevassa jätevedessä. OP₁EO:n poistuma oli keskimäärin 89 %, mutta OP₂EO:lle ei poistumaa voitu määrittää, koska kaikki tulevan jäteveden mittaukset olivat alle määräysrajan. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan oktyylifenoli on jossain määrin biohajoava (poistuma 20 – 35 %) ja käsiteltävän veden pidempi viipymä biologisessa puhdistuksessa lisää aineen poistumista. Suurin osa oktyylifenolista kuitenkin tarttuu mallin mukaan lietteeseen (55 %). Clara ym. 2007 mukaan oktyylifenolin keskimääräinen poistuma yhdeksällä puhdistamolla oli 70 %. Heidän mukaansa aineesta biohajosi 65 % ja vain 5 % tarttui lietteeseen. Yu ym. 2013 mukaan kuitenkin oktyylifenolin tarttuminen lietteeseen on pääasiallinen aineen poistumisreitti jätevedenpuhdistamolla. Myös he havaitsivat oktyylifenolin pitoisuuksien olevan ajoittain lähtevässä jätevedessä tulevaa vettä suurempia. Heidän mukaansa tämä johtuu etoksilaattien hajoamisesta oktyylifenoliksi. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan oktyylifenolietoksilaatit eivät biohajoa ja puhdistamolla havaittu poistuminen johtuu yksinomaan tartumisesta lietteeseen.

Tässä selvityksessä biologista typenpoistoprosessia käyttävillä puhdistamoilla oktyylifenoleja ja -etoksilaatteja poistui keskimäärin 92 %. Perinteisessä aktiivilieteprosessissa keskimääräinen poistuma oli 63 % ja biologisessa suodattimessa 57 %. Clara ym. (2007) mukaan oktyylifenolin poistuma oli alhaisin bioroottorissa ja biologisessa suodatuksessa. Perinteisen aktiivilietteen ja biologisen typenpoiston välillä ei ollut kuitenkaan selkeää eroa.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida oktyylifenolien + -etoksilaattien massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 238 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 76 %: 180 kg/v
- Biohajoaa 11 %: 26 kg
- Lähtevä jätevesi n. 13 %: 32 kg/v

Mehtonen ym. (2012b) on arvioinut, että Suomessa jätevedenpuhdistamoilta päätyy vuosittain pintavesiin 7 - 57 kg oktyylifenolia ja -etoksilaatteja. Tämän selvityksen mukainen kuorma 32 kg/v osuu tälle välille.

Tässä selvityksessä ei mitattu aineiden pitoisuuksia lietteissä. Muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä on oktyylifenolia mitattu lietenäytteissä keskimäärin 0.9 – 2.4 mg/kg k.a. ja nonyyllifenolietoksilaatteja 0.13 mg/kg k.a. (Mannio ym. 2011, Huhtala ym. 2011). Mehtonen ym. 2012b raportoi kaikkien lietemittausten olleen alle määräysrajan 0.6 mg/kg k.a.

Vaikka oktyylifenolin ja -etoksilaattien poistuminen vesifaasista oli puhdistamoilla melko tehokasta, mitattiin määräysrajat ylittäviä pitoisuuksia 24 % lähtevän jäteveden näytteestä. Oktyylifenolille EQS-arvo on sisävesille 0.1 µg/l ja rannikkovesille 0.01 µg/l. Etoksilaateille EQS-arvoa ei ole määrätty. Yhden puhdistamon osalta sisävesien EQS-arvo ylittyi ja kahdentoista puhdistamon osalta ylittyi rannikkovesien EQS-arvo. On huomioitavaa, että 29 analyysin määräysraja oli 0.05 µg/l eli rannikkovesien EQS-arvoa korkeampi. Vaikka mittaustulos oli alle määräysrajan, ei se siis välttämättä ole

ollut alle EQS-arvon. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle alhaisimman EQS-arvon puhdistamoilla oli 1.1–12.

5.2.4 Ftalaatit

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.4. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.4 Yhteenveto ftalaattien pitoisuuksista. Määrittärajat ks. taulukko 5.1.

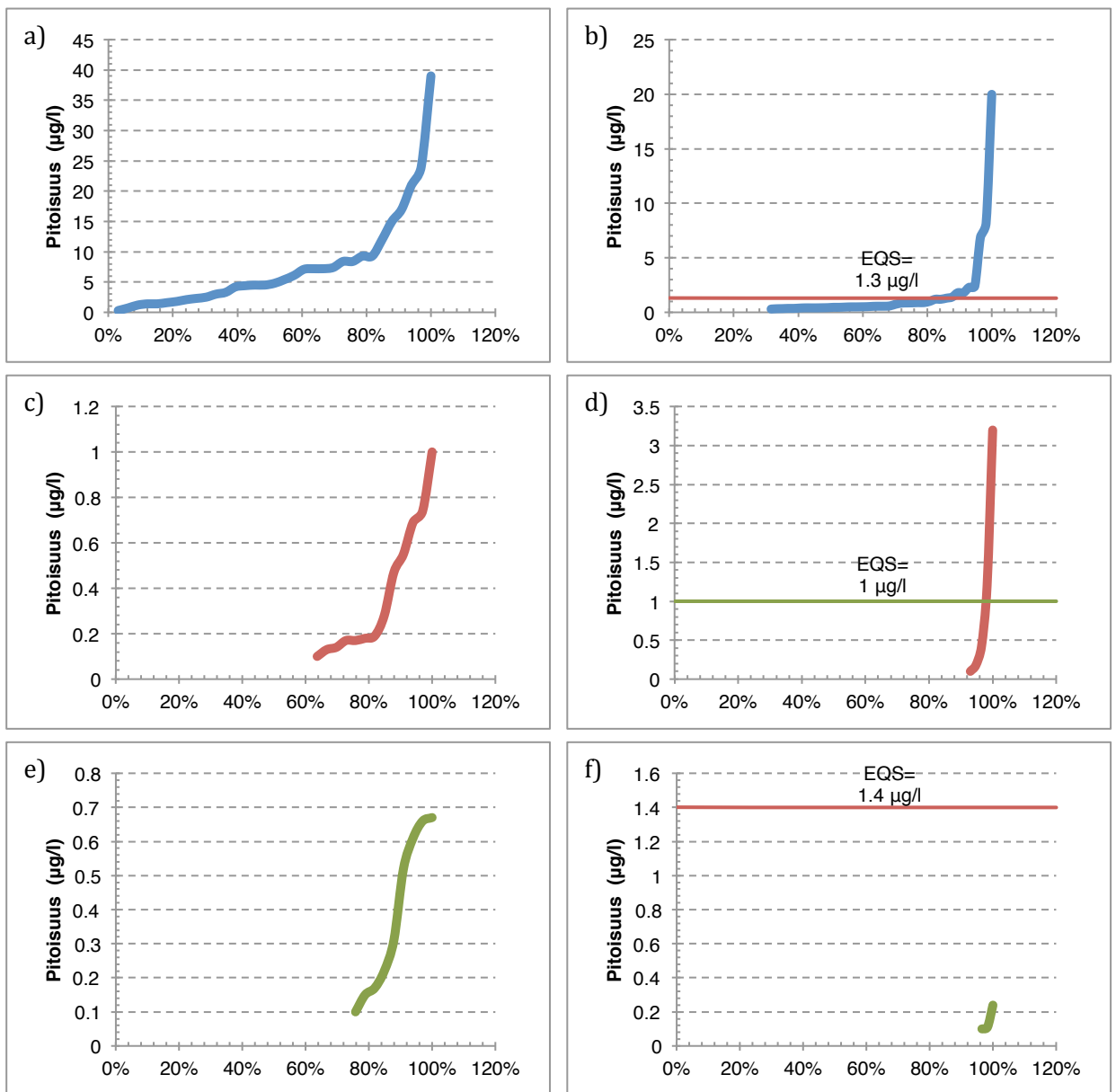
	DEHP	DBP	BBP
Tuleva jätevesi			
n	35	35	35
n > mr	34	12	8
Min (µg/l)	< mr *	<0.1	<0.1
Max (µg/l)	39	1	0.67
Keskiarvo (µg/l)	7.22	0.20	0.16
Mediaani (µg/l)	4.50	< 0.1	< 0.1
Lähtevä jätevesi			
n	58	58	58
n > mr	40	4	2
Min (µg/l)	< 0.3	< 0.1	< 0.1
Max (µg/l)	20	3.2	0.24
Keskiarvo (µg/l)	1.17	0.15	< 0.1
Mediaani (µg/l)	0.47	< 0.1	< 0.1
AA-EQS sisävedet (µg/l)	1.3	10	10
AA-EQS rannikot (µg/l)	1.3	1	1.4
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajaa)	10	2 (> 1 µg/l) 0 (> 10 µg/l)	0

* mr= 3 µg/l

Yhteenveto tuloksista

- Dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 7.22 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 1.17 µg/l. Dibutyyliftalaatin (DBP) ja bentsyylibutyyliftalaatin (BBP) pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat tulevassa jätevedessä (0.20 ja 0.16 µg/l). BBP:n keskimääräinen pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli alle määrittärajän 0.1 µg/l ja DBP:n 0.15 µg/l.
- BBP:n osalta kaikki lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat alle EQS-arvon. DEHP:n osalta kymmenen puhdistamon kohdalla lähtevän jäteveden pitoisuus ylitti EQS-arvon 1.3 µg/l. Näillä puhdistamoilla DEHP:n pitoisuus vaihteli välillä 1.3 – 20 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 15. DBP:n osalta kahden puhdistamon lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat 1.2 ja 3.2 µg/l, mikä ylitti rannikkovesien EQS-arvon

1 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.2 ja 3.2.



Kuva 5.13. Ftalaattien pysyvyyskäyrät tulevassa ja lähtevässä jätevedessä: a) DEHP tuleva, b) DEHP lähtevä, c) DBP tuleva, d) DBP lähtevä, e) BBP tuleva ja f) BBP lähtevä. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- DEHP:tä mitattiin yli määräysrajan 97 % tulevan jäteveden näytteistä ja 68 % lähtevän jäteveden näytteistä (kuva 5.13). Vastaavat luvut DBP:n osalta olivat 36 % ja 7 % ja BBP:n osalta 24 % ja 4 %.
- Tulevan jäteveden DEHP –pitoisuus oli matalin > 100 000 AVL:n puhdistamoilla (keskimäärin 5.2 µg/l). Muiden kokoluokkien puhdistamoiden välillä ei ollut suurta eroa vaan pitoisuudet olivat keskimäärin 8 – 9 µg/l (liite 4). Lähtevän jäteveden osalta alhaisin keskimääräinen pitoisuus oli kuitenkin pienillä < 10 000 AVL:n puhdistamoilla (n. 0.5 µg/l) ja suurin kokoluokassa 50 000 – 99 999

AVL (1.5 µg/l). DBP:n pitoisuudet olivat tulevan jäteveden osalta kaikissa puhdistamokokoluokissa samalla tasolla. Lähtevässä jätevedessä korkeimmat pitoisuudet mitattiin pienimmillä puhdistamoilla (keskimäärin 0.35 µg/l), kun isommilla puhdistamoilla pitoisuudet olivat alle määritysrajan 0.1 µg/l. BBP:n matalin pitoisuus mitattiin tulevassa jätevedessä keskimäärin pienimmillä < 10 000 AVL:n puhdistamoilla. Lähtevän jäteveden osalta kaikki BBP:n keskimääräiset pitoisuudet olivat alle määritysrajan 0.1 µg/l.

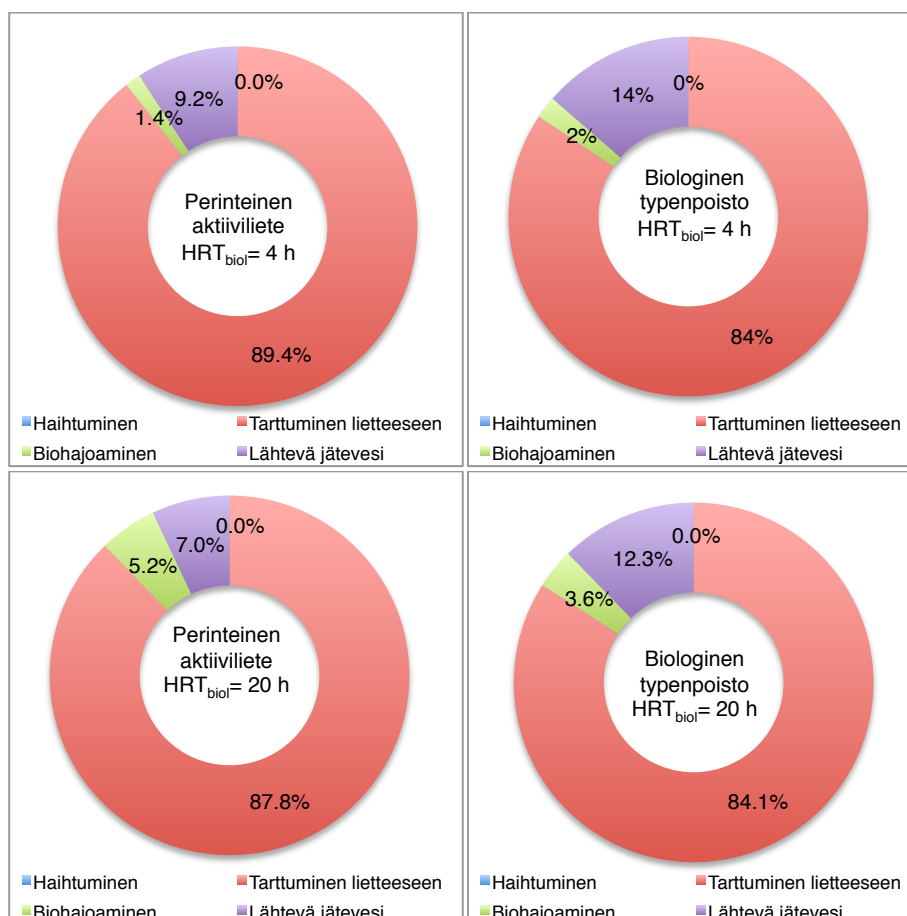
- Alhaisimmat tulevan jäteveden DEHP:n pitoisuudet mitattiin Itä-Suomen, Länsi- ja Sisäsuomen sekä Lounais-Suomen puhdistamoilla. Sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä korkeimmat pitoisuudet mitattiin Pohjois-Suomen puhdistamoilla (liite 5). Lähtevässä jätevedessä myös Länsi- ja Sisä-Suomen puhdistamoiden keskimääräinen pitoisuus oli noin kolminkertainen neljään muuhun alueeseen verrattuna. Alhaisimmat pitoisuudet lähtevässä jätevedessä mitattiin keskimäärin Etelä-Suomen puhdistamoilla.
- DBP:n korkeimmat pitoisuudet tulevassa jätevedessä mitattiin keskimäärin Etelä-Suomen puhdistamoilla (0.3 µg/l) (liite 5). Itä-Suomen puhdistamoilla pitoisuus oli < 0.1 µg/l, mutta tulos perustuu vain yhden puhdistamon mittaukseen. Muilla alueilla keskimääräiset pitoisuudet olivat välillä 0.1 – 0.2 µg/l. Lähtevässä jätevedessä taas Etelä-Suomen puhdistamoiden keskimääräinen pitoisuus oli < 0.1 µg/l ja korkeimmat pitoisuudet mitattiin Pohjois-Suomen puhdistamoilla (0.46 µg/l).
- BBP:n korkeimmat tulevan jäteveden pitoisuudet mitattiin Etelä- ja Lounais-Suomessa (n. 0.25 µg/l). Lapin puhdistamolla (n= 1) pitoisuus oli < 0.1 µg/l. (liite 5). Lähtevän jäteveden kaikkien alueiden keskimääräinen pitoisuus oli < 0.1 µg/l.
- Korkeimmat DEHP:n pitoisuudet mitattiin puhdistamoilla, jotka vastaanottavat vähiten teollisuusjätevesiä. DEHP:n korkein pitoisuus mitattiin laitoksella, joka ei vastaanota teollisuusjätevesiä. DPB:n ja BBP:n kaikki määritysrajan ylittävät tulokset mitattiin laitoksilla, joiden teollisuusjätevesien osuus on < 20 % puhdistamolle tulevasta virtaamasta (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden ftalaattien pitoisuuksiin. Kaksi puhdistamo ilmoitti viemäröintialueellaan valmistettavan maaleja tai tarralaminaatteja. Tulevan jäteveden ftalaattien yhteispitoisuus oli näillä laitoksilla keskimäärin 20 µg/l, kun se keskimäärin oli 8.5 µg/l. DBP:n pitoisuus oli keskimääräistä 20 % korkeampia puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella esiintyi painoteollisuutta. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden ftalaattien pitoisuuksissa havaittu.
- Puhdistamon puhdistusmenetelmän mukaan lajiteltuna korkein lähtevän jäteveden DEHP:n pitoisuus mitattiin bioroottorilaitoksilla (liite 7). Alhaisin pitoisuus mitattiin laitoksella, jossa käytössä ei ole biologista puhdistusta. Biologisen typenpoiston jälkeiset pitoisuudet olivat keskimäärin 36 % perinteisen aktiivilieteprosessin jälkeisistä pitoisuuksista.
- BBP:tä mitattiin lähtevässä jätevedessä keskimäärin yli määritysrajan vain puhdistamolla, jolla ei ollut käytössä biologista puhdistusta. DBP:n korkeimmat

pitoisuudet mitattiin bioroottorilaitoksilla. Keskimääräiset pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan biologisten suodattimien sekä biologisen typen poiston jälkeen. (liite 8)

- Jälkikäsittelymenetelmistä alhaisin DEHP-pitoisuus mitattiin UV-desinfiointin jälkeen (liite 8). Myös hiekkasuodatuksen biologisen suodatuksen jälkeiset pitoisuudet oli selvästi alhaisemmat kuin laitoksilla, joilla jälkikäsittelyä ei ollut tai joilla käytössä oli kemikalointi ja flotaatio. Samanlainen trendi oli nähtävissä myös DBP:n osalta. BBP:n keskimääräiset pitoisuudet olivat kaikki < 0.1 µg/l.
- Ftalaattien poistumat puhdistuksessa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

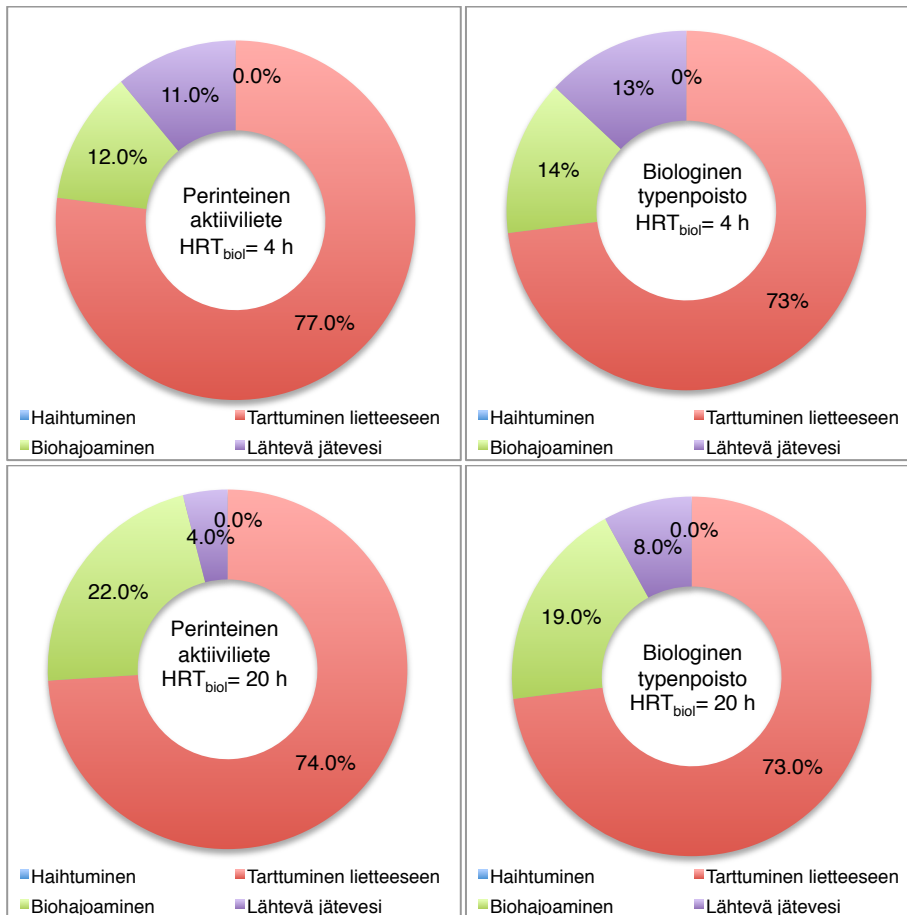
	DEHP	DBP	BBP
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	2475	110	72
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	520	28	16
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	78 % (2 – 99 %)	71 % (24 – 95 %)	78 % (60 – 93 %)

- Ftalaattien poistumat puhdistamoilla olivat pääsääntöisesti > 70 %. Alhaisin keskimääräinen DEHP:n poistuma mitattiin isoilla > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. DBP:n poistuma oli myös alhaisin suurilla > 50 000 AVL:n puhdistamoilla. BBP:n osalta alhaisin poistuma mitattiin 10 000 – 49 999 AVL:n puhdistamoilla (liite 9).
- DEHP:n ja BBP:n poistumat olivat n. 5 – 10 % korkeammat biologista tyypinpoistoa soveltavilla laitoksella. DBP:n poistuma taas oli perinteisillä aktiivilietelaitoksilla suurempi. (liite 9).
- Vertailtaessa jälkikäsittelymenetelmiä DEHP:n ja BBP:n korkeimmat keskimääräiset poistumat mitattiin laitoksilla, joilla ei ollut käytössä jälkikäsittelyä tai jälkikäsittelynä käytettiin hiekkasuodatusta (liite 10). DBP:n poistuma taas oli keskimäärin korkein laitoksilla, joissa jälkikäsittelyä ei käytetty.

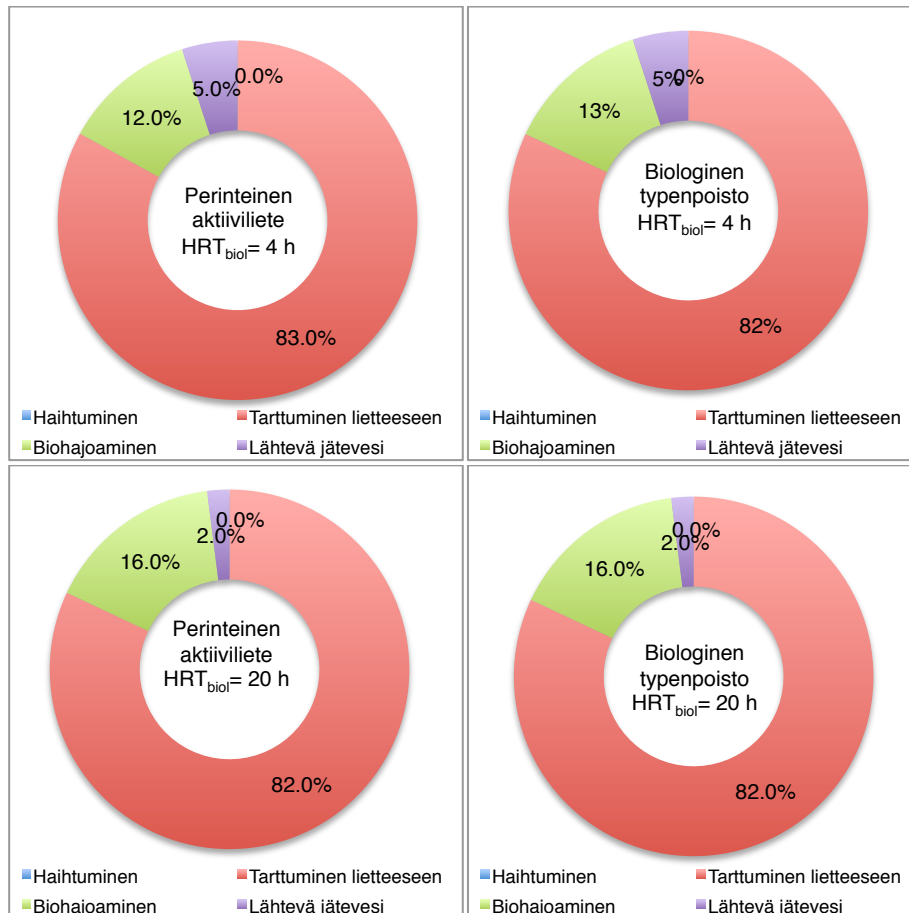


Kuva 5.14. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuvat 5.14-5.16) pääosa ftalaateista tarttuu prosessin aikana lietteeseen. Biohajoamista tapahtuu jonkin verran, mutta haihtumista ei tapahdu. DEHP poistuu mallin mukaan ftalaateista heikoimmin biologisesti hajoamalla (1 – 5 %). DBP:stä biohajoaa 12 – 22 % ja BBP:stä 12 – 16 %. Biologisen puhdistuksen viipymän pidentäminen tehostaa hieman kaikkien ftalaattien biohajoamista, mutta DEHP:n osalta muutos on lietteeseen tarttumiseen verrattuna erittäin vähäinen.



Kuva 5.15. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset dibutyyliftalaatin (DBP) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

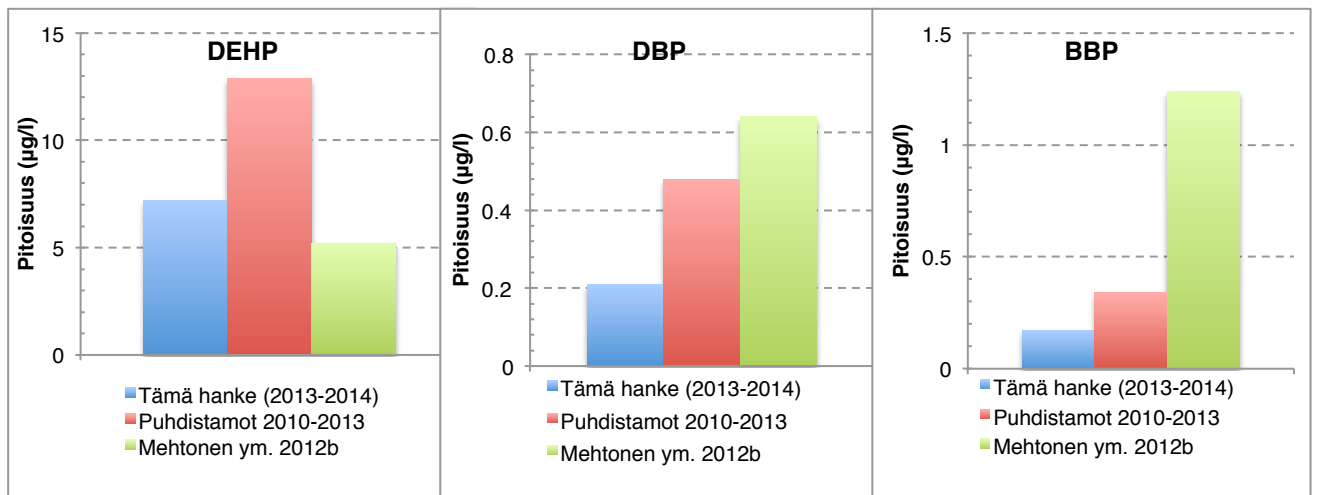


Kuva 5.16. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset bentsyylibutyylifalaatin (BBP) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

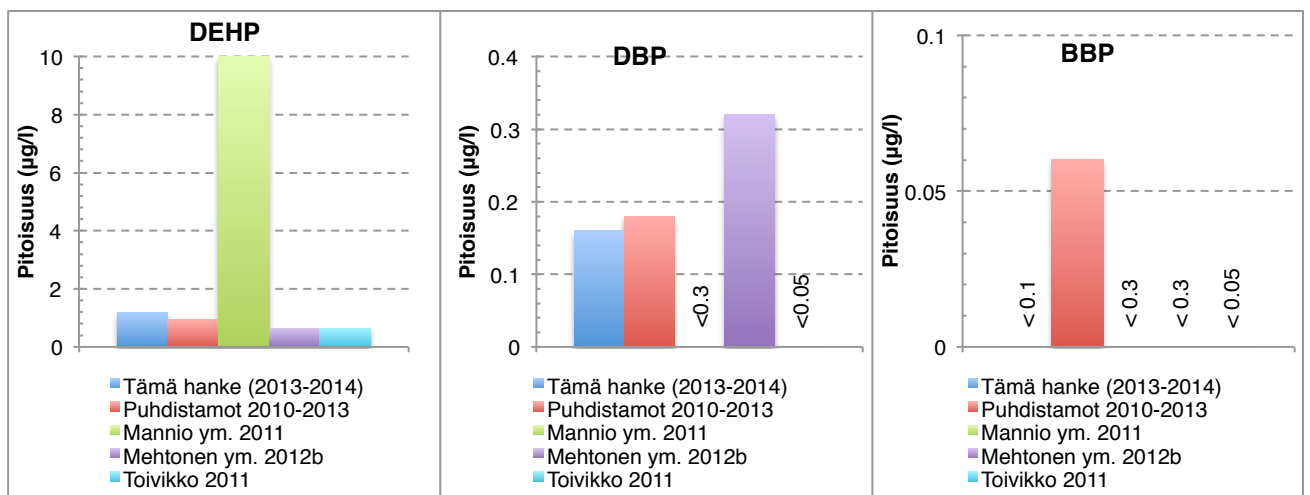
Ftalaattien aineryhmästä DEHP:ta mitattiin tulevan jäteveden näytteistä useimmin ja korkeimmassa pitoisuudessa. Sen tulokset ylittivät määritysrajan 97 % tulevan jäteveden näytteistä ja keskimääräinen pitoisuus oli 7.55 µg/l. DBP:tä mitattiin yli määritysrajan 36 % tulevan veden näytteistä keskimäärin 0.21 µg/l ja BBP:tä 24 % näytteistä keskimäärin 0.17 µg/l. Puhdistamon koolla tai maantieteellisellä sijainnilla ei ollut selkeää vaikutusta ftalaattien pitoisuuksiin. Voidaan olettaa, että ftalaattien pääasiallinen lähde jätevedessä ovat kotitaloudet, sillä suurimmat pitoisuudet mitattiin laitoksilla, joiden virtaamasta teollisuusjätevesien osuus oli alhaisin. Toisaalta maali-teollisuus, tarralaminaatit ja painoteollisuus viemäröintialueella voivat olla merkittävä ftalaattien osalähde jätevedessä. Tämän selvityksen kirjallisuusosassa arvioitiin ftalaattien päätymistä jätevedenpuhdistamoille johtuen ravinnon epäpuhtaudesta. Arvioidut määrät olivat 240, 170 ja 30 kg/v DEHP:lle, DBP:lle ja BBP:lle. Mittauksiin perustuvista kuormituksista nämä ovat 10 %, 150 % ja 42 %. DBP:lle ja BBP:lle ravinnon epäpuhtaus voisi siis olla merkittävä aineiden lähde jätevedessä. Ftalaatteja on mitattu myös huonepölyssä (Rudel ym. 2003). Näissä näytteissä DEHP ja BBP olivat yleisimmin löydetty ftalaattiyhdisteet.

DEHP:n pitoisuudet tulevassa jätevedessä tässä selvityksessä olivat keskimäärin alempia verrattuna puhdistamoiden lähettämiin muihin heillä tehtyihin mittauksiin verrattuna (kuva 5.17). Toisaalta taas pitoisuudet olivat keskimäärin 1,5-kertaiset verrattuna selvitykseen Mehtonen ym. (2012 b), jossa näytteitä analysoitiin kolmelta puhdistamolta vuonna 2008. DBP:n ja BBP:n pitoisuudet olivat tässä selvityksessä selvästi alemmat verrattuna puhdistamoiden muihin tuloksiin sekä selvitykseen Mehtonen ym. (2012b).



Kuva 5.17. Ftalaatti-mittausten keskiarvoja tulevassa jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

DEHP-pitoisuudet lähtevässä jätevedessä olivat tässä hankkeessa selvästi alemmat kuin Mannio ym. (2011) raportoimat vuonna 2003 – 2005 otetuista näytteistä (10 puhdistamaa) lasketut keskiarvot (kuva 5.18). Toisaalta taas keskimääräinen pitoisuus oli kaksinkertainen verrattuna Toivikon (2011) ja Mehtonen ym. (2012b) raportoimiin tuloksiin. Verrattuna puhdistamoilla 2010-2013 otettuihin näytteisiin, DEHP-pitoisuudet olivat tässä selvityksessä keskimäärin hieman korkeampia.



Kuva 5.18. Ftalaatti-mittausten keskiarvoja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa

DBP-pitoisuudet lähtevässä jätevedessä olivat tässä hankkeessa keskimäärin hieman alempia kuin puhdistamoilla 2010-2013 tehdyissä mittauksissa (kuva 5.18). Verrattuna selvitykseen Mehtonen ym. (2012b), pitoisuudet taas olivat tässä hankkeessa noin puolet heidän raportoimistaan. Mannio ym. 2011 raportoi DBP-pitoisuuksien olevan alle määrittäjärajan 0.3 µg/l. Suurin osa tämän selvityksen tuloksista oli alle tämän arvon, joten vertailua ei voida tehdä. Toivikko (2001) raportoi yhden DBP-pitoisuuden olleen yli määrittäjärajan (0.13 µg/l), mutta muut mittaukset olivat alle määrittäjärajan 0.05 µg/l. BBP:n keskimääräiset pitoisuudet olivat alle määrittäjärajojen kaikissa selvityksissä paitsi 2010-2013 puhdistamoilla tehdyissä mittauksissa, joissa BBP:n keskimääräinen arvo lähtevässä jätevedessä oli 0.06 µg/l (kuva 5.18).

DEHP:n keskimääräinen poistuma puhdistamoilla oli tässä selvityksessä 79 %, DBP:n 72 % ja BBP:n 78 %. Poistuma vaihteli kuitenkin puhdistamoittain suuresti ja DEHP:n poistuma esimerkiksi oli alimmillaan 2 %. TOXCHEM-mallinnusten mukaan ftalaatit tarttuvat ensisijaisesti lietteeseen ja vain pieni osa biohajoaa. Haihtumista ei tapahdu. DEHP:sta 85 – 90% tarttuu lietteeseen, DBP:stä 73 – 77 % ja BBP:stä 82 – 83 %. DEHP on mallin mukaan ftalaateista vähiten biohajoava (1 – 5 %). DBP biohajoaa 12 – 22 % ja BBP 12 – 16 %. Jokaisen ftalaatin kohdalla havaittiin, että viipymän pidentäminen biologisessa puhdistusvaiheessa kasvattaa biohajoamista jonkin verran.

Stasinakis ym. (2007) mukaan DEHP on hitaasti biohajoava. Sen puoliintumisaika jäteveden hapellisissa olosuhteissa on 6.9 päivää, mikä viittaa siihen, ettei biohajoaminen ole DEHP:n ensisijainen aineen poistumismenetelmä. Clara ym. (2007) mukaan DEHP:n kuormasta jätevedenpuhdistamoille n. 20 % biohajoaa, 75 % tarttuu lietteeseen ja 5 % päätyy puhdistettuun jäteveeseen. Dargnat ym. (2009) mukaan DEHP:n pitoisuudesta 53 % poistuu jo esiselkeytysvaiheessa eli aine tarttuu voimakkaasti jo raakalietteeseen. Ilmastuksessa poistuma oli 12 % viitaten DEHP:n olevan melko heikosti biohajoava. DBP:tä poistui esiselkeytyksessä 61 % ja BBP:tä 81 %. Ilmastuksessa DBP:n pitoisuus nousi 7 % ja BBP:n laski 12 %. Fauser ym. (2003) mukaan taas ftalaateista suurin osa biohajoaisi (DEHP: 70 %, BBP: 48 %) ja vain pienempi osa tarttuisi lietteeseen (DEHP: 27 %, BBP: 34.5 %).

Tässä selvityksessä DEHP:n poistuma oli alhaisin biologisessa suodatuksessa (keskimäärin 43 %). Perinteisessä aktiivieteprosessissa poistuma oli keskimäärin 76 % ja biologisissa typenpoistoprosesseissa keskimäärin 87 %. Myös BBP:n poistuma oli biologisessa typenpoistossa hieman perinteistä aktiivilietettä korkeampi. DBP:n poistuma oli taas keskimäärin korkeampi (80 %) perinteisessä aktiivilieteprosessissa kuin biologisissa typenpoistolaitoksissa (64 %). Dargnat ym. (2009) mukaan jälkikäsitteilyä ollut nitrifikaatio ei lisännyt BBP:n poistumista, mutta lisäsi DBP:n poistumista n. 19 % ja DEHP:n 13 %. Stasinakas ym. (2007) mukaan DEHP hajoaa hapettomissa olosuhteissa hyvin hitaasti ja pääasiallinen biohajoaminen tapahtuu hapellisissa olosuhteissa. Biologisissa typenpoistolaitoksissa viipymät ovat kuitenkin usein pidempiä, mikä saattaa edesauttaa joidenkin ftalaattien tarttumista lietteeseen.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida DEHP:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 2475 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 67 %: 1660 kg/v
- Biohajoaa 12 %: 295 kg
- Lähtevä jätevesi n. 21 %: 520 kg/v

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida DBP:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 110 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 56 %: 62 kg/v
- Biohajoaa 18 %: 20 kg
- Lähtevä jätevesi n. 26 %: 28 kg/v

DBP:n pitoisuudet lähtevissä jätevesissä olivat suurimmaksi osaksi alle määrittämissä rajoissa, jolloin kuormituksen arvioiminen koko Suomen alueelle on epävarma.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida BBP:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 72 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 65 %: 47 kg/v
- Biohajoaa 13 %: 9 kg
- Lähtevä jätevesi n. 22 %: 16 kg/v

BBP:n pitoisuudet lähtevissä jätevesissä olivat suurimmaksi osaksi alle määrittämissä rajoissa, jolloin kuormituksen arvioiminen koko Suomen alueelle on epävarma.

Tässä selvityksessä ei mitattu aineiden pitoisuuksia lietteissä. Muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä on DEHP:tä on mitattu lietenäytteissä keskimäärin 6.9 – 14.3 mg/kg k.a. (Mannio ym. 2011, Mehtonen ym. 2012b). Mehtonen ym. 2012b raportoi kaikkien BBP- ja DBP-lietemittausten olleen alle määrittämissä rajoissa 0.5 – 1 mg/kg k.a. Biokaasulaitoisten madatysjäännöksestä on DEHP:ta mitattu keskimäärin 22.9 mg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014).

Vaikka kaikkien ftalaattien poistuminen vesifaasista oli puhdistamoilla melko tehokasta, mitattiin erityisesti DEHP:lle määrittämissä rajoissa ylittäviä pitoisuuksia lähtevässä jätevedessä. DEHP:n mittauksista 68 % ylitti määrittämissä rajoissa, kun taas DBP:n mittauksista 7 % ja BBP:n mittauksista vain 4 % ylitti määrittämissä rajoissa. DEHP:n osalta yhdeksän puhdistamon kohdalla lähtevän jäteveden pitoisuus ylitti EQS-arvon 1.3 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 15. DBP:n osalta kahden puhdistamon lähtevän jäteveden pitoisuudet ylittivät rannikkovesien EQS-arvon 1 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.2 ja 3.2. BBP:n osalta EQS-arvon ylityksiä ei ilmennyt.

5.2.5 Bromatut difenyylietterit (BDE)

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 4.8. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 2. Summaparametria laskettaessa alle määrittäysrajan olleet arvot on laskettu mukaan määrittäysrajan puolikkaana.

Taulukko 5.5. Yhteenveto bromattujen difenyylietterien tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.1.

	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	Summa
Tuleva jätevesi							
n	36	36	36	36	36	36	-
n > mr	5	36	35	22	9	7	-
Min (µg/l)	< 0.0001	0.00037	<0.0007	<0.0001	<0.0002	<0.0001	< 0.0013
Max (µg/l)	0.00025	0.0092	0.0081	0.0011	0.0018	0.0011	0.014
Keskiarvo (µg/l)	< 0.0001	0.0030	0.0017	0.00029	0.00029	0.00024	0.0056
Mediaani (µg/l)	0.0001	0.0027	0.0012	0.00019	0.00021	0.00015	0.0044
Lähtevä jätevesi							
n	60	60	60	60	60	60	-
n > mr	1	49	40	10	3	1	-
Min (µg/l)	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	< 0.00024
Max (µg/l)	<0.0001	0.00055	0.0012	0.00007	0.00005	<0.0001	0.0014
Keskiarvo (µg/l)	<0.00004	0.00013	0.00012	<0.00004	<0.00004	<0.00004	0.00037
Mediaani (µg/l)	<0.00004	0.00009	0.00007	<0.00004	<0.00004	<0.00004	0.00032
EQS1_{AA} (µg/l)	-	-	-	-	-	-	0.0005
EQS2_{AA} (µg/l)	-	-	-	-	-	-	0.0002
EQS1_{Max} (µg/l)	-	-	-	-	-	-	0.14
EQS2_{Max} (µg/l)	-	-	-	-	-	-	0.014
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajaa)	-	-	-	-	-	-	0 (> 0.14) 0 (> 0.014) 24 (> 0.0002)* 18 (> 0.0005)

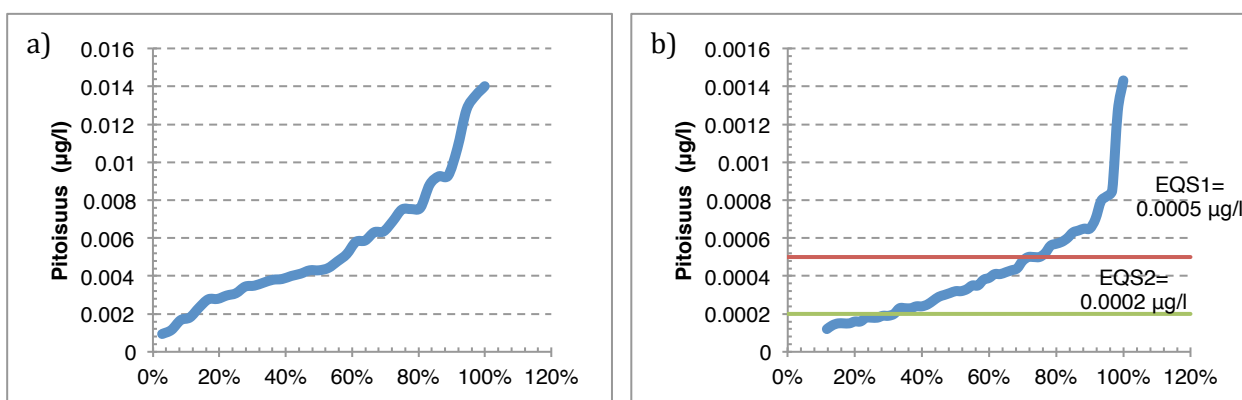
AA= vuosikeskiarvo. EQS1= sisävedet, EQS2= rannikkovedet

HUOM AA-EQS -arvot ovat vielä voimassa Suomessa (868/2010) ja MAC-EQS-arvot uusitun prioriteettainedirektiivin (2013/39/EU) mukaiset

* pitoisuus välillä 0.0002 ja 0.0005

Yhteenveto tuloksista

- Polybromattujen difenyyliettereiden pitoisuuksien summa BDE (BDE-28 + 47 + 99 + 100 + 153 + 154) oli tulevassa jätevedessä keskimäärin 0.0056 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.00037 µg/l (taulukko 5.5).
- Sekä tulevassa, että lähtevässä jätevedessä BDE-47:n ja BDE-99:n osuudet BDE-summasta olivat selvästi korkeimmat. Niitä myös mitattiin useimmin näytteistä. BDE-47:ää oli kaikissa tulevan veden näytteissä ja 80 % lähtevän jäteveden näytteissä. BDE-99:ää taas mitattiin 97 % tulevan jäteveden ja 67 % lähtevän jäteveden näytteistä. Tulevassa jätevedessä niiden osuudet olivat keskiarvoista laskettuna 55 ja 31 % ja lähtevässä jätevedessä keskimäärin 48 ja 52 %.
- Tulevassa jätevedessä oli keskimäärin myös 5 % BDE-100, BDE-153 ja BDE-154 kongeneerejä, mutta ei juuri ollenkaan BDE-28:aa. Lähtevässä jätevedessä BDE-28:n ja BDE-154:n pitoisuudet olivat pääasiassa alle määräysrajan ja BDE-100:n ja BDE-153:n pitoisuudet ylittivät määräysrajat vain muutamassa näytteessä.
- BDE-summalle on määrätty taulukon 2.4 mukaiset EQS-arvot. Suomessa voimassa olevat vuosikeskiarvoihin perustuvat EQS-arvot ovat selvästi EU:n uusittua prioriteettiainedirektiiviä tiukemmat, mutta nämä arvot ovat poistumassa uusien arvojen tullessa voimaan. Yksikään näyte ei ylittänyt uusia EQS-arvoja. Sisävesille säädetyn AA-EQS-arvon 0.0005 µg/l ylitti 18 puhdistamoa (30 %) ja rannikkovesille säädetyn arvon 0.0002 µg/l 24 puhdistamoa (40 %, pitoisuus välillä 0.0002 ja 0.0005 µg/l) (kuva 5.19). Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle sisävesien EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 2.9 ja alle rannikkovesien EQS-arvon 1 – 2.4.



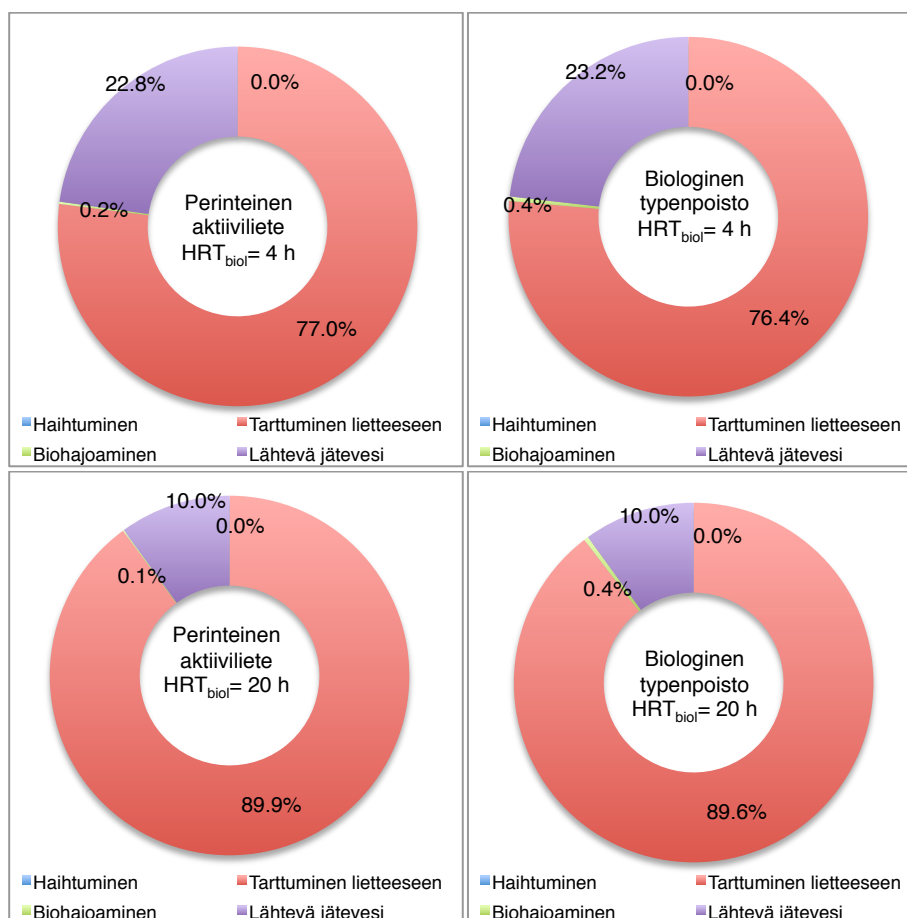
Kuva 5.19. BDE summan (BDE-28, -47, -99, -100, -153 ja -154) pysyvyysskäyrät a) tulevassa ja b) lähtevässä jätevedessä. EQS1= arvo sisävesille, EQS2= arvo rannikkovesille. HUOM EQS-arvot ovat Suomessa voimassa olevia, ks. EU-direktiivin mukaiset EQS-arvot taulukosta 5.5. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Tulevan jäteveden BDE-pitoisuus oli hieman muita kokoluokkia suurempi 50 000 – 99 999 AVL:n puhdistamoiden tulevassa jätevedessä (liite 4). Lähtevän jäteveden näytteissä BDE-pitoisuus oli keskimäärin alhaisin pienimmillä, < 10 000 AVL:n, puhdistamoilla (0.00028 µg/l) ja suurin isoilla, > 100 000 AVL:n puhdistamoilla (0.00046 µg/l).
- BDE:n pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat keskimäärin korkeimmat Lounais- ja Pohjois-Suomen puhdistamoilla ja matalimmat Itä-Suomessa ja Lapissa (liite 5). Lähtevän jäteveden BDE-pitoisuudet taas olivat keskimäärin korkeimmat Lapissa Länsi- ja Sisä-Suomessa. Lounais-Suomen puhdistamoilla mitattiin keskimäärin BDE:n matalimmat pitoisuudet.
- Selkeää trendiä ei havaittu BDE-pitoisuuksien ja puhdistamolle tulevan jäteveden teollisuusjätevesiprosentin välillä (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden BDE-pitoisuuksiin. Keskimäärin noin 30 % korkeampia BDE-pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli lentokenttä tai elektroniikkateollisuutta. Eristeteollisuutta sisältävillä viemäröintialueilla olevien puhdistamojen jätevesien BDE-pitoisuudet olivat keskimäärin samaa luokkaa kuin muilla puhdistamoilla. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden BDE-pitoisuuksissa havaittu.
- Korkein BDE-pitoisuus lähtevässä jätevedessä mitattiin puhdistamolla, jossa jätevesiä ei puhdisteta biologisesti. Biologisen typenpoistoprosessin jälkeiset pitoisuudet olivat noin 70 % perinteisen aktiivilieteprosessin jälkeen mitatuista pitoisuuksista (liite 7).
- Jälkikäsitteilymenetelmistä alhaisimmat BDE-pitoisuudet mitattiin kemikaloinnin ja flotaation, hiekkasuodatuksen ja UV-desinfiointin jälkeen (liite 8).
- BDE-yhdisteiden poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	BDE
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	3
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	0.25
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	92 % (57 – 99 %)

- BDE:n poistuma puhdistamoilla oli pääsääntöisesti > 90 %. Merkittäviä eroja poistumissa ei havaittu puhdistamon koon mukaan tarkasteltuna (liite 9).
- Biologisen prosessin tai mahdollisen jälkikäsitteilymenetelmän käyttö puhdistamolla ei merkittävästi vaikuttanut BDE-poistumaan laitoksella (liite 10 ja 11).

- TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 5.20) BDE tarttuu voimakkaasti lietteeseen eikä ole biohajoava. Vain noin 1 % päätyy mallinnuksen mukaan puhdistettuun jäteveteen.



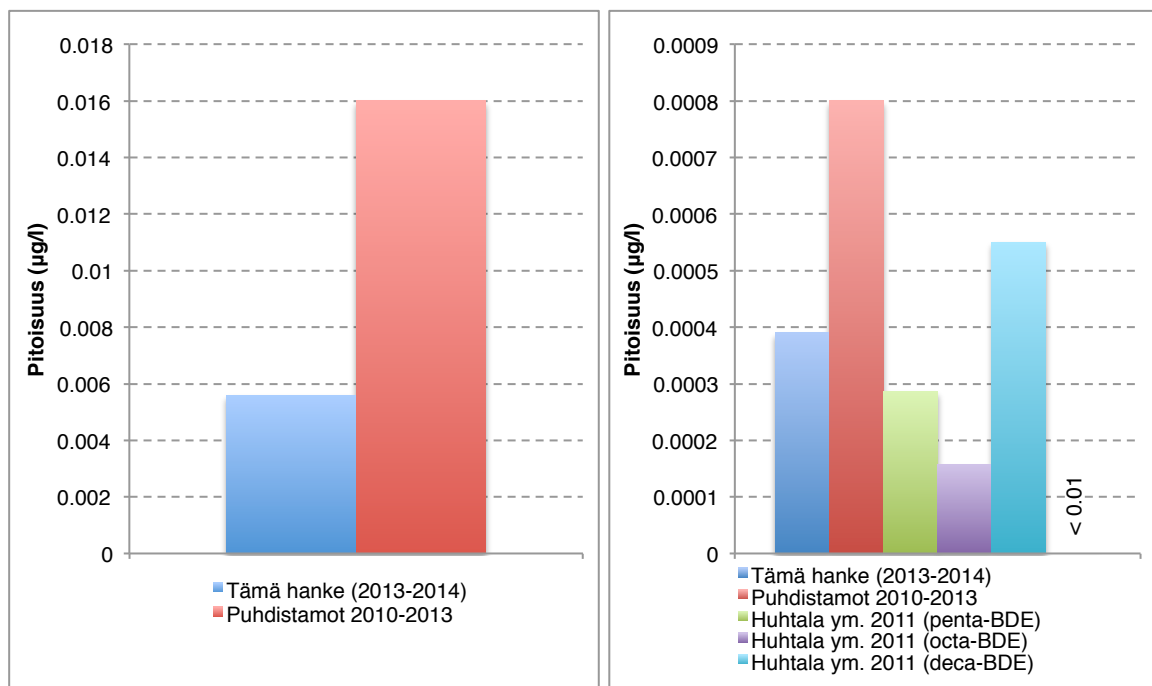
Kuva 5.20. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset BDE:n (summaparametri) käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Yleisimmät bromattujen difenyylieteereiden kongeneereistä tulevassa jätevedessä olivat BDE-47 (100 %), BDE-99 (97 %) ja BDE-100 (61 %). Muut kongeneerit (28, 153 ja 153) ylittivät määritysrajan < 25 % näytteistä. BDE-47 ja -99 olivat myös lähtevässä jätevedessä yleisimmät kongeneerit (80 % ja 67 % ylitti määritysrajan). BDE-summan keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.0056 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.00039 µg/l. Pitoisuuksissa oli jonkin verran vaihtelua puhdistamon maantieteellisen sijainnin mukaan erityisesti tulevassa jätevedessä, mutta puhdistamojen määrä eri alueilla oli niin vähäinen, etteivät erot olleet merkittäviä. Jonkin verran korkeampia BDE-pitoisuuksia mitattiin laitoksilla, joiden viemäröintialueella sijaitti lentokenttä tai elektroniikkateollisuutta. Tässä selvityksessä mitattuja BDE-kongeneerejä ei ole käytetty Suomessa vuoden 2001 jälkeen. Voidaan siis olettaa, että palonestoaineet päätyvät jätevedenpuhdistamoille kotitalouksista (huonepöly ja ravinto) sekä huuhtoutumana maanpinnalta ja teialueilta. Rudel ym. (2003) tutkimuksessa löytyi erityisesti BDE-99 kongeneeria ja pienempiä määriä myös BDE-47:ää ja BDE-100:aa.

Tämän selvityksen kirjallisuusosassa arvioitiin, että ravinnon epäpuhtautena BDE-aineita voisi päätyä jätevedenpuhdistamolle 0.5 kg/v, mikä on vajaa 20 % tuloksista lasketusta kuormasta 3 kg/v.

BDE:tä ei ole tulevassa jätevedessä mitattu muissa kuin puhdistamoiden lähettämissä omissa selvityksissä (kuva 5.21). Niissä mitatut BDE-pitoisuudet ovat noin kolminkertaiset tämän selvityksen mittauksiin verrattuna.



Kuva 5.21. BDE-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa. Kuvaajassa on tämän hankkeen ja Puhdistamot 2010-2013 -lähteen osalta esitetty summaparametrin arvot (BDE-28, -47,-99, -100, -153 ja -154 = pentaBDE). Huhtala ym. 2011: deca-BDE= BDE-209, octaBDE= BDE-183 ja -203)

Lähtevän jäteveden osalta tämän selvityksen mittaukset ovat keskimäärin hieman korkeammat kuin Huhtala ym. (2011) raportoimat arvot penta-BDE:lle (kuva 5.21). Huhtala ym. (2011) raportoi myös muiden BDE-kongeneerien pitoisuuksia, joista deka-BDE:n eli BDE-209:n keskimääräiset pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat. BDE-183 ja -203 (edustavat okta-BDE:tä) yhteispitoisuudet taas olivat matalimmat. Puhdistamoiden lähettämät, vuosina 2010-2013 mitatut tulokset olivat keskimäärin kaksinkertaiset tämän selvityksen tuloksiin verrattuna. Toivikko (2011) raportoi kaikkien lähtevän jäteveden mittausten olleen alle määräysrajan 0.01 µg/l, joka kuitenkin on suurempi kuin tässä selvityksessä mitatut BDE-pitoisuudet.

BDE-aineiden keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 92 % vaihdellen välillä 57 – 99 %. Biologisen puhdistuksen menetelmä (biologinen suodatin, aktiiviliete tai biologinen typenpoisto) ei vaikuttanut BDE-aineiden poistumiseen. TOXHEM-mallinnuksen mukaan BDE:t eivät ole biohajoavia ja tarttuminen lietteeseen vaihtelee välillä 76 – 90 %. Clara ym. 2012 mukaan BDE:n keskimääräinen poistuma puhdistamoilla oli 20 – 50 %. Aine tarttuu heidän mukaansa voimakkaasti lietteeseen eikä biohajoa. BDE-yhdisteiden on todettu tarttuvan voimakkaasti jo tulevan jäteveden

kiinteään aineeseen (Clara ym. 2012, Kim ym. 2013, Xiang ym. 2013). Tästä syystä näytteenotolla on erityisen tärkeä rooli ja näytteen homogeenisuudesta on huolehdittava tarkoin. Näyte kannattaakin ottaa hyvin virtaavasta jätevedestä. Altaasta näytettä otettaessa kiintoaine voi laskeutua altaan pohjalle ja näyte ei ole homogeeninen. Kim ym. (2013) raportoi, että korkeampi tulevan jäteveden kiintoaineen ja COD:n määrä korreloi jäteveden korkeamman BDE-pitoisuuden kanssa. He myös määrittivät olosuhteet, joilla saavutetaan merkittävä BDE:n poistuma jätevedenpuhdistamoilla: biologisen prosessin lietepitoisuus > 2 000 mg/l, viipymä > 10 h ja lieteikä > 9 päivää. Kim ym (2013) mukaan suurin poistuma havaittiin puhdistamolla, joissa viipymä oli pisin ja aktiivilietteen pitoisuus oli suurin. Xiang ym. (2013) mukaan jätevedenpuhdistamoille tulevasta kuormasta 60 % tarttuu lietteeseen ja loput päätyvät puhdistettuihin jätevesiin. Myös heidän mukaansa aine on voimakkaasti tarttuneena jäteveden kiintoaineeseen ja poistuu suurelta osin jo esiselkeytyksessä.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida BDE-summan (kongeneerit 28, 47, 99, 100, 153 ja 154) massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 3 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 92 %: 2.75 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg
- Lähtevä jätevesi n. 8 %: 0.25 kg/v

BDE-yhdisteitä ei tässä selvityksessä mitattu lietteistä. Muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä lietepitoisuuksia kuitenkin on mitattu. Mannio ym. (2011) raportoi penta-BDE:n keskimääräiseksi pitoisuudeksi lietteissä 86.1 µg/kg k.a. Huhtala ym. (2011) mukaan penta-BDE:n pitoisuudet olivat 54 – 62 µg/kg k.a. Mehtonen ym. (2012b) taas raportoi penta-BDE:n keskimääräisiksi pitoisuuksiksi puhdistamolietteissä 52.2 µg/kg k.a. Biokaasulaitosten mädätysjäännöksessä BDE-yhdisteitä on mitattu keskimäärin 1780 µg/kg k.a. Tässä tutkimuksessa kuitenkin mitattiin penta-BDE:n lisäksi useita muita kongeneerejä. Mitatuista lietepitoisuuksista 74 – 100 % johtui BDE-209:n esiintymisestä.

BDE-summalle on määrätty taulukossa 2.4 esitetyn mukaiset EQS-arvot. Suomessa voimassa olevat vuosikeskiarvoihin perustuvat EQS-arvot ovat selvästi EU:n uusittua prioriteettiainedirektiiviä (2013/39/EU) tiukemmat. Yksikään näyte ei ylittänyt EU-direktiivin mukaisia EQS-arvoja, jotka tullaan myös impletoimaan Suomen lainsäädäntöön. Suomessa sisävesille säädetyn AA-EQS-arvon 0.0005 µg/l ylitti 18 puhdistamoa (30 %) ja rannikkovesille säädetyn arvon 0.0002 µg/l 24 puhdistamoa (40 %) (kuva 5.19). Ylitykset olivat kuitenkin vähäisiä ja laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle sisävesien EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 2.9 ja alle rannikkovesien EQS-arvon 1 – 2.4.

5.2.6 Tributyyliitina (TBT)

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.6. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

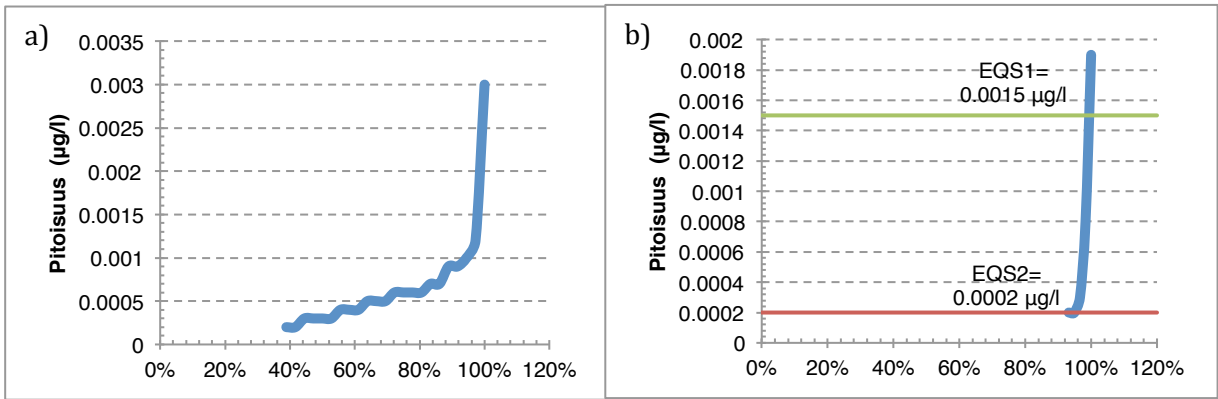
Taulukko 5.6 Yhteenveto tributyyliitinan tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.1.

TBT	
Tuleva jätevesi	
n	36
n > mr	24
Min (µg/l)	<0.0002
Max (µg/l)	0.003
Keskiarvo (µg/l)	0.00058
Mediaani (µg/l)	0.0004
Lähtevä jätevesi	
n	60
n > mr	4
Min (µg/l)	< 0.0002
Max (µg/l)	0.0019
Keskiarvo (µg/l)	0.00022
Mediaani (µg/l)	< 0.0002
AA-EQS (µg/l)	0.0002
MAC-EQS (µg/l)	0.0015
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	5 (> 0.0002 µg/l)

AA= vuosikeskiarvo

Yhteenveto tuloksista

- Tributyyliitinan (TBT) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.00058 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.00022 µg/l (taulukko 5.6). Tulevassa jätevedessä TBT:tä mitattiin yli määrittäysrajan 67 % ja lähtevässä jätevedessä 7 % näytteistä.
- Vuosikeskiarvona määrätty EQS 0.0002 µg/l mitattiin tai se ylittyi viidellä (5) puhdistamolla. Korkein mitattu pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli 0.0019 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 9.5.



Kuva 5.22. Tributyylitinan pysyvyyskäyrät a) tulevan ja b) lähtevän jäteveden tuloksille. EQS1= arvo sisävesille, EQS2= arvo rannikkovesille. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

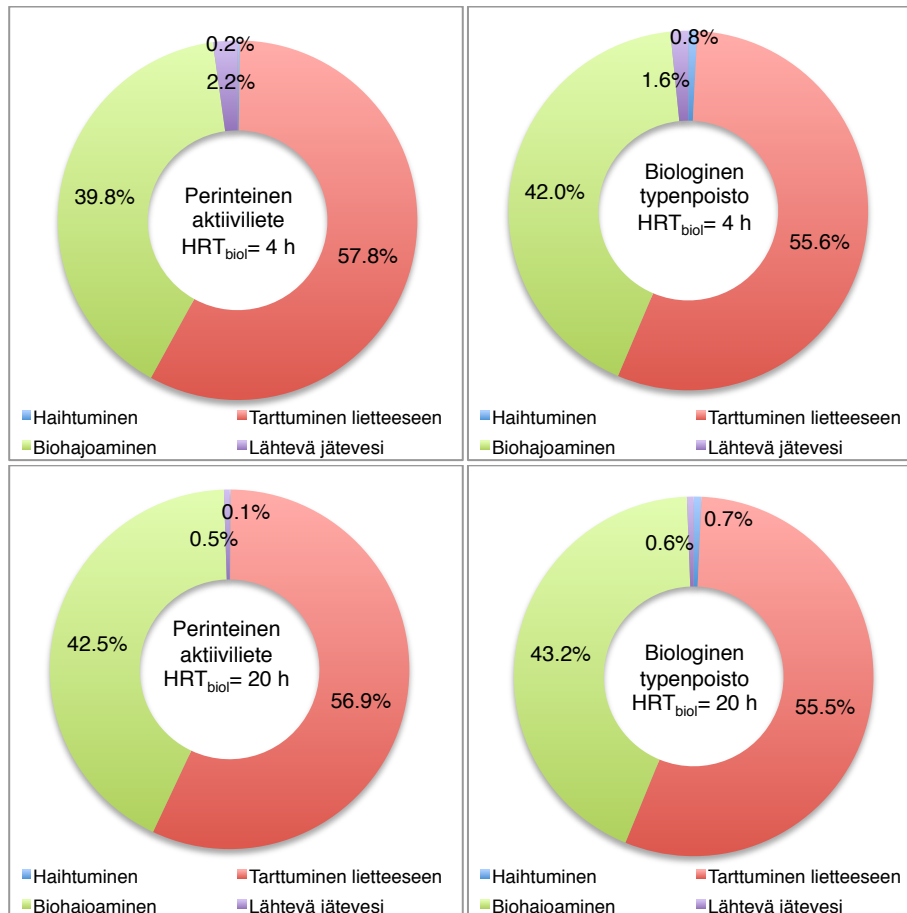
- TBT:n pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat selvästi suurimmat (n. 0.0008 µg/l) pienimmillä puhdistamoilla (< 50 000 AVL). Isommilla puhdistamoilla pitoisuudet olivat keskimäärin 0.0003 – 0.0004 µg/l. (liite 4) Lähtevässä jätevedessä tarkastelua ei tehty, koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli niin vähän.
- Etelä-Suomen puhdistamoiden tulevassa jätevedessä TBT:tä oli hieman muita alueita enemmän, keskimäärin noin 0.0007 µg/l (liite 5). Itä-Suomen puhdistamoilla pitoisuus oli alle määritysrajan 0.0002 µg/l, mutta arvo perustuu vain yhden puhdistamon tulokseen. Lähtevässä jätevedessä tarkastelua ei tehty, koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli vain muutama eivätkä ne kasautuneet millekään yksittäiselle maantieteelliselle alueelle.
- Korkeimmat TBT-pitoisuudet mitattiin laitoksilla, joiden tuleva jätevesi sisälsi vähiten teollisuusjätevesiä. (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden TBT-pitoisuuksiin. Keskimäärin noin 40 % korkeampia TBT-pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli satama. Keskimäärin noin 25 % korkeampia TBT-pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli metallituotteiden valmistusta. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden TBT-pitoisuuksissa havaittu.
- Biologisen puhdistuksen ja jälkikäsittelyn vaikutusta TBT-pitoisuuksiin ei arvioitu, koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli lähtevässä jätevedessä niin vähän.

- Tributyyliitinan poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	TBT
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	0.34
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	0.10
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	74 % * (-700 – 90 %)

* Yhtä mittausta (-700 %) ei huomioitu keskiarvon laskemisessa

- TBT:n poistumat laitoksilla vaihtelivat suuresti ja yhdellä puhdistamolla lähtevässä jätevedessä mitattiin tulevaa jätevettä korkeampi pitoisuus. Jos tätä ei huomioitu laskuissa, oli TBT:n poistuma puhdistamoilla keskimäärin 74 %. Keskimäärin paras puhdistustulos (82 %) saavutettiin pienillä < 10 000 AVL:n puhdistamoilla (liite 9).
- Biologinen typenpoistoprosessi poisti TBT:tä perinteistä aktiivilieteprosessia ja biologista suodatusta heikommin (liite 10). Perinteisessä aktiivilieteprosessissa ja biologisissa suodattimissa TBT:n keskimääräinen poistuma oli n. 80 %, mutta biologisissa typenpoistolaitoksissa n. 65 %.
- Korkein keskimääräinen poistuma (84 %) mitattiin laitoksilla, joissa käytettiin kemikalointia ja flotaatiota jälkikäsittelymenetelmänä (liite 11).
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.23) osa TBT:stä tarttuu lietteeseen (55 – 58 %) ja osa hajoaa biologisesti (40 – 43 %). Myös hyvin pieni määrä (< 1 %) TBT:stä haihtuu. Biologisen puhdistuksen viipymän pidentäminen ei merkittävästi lisännyt TBT:n biohajoamista eikä tarttumista lietteeseen.

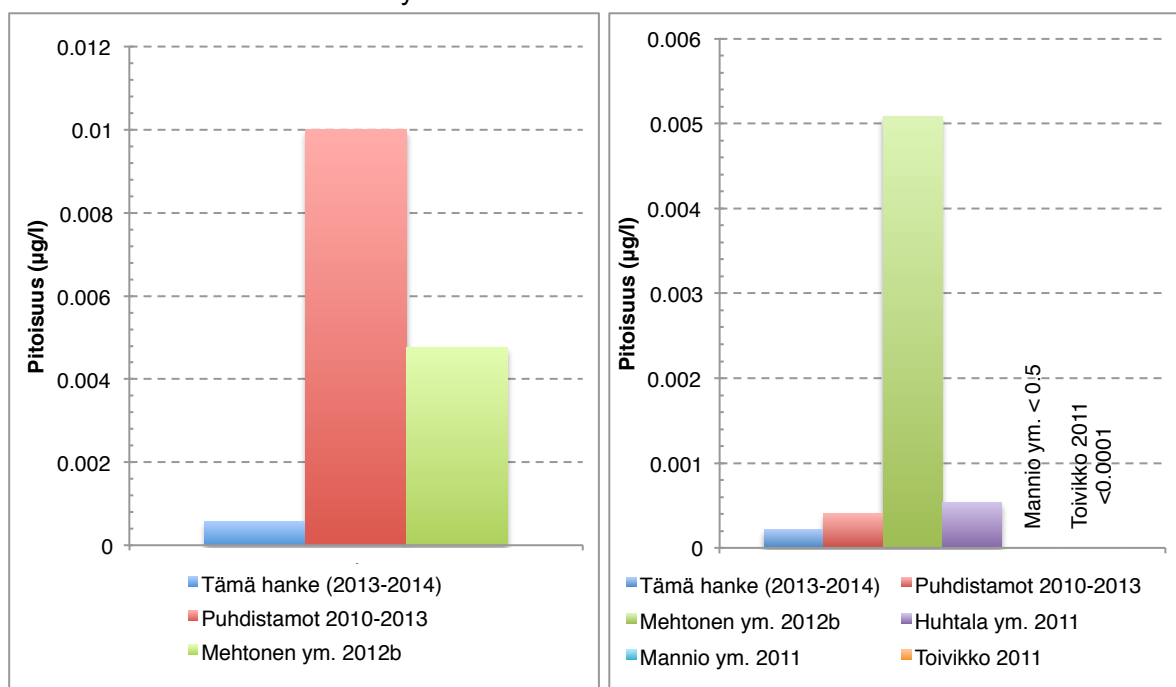


Kuva 5.23. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset tributyyliitin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa. HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Tributyyliitin pitoisuudet ylittivät määritysrajan 67 % tulevan jäteveden näytteistä. Keskimääräinen TBT-pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.00058 $\mu\text{g/l}$ ja lähtevässä jätevedessä 0.00022 $\mu\text{g/l}$. Pitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä selvästi suurimmat < 50 000 AVL:n puhdistamoilla. Syynä tähän saattoi olla se, että isompien puhdistamojen virtaamasta isompi osa oli teollisuusjätevesiä, jotka laimensivat vesiä. TBT-pitoisuuksien nimittäin todettiin olevan suurimpia laitoksilla, jotka vastaanottivat vähiten teollisuusjätevesiä. Tämä viittaisi pääasiassa kotitalouksista tulevaan kuormitukseen. Selvästi suurempia tulevan jäteveden pitoisuuksia (40 % verrattuna keskimääräiseen) mitattiin puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella sijaitti satama. Lisäksi jonkin verran suurempia pitoisuuksia mitattiin puhdistamoilla, joiden viemäröintialueella oli metalliteollisuutta. TBT:tä päätyy jätevesiin luultavasti sekä kotitalouksista (ravinnon epäpuhtaus, PVC-putkistot) että huuhtoutumana erityisesti satama-alueilta, joilla TBT-yhdisteitä on aiemmin käytetty. Kirjallisuuden mukaan arvioitiin, että ravinnon osuus TBT-kuormasta puhdistamolle voisi olla 0.9 kg/v. Mitatuista pitoisuuksista arvioitu kuorma oli kuitenkin vain 0.34 kg/v. Ravinnossa epäpuhtautena oleva TBT näyttäisi kuitenkin olevan merkittävä TBT:n lähde jätevedenpuhdistamoilla.

Tässä selvityksessä mitatut TBT-pitoisuudet olivat sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä selvästi alempia kuin muissa selvityksissä (kuva 5.24). Erytisest tulevan jäteveden pitoisuudet olivat vain murto-osa puhdistamoilla tehtyihin muihin mittauksiin sekä Mehtonen ym. 2012b raportoimiin verrattuna. Lähtevässäkin jätevedessä pitoisuudet olivat keskimäärin 4–55 % pienempiä verrattuna muissa selvityksissä mitattuihin arvioihin. Toivikko (2011) raportoi kaikkien mittausten olleen alle määritysrajan 0.001 µg/l ja Mannio ym. (2011) alle määritysrajan 0.5 µg/l. Tässä selvityksessä mitatut TBT-pitoisuudet olivat kuitenkin alle näiden määritysrajojen, joten vertailua ei voida näiden selvitysten suhteen tehdä.



Kuva 5.24. TBT-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

TBT:n keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 74 %, mutta se vaihteli erittäin paljon. Yhdellä puhdistamolla TBT:n pitoisuudet olivat lähtevässä jätevedessä tulevaa jätevettä korkeampia ja poistumat olivat negatiivisia. TOXCHEM-mallin mukaan 40 – 43 % TBT:stä biohajoaa ja lietteeseen tarttuu 55 – 57 %. Pieni osa (< 1 %) haihtuu ja lähtevään jätevetteen päätyisi mallin mukaan 1 – 2 % TBT:tä. Viipymän pidentäminen ei mallin mukaan merkittävästi lisää TBT:n poistumista jätevedenpuhdistamoilla. Mittausten mukaan TBT:n poistuminen on jonkin verran vähäisempää biologista typenpoistoa käyttävillä laitoksilla (65 %) kuin aktiivilietelaitoksilla tai biologisia suodattimia käyttävillä laitoksilla, joissa TBT:n poistuma oli n. 80 %.

Clara ym. (2012) mukaan TBT:n poistuma jätevedenpuhdistamoilla on yli 90 % ja se johtuu pääasiassa tarttumisesta lietteeseen. Heidän mukaan TBT ei ole biohajoava. Fentin (1996) mukaan orgaanisten tinayhdisteiden biohajoaminen on vähäistä (< 10 %) ja yli 70 % aineista poistuu jo esiselkeytysvaiheessa. TOXHEM-malli saattaa siis yliarvioida TBT:n biohajoavuutta. Tässä selvityksessä havaittiin, että TBT:n poistumat olivat hieman suurempia kemikalointia ja flotaatiota jälkikäsittelynä käyttävillä laitoksilla. Tämä viittaisi suuremman kiintoainemäärän poistamisen lisäävän TBT:n poistoa.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida TBT:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 0.34 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 62 %: 0.21 kg/v
- Biohajoaa 9 % *: 0.03 kg
- Lähtevä jätevesi 29 %: 0.10 kg/v

* TBT:n biohajoamiseksi on valittu TOXCHEM-mallinnuksia pienempi arvo, koska kirjallisuus ei tukenut niin korkeaa TBT:n biohajoamisprosenttia.

HUOM TBT:n pitoisuudet lähtevissä jätevesissä olivat suurimmaksi osaksi alle määrittäysrajan, jolloin kuormituksen arvioiminen koko Suomen alueelle on epävarma.

TBT:tä ei tässä selvityksessä mitattu lietteistä, mutta aiemmissa selvityksessä TBT-pitoisuudet ovat olleet välillä 7.9 – 18 µg/kg k.a. (Mehtonen ym. 2012b, Mannio ym. 2011, Huhtala ym. 2011).

Vuosikeskiarvona määrätty EQS 0.0002 µg/l mitattiin tai se ylittyi viidellä (8 % puhdistamoista) puhdistamolla. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 9.5.

5.2.7 Diuroni

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.7. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.7. Yhteenveto diuronin tuloksista.

Diuroni	
Tuleva jätevesi	
n	35
n > mr	4
Min (µg/l)	<0.005
Max (µg/l)	0.013
Keskiarvo (µg/l)	0.0095 ¹⁾
Mediaani (µg/l)	- ¹⁾
Lähtevä jätevesi	
n	59
n > mr	7
Min (µg/l)	<0.005
Max (µg/l)	0.01
Keskiarvo (µg/l)	0.0077 ¹⁾
Mediaani (µg/l)	- ¹⁾
AA-EQS (µg/l)	0.2
MAC-EQS (µg/l)	1.8
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

¹⁾ Keskiarvo on laskettu arvoista, jotka ylittivät määrittämissä. Suurin osa näytteistä mitattiin menetelmällä, jonka määrittämissä oli 0.05 µg/l. Jos keskiarvon laskemisessa olisi käytetty määrittämissä puolikasta (0.025 µg/l), olisi tulos vääristynyt sillä korkein mitattu pitoisuus oli < 0.025 µg/l. Samasta syystä myöskään mediaania ei voitu määrittää.

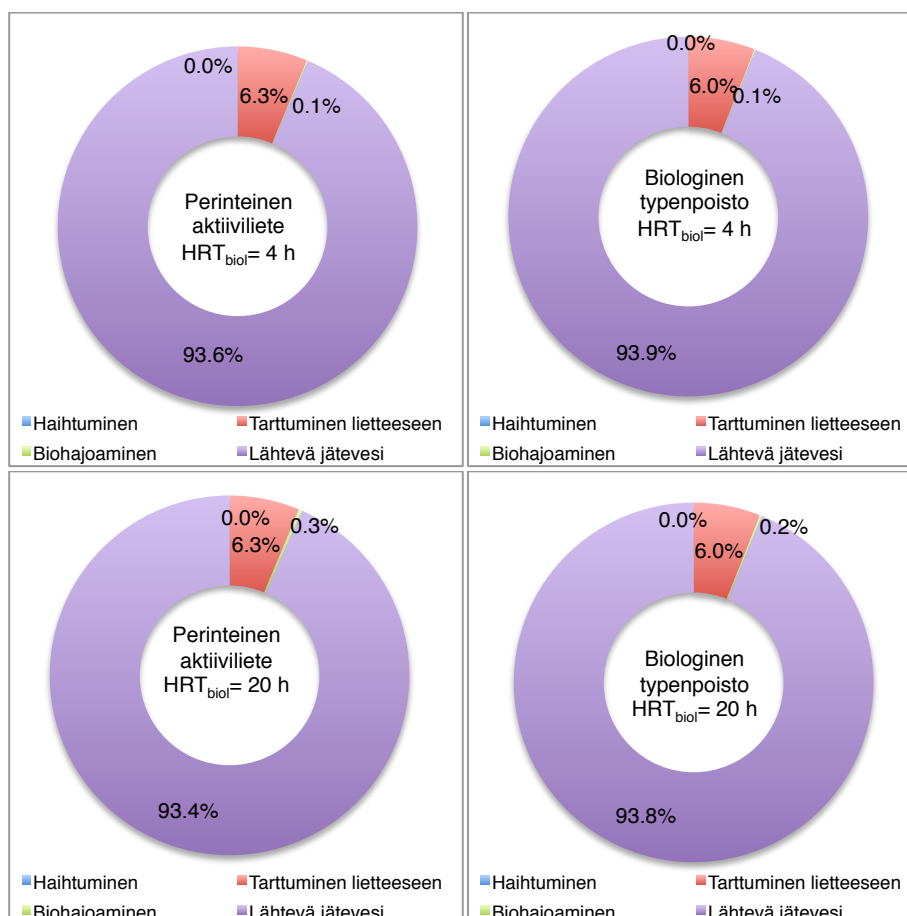
Yhteenveto tuloksista

- Diuronin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.0095 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.0077 µg/l. Diuronin pitoisuudet olivat suurimmaksi osaksi alle määrittämissä. Tulevassa jätevedessä diuronia mitattiin 11 % ja lähtevässä jätevedessä 12 % näytteistä. Vähäisten mittausarvojen vuoksi myöskään pysyvyyskäyriä ei piirretty. Yksikään lähtevän jäteveden arvo ei ylittänyt diuronille asetettuja EQS-arvoja.

- Diuronin tulevan jäteveden pitoisuuksissa ei havaittu vaihtelua puhdistamon koon mukaan tarkasteltuna (liite 4). Lähtevässä jätevedessä ei vaihtelua ei juuri ollut. Ainoastaan kokoluokan 50 000 – 99 999 AVL puhdistamoilla diuronin keskimääräinen pitoisuus oli alle määritysrajan 0.005 µg/l.
- Maantieteellisesti jaettuna kaikki keskimääräiset diuronit pitoisuudet olivat alle määritysrajan sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä (liite 5).
- Teollisuusjäteveden osuus tulevan jäteveden virtaamasta ei korreloinut diuronin pitoisuuksien kanssa (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden diuronin pitoisuuksiin. Koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli niin vähän, ei arviota eri jätevesilähteiden vaikutuksesta voitu diuronin osalta tehdä.
- Biologisen puhdistuksen ja jälkikäsitteilyn vaikutusta diuronin pitoisuuksiin ei arvioitu, koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli lähtevässä jätevedessä niin vähän. Tulokset on esitetty liitteessä 7 ja 8, mutta johtopäätöksiä niiden perusteella ei voida tehdä.
- Diuronin poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	Diuroni
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	8
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	7.6
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	10 % (-11 – 39 %)

- Diuronin poistuma voitiin määrittää vain neljällä laitoksella. Keskimäärin diuronin poistuminen oli hyvin vähäistä ja sen pitoisuuden havaittiin jopa nousevan puhdistuksen aikana. Vähäisten mittaustulosten vuoksi puhdistamon koon, biologisen prosessin tai jälkikäsitteilyn vaikutusta diuronin poistumaan ei voitu arvioida.
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.25) suurin osa diuronista (93 – 94 %) ei poistu puhdistamolla vaan päätyy lähtevään jätevetteen. Pieni osa (n. 6 %) diuronista tarttuu lietteeseen. Haihtumista ei tapahdu ja biohajoaminen on hyvin vähäistä.

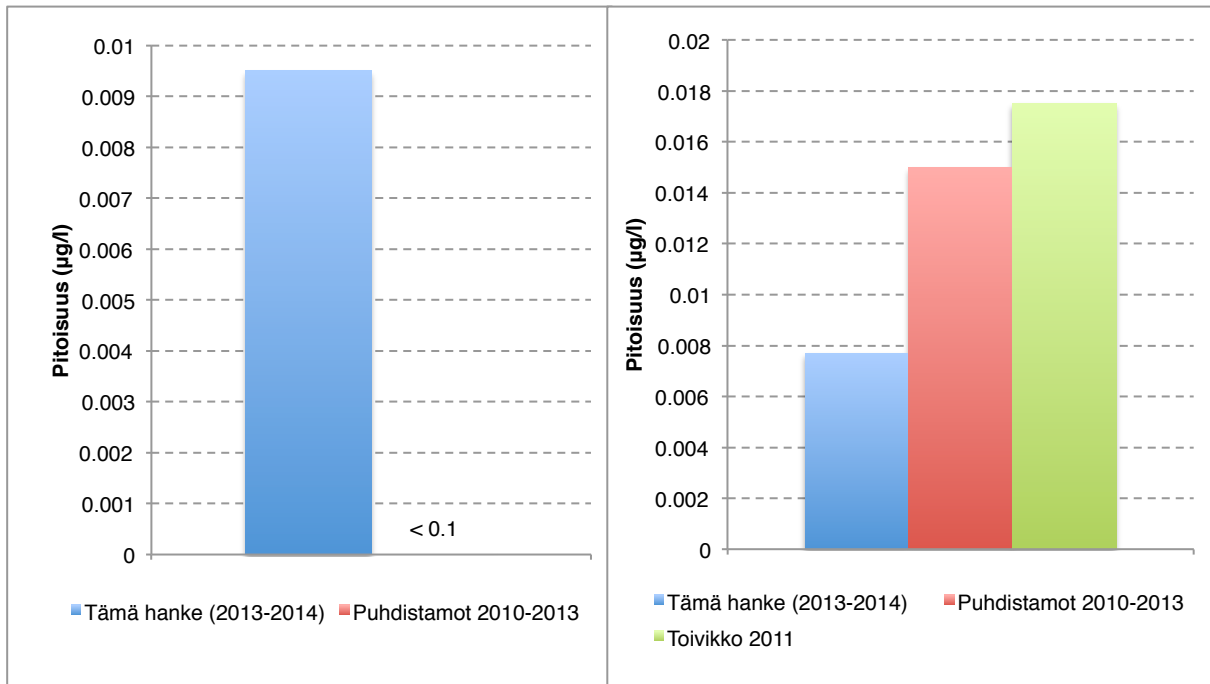


Kuva 5.25. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset diuronin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Diuronin pitoisuudet tulevassa jätevedessä ylittivät määritysrajan 11 % näytteistä ja sen keskimääräinen pitoisuus oli 0.0095 µg/l. Lähtevän jäteveden keskimääräinen pitoisuus oli 0.0077 µg/l. Näyttäisi siltä, että diuronin pitoisuuteen jätevedessä ei vaikuta puhdistamon koko, sen maantieteellinen sijainti eikä teollisuusjätevesien osuus puhdistamolle tulevasta jätevedestä. Diuronin pääasiallinen käyttö on maalien biosidinä. Maaliteollisuuden (tai muidenkaan teollisuuden alojen) esiintymisen puhdistamon viemärintialueella ei kuitenkaan havaittu vaikuttavan tulevan jäteveden diuronipitoisuuteen.

Puhdistamoiden lähettämien vuonna 2010 – 2013 mitattujen jätevesien osalta diuronin pitoisuudet olivat keskimäärin alle määritysrajan 0.1 µg/l (kuva 5.26). Suurin osa tämän selvityksen tuloksista oli kuitenkin alle tämän arvon, joten vertailua ei voida suorittaa. Lähtevän jäteveden osalta kuitenkin diuronin pitoisuudet ylittivät määritysrajan (kuva 5.26). Mitattujen pitoisuuksien keskiarvo oli noin kaksi kertaa tämän selvityksen keskiarvoa suurempi. Toivikko (2011) raportoi, että kahdella puhdistamolla yhdeksästä diuronin pitoisuus ylitti määritysrajan selvästi, mutta muut mittaukset olivat alle määritysrajan 0.01 µg/l.



Kuva 5.26. Diuronimittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Diuronin poistuma voitiin määrittää vain neljällä puhdistamolla. Keskimäärin aine poistui näissä heikosti (10 %). Yhdellä puhdistamolla lähtevän jäteveden pitoisuus oli tulevaa suurempi eli poistuma oli negatiivinen. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan pieni osa diuronista (6 %) tarttuu lietteeseen ja loppu 94 % päätyy puhdistettuihin jätevesiin. Tämä on yhteneväinen Clara ym. (2012) tutkimuksen kanssa, jossa todettiin diuronin pitoisuuksien olevan tulevassa ja lähtevässä jätevedessä samalla tasolla. Stasinakis ym. (2009) mittasi diuronin puoliintumisajaksi 11.5 – 12.1 d hapellisissa olosuhteissa ja 5.8 – 7.4 d anoksisissa olosuhteissa. Biohajoaminen on siis hidasta, mutta jonkin verran nopeampaa anoksisissa kuin hapellisissa olosuhteissa. Heidän mukaansa diuronin biohajoaminen kuitenkin tehostuu, jos aktiiviliete on adaptoitunut aineen poistamiseen. Margot ym. (2013) raportoi diuronin poistumisen perinteisellä aktiivilietelaitoksella olleen 10 % (n= 9).

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida diuronin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 8 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 5 %: 0.4 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg
- Lähtevä jätevesi 95 %: 7.6 kg/v

Diuronin pitoisuudet sekä tulevissa että lähtevissä jätevesissä olivat suurimmaksi osaksi alle määräysrajan, jolloin kuormituksen arvioiminen koko Suomen alueelle on epävarma.

Diuronia ei tässä selvityksessä mitattu lietenäytteistä. Aiemmissa Suomessa tehdyissä selvityksissä ei myöskään raportoitu lietteen diuronipitoisuuksia. Myöskään kirjallisuudesta ei löydetty mittauksia lietteen diuronipitoisuuksille.

Tässä selvityksessä diuronin pitoisuudet ylittivät määrittäjärajan seitsemässä näytteessä. Määrittäjäraja näille näytteille oli 0.005 µg/l. Suurimmalle osalle näytteitä määrittäjäraja oli 0.05 µg/l, mikä oli jo alle EQS-arvosta lasketun tavoitemäärittäjärajan (30 % x EQS= 0.06 µg/l). Kaikki lähtevän jäteveden mitatut arvot olivat < 0.05 µg/l. Kaikki mittaustulokset olivat siis myös alle EQS-arvojen 0.2 ja 1.8 µg/l.

5.2.8 4-kloori-2-metyylifenoksietikka-happo (MCPA)

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.7. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.7. Yhteenveto MCPA:n tuloksista. Määrittäjärajat ks. taulukko 5.1.

MCPA	
Tuleva jätevesi	
n	35
n > mr	2
Min (µg/l)	<0.01
Max (µg/l)	0.14
Keskiarvo (µg/l)	0.016
Mediaani (µg/l)	0.01
Lähtevä jätevesi	
n	59
n > mr	5
Min (µg/l)	<0.02
Max (µg/l)	0.08
Keskiarvo (µg/l)	0.016
Mediaani (µg/l)	0.01
AA-EQS sisävedet (µg/l)	1.6
AA-EQS rannikkovedet (µg/l)	0.16
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

Yhteenveto tuloksista

- MCPA:n keskimääräinen pitoisuus oli sama, 0.016 µg/l, sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä. MCPA:n pitoisuudet olivat suurimmaksi osaksi alle määritysrajan. Tulevassa jätevedessä MCPA:ta mitattiin 6 % ja lähtevässä jätevedessä 8 % näytteistä. Vähäisten mittausarvojen vuoksi myöskään pysyvyyskäyriä ei piirretty. Yksikään lähtevän jäteveden arvo ei ylittänyt diuronille asetettuja EQS-arvoja.
- Mittausarvojen vähäisyyden vuoksi puhdistamon koon, maantieteellisen sijainnin tai teollisuusjätevesien osuuden vaikutusta tulevan ja lähtevän veden MCPA-pitoisuuksiin ei voitu arvioida.
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden MCPA-pitoisuuksiin. Koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli niin vähän, ei arviota eri jätevesilähteiden vaikutuksesta voitu MCPA:n osalta tehdä.
- Biologisen puhdistuksen ja jälkikäsittelyn vaikutusta MCPA:n pitoisuuksiin ei arvioitu, koska määritysrajat ylittäviä mittauksia oli lähtevässä jätevedessä niin vähän. Tulokset on esitetty liitteessä 7 ja 8, mutta johtopäätöksiä niiden perusteella ei voida tehdä.
- MCPA:n poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

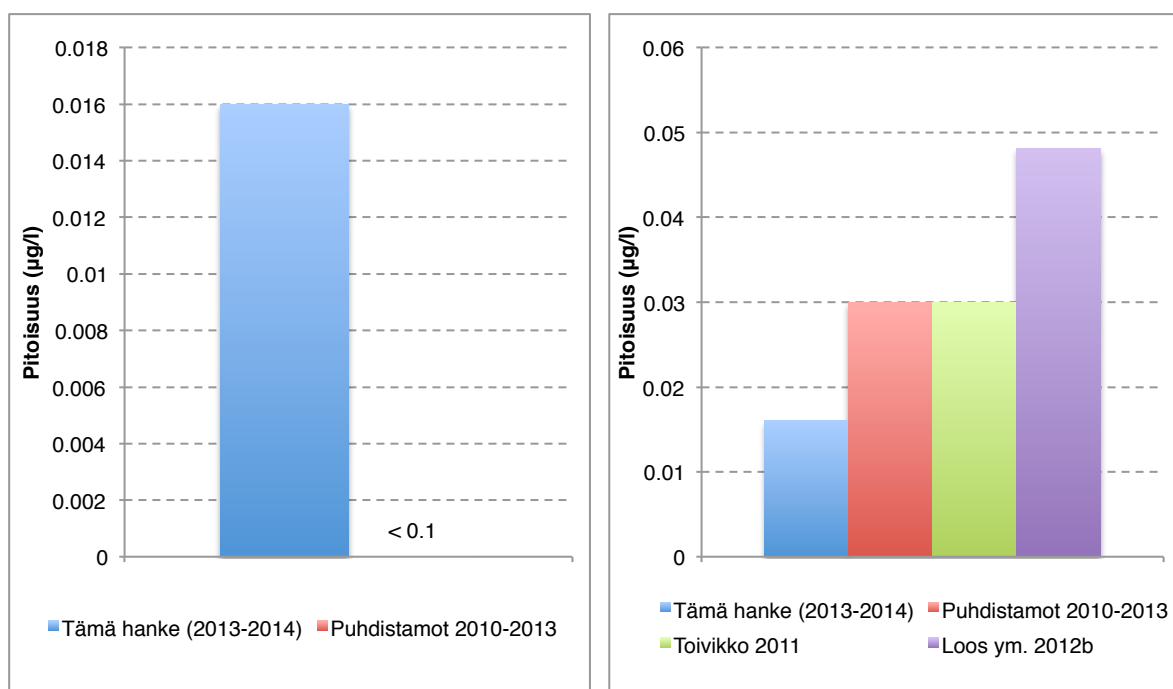
	MCPA
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	8.8
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	7.7
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	-34 % (-144 – 43 %)

- MCPA:n poistuma voitiin määrittää vain kolmella laitoksella. Keskimäärin MCPA:n poistuminen oli hyvin vähäistä ja sen pitoisuuden havaittiin jopa nousevan puhdistuksen aikana. Vähäisten mittaustulosten vuoksi puhdistamon koon, biologisen prosessin tai jälkikäsittelyn vaikutusta MCPA:n poistumaan ei voitu arvioida.
- TOXCHEM-mallinnuksia ei tehty, koska aineen fysikaalis-kemialliset lähtötiedot olivat puutteelliset.

Tulosten tarkastelu

Tulevassa jätevedessä MCPA:n pitoisuus ylitti määritysrajan 6 % näytteistä ja lähtevässä jätevedessä 8 % näytteistä. Keskimääräinen pitoisuus sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä oli 0.016 µg/l. Mittausarvojen vähäisyyden vuoksi puhdistamon koon, maantieteellisen sijainnin tai teollisuusjätevesien osuuden vaikutusta tulevan ja lähtevän veden MCPA-pitoisuuksiin ei voitu arvioida. MCPA:ta käytetään rikkakasvien torjuntaan ja sen pääasiallinen kulkeutuminen jätevedenpuhdistamoille tapahtuu hulevesien mukana.

Puhdistamoiden lähettämissä vuonna 2010 – 2013 tehdyissä mittauksissa kaikki tulevan jäteveden tulokset MCPA:n osalta olivat alle määritysrajan 0.1 µg/l (kuva 5.27). Lähtevässä jätevedessä MCPA-pitoisuudet kuitenkin olivat keskimäärin kaksi kertaa tämän selvityksen pitoisuuksia suuremmat. Myös Toivikko (2011) raportoi keskimääräisten MCPA-pitoisuuksien olleen tätä selvitystä korkeammat. Kolme kertaa suurempia keskimääräisiä pitoisuuksia MCPA:lle raportoi myös Loos ym. (2012b), jonka selvityksessä näytteitä otettiin kuudelta puhdistamolta Suomessa.



Kuva 5.27. MCPA-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

MCPA:n poistuma voitiin määrittää vain kolmella puhdistamolla. Näillä MCPA:n poistuma oli välillä -144 – 43 % ja keskiarvo -34 %. MCPA:n pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli yhdellä puhdistamolla tulevaa jätevettä suurempi. Aineelle ei voitu tehdä TOXCHEM-mallinnusta, koska fysikaalis-kemialliset lähtötiedot olivat puutteelliset. EU:n tekemän MCPA:n evaluointiraportin mukaan (EU 2008) MCPA ei ole biohajoava. Tämän selvityksen tulokset tukevat tätä näkemystä.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida MCPA:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 8.8 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 0 %: 0 kg/v
- Biohajoaa 14 % *: 1.2 kg/v
- Lähtevä jätevesi 86 %: 7.6 kg/v

* MCPA:n fysikaalis-kemiallisista arvoista ($\log K_{ow} = 3.25$ ja vesiiukoisuudesta 630 mg/l) arvioitiin, ettei tarttumista lietteeseen tapahdu ja vähäinen poistuma puhdistamoilla on biohajoamista.

On huomioitava, että MCPA:n pitoisuudet sekä tulevissa että lähtevissä jätevesissä olivat suurimmaksi osaksi alle määrittämissä rajat, jolloin kuormituksen arvioiminen koko Suomen alueelle on epävarma. Yksikään lähtevän jäteveden mittausarvo ei ylittänyt aineelle asetettuja EQS-arvoja (0.16 ja 1.6 $\mu\text{g/l}$). MCPA:n analysointimenetelmien määrittämissä rajat olivat lähtevälle jätevedelle 0.02 ja 0.05 $\mu\text{g/l}$, jotka täyttivät asetuksen vaatimuksen (30 % x EQS).

5.2.9 Raskasmetallit

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.8. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5.8. Yhteenveto raskasmetallien tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.1.

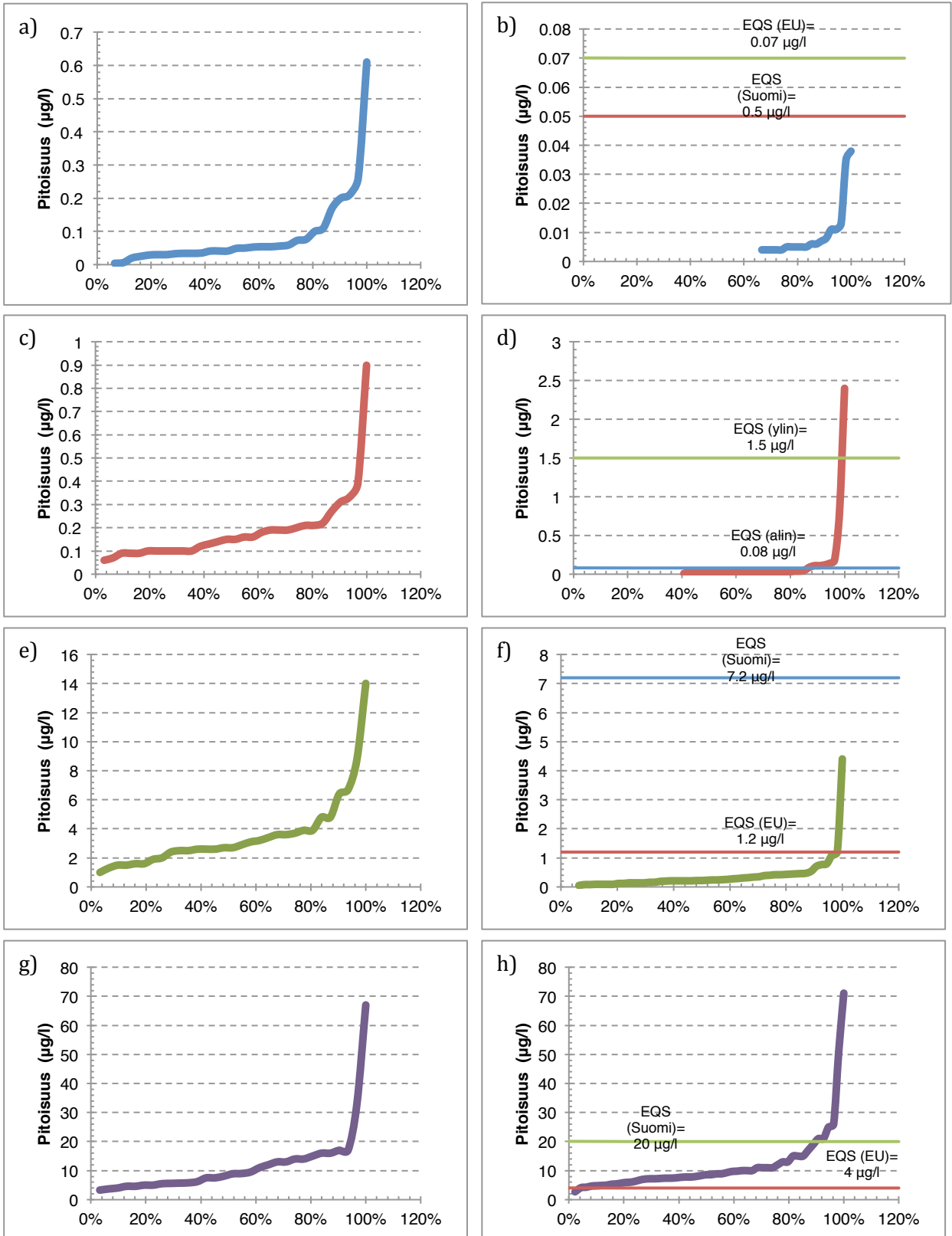
	Hg	Cd	Pb	Ni
Tuleva jätevesi				
n	31	31	31	31
n > mr	30	31	31	31
Min (µg/l)	<0.004	0.06	1	3.3
Max (µg/l)	0.61	0.9	14	67
Keskiarvo (µg/l)	0.084	0.19	3.54	11.9
Mediaani (µg/l)	0.049	0.15	2.7	8.9
Lähtevä jätevesi				
n	54	54	54	54
n > mr	19	43	51	54
Min (µg/l)	<0.004	<0.01	<0.05	2.7
Max (µg/l)	0.038	2.4	4.4	71
Keskiarvo (µg/l)	0.005	0.088	0.39	11.7
Mediaani (µg/l)	<0.004	0.02	0.24	8.6
EQS_{Suomi,AA} (µg/l) sisäv.	0.05	0.08 – 0.25 *	7.2	20
EQS_{Suomi,AA} (µg/l) rannikkov.	0.05	0.2	7.2	20
EQS_{Suomi,Max} (µg/l) sisäv.	-	0.45 – 1.5 *	-	-
EQS_{Suomi,Max} (µg/l) rannikkov.	-	0.45 – 1.5 *	-	-
EQS_{EU,AA} (µg/l) sisäv.	-	0.08 – 0.25 *	1.2 ¹⁾	4 ¹⁾
EQS_{EU,AA} (µg/l) rannikkov.	-	0.45 – 1.5 *	1.3	8.6
EQS_{EU,Max} (µg/l) sisäv.	0.07	0.2	130	34
EQS_{EU,Max} (µg/l) rannikkov.	0.07	0.45 – 1.5 *	130	34
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajaa)	0	8 (> 0.08 µg/l)	2 (>1.2 µg/l)	53 (> 4 µg/l) 2 (> 34 µg/l) 6 (> 20 µg/l)

* riippuu veden kovuudesta (ks. taulukko 2.4), ¹⁾ Aineen biosaatava osuus

Yhteenveto tuloksista

- Elohopean (Hg) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.084 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.005 µg/l. Tulevassa jätevedessä sen pitoisuus oli yli määrittäysrajan 97 % ja lähtevässä jätevedessä 35 % näytteistä. Yhdenkään puhdistamon lähtevän jäteveden näytteessä mitattu elohopea ei ylittänyt EQS-arvoa.
- Kadmiumin (Cd) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.19 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.088 µg/l. Tulevassa jätevedessä sen pitoisuus oli yli määrittäysrajan 100 % ja lähtevässä jätevedessä 80 % näytteistä. Kadmiumin

- EQS-arvot riippuvat veden kovuudesta. Alin raja eli 0.08 µg/l ylittyi kahdeksalla (8) puhdistamolla. Yhdellä puhdistamolla ylittyi ylin raja 1.5 µg/l. Mitatut pitoisuudet olivat välillä 0.09 ja 2.4 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.3 – 30.
- Lyijyn keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 3.54 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.39 µg/l. Tulevassa jätevedessä sen pitoisuus oli yli määritysrajan 100 % ja lähtevässä jätevedessä 94 % näytteistä. Lyijyn alin EQS-arvo on 1.2 µg/l, mutta on huomioitava, että tämä on aineen biosaatava osuus ja tässä hankkeessa mitattiin lyijyn kokonaismäärää. Tämän EQS-arvon kuitenkin saavutti tai ylitti kaksi puhdistamo, joiden lähtevän jäteveden lyijypitoisuudet olivat 1.2 ja 4.4 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 3.7.
 - Nikkelin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 11.9 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 11.7 µg/l. Sitä mitattiin yli määritysrajan kaikista tulevan ja lähtevän jäteveden näytteistä. Kuuden (6) puhdistamon lähtevän jäteveden pitoisuudet ylittivät Suomessa voimassa olevan EQS-arvon 20 µg/l. Pitoisuudet olivat välillä 21 – 71 µg/l. Alimman EQS-arvo 4 µg/l ylittyi lähes kaikilla (53) puhdistamoilla. On huomioitavaa, että alin EQS arvo on määrätty aineen biosaatavalle osalle ja tässä hankkeessa mitattiin nikkelin kokonaispitoisuutta. Pitoisuudet olivat välillä 4.1 – 71 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.03 – 18.
 - Tulevan jäteveden elohopeapitoisuus oli keskimäärin suurin < 10 000 AVL:n, kadmiumin > 100 000 AVL:n, lyijyn > 50 000 AVL:n ja nikkelin > 100 000 AVL:n puhdistamoilla (liite 4).
 - Lähtevän jäteveden elohopeapitoisuudet olivat samaa tasoa kaikissa puhdistamoiden kokoluokissa (liite 4). Kadmiumin pitoisuus oli selvästi suurin < 10 000 AVL:n puhdistamoilla (0.24 µg/l). Matalin keskimääräinen kadmiumipitoisuus (0.02 µg/l) mitattiin > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Lyijypitoisuudet olivat 50 000 – 99 999 AVL:n puhdistamoilla hieman muita kokoluokkia korkeammat. Nikkelipitoisuudet taas olivat korkeimmat < 10 000 AVL:n puhdistamoilla.
 - Tulevan jäteveden elohopeapitoisuudet olivat korkeimmat Lapissa (0.2 µg/l), tosin arvio perustuu vain yhden puhdistamon tulokseen (liite 5). Samalla puhdistamolla mitattiin myös korkeimmat kadmiumin (6.7 µg/l) ja lyijyn (6.7 µg/l) pitoisuudet. Kadmiumin pitoisuus muilla alueilla oli keskimäärin 0.1 – 0.2 µg/l. Lyijypitoisuudet olivat myös Etelä-Suomen puhdistamoilla keskimäärin korkeammat (4.5 µg/l) kuin muilla alueilla. Nikkelin pitoisuudet olivat melko samalla tasolla alueesta riippumatta.



Kuva 5.28. Raskasmetallien pysyvyyskäyrät a) Hg tuleva, b) Hg lähtevä, c) Cd tuleva, d) Cd lähtevä, e) Pb tuleva, f) Pb lähtevä, g) Ni tuleva ja h) Ni lähtevä. EQS (Suomi)= 868/2010 mukainen arvo, EQS (EU)= 2013/39/EU mukainen arvo. Kadmiumin EQS-arvo riippuu veden kovuudesta ja kuvaajassa on esitetty ylin ja alin arvo (ks. taulukko 2.4). x- akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Lähtevässä jätevedessä elohopeapitoisuudet olivat matalia ($< 0.01 \mu\text{g/l}$) puhdistamon maantieteellisestä sijainnista riippumatta (liite 5). Pohjois-Suomen ja Lapin puhdistamoilla keskimääräiset pitoisuudet olivat jopa $< 0.004 \mu\text{g/l}$. Kadmium-pitoisuuksissa taas Pohjois-Suomen puhdistamoilla keskimääräinen pitoisuus oli selvästi suurin ($0.1 \mu\text{g/l}$). Itä-Suomen puhdistamoilla keskimääräinen pitoisuus oli alhaisin ($0.018 \mu\text{g/l}$). Lyijy-pitoisuudet taas olivat korkeimmat Länsi- ja Sisä-Suomen puhdistamoilla (keskimäärin $0.68 \mu\text{g/l}$) ja alimmat Itä-Suomen ja Lapin puhdistamoilla (n. $0.2 \mu\text{g/l}$). Nikkelin pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat Etelä-Suomen puhdistamoilla ($36 \mu\text{g/l}$) ja matalimmat Lapissa (n. $7 \mu\text{g/l}$).
- Selkeää trendiä ei ole havaittavissa yhdenkään raskasmetallin pitoisuuden ja puhdistamolle tulevan jäteveden teollisuusjätevesiprosentin välillä (liite 6). Elohopean osalta lievä positiivinen korrelaatio on kuitenkin havaittavissa eli korkeampi teollisuusjätevesien osuus indikoi korkeampaa elohopeanpitoisuutta jätevedessä.
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröntialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden raskasmetallipitoisuuksiin. Keskimäärin noin 10 % korkeampia elohopean pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröntialueella oli metalliteollisuutta.
- Keskimäärin 30 % korkeampia kadmiumin pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröntialueella oli lentokenttä tai satama, ja 20 – 25 % korkeampia, jos viemäröntialueella oli painoteollisuutta tai metalliteollisuutta. Puhdistamolla, jonka viemäröntialueella oli sinkintuotantolaitos, tulevan jäteveden kadmiumin pitoisuus oli kaksi kertaa keskimääräistä suurempi. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden elohopea-pitoisuuksissa havaittu.
- Keskimäärin 35 % korkeampia lyijyn pitoisuuksia mitattiin laitosten tulevissa jätevesissä, kun viemäröntialueella oli lentokenttä ja 25 % korkeampia, kun viemäröntialueella oli satama tai painoteollisuutta. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden lyijy-pitoisuuksissa havaittu.
- Keskimäärin 45 % korkeampia nikkelin pitoisuuksia mitattiin laitosten tulevissa jätevesissä, kun viemäröntialueella oli lentokenttä tai satama, 20 % korkeampia, kun viemäröntialueella oli metalliteollisuutta ja 10 %, kun viemäröntialueella oli pintakäsittelylaitoksia. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden lyijy-pitoisuuksissa havaittu.
- Biologisella puhdistusmenetelmällä ei ole suurta merkitystä elohopean poistumisessa (liite 7). Biologisen suodattimen jälkeen elohopean pitoisuus oli kuitenkin keskimäärin suurin verrattuna perinteiseen aktiivilietteeseen ja biologiseen typenpoistoon. Nikkelin pitoisuuksissa näkyy sama trendi kuin elohopealla. Kadmiumin osalta ero puhdistusmenetelmien välillä oli suurempi. Korkein keskimääräinen pitoisuus ($0.06 \mu\text{g/l}$) mitattiin perinteisen aktiivilieteprosessin jälkeen ja matalin ($0.008 \mu\text{g/l}$) biologisen suodattimen jälkeen. Samanlainen trendi havaittiin myös lyijylle.

- Elohopeapitoisuudet olivat lähellä määritysrajaa 0.004 µg/l tai sen alle riippumatta siitä, jälkikäsiteltiinkö vettä ja millä käsittelymenetelmällä (liite 8). Kadmiumin suhteen korkeimmat pitoisuudet mitattiin biologisen suodatuksen ja hiekkasuodatuksen jälkeisissä näytteissä. Lyijylle alhaisin pitoisuus mitattiin UV-desinfiointin jälkeen ja korkeimmat biologisen suodatuksen jälkeen tai laitoksilla, joissa jälkikäsitelyä ei käytetty. Nikkelin osalta taas alhaisin pitoisuus mitattiin biologisen suodattimen jälkeen.
- Raskasmetallien poistumat puhdistusprosessissa sekä arvioidut kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	Elohopea	Kadmium	Lyijy	Nikkeli
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	41	97	1920	5400
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	3	18	206	4920
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	90 % (50–99 %)	85 % (-10–97 %)	89 % (52–98 %)	-13 % (-165–89 %)

- Elohopean, kadmiumin ja lyijyn poistumat puhdistamoilla olivat pääsääntöisesti 80 – 90 %. Nikkeli taas ei poistunut prosessissa ja jossain tapauksissa sen pitoisuus oli lähtevässä jätevedessä tulevaa selvästi korkeampi. Puhdistamon koolla ei ollut suurta merkitystä raskasmetallien poistumistehossa (liite 9).
- Elohopean, kadmiumin ja lyijyn osalta puhdistamon biologisella puhdistusprosessilla ei ollut suurta merkitystä poistumistehoon (liite 10) Nikkelin pitoisuus nousi perinteisen aktiivilieteprosessin sekä biologisen typenpoiston jälkeen. Biologisen suodatuksen jälkeen pitoisuudet taas olivat laskeneet.
- Elohopean ja nikkelin osalta jälkikäsitelyllä ei pystytty merkittävästi tehostamaan metallin poistoa (liite 11). Kadmiumin osalta taas poistuma laitoksissa, joissa oli käytössä biologinen jälkisuodatus, oli vertailukohteita selvästi pienempi. Nikkelin osalta jälkikäsitely paransi poistumaa verrattuna tilanteeseen, jossa mitään jälkikäsitelyä ei ollut.
- Raskasmetalleille ei tehty TOXCHEM-mallinnuksia, koska tarvittavia fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia ei löydetty. Voidaan kuitenkin olettaa, että poistuma on pääasiassa tarttumista lietteeseen, sillä raskasmetallit eivät ole biohajoavia. Haihtuminen on myös oletettavasti vähäistä

Tulosten tarkastelu

Kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden näytteet sisälsivät ainakin yhtä raskasmetallia. Tulevan jäteveden keskimääräiset pitoisuudet olivat: elohopea 0.084 µg/l, kadmium 0.19 µg/l, lyijy 3.54 µg/l ja nikkeli 11.9 µg/l. Lähtevässä jätevedessä keskimääräiset pitoisuudet olivat: elohopea 0.005 µg/l, kadmium 0.088 µg/l, lyijy 0.39 µg/l ja nikkeli 11.7 µg/l. Elohopean keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli selvästi suurin < 10 000 AVL:n puhdistamoilla. Pitoisuutta kuitenkin nosti yhden puhdistamon korkea tulos. Kun tätä arvoa ei otettu huomioon, keskimääräiset pitoisuudet eri kokoluokissa olivat selvästi tasaisemmat. Nikkelin, lyijyn ja kadmiumin pitoisuudet olivat > 50 000 AVL:n puhdistamoilla selvästi pienempiä puhdistamoja korkeampia. Syytä tähän ei tiedetä. Lähtevän jäteveden osalta pitoisuuksissa ei näyttäisi olevan selkeää vaihtelua eri kokoisten puhdistamojen välillä muille paitsi kadmiumille, jonka keskimääräinen pitoisuus < 10 000 AVL:n puhdistamoilla oli moninkertainen muihin kokoluokkiin verrattuna. Yhdellä < 10 000 AVL:n puhdistamolla mitattu erittäin korkea kadmiumpitoisuus (2.4 µg/l) kasvatti kuitenkin kokoluokan keskimääräistä pitoisuutta. Jos tätä ei otettu huomioon oli keskimääräinen pitoisuus 0.02 µg/l eli samalla tasolla muiden kokoluokkien kanssa. Tulevan jäteveden nikkelin pitoisuuksissa ei näyttäisi olevan riippuvuutta puhdistamon maantieteellisestä sijainnista. Muiden raskasmetallien osalta Lapissa olevalla puhdistamolla mitattiin keskimääräistä korkeampia pitoisuuksia. Mittaus perustuu kuitenkin vain yhden puhdistamon tuloksiin, joten se ei kuvasta Lapin aluetta yleisesti. Lähtevän jäteveden osalta pitoisuuksissa on vaihtelua eri alueiden välillä, mutta mitään selkeää kaavaa ei ole havaittavissa.

Viemäröintialueen teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen analyysissä kävi ilmi, että elohopean osalta vain metalliteollisuus viemäröintialueella voi hieman (10 %) nostaa tulevan jäteveden pitoisuuksia. Kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuuksia nostavasti taas näytti vaikuttavan erityisesti lentokentän ja sataman sijainti viemäröintialueella. Kadmiumin ja lyijyn pitoisuuksia nostavasti näytti vaikuttavan myös painoteollisuus ja nikkelin pitoisuuksia nostavasti metalliteollisuus ja pintakäsittelyteollisuus. Sinkintuotannon on arvioitu olevan kadmiumin suurin lähde jätevesissä. Tässä selvityksessä mukana olleella puhdistamolla, jonka viemäröintialueella oli sinkintuotantolaitos, tulevan jäteveden kadmiumin pitoisuus oli kaksi kertaa keskimääräistä korkeampi.

Aiemmissa selvityksissä raskasmetallien pitoisuuksia oli mitattu ainoastaan puhdistamojen lähettämissä vuosina 2010 – 2013 tehdyissä tutkimuksissa (kuva 5.29). Tuloksista lasketut keskimääräiset raskasmetallien pitoisuudet olivat jonkin verran tässä selvityksessä mitattuja suurempia. Lähtevässä jätevedessä elohopean pitoisuudet olivat monta kertaa tässä selvityksessä mitattuja suurempia. Huhtala ym. (2011) taas mittasivat elohopean keskimääräiseksi pitoisuudeksi 0.003 µg/l, mikä oli alempi kuin tässä tutkimuksessa mitattu 0.005 µg/l. Toivikon (2011) selvityksessä keskimääräinen elohopeapitoisuus oli selvästi suurempi (0.055 µg/l). Puhdistamoilta saaduista 2010-2013 mitatuissa näytteissä kadmiumin pitoisuudet olivat kaikki alle määrittäysrajan 0.5 µg/l. Tässä selvityksessä mitatut pitoisuudet kuitenkin olivat suurimmaksi osaksi alle tämän arvon, joten vertailua ei voida tehdä. Huhtala ym. (2011) raportoi kadmiumin keskimääräiseksi pitoisuudeksi lähtevässä jätevedessä 0.04 µg/l, mikä oli noin puolet tässä selvityksessä mitatuista pitoisuuksista. Toivikko (2011) taas raportoi tätä selvitystä korkeammista kadmiumpitoisuuksista (0.14 µg/l). Loosin

ym. (2012b) kaikki mittaukset kuudelta suomalaiselta puhdistamolta olivat alle määritysrajan 0.001 µg/l. Lyijyn ja nikkelin pitoisuudet muissa selvityksissä tai puhdistamoilta saaduista tuloksista laskettuna olivat samalla tasolla tämän selvityksen kanssa. Ainoastaan Loos ym. (2012b) raportoi mittausten olleen alle määritysrajojen 0.001 µg/l.

Elohopean, kadmiumin ja lyijyn keskimääräiset poistumat puhdistamoilla olivat 85 – 90 %. Neljällätoista puhdistamolla mitattiin lähtevässä jätevedessä korkeampia nikkelin pitoisuuksia ja tästä syystä nikkelin keskimääräinen poistuma oli negatiivinen (-13 %). Metallit eivät hajoa puhdistamolla biologisesti vaan kaikki havaittu poistuma johtuu tarttumisesta lietteeseen (Clara ym. 2012). Tässä selvityksessä elohopean, kadmiumin ja lyijyn poistuma ei riippunut puhdistamolla käytössä olleesta biologisesta käsittelymenetelmästä. Nikkelin osalta ainoastaan biologisessa suodattimessa nikkelin pitoisuus aleni, aktiivilieteprosessissa ja biologisessa typenpoistossa pitoisuuden todettiin nousevan. Syytä tähän ei tiedetä. On kuitenkin huomioitavaa, että fosforin saostukseen tarkoitetut kemikaalit voivat sisältää epäpuhtautena mm. nikkeliä. Tämä voi selittää osan nikkelin korkeista pitoisuuksista lähtevässä jätevedessä.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida elohopean massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 41 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 93 %: 38 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 7 %: 3 kg/v

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida kadmiumin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 97 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 81%: 79 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 19 %: 18 kg/v

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida lyijyn massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 1920 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 89%: 1714 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 11 %: 206 kg/v

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida nikkelin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 5400 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 9%: 480 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 91 %: 4920 kg/v

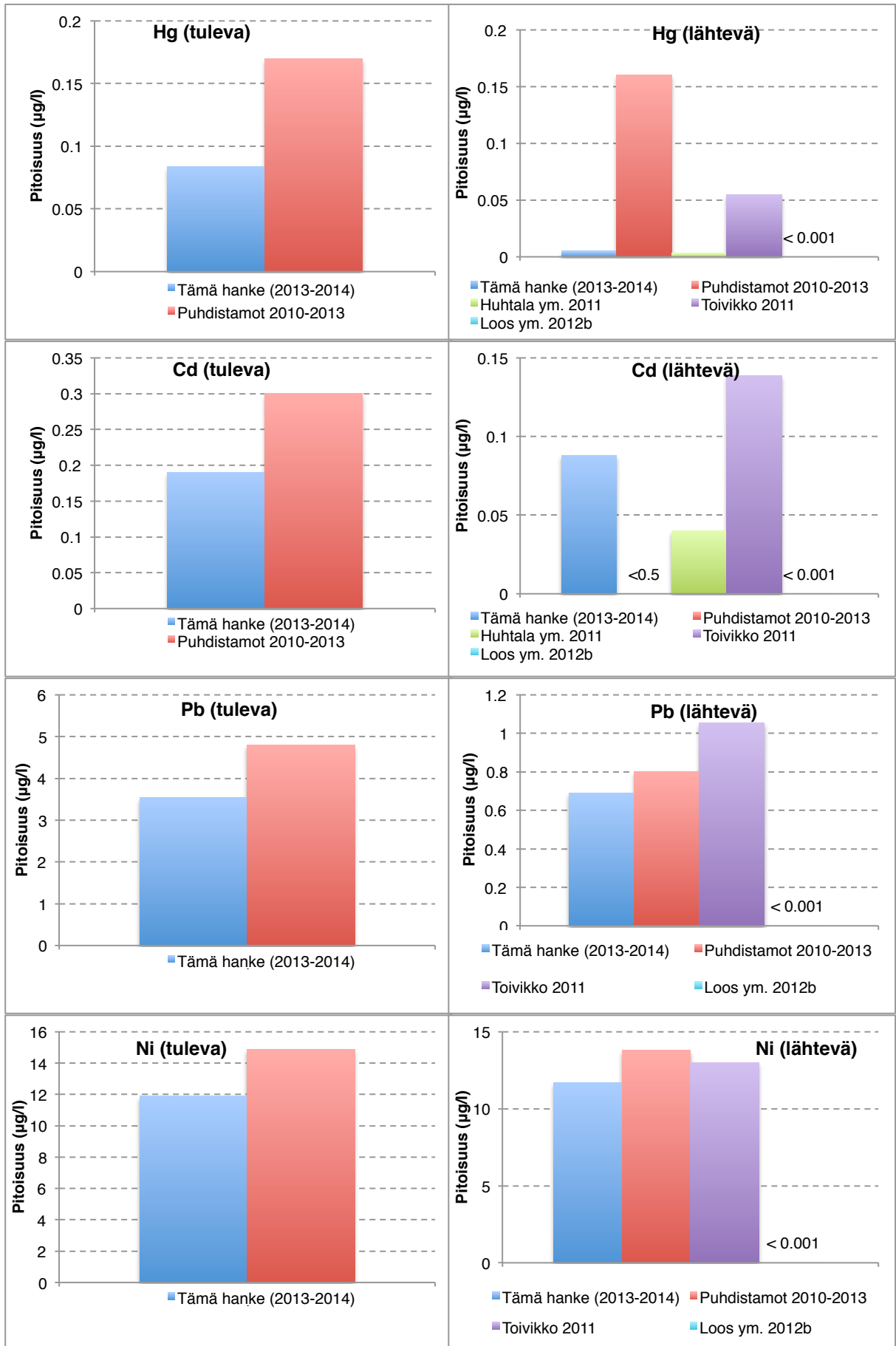
Raskasmetallien pitoisuuksia ei mitattu tässä selvityksessä lietteistä. Huhtala ym. 2011 mittauksissa kadmiumin pitoisuudet lietteessä olivat 0.59 – 0.69 mg/kg ja elohopean 0.63 – 1 mg/kg.

Lähtevän jäteveden elohopeamittauksista 35 % ylitti määräysrajan. Yhdenkään puhdistamon lähtevän jäteveden näytteestä mitattu elohopea ei kuitenkaan ylittänyt aineelle Suomessa tai EU:ssa määrättyä EQS-arvoa (ks. tarkemmin taulukko 2.4).

Lähtevän jäteveden kadmiummittauksista 80 % ylitti määräysrajan. Kadmiumin EQS-arvot riippuvat veden kovuudesta. Alin raja eli 0.08 µg/l ylittyi kahdeksalla (8) puhdistamolla. Yhdellä puhdistamolla ylittyi ylin raja 1.5 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.3 – 30.

Lähtevän jäteveden lyijymittauksista 94 % ylitti määräysrajan. Lyijylle on määrätty direktiivissä 2013/39/EU EQS-arvo on 1.2 µg/l, mikä on matalampi kuin Suomessa tällä hetkellä voimassa oleva 7.2 µg/l. On huomioitava, että alempi arvo on aineen biosaatava osuus ja tässä hankkeessa mitattiin lyijyn kokonaismäärää. EQS-arvon 1.2 µg/l kuitenkin saavutti tai ylitti kaksi puhdistamoita. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1 – 3.7.

Lähtevän jäteveden nikkelimittauksista 100 % ylitti määräysrajan. Kuuden (6) puhdistamon lähtevän jäteveden pitoisuudet ylittivät Suomessa voimassa olevan EQS-arvon 20 µg/l. Pitoisuudet olivat välillä 21 – 71 µg/l. EU-direktiivin mukainen EQS-arvo 4 µg/l ylittyi lähes kaikilla (53) puhdistamoilla. On huomioitavaa, että alin EQS arvo on määrätty aineen biosaatavalle osalle ja tässä hankkeessa mitattiin nikkelin kokonaispitoisuutta. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle matalimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.03 – 18.



5.2.10 Heksabromosyklododekaani (HBCD)

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.9. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

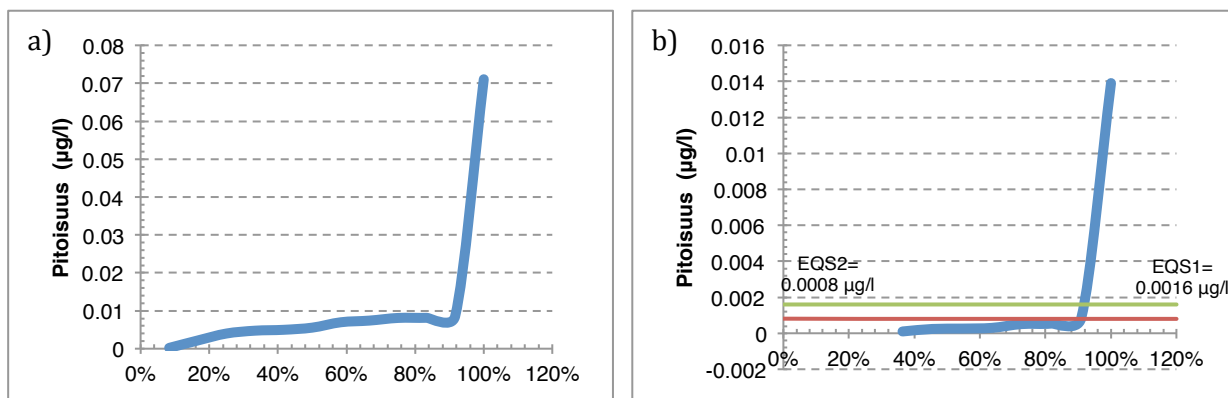
Taulukko 5.9. Yhteenveto HBCD:n tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

	1,2,5,6,9,10-HBCD *	α -HBCD	β -HBCD	γ -HBCD
Tuleva jätevesi				
n	12	12	12	12
n > mr	12	12	11	11
Min ($\mu\text{g/l}$)	0.00021	0.00021	<0.0001	<0.0001
Max ($\mu\text{g/l}$)	0.071	0.0557	0.0089	0.0066
Keskiarvo ($\mu\text{g/l}$)	0.011	0.0072	0.0012	0.0026
Mediaani ($\mu\text{g/l}$)	0.0063	0.0026	0.00067	0.0023
Lähtevä jätevesi				
n	11	11	11	11
n > mr	8	8	3	6
Min ($\mu\text{g/l}$)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Max ($\mu\text{g/l}$)	0.0139	0.0106	0.00014	0.00195
Keskiarvo ($\mu\text{g/l}$)	0.0015	0.0011	0.0002	0.0003
Mediaani ($\mu\text{g/l}$)	0.0003	0.0002	<0.0001	0.0001
AA-EQS ($\mu\text{g/l}$) sisäv.	0.0016			
AA-EQS ($\mu\text{g/l}$) rannikkov.	0.0008			
	0.5			
MAC-EQS ($\mu\text{g/l}$) sisäv.	0.05			
MAC-EQS ($\mu\text{g/l}$) rannikkov.				
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajan)	1 > 0.0008 $\mu\text{g/l}$ ¹⁾ 1 > 0.0016 $\mu\text{g/l}$			

* summa α -HBCD + β -HBCD + γ -HBCD (alle määrittäysrajan olleita tuloksia ei ole laskettu mukaan), ¹⁾ ja < 0.0016 $\mu\text{g/l}$

Yhteenveto tuloksista

- Heksabromosyklododekaanien (HBCD) isomeerien summan keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.011 $\mu\text{g/l}$ ja lähtevässä jätevedessä 0.0015 $\mu\text{g/l}$. Isomeereistä α -isomeerin osuus summasta tulevassa jätevedessä oli 65 %, β -isomeerin 11 % ja γ -isomeerin 24 %. Lähtevässä jätevedessä osuudet olivat 69 %, 12 % ja 19 %.



Kuva 5.30. HBCD:n summaparametrin pysyvyysskäyrät a) tulevan ja b) lähtevän jäteveden tuloksille. EQS1= arvo sisävesille, EQS2= arvo rannikkovesille. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

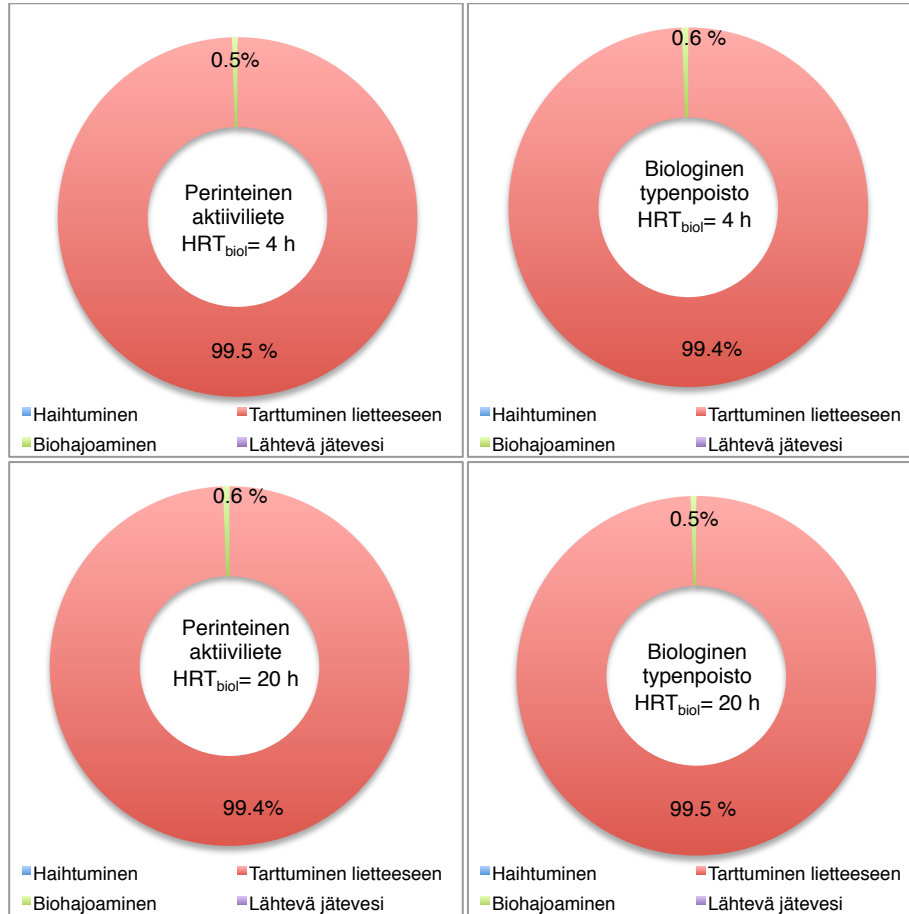
- Summaparametrille on määrätty EQS-arvot. Mittauksista 82 % oli alle alimman EQS-arvon (kuva 5.30). Yksi näytteistä sisälsi HBCD:ia yli rannikkovesien EQS-arvon eli 0.0008 µg/l ja yksi yli sisävesien EQS-arvon 0.0016 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle alimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.05 – 17.5.
- HBCD –pitoisuus oli > 100 000 AVL:n puhdistamoilla selvästi muita suurempi sekä tulevan että lähtevän jäteveden osalta (liite 4).
- Lounais-Suomen puhdistamoilla HBCD:n pitoisuus oli tulevassa jätevedessä keskimäärin muita alueita selvästi korkeampi (liite 5). Tämä johtuu yhdellä alueella sijaitsevalla puhdistamolla mitatuista selvästi muita puhdistamoja korkeammista pitoisuuksista. Lähtevässä jätevedessä Lounais-Suomen puhdistamoiden keskimääräiset pitoisuudet olivat kuitenkin alle määräysrajan. Etelä-Suomen puhdistamoiden keskimääräinen pitoisuus oli selvästi korkein lähtevässä jätevedessä (0.0016 µg/l).
- Selkeää trendiä ei ole havaittavissa HBCD:n pitoisuuksien ja puhdistamolle tulevan jäteveden teollisuusjätevesiprosentin välillä (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden HBCD-pitoisuuksiin. Yhdellä puhdistamolla pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat moninkertaiset muihin puhdistamoihin verrattuna. Kun tämän puhdistamon pitoisuuksia ei otettu huomioon laskuissa, 35 % keskiarvoa korkeammat HBCD-pitoisuudet mitattiin puhdistamolla, jonka viemäröintialueella sijaitsi eristeteollisuutta. Kun viemäröintialueella sijaitsi satama tai lentokenttä, oli tulevan jäteveden HBCD-pitoisuus n. 25 % keskimääräistä korkeampi ja jos jätevesiä vastaanotettiin elektroniikkateollisuudesta, n. 15 % keskimääräistä korkeampi. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden HBCD-pitoisuuksissa havaittu.

- HBCD:n keskimääräinen pitoisuus oli korkein laitoksilla, joilla oli käytössä perinteinen aktiivilieteprosessi (liite 7). Biologisilla typenpoistolaitoksilla HBCD-pitoisuus oli selvästi alempi.
- Suurimmalla osalla puhdistamoista ei ollut käytössä jälkikäsittelyä. Keskimäärin kuitenkin laitoksilla, joilla oli käytössä jälkikäsittelynä biologinen suodatus, hiekkasuodatus tai kemikalointi ja flotaatio, mitattiin lähtevässä jätevedessä alhaisimmat pitoisuudet (liite 8).
- HBCD:n ja sen isomeerien poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	1,2,5,6,9,10-HBCD	α -HBCD	β -HBCD	γ -HBCD
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	5.6	3.6	0.6	1.4
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	0.7	0.48	0.08	0.14
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	92 % ¹⁾ (-151–100 %)	95 % ¹⁾ (-321–100 %)	87 % ¹⁾ (-419 – 99 %)	87 % (30 – 99 %)

¹⁾ Yhtä negatiivista mittausta ei huomioitu keskiarvon laskemisessa

- HBCD:n ja sen isomeerien poistumat puhdistamoilla olivat pääsääntöisesti > 85 %. Joissakin puhdistamoissa havattiin kuitenkin myös pitoisuuden nousua puhdistusprosessin aikana. Suuret, > 100 000 AVL:n puhdistamot poistivat HBCD:ia muiden kokoluokkien puhdistamoita heikommin (liite 9).
- Biologinen typenpoistoprosessi poisti HBCD:ia keskimäärin 97% (liite 10). Perinteisessä aktiivilieteprosessissa keskimääräinen poistuma oli selvästi alempi (59 %).
- Jälkikäsittelynä kemikalointia ja flotaatiota tai hiekkasuodatusta käytävillä laitoksilla HBCD:n poistumat olivat korkeimmat (liite 11).
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.31) lähes kaikki HBCD tarttuu lietteeseen ja vain < 1 % päätyy lähtevään jäteveteen. Haihtumista tai biohajoamista ei tapahdu.



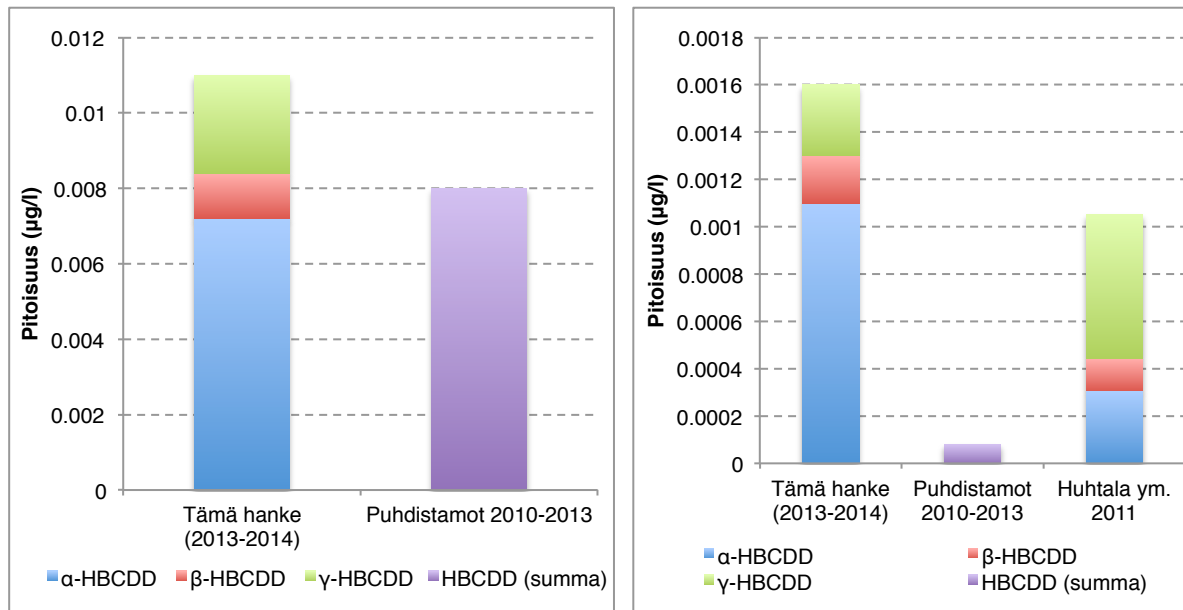
Kuva 5.31. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset HBCD:n käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Kaikissa tulevan jäteveden näytteissä mitattiin ainakin yhtä heksabromosyklododekaanin (HBCD) isomeeria. Tulevan ja lähtevän jäteveden isomeerien osuus oli: α -HBCD > γ -HBCD > β -HBCD. Isomeerien summan keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.011 $\mu\text{g/l}$ ja lähtevässä jätevedessä 0.0015 $\mu\text{g/l}$. Puhdistamoiden koko, maantieteellinen sijainti tai teollisuusjätevesien osuus tulevasta jätevesivirtaamasta ei näyttäisi vaikuttavan HBCD:n pitoisuuksiin tulevassa jätevedessä. Yhdellä puhdistamolla mitattiin noin kymmenkertaisia HBCD-pitoisuuksia tulevassa jätevedessä verrattuna muihin puhdistamoihin. Syy tähän ei ole tiedossa.

Jäteveden korkeampiin HBCD-pitoisuuksiin voivat arvion mukaan vaikuttaa viemäröintialueella sijaitseva eristeteollisuus, satama, lentokenttä tai elektroniikkateollisuus. HBCD:ta löytyi kuitenkin myös pieneltä puhdistamolta, jossa käsiteltiin pääasiassa kotitalouksien jätevesiä. HBCD:ta siis päätyy puhdistamoille kotitalouksista (huonepöly, ravinnon epäpuhtaus), mutta pitoisuuksia voivat nostaa jäte- tai hulevedet tietyiltä alueilta tai teollisuudenalalta.

Pitoisuuksia verrattiin aiemmin Suomessa tehtyjen selvitysten tuloksiin sekä puhdistamoiden lähettämiin vuosina 2010-2013 tehtyihin muihin mittaustuloksiin (kuva 5.32). HBCD-pitoisuuksia on pääasiassa mitattu puhdistamolietteistä ja vain muutamia mittauksia on tehty jätevesistä. Tässä selvityksessä mitatut keskimääräiset HBCD-arvot olivat korkeampia verrattuna puhdistamoiden lähettämistä muista mittauksista laskettuihin keskiarvoihin. Erityisesti lähtevän jäteveden arvot olivat selkeästi korkeammat. Pitoisuudet olivat tässä selvityksessä korkeampia myös verrattuna Huhtala ym. (2011) raportoimiin lähtevän jäteveden pitoisuuksiin. Myös isomeerien jakauma oli erilainen. Huhtalan ym. (2011) tuloksissa γ -isomeerin suhteellinen osuus oli suurin, kun se tässä selvityksessä oli α -isomeeri.



Kuva 5.32. HBCD-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

HBCD:n poistumat jätevedenpuhdistamoilla olivat keskimäärin > 85 %. Yhdellä puhdistamolla HBCD-pitoisuus oli lähtevässä jätevedessä suurempi kuin tulevassa ja poistuma oli negatiivinen. Muilla puhdistamoilla poistumat olivat aina > 70 %. β - ja γ -isomeerien poistuma näyttäisi olevan hieman α -isomeerien poistumaa alhaisempi. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan 99 % HBCD:stä tarttuu lietteeseen ja vain 1 % päätyy puhdistettuun jäteveeseen. Koska poistumat puhdistamoilla olivat alempia kuin 99 %, malli luultavasti yliarvioi lietteeseen tarttumisen määrän. Ichiharaan ym. (2014) tutkimuksessa HBCD poistui jätevedenpuhdistamolla 90 %:sti ja sen oletettiin tarttuneen lietteeseen. Ainetta onkin määritetty aiemmissa tutkimuksissa pääasiassa puhdistamolietteistä. Davis ym. (2006) ja Gerecke ym. (2006) mukaan HBCD voi kuitenkin myös biohajota puhdistamolietteessä ja erityisesti anaerobisissa olosuhteissa. Tutkimukset on tehty pääasiassa lietteenkäsittelyssä, jossa viipymät ovat pidempiä kuin jätevedenpuhdistamoilla, mutta kertovat kuitenkin, että aineen biohajoaminen on mahdollista. HBCD:n puoliintumisaikat mädätysprosessissa oli 0.66 d (Gerecke ym. 2006). Heidän mukaansa α -isomeerin puoliintumisaika oli kaksinkertainen β - ja γ -isomeereihin verrattuna. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että HBCD:n poistuma laitoksilla, joilla oli käytössä biologinen typenpoisto oli keskimäärin 97 %, kun taas perinteisillä aktiivilietelaitoksilla poistuma oli vain 60 %. Koska

biologisessa typenpoistossa osa allastilavuudesta on hapetonta, saattaa se edesauttaa HBCD:n biologista hajoamista. Jäteveden jälkikäsitely erityisesti hiekkasuodatuksella tai kemikalointi + flotaatio –yhdistelmällä, mutta myös biologisella suodatuksella näyttäisi lisäävän HBCD:n poistumista puhdistamolla. Tämä saattaa johtua kiintoaineen ja siihen sitoutuneen HBCD:n tehokkaamasta poistumisesta näillä puhdistamoilla.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida HBCD:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 5.6 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 80%: 4.5 kg/v
- Biohajoaa 7 % *: 0.4 kg/v
- Lähtevä jätevesi 13 %: 0.7 kg/v

* TOXCEM-mallin mukaan HBCD ei biohajoa juuri ollenkaan. Kirjallisuuden perusteella arvioitiin kuitenkin, että biohajoaminen on mahdollista erityisesti anaerobisissa olosuhteissa. Tämän vuoksi osan HBCD:sta arvioitiin biohajoavan puhdistamoilla.

Tässä selvityksessä ei mitattu HBCD-pitoisuuksia puhdistamolietteistä. Aiemmissa selvityksissä lietteen pitoisuuksia on kuitenkin mitattu. Huhtala ym. (2011) raportoi lietteen α -HBCD:n pitoisuuksiksi 5.4 – 9.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, β -HBCD:n $<\text{mr}$ – 14.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ja γ -HBCD 29.0 – 116.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Mehtonen ym. (2012) selvityksessä HBCD-yhdisteitä mitattiin kolmen puhdistamon puhdistamolietteestä. Pitoisuudet olivat: α -HBCD 16 – 82 $\mu\text{g}/\text{kg}$, β -HBCD:n 51 – 183 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ja γ -HBCD 6 – 27 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Vaikka HBCD:n poistumat puhdistamoilla olivat korkeita, 73 % lähtevän jäteveden näytteistä ylitti silti määritysrajan. HBCD:lle on määrätty taulukossa 2.4 esitetyt EQS-arvot. Yksi näytteistä sisälsi HBCD:ia yli rannikkovesien EQS-arvon eli 0.0008 $\mu\text{g}/\text{l}$ ja yksi yli sisävesien EQS-arvon 0.0016 $\mu\text{g}/\text{l}$. Mittauksista siis 82 % oli alle alimman EQS-arvon (kuva 5.30). Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle alimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 1.05 – 17.5.

5.2.11 Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.10. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.10. Yhteenveto PFOS:in tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

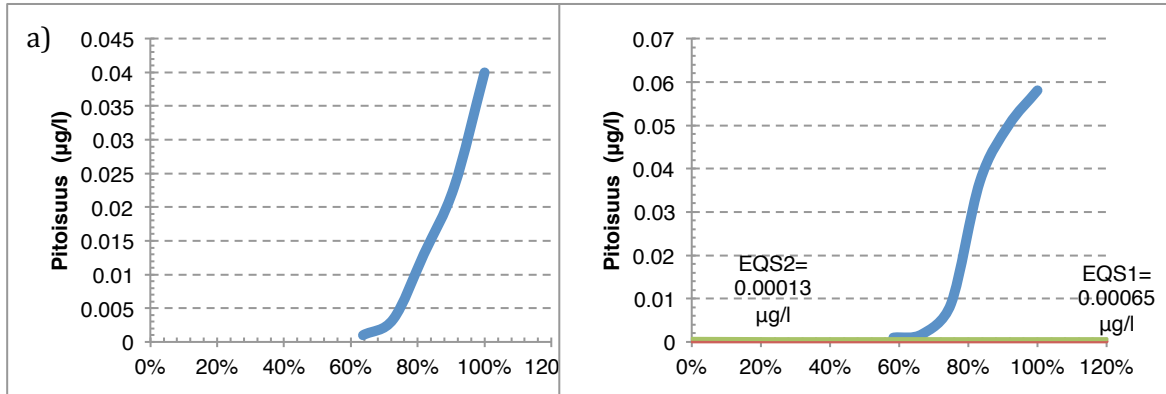
PFOS	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	3
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	0.04
Keskiarvo (µg/l)	0.017 ¹⁾
Mediaani (µg/l)	< 0.01
Lähtevä jätevesi	
n	12
n > mr	6
Min (µg/l)	< 0.005
Max (µg/l)	0.058
Keskiarvo (µg/l)	0.017 ²⁾
Mediaani (µg/l)	0.005
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.00065
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.00013
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	36
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	7.2
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	6 (> 0.00065 µg/l)

¹⁾ Keskiarvoa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on laskettu mukaan määrittäysrajan puolikkaina. Tulevassa jätevedessä yhden ja lähtevässä jätevedessä kahden mittauksen määrittäysraja oli 1 µg/l. Tämän puolikasta ei otettu laskuissa huomioon, sillä se olisi vääristänyt tulosta.

Yhteenveto tuloksista

- Perfluoro-oktaanisulfonaatin (PFOS) keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.0017 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.0017 µg/l (taulukko 5.10). Tulevassa jätevedessä PFOS:ia mitattiin yli määrittäysrajan 27 % ja lähtevässä jätevedessä 50 % näytteitä.
- Vuosikeskiarvona määrätty sisävesien EQS 0.00065 µg/l mitattiin tai se ylittyi kuudella (6) puhdistamolla eli kaikilla, joilla mittaustulos ylitti määrittäysrajan (kuva 5.33). Näillä puhdistamoilla PFOS:in pitoisuudet lähtevässä jätevedessä vaihtelivat välillä 0.0018–0.0058 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien

saattamiseksi alle alimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 14 – 89. Huomioitavaa on myös, että joidenkin mittausten määrittäjäraja oli niin korkea (jopa 1 µg/l), että alle määrittäjärajan tulos ei suoraan tarkoita, että tulos olisi ollut alle EQS-arvon.



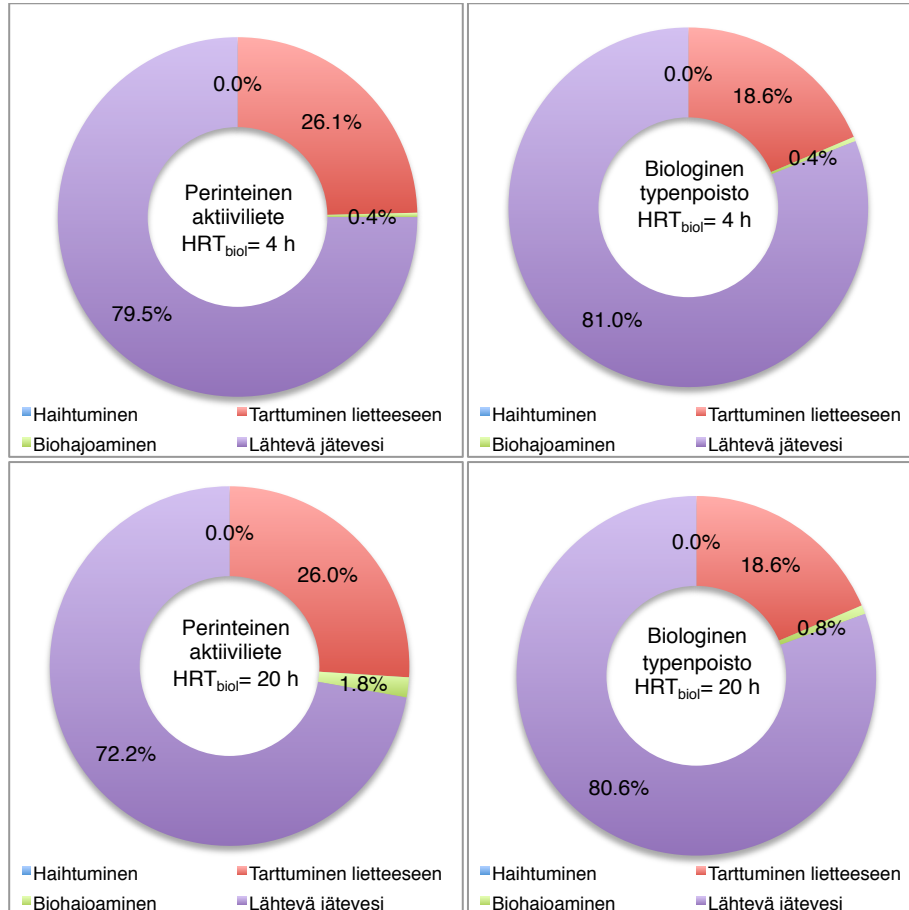
Kuva 5.33. PFOS:in pysyvyyskäyrät a) tulevan ja b) lähtevän jäteveden tuloksille. EQS1= arvo sisävesille, EQS2= arvo rannikkovesille. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- PFOS:ia mitattiin pääasiassa suurimmilla > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Tämän vuoksi liitteen 4 kuvaajissa PFOS:in pitoisuudet ovat muihin kokoluokkiin nähden korkeimmat isoilla puhdistamoilla sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä.
- PFOS:in keskimääräiset pitoisuudet eri alueilla sijaitsevilla puhdistamoilla olivat sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä joko alle määrittäjärajan tai vain hieman tätä korkeampia (liite 5). Suuria vaihteluja ei eri alueiden välillä havaittu.
- PFOS:in ja laitokselle tulevan veden teollisuusjätevesiosuuden välillä ei ollut korrelaatiota. (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden PFOS-pitoisuuksiin. Määrittäjärajat ylittäviä mittaustuloksia oli vain muutama, joten arviota ei voitu tehdä.
- PFOS:ia mitattiin ainoastaan puhdistamoilla, joissa oli käytössä perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto. Perinteistä aktiivilieteprosessia käyttävien puhdistamojen lähtevän jäteveden PFOS-pitoisuus oli keskimäärin 0.018 µg/l ja biologista typenpoistoa käyttävien keskimäärin 0.017 µg/l.

- PFOS:in poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	PFOS
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	11
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	11.9
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	-8 % (-117 – 64 %)

- PFOS:in poistuma voitiin määrittää viidellä puhdistamolla. Näistä kahdella PFOS:in pitoisuudet olivat lähtevässä jätevedessä tulevaa korkeammat. Näin myös keskimääräinen poistuma oli negatiivinen eli PFOS:in määrää lisääntyy puhdistuksessa. Kaikki nämä neljä puhdistamoa olivat > 100 000 AVL:n kokoluokassa, jolloin liitteen 9 kuvaajassa PFOS:in poistuma on tälle kokoluokalle negatiivinen.
- PFOS:in määrä lisääntyi erityisesti biologista tyypinpoistoa harjoittavilla puhdistamoilla (liite 10). Aktiivilieteprosessia käyttävillä laitoksilla PFOS:in määrät keskimäärin olivat lähtevässä jätevedessä tulevaa alemmat ja keskimääräinen poistuma oli n. 15 %.
- PFOS:in pitoisuus kasvoi eniten laitoksella, jossa oli käytössä hiekkasuodatus jälkikäsittelymenetelmänä (liite 11). PFOS:in poistuma oli suurin biologisen jälkisuodatuksen sisältäneellä laitoksella. Huomioitavaa on, että molempia suodatusmenetelmiä käytettiin vain yhdellä laitoksella kumpaakin. Laitoksilla, joissa jälkikäsittelyä ei käytetty, PFOS:in keskimääräinen poistuma oli 0 %.
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.34) PFOS ei puhdistuksen aikana haihdu eikä biohajoa. Osa (19–26 %) tarttuu lietteeseen, mutta suurin osa päätyy puhdistettuun jäteveeseen. Biologisen puhdistuksen viipymällä ei ollut vaikutusta aineen poistumiseen. PFOS:ia voi syntyä useiden aineiden hajoamistuotteena. Tätä ei otettu mallintamisessa huomioon.



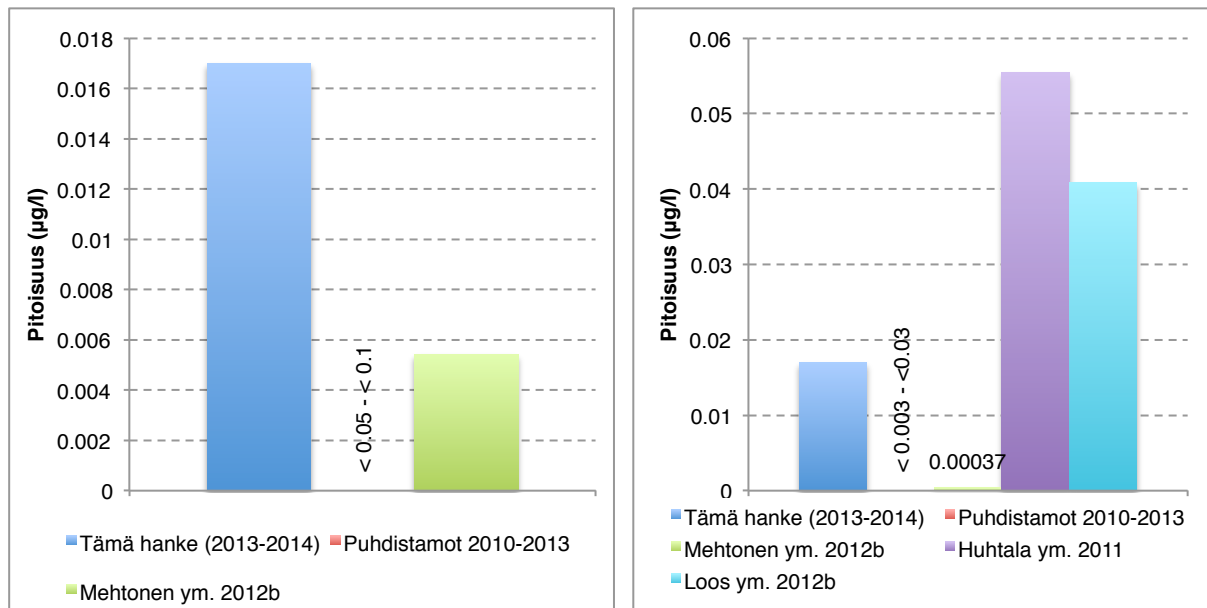
Kuva 5.34. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset PFOS:n käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Tulevan jäteveden näytteistä 27 % PFOS-mittauksista ylitti määritysrajan ja keskimääräinen pitoisuus oli 0.0017 µg/l. Lähtevän jäteveden keskimääräinen pitoisuus oli 0.0017 µg/l. PFOS:ia mitattiin pääasiassa > 100 000 AVL:n puhdistamoilta ja määritysrajan ylittäneitä mittauksia oli vain muutama. Tämän vuoksi puhdistamon koon, maantieteellisen sijainnin, teollisuusjätevesien osuuden tai viemäröntialueella sijaitsevien teollisuusalojen vertailua ei voitu riittävällä tarkkuudella tehdä. PFOS:ia käytetään Suomessa enää lähinnä kromin pinnoituksessa, mutta ympäristössä pysyvänä aineena se voi päätyä jätevesiin myös hulevesien mukana. PFOS:ia voi esiintyä myös ravinnon epäpuhtautena, mutta tämä lähde näyttäisi olevan vain muutaman prosentin luokkaa PFOS:in kuormituksesta jätevedenpuhdistamoille.

Mehtonen ym. (2012b) raportoi PFOS-pitoisuuksien olevan tulevassa jätevedessä keskimäärin 0.005 µg/l, mikä on selvästi tämän selvityksen keskimääräistä pitoisuutta pienempi (kuva 5.35). Puhdistamoiden lähettämistä tuloksista laskettu keskimääräinen pitoisuus oli alle määritysrajojen 0.05 – 0.1 µg/l. Suurin osa tämän selvityksen tuloksista oli alle 0.05 µg/l, joten vertailua ei voida tehdä. Myös lähtevässä jätevedessä Mehtonen ym. (2012b) pitoisuudet olivat alempia kuin tässä selvityksessä (kuva 5.35).

Heidän mukaansa kaikki mittaukset olivat alle määrittyrajojen 0.003 – 0.03 µg/l. Huhtalan ym. (2011) ja Loosin ym. (2012b) raportoimat tulokset taas olivat keskimäärin tämän selvityksen tuloksia korkeampia. Huhtala ym. (2011) raportoi myös PFOS:in pitoisuuksia, jotka on mitattu PFOS:ia käyttävän teollisuuden jätevedenpuhdistamolta lähtevässä jätevedessä. Pitoisuudet olivat 1 400 – 18 000 µg/l eli selvästi kunnallisia puhdistamoja korkeammat. Laitoksella mekaanisesti ja kemiallisesti puhdistettu jätevesi johdettiin kunnan viemäriin. PFOS:ia käyttävän teollisuus voi siis paikallisesti olla tärkeä PFOS:in kuormituksen lähde jätevedenpuhdistamoille.



Kuva 5.35. PFOS-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

PFOS:in poistuma voitiin laskea viidellä puhdistamolla. Kahdella puhdistamolla PFOS:in pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli tulevaa suurempi ja poistumat näin ollen negatiivisia. Myös keskimääräinen poistuma oli negatiivinen (-8 %) eli PFOS:in määrä voi puhdistuksen aikana lisääntyä. Pitoisuuksien lisääntyminen on havaittu myös muissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Yu ym. (2009) raportoivat yhdellä puhdistamolla PFOS:in poistumaksi -4.2 – 1.4 % ja toisella puhdistamolla -142 – -70 %. Pitoisuuksien nousun on arveltu johtuvan muiden aineiden hajoamisesta PFOS:iksi. On todettu, että jopa lähes 100 yhdistettä voi puhdistusprosessin aikana hajota muodostaen PFOS:ia (HELCOM 2009). Yu ym. (2009) mukaan ero puhdistamoiden välillä, joiden puhdistusprosessi oli hyvin samankaltainen, johtui luultavasti PFOS:in esiasteiden esiintymisestä toisen puhdistamon tulevassa jätevedessä. Kun ne puhdistuksen aikana hajosivat muodostaen PFOS:ia, pitoisuudet lähtevässä jätevedessä olivat tulevaa suuremmat. PFOS nimittäin ei ole biohajoava jätevedenpuhdistamolla (Lange ym. 2002). Adsorboitumista lietteeseen kuitenkin tapahtuu jonkin verran (Zhou ym. 2010, Ochoa-Herrera ym. 2008). Lietteiden laadulla on suuri merkitys PFOS:in sitoutumiseen. Ochoa-Herrera ym. (2008) mukaan PFOS ei sitoudu hapelliseen aktiivilietteeseen juuri ollenkaan, mutta jonkin verran anaerobiseen lietteeseen esimerkiksi mädätyksessä. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan 18 – 26 % PFOS:ista sitoutuu lietteeseen ja loput päätyvät puhdistettuihin jätevesiin. Biologisen prosessin viipymä ei mallin mukaan vaikuta aineen lietteeseen sitoutumiseen ja kokonaispoistumaan puhdistamoilla.

Tässä selvityksessä havaittiin, että PFOS:in pitoisuudet kasvavat puhdistuksen aikana erityisesti puhdistamolla, joilla on käytössä biologinen typenpoistoprosessi. Kun taas aktiivilietelaitoksilla PFOS:ia poistui keskimäärin 15 %. Tämä saattaa johtua PFOS:in esiasteiden erilaisesta esiintymisestä tulevassa jätevedessä. Kyseessä voi myös olla esiasteiden tehokkaampi hajoaminen PFOS:iksi biologisen typenpoistoprosessin aikana. Jos kyse on tästä, on mahdollista, että aktiivilietelaitoksilta päätyy vesistöön biologisia typenpoistolaitoksia enemmän aineita, jotka voivat ympäristössä hajota PFOS:iksi.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida PFOS:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 11 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 10 %: 1.1 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Syntyy muiden aineiden hajoamistuotteena 18 %: 2 kg/v
- Lähtevä jätevesi 108 %: 11.9 kg/v

Tässä selvityksessä ei mitattu PFOS:in pitoisuuksia puhdistamolietteissä. Huhtala ym. (2011) raportoi PFOS:in pitoisuuksiksi puhdistamolietteissä 16 – 110 µg/kg. Biokaasulaitosten mädätysjännösten perfluorattujen alkyylilyhdisteiden pitoisuuksiksi on mitattu 1.0 – 168 µg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014). PFOS:in määrä tästä oli suurin, 23 – 90 % koko aineryhmän määrästä.

Lähtevässä jätevedessä PFOS:in määritysraja ylittyi 50 % näytteistä. Vuosikeskiarvona määrätty rannikkovesien EQS 0.00013 µg/l mitattiin tai se ylittyi kuudella (6) puhdistamolla eli kaikilla, joilla mittaustulos ylitti määritysrajan. Neljällä näistä ylittyi myös sisävesien EQS 0.00065 µg/l. Laimennuskerroin pitoisuuksien saattamiseksi alle alimman EQS-arvon näillä puhdistamoilla oli 14 – 89. Huomioitavaa on myös, että joidenkin mittausten määritysraja oli niin korkea (jopa 1 µg/l), että alle määritysrajan tulos ei suoraan tarkoita, että tulos olisi ollut alle EQS-arvon.

5.2.12 Sybutryyni

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.11. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.11. Yhteenveto sybutryynin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Sybutryyni	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	< 0.01
Keskiarvo (µg/l)	< 0.01
Mediaani (µg/l)	< 0.01
Lähtevä jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	< 0.01
Keskiarvo (µg/l)	< 0.01
Mediaani (µg/l)	< 0.01
AA-EQS (µg/l)	0.0025
MAC-EQS (µg/l)	0.016
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

AA= vuosikeskiarvo

Kaikkien sekä tulevan että lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan 0.01 µg/l. Huomioitavaa on, että määrittäysraja oli korkeampi kuin aineelle määrätty vuosikeskiarvoon perustuva EQS-arvo 0.0025 µg/l. Alle määrittäysrajan oleva tulos ei siis välttämättä ole alle EQS-arvon. Suomessa sybutryyniä on aiemmin käytetty biosidinä maaleissa, mutta ei enää vuoden 2009 jälkeen. Pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on maalipinnoista irtoavan sybutryynin huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin.

Aiempia sybutryyni-mittauksia Suomen jätevesistä ei löydetty. Sveitsissä tehdyissä jätevesianalyysissä sybutryynin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.016 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.0075 µg/l (n= 19) (Margot ym. 2013). Poistuma jätevedenpuhdistamolla oli 34 ± 29 %. Saksassa tehdyssä tutkimuksessa mitattiin sybutryyniä tulevasta jätevesistä enintään 0.016 µg/l ja lähtevistä jätevesistä enintään

0.014 µg/l (Luft ym. 2014). Sybutryynin poistuminen oli siis vähäistä myös tämän tutkimuksen mukaan. Wick ym. (2011) mukaan subytryynin logK_d arvo lietteeseen on 2.15, mikä on niin alhainen, että sitoutumista lietteeseen ei juuri jätevedenpuhdistamolla tapahdu. Luft ym. (2014) raportoi myös sybutryynin biohajoamistuotteen esiintymisestä lähtevissä jätevesissä enintään pitoisuudessa 0.029 µg/l viitaten siihen, että biohajoaminen on pääasiallinen sybutryynin poistumisreitti jätevedenpuhdistamolla.

5.2.13 Sypermetriini

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.12. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.12. Yhteenveto sypermetriinin tuloksista. Määrittäjärajat ks. taulukko 5.2.

Sypermetriini	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	< 0.2
Keskiarvo (µg/l)	< 0.1
Mediaani (µg/l)	< 0.1
Lähtevä jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.001
Max (µg/l)	< 0.001
Keskiarvo (µg/l)	< 0.001
Mediaani (µg/l)	< 0.001
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.00008
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.000008
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	0.0008
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.00008
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

Kaikkien sekä tulevan että lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäjärajan 0.2 tai 0.001 µg/l. Huomioitavaa on, että määrittäjäraja oli selvästi korkeampi kuin aineelle määrätty EQS-arvot. Alle määrittäjärajan oleva tulos ei siis välttämättä ole alle EQS-arvon.

Puhdistamoilta saaduissa vuosina 2010-2013 tehdyissä mittauksissa sypermetriinä oli mitattu yhdeltä puhdistamolta lähtevästä jätevedestä. Aineen pitoisuus oli alle määrittäysrajan 0.05 µg/l. Sypermetriinin pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamoille on maalipinnoista irtoavan aineen huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin. Sypermetriinille ei löydetty jätevedessä mitattuja pitoisuuksia, sillä aineen esiintymistä on tutkittu pääasiassa vesiympäristössä. Ympäristössä sen on todettu olevan jossain määrin biohajoava hapellisissa olosuhteissa ja sitoutuvan voimakkaasti orgaaniseen ainekseen. Maaperässä se ei suotaudu pohjaveteen, vaan päättyy vesistöihin pääasiassa pintavaluntana kiintoaineeseen sitoutuneena. (Jones 2013)

5.2.14 Aklonifeeni

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.13. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.13. Yhteenveto aklonifeenin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Aklonifeeni	
Tuleva jätevesi	
n	7
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.003
Max (µg/l)	< 0.1
Keskiarvo (µg/l)	< 0.1
Mediaani (µg/l)	< 0.1
Lähtevä jätevesi	
n	8
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.003
Max (µg/l)	< 0.01
Keskiarvo (µg/l)	< 0.01
Mediaani (µg/l)	< 0.01
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.12
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.012
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	0.12
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.012
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

Kaikkien sekä tulevan että lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan. Määrittäysraja vaihteli tulevalle jätevedelle välillä 0.003 – 0.1 µg/l ja

lähtevälle jätevedelle välillä 0.003 – 0.01 µg/l. Lähtevän jäteveden osalta määritysraja oli riittävä eli kaikki alle määritysrajan olevat mittaukset olivat myös alle alimman EQS-arvon 0.012 µg/l.

Aiempia aklonifeeni-mittauksia jätevesissä ei Suomesta löydetty. Myöskään muualla tehtyjä jätevesimittauksia ei aklonifeenille löydetty. Ainetta on tutkittu pääasiassa maaperässä ja vesiympäristössä. Maaperässä aine hajoaa biologisesti hyvin hitaasti ja sitoutuu voimakkaasti orgaaniseen ainekseen. Maaperässä se ei siis suotaudu pohjaveteen, vaan päätty vesistöihin pääasiassa pintavaluntana kiintoaineeseen sitoutuneena. (EFSA 2008)

5.2.15 Terbutryyni

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.14. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5.14. Yhteenveto terbutryynin tuloksista. Määritysrajat ks. taulukko 5.2.

Terbutryyni	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.1
Max (µg/l)	< 0.1
Keskiarvo (µg/l)	< 0.1
Mediaani (µg/l)	< 0.1
Lähtevä jätevesi	
n	12
n > mr	1
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	0.02
Keskiarvo (µg/l)	< 0.01
Mediaani (µg/l)	< 0.01
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.065
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.0065
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	0.34
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.034
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajan)	0

Kaikki tulevan jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittämissä rajoissa 0.1 µg/l. Lähtevän jäteveden näytteistä yhdessä terbutryynin pitoisuus ylitti määrittämissä rajoissa ollen 0.02 µg/l. Tämä kuitenkin oli edelleen alle aineelle määrittämissä rajoissa EQS-arvojen. Lähtevän jäteveden osalta määrittämissä rajoissa oli riittävä eli kaikki alle määrittämissä rajoissa olevat mittaukset olivat myös alle alimman EQS-arvon 0.034 µg/l. Aineen pääasiallinen reitti jätevedenpuhdistamolle on maalipinnoista irtoavan terbutryynin huuhtoutuminen hulevesien mukana sekaviemäriin.

Puhdistamoiden lähettämässä tuloksissa terbutryyniä oli mitattu kolmen puhdistamon tulevassa jätevedessä, joissa yhdessä pitoisuus oli 0.22 µg/l ja kahdessa alle määrittämissä rajoissa 0.005 µg/l. Lähtevästä jätevedestä mittauksia oli tehty yhdeksällä puhdistamolla, joista viidellä pitoisuus oli yli määrittämissä rajoissa. Mittauksien keskiarvo oli 0.03 µg/l ja korkein mitattu pitoisuus 0.12 µg/l, joka ainoana ylitti myös AA-EQS arvon 0.065 µg/l. Yhden puhdistamon tuloksista voitiin laskea myös terbutryynin poistumisprosentti, joka oli 45 %.

Sveitsissä tehdyissä mittauksissa terbutryynin keskimääräiseksi pitoisuudeksi tulevassa jätevedessä saatiin 0.038 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.019 µg/l. Poistumaksi mitattiin 49 ± 25 % (n= 37), mikä on samaa luokkaa kuin Suomessa yhdellä puhdistamolla mitattu. Saksassa tehdyssä tutkimuksessa terbutryynin pitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä 0.133 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.071 µg/l ja poistuma siis samaa luokkaa muiden kanssa eli 47 %. Luft ym. (2014) myös mittasivat terbutryynin biologista hajoamistuotetta lähtevissä jätevesissä pitoisuuksissa 0.048 – 0.073 µg/l. Terbutryyni on siis jonkin verran biohajoava, jonka voidaan olettaa olevan aineen pääasiallinen poistumisreitti jätevedenpuhdistamolla. Tätä tukee se, että terbutryynille on määritetty $\log K_d$ arvo 2.2, mikä on niin alhainen, ettei sitoutumista lietteeseen juuri tapahdu (Wick ym. 2011).

5.2.16 Bifenoksi

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.15. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.15. Yhteenveto bifenoksin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Bifenoksi	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.03
Max (µg/l)	< 0.3
Keskiarvo (µg/l)	< 0.3
Mediaani (µg/l)	< 0.3
Lähtevä jätevesi	
n	12
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.03
Max (µg/l)	< 0.03
Keskiarvo (µg/l)	< 0.03
Mediaani (µg/l)	< 0.03
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.012
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.0012
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	0.4
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.004
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-rajan)	0

Kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan 0.03 – 0.3 µg/l. Lähtevän jäteveden määrittäysraja 0.03 µg/l oli kuitenkin korkeampi kuin alimmat aineelle määrätty EQS-arvot (0.0012 ja 0.004 µg/l). Määrittäysrajan alitus ei siis vielä tarkoita EQS-arvon alitusta.

Puhdistamoiden lähettämissä vuosina 2010-2013 tehdyissä määrityksissä, bifenoksia oli mitattu yhden puhdistamon tulevasta ja lähtevästä jätevedestä, mutta molemmat mittaukset olivat alle määrittäysrajan 0.03 µg/l. Bifenoksi on rikkakasvien torjuntaan käytetty herbisidi, joka voi päätyä jätevedenpuhdistamoille hulevesien mukana. Mittauksia jätevesistä ei kuitenkaan kirjallisuudesta löydetty. Aineen esiintymistä on tutkittu pääasiassa maaperässä ja vesiympäristössä. Biohajoavuustestien mukaan bifenoksin on luokiteltu olevan 'ei-biohajoava'. Vesiympäristössä tehdyissä testeissä bifenoksin biologiseksi puoliintumisaikaksi on kuitenkin saatu 0.1 d. Myös maaperässä bifenoksi on biohajoava ja sen puoliintumisaika on < 20 d. Bifenoksin biologinen

hajoamistuote bifenoksihappo on kuitenkin selvästi bifenoksia pysyvämpi. Maaperässä bifenoksi sitoutuu voimakkaasti orgaaniseen ainekseen. (EFSA 2007)

5.2.17 Hormonit

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.16. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

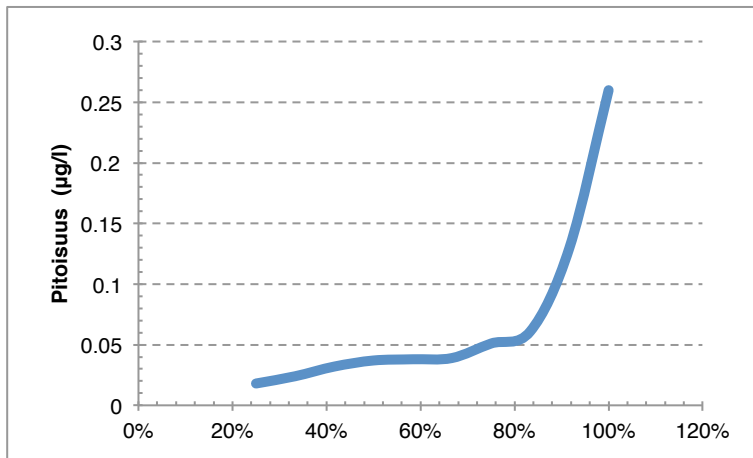
Taulukko 5.16. Yhteenveto hormonien tuloksista. EE2= 17 α -etinyyliestradioli, E2= 17 β -estradioli. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

	EE2	E2
Tuleva jätevesi		
n	12	12
n > mr	0	10
Min ($\mu\text{g/l}$)	< 0.001	< 0.062
Max ($\mu\text{g/l}$)	< 0.1	0.26
Keskiarvo ($\mu\text{g/l}$)	< 0.01	0.064
Mediaani ($\mu\text{g/l}$)	< 0.004	0.039
Lähtevä jätevesi		
n	13	13
n > mr	0	1
Min ($\mu\text{g/l}$)	< 0.001	< 0.001
Max ($\mu\text{g/l}$)	< 0.001	0.0031
Keskiarvo ($\mu\text{g/l}$)	< 0.001	0.0013
Mediaani ($\mu\text{g/l}$)	< 0.001	0.0005
AA-EQS ($\mu\text{g/l}$)	-	-

Yhteenveto tuloksista

- Kaikki EE2-mittaukset sekä tulevan että lähtevän jäteveden näytteissä olivat alle määritysrajojen 0.001 – 0.1 $\mu\text{g/l}$. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa. Direktiivin 2013/39/EU uusimisprosessin aikana kuitenkin esitettiin EE2:lle seuraavia EQS-arvoja: sisävedet 0.000035 $\mu\text{g/l}$ ja rannikkovesille 0.000007 $\mu\text{g/l}$. Tämän hankkeen analyysimenetelmien määritysrajat ovat selvästi näitä arvoja korkeammat.
- E2:n keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.064 $\mu\text{g/l}$ ja lähtevässä jätevedessä 0.0013 $\mu\text{g/l}$ (taulukko 5.16). T tulevassa jätevedessä E2:ta mitattiin yli määritysrajan 83 % ja lähtevässä jätevedessä 8 % näytteistä. E2:lle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa. Direktiivin 2013/39/EU

uusimisprosessin aikana kuitenkin esitettiin E2:lle seuraavia EQS-arvoja: sisävesille 0.0004 µg/l ja rannikkovesille 0.00008 µg/l.



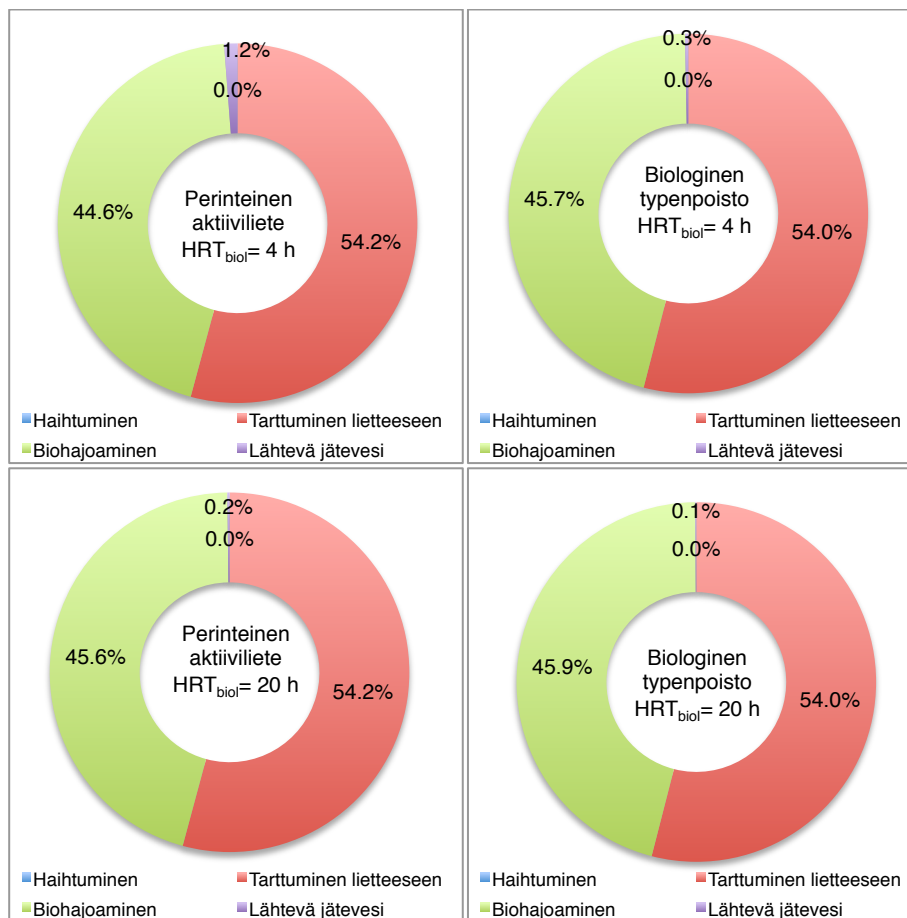
Kuva 5.36. E2:n pysyvyyssäikä tulevan jäteveden tuloksille. Lähtevän jäteveden näytteistä vain yksi ylitti määräysrajan eikä pysyvyyssäikää piirretty. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- E2:a mitattiin pääasiassa suurimmilla > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Tämän vuoksi liitteen 4 kuvaajissa E2:n tulevan jäteveden pitoisuudet ovat muihin kokoluokkiin nähden korkeimmat isoilla puhdistamoilla. Lähtevän jäteveden osalta vain yksi mittaus ylitti määräysrajan eikä vertailua eri kokoisten puhdistamojen välillä tehty.
- Suurin osa > 100 000 AVL:n puhdistamoista, joissa mittaukset tehtiin, sijaitsevat Etelä-Suomessa. Tämän vuoksi liitteen 5 kuvaajissa E2:n pitoisuudet muihin alueisiin verrattuna ovat korkeimmat Etelä-Suomessa. Lähtevän jäteveden osalta vain yksi mittaus ylitti määräysrajan eikä vertailua puhdistamojen maantieteellisen sijainnin välillä tehty.
- E2:n ja laitokselle tulevan veden teollisuusjätevesiosuuden välillä ei ollut korrelaatiota (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröntialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden E2-pitoisuuksiin. Korkeampia E2-pitoisuuksia ei mitattu niillä puhdistamoilla, joiden viemäröntialueella sijaitti lääketeollisuutta. Minkään muunkaan teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta ei havaittu merkittäviä eroja tulevan jäteveden E2-pitoisuuksissa.
- Koska E2:n pitoisuudet olivat lähtevässä jätevedessä yhtä mittausta lukuun ottamatta alle määräysrajan, vertailua eri biologisten puhdistusmenetelmien tai jälkikäsittelymenetelmien välillä ei tehty.

- E2:n poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	E2
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	29
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	0.7
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	97 % (92 – 98 %)

- E2:n poistuma voitiin määrittää kahdellatoista puhdistamolla. Poistumat olivat tasaisesti > 90 %. E2:n poistuma oli korkea riippumatta puhdistamon koosta, käytetystä biologisesta puhdistusmenetelmästä (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto) tai mahdollisesta jälkikäsittelymenetelmästä.
- TOXCHEM-mallinnusten mukaan (kuva 5.37) E2 sekä biohajoaa (45 – 46 %) että tarttuu lietteeseen (n. 54 %) puhdistuksen aikana. Vain pieni osuus (1 %) päätyy puhdistettuun jäteveeseen. Biologisen puhdistuksen viipymällä ei ole merkittävää vaikutusta aineen poistumaan.



Kuva 5.37. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset E2:n käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden mittaukset olivat 17α -etinyyliestradiolin (EE2) osalta alle määrittäjärajan 0.01 – 0.001 $\mu\text{g/l}$. 17β -estradiolin mittauksista taas 83 % tulevan jäteveden näytteistä ylitti määrittäjärajan ja keskimääräinen pitoisuus oli 0.064 $\mu\text{g/l}$. Lähtevässä jätevedessä keskimääräinen E2-pitoisuus oli 0.0013 $\mu\text{g/l}$. Hormonien lähde jätevesiin ovat kotitaloudet (luonnollinen erittyminen sekä lääkekäyttö) eikä E2:n jätevesipitoisuuksiin vaikuttanut mikään tietty viemärintialueen teollisuus, palvelut tai muu toiminta.

Puhdistamoiden vuoden 2010–2013 lähettämistä mittauksista ilmeni, että kahden laitoksen lähtevästä jätevedestä on määrittäjä EE2:ta ja E2:ta. Toisella puhdistamolla molempien hormonien pitoisuus oli alle määrittäjärajan 0.005 $\mu\text{g/l}$. Toisen puhdistamon lähtevästä jätevedestä mitattiin EE2-pitoisuudeksi 0.017 $\mu\text{g/l}$ ja E2-pitoisuudeksi 0.003 $\mu\text{g/l}$. Suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden lähtevien jätevesien estrogeenisyyttä on myös mitattu (Loos ym. 2012b), mutta kaikkien kuuden puhdistamon mittaukset olivat alle määrittäjärajan 0.0005 $\mu\text{g/l}$.

Muulla tehdyissä jätevesimäärittäyksissä estrogeenien pitoisuuksia on mitattu. Pitoisuuksia on koottu esimerkiksi Hamid ym. (2012) kirjoittamaan kokooma-artikkeliin. Yhdeksässä tutkimuksessa raportoitiin E2:n pitoisuuksia jätevesissä. Tulevan jäteveden E2-pitoisuudet vaihtelivat välillä 0.0024 – 0.15 $\mu\text{g/l}$. Tässä tutkimuksessa mitatut E2-pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat samaa suuruusluokkaa. Lähtevän jäteveden pitoisuudet Hamid ym. (2012) kokoomissa tuloksissa olivat välillä < 0.0008 – 0.03 $\mu\text{g/l}$ eli myös lähtevien jätevesien osalta tässä selvityksessä mitatut pitoisuudet olivat raportoidulla välillä.

Tässä selvityksessä E2:n poistuma voitiin määrittää kahdellatoista puhdistamolla. Poistumat olivat välillä 92 – 98 % ja keskimääräinen poistuma 97 %. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan E2-kuormasta puhdistamolle n. 54 % sitoutuu lietteeseen ja 44 – 46 % biohajoaa. Vain < 1 % päätyy mallin mukaan puhdistettuihin jätevesiin. Hamid ym. (2012) kokooma-artikkelin mukaan E2:n poistumat ovat vaihdelleet -18.5 % ja 100 % välillä, mutta ovat kuitenkin pääasiassa olleet > 70 %. Carballa ym. (2004) mukaan noin 20 % E2:sta poistuu esiselkeytyksessä sitoutuneena raakalietteeseen. Keskimäärin estrogeeneista on arvioitu poistuvan esiselkeytyksessä noin 10 % (Hamid ym. 2012). Biologisessa puhdistusvaiheessa EE2:n on arvioitu sitoutuvan lietteeseen E2:ta enemmän. EE2:ta voi Racz ym. (2010) mukaan sitoutua aktiivilietteeseen jopa 30 %. Lietteeseen sitoutuminen kuitenkin voi vaihdella voimakkaasti puhdistamolta toiselle johtuen erilaisista olosuhteista ja lietteen ominaisuuksista. Estrogeenien on todettu myös desorptoituvan eli irtoavan helposti lietteestä, koska adsorptio eli lietteeseen sitoutuminen perustuu fysikaalisiin voimiin, jotka ovat kemiallisia adsorptiomekanismeja heikompia.

Sekä E2 että EE2 ovat biohajoavia. E2:lle mitatut biologisen hajoamisen vakiot ovat olleet hapellisissa olosuhteissa keskimäärin 350, hapettomissa olosuhteissa 175 ja anoksisissa olosuhteissa 460 L/g_{SSd} (Hamid ym. 2012). Aine voidaan luokitella erittäin biohajoavaksi, jos sen biologinen hajoamisvakio on > 5 L/g_{SSd} . Jos vakio on välillä 1 –

5 L/g_{SSd}, luokitellaan aine biohajoavaksi. EE2:lle mitatut hajoamisvakion arvot ovat olleet hapellisissa olosuhteissa keskimäärin 8, hapettomissa olosuhteissa 1.2 ja anoksisissa olosuhteissa 1.2 L/g_{SSd}. EE2 on siis biohajoava erityisesti hapellisissa olosuhteissa. E2 näyttäisi olevan erittäin biohajoava olkoon olosuhteet hapelliset, hapettomat tai anoksiset. Tämä tukee selvityksessämme määritettyjä poistumia, jotka olivat korkeita riippumatta puhdistamolla käytössä olleesta biologisen käsittelyn menetelmästä. Estrogeenien suhteen on otettava huomioon myös aineiden erittyminen ihmisten virtsaan konjugoituneessa muodossa. Virtsaan erittyneestä E2:sta 65 – 78 % ja EE2:sta 63 % on konjugoituneena glukuronidi-molekyylin kanssa (Liu ym. 2009, Johnson ym. 2004). Jätevesissä esiintyvä *E Coli* erittää jäteveteen β-glukuronidaasi – nimistä entsyymiä. Tämä entsyymi pystyy pilkkomaan estrogeenien muodostamia glukuronidi-konjugaatteja vapauttaen näin aktiivista estrogeeniä. Tällöin estrogeenien pitoisuus jätevedessä voi jopa kasvaa puhdistuksen aikana, kuten on joissain tutkimuksissa raportoitu tapahtuvan.

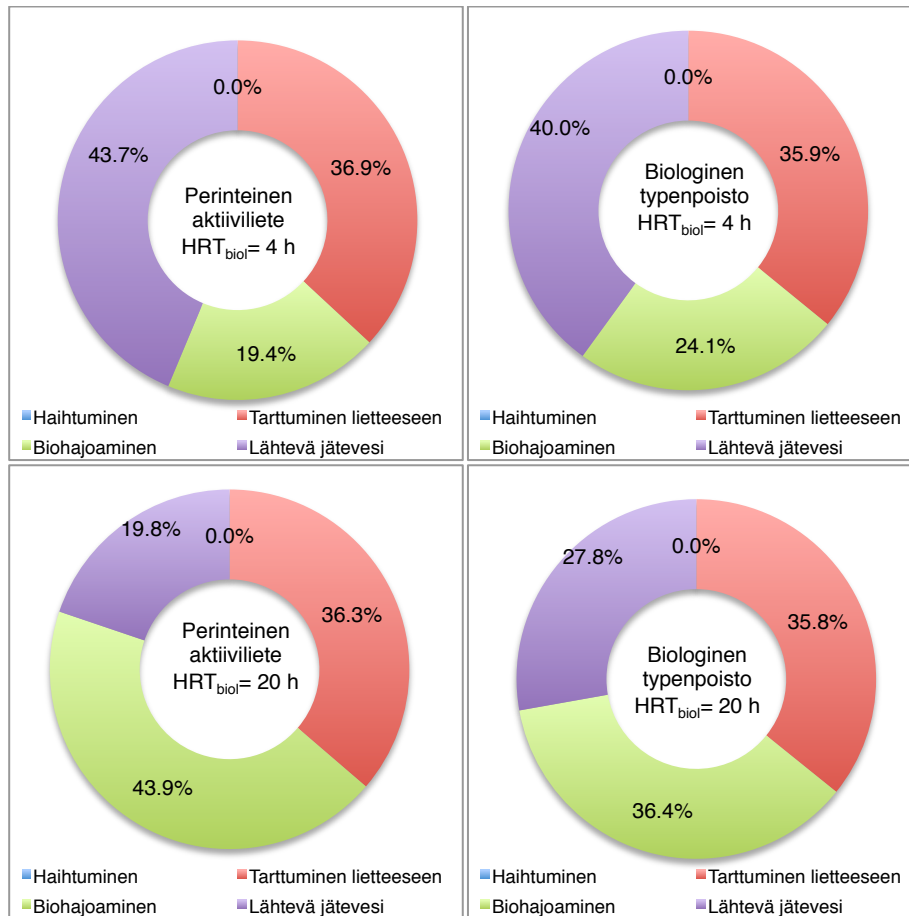
Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida E2:n massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 29 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 53%: 15.2 kg/v
- Biohajoaa 45 %: 13.1 kg/v
- Lähtevä jätevesi 2 %: 0.7 kg/v

TOXCHEM-malli luultavasti yliarvioi lietteeseen sitoutuneet E2:n määrän, joten suurella todennäköisyydellä lietteeseen sitoutuneesta määrästä osa biohajoaa. E2:n kuormituksen jätevedenpuhdistamoille arvioitiin laskennallisesti olevan n. 15 kg/v. Mittausten mukaan kuormitus on kuitenkin lähes kaksinkertainen arvioon nähden. E2:lle ei ole määrätty lainsäädännössä EQS-arvoa, mutta direktiivin 2013/39/EU uusimisprosessin aikana kuitenkin esitettiin E2:lle seuraavia EQS-arvoja: sisävedet 0.0004 µg/l ja rannikkovedet 0.00008 µg/l. Tämän hankkeen analyysimenetelmien määrittämisrajat ovat selvästi näitä arvoja korkeammat.

EE2:n mittaukset olivat kaikki alle määrittämisrajan, mutta koska aine on direktiivin 2013/39/EU mukainen tarkkailuaine, arvioitiin EE2-pitoisuudet tulevassa ja lähtevässä jätevedessä laskennallisesti ja mallintamalla. Kappaleessa 3.1.15 arvioitiin, että Suomessa jätevedenpuhdistamoille päättyy vuosittain 0.55 kg EE2:ta. Jos arvioidaan tulovirtaamaksi vuodessa 525 miljoonaa m³ saadaan EE2:n keskimääräiseksi pitoisuudeksi jätevedessä 0.001 µg/l eli 1 ng/l. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 5.38) EE2:ta päättyy lähtevään jätevetteen 20 – 44 % riippuen biologisesta puhdistusmenetelmästä ja veden viipymästä tässä prosessissa. Lietteeseen tarttuminen on mallin mukaan n. 35 % riippumatta prosessiolosuhteista. Tulokuormasta 0.55 kg päättyy siis puhdistettuun jätevetteen 0.11 – 0.24 kg biohajoaa ja lietteeseen sitoutuu 0.19 kg. Lähtevän jäteveden pitoisuuksien voidaan arvioida olevan 0.2 – 0.4 ng/l. EE2:lle ei ole määrätty lainsäädännössä ESQ-arvoa, mutta direktiivin 2013/39/EU uusimisprosessin aikana EE2:lle esitettiin seuraavia EQS-arvoja: sisävedet 0.035 ng/l ja rannikkovedet 0.007 ng/l. Arvioidut pitoisuudet ovat korkeampia kuin nämä ehdotetut EQS-arvot. Hamidin ym. (2012) artikkelissa oli koottu jätevesien EE2-tuloksia kuudesta

tutkimuksesta. Tulevassa jätevedessä EE2-pitoisuudet olivat välillä < 0.3 – 14.4 ng/l ja lähtevässä jätevedessä välillä < 0.3 – 0.5 ng/l. Arvioidut jätevesien pitoisuudet Suomessa sijaitsevat näillä pitoisuusalueilla.



Kuva 5.38. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset EE2:n käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

5.2.18 Lääkeaineet

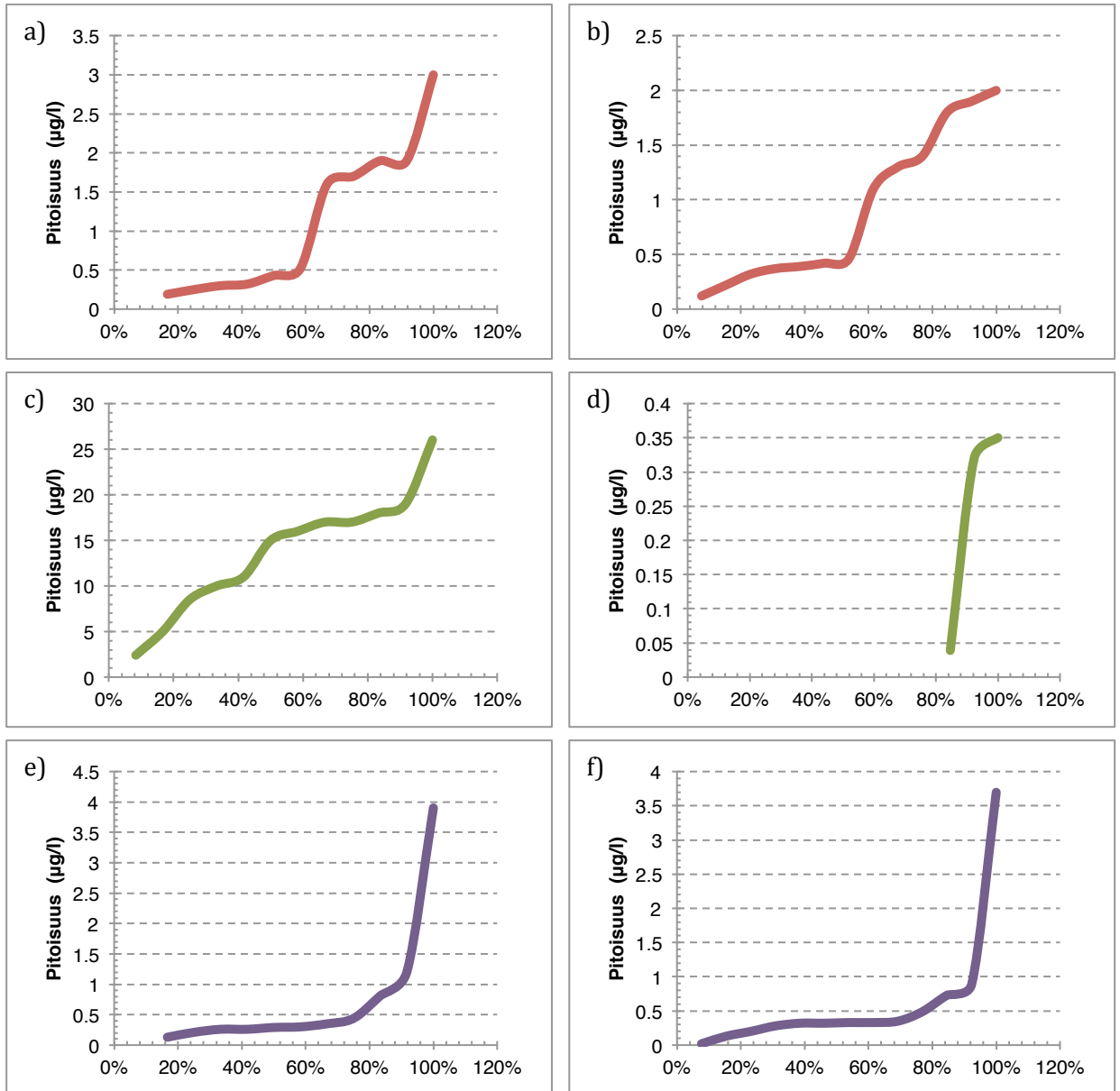
Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.17. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.17. Yhteenveto lääkeaineiden tuloksista. Määrittämissrajat ks. taulukko 5.2.

	Diklofenaakki	Ibuprofeeni	Karbamatsepiini
Tuleva jätevesi			
n	13	13	13
n > mr	12	13	12
Min (µg/l)	< 0.02	2.4	< 0.02
Max (µg/l)	3.0	26	3.9
Keskiarvo (µg/l)	1.02	13.7	0.65
Mediaani (µg/l)	0.52	15	0.29
Lähtevä jätevesi			
n	14	14	14
n > mr	14	4	13
Min (µg/l)	0.12	< 0.05	< 0.02
Max (µg/l)	2.0	0.5	3.7
Keskiarvo (µg/l)	0.90	0.17	0.60
Mediaani (µg/l)	0.66	0.12	0.33
AA-EQS (µg/l)	-	-	-

- Diklofenaakia mitattiin yli määritysrajan 92 % tulevan jäteveden näytteistä ja 100 % lähtevän jäteveden näytteistä. Sen keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 1.02 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.90 µg/l. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa. Direktiivin 2013/39/EU uusimisprosessin aikana kuitenkin esitettiin diklofenaakille seuraavia EQS-arvoja: sisävedet 0.1 µg/l ja rannikkovedet 0.01 µg/l. Lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat välillä 0.12 – 2 µg/l. Laimennuskertoimet pitoisuuden saattamiseksi alle alimman EQS-arvon 0.01 µg/l olisivat 12 – 200.
- Ibuprofeenia mitattiin yli määritysrajan 100 % tulevan jäteveden näytteistä ja 29 % lähtevän jäteveden näytteistä. Sen keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 13.7 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.17 µg/l. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.
- Karbamatsepiiniä mitattiin yli määritysrajan 92 % tulevan jäteveden ja 93 % lähtevän jäteveden näytteistä. Sen keskimääräinen pitoisuus tulevassa

jätevedessä oli 0.65 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.60 µg/l. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa



Kuva 5.39. Lääkeaineiden pysyvyyskäyrät: a) diklofenaakki tuleva, b) diklofenaakki lähtevä, c) ibuprofeeni tuleva, d) ibuprofeeni lähtevä, e) karbamatsepiini tuleva ja f) karbamatsepiini lähtevä. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

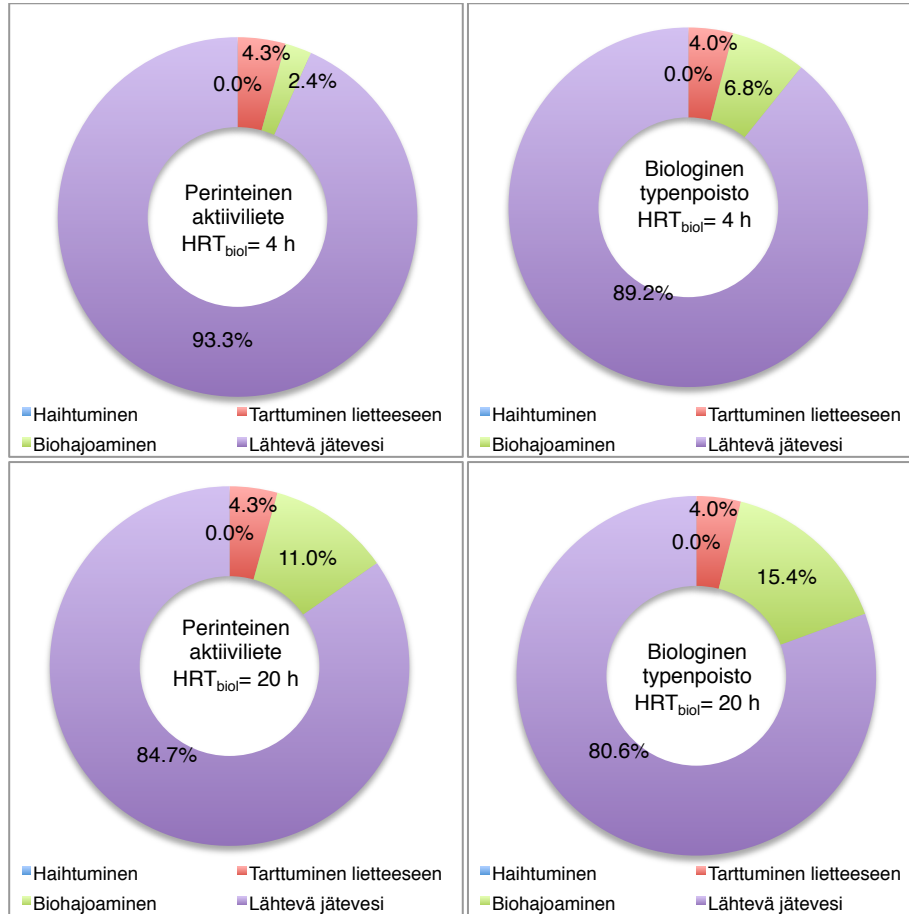
- Lääkeaineita mitattiin pääasiassa isoimmilla eli > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Yksi näyte otettiin 50 000 – 99 999 AVL:n puhdistamolta ja yksi < 10 000 AVL:n puhdistamolta. Tämän vuoksi liitteessä 4 esitetyt vertailut puhdistamoiden koon ja lääkeaineiden pitoisuuksien välillä eivät vastaa todellista tilannetta.
- Näytteenoton pääasiallisena kohteena olleet > 100 000 AVL:n puhdistamot sijaitsevat Etelä-Suomessa, Länsi- ja Sisä-Suomessa sekä Lounais-Suomessa. Näiden alueiden diklofenaakin ja ibuprofeenin pitoisuudet olivat keskenään samalla tasolla. Karbamatsepiinin pitoisuudet kuitenkin olivat Etelä-Suomen (n=

- 5) ja Itä-Suomen (n= 1) puhdistamoilla keskimäärin selvästi muita alueita korkeammat.
- Ibuprofeenin pitoisuus ylitti lähtevän jäteveden näytteissä määrittämisen vain kolmella puhdistamolla (liite 5). Kaksi näistä sijaitsi Etelä- ja yksi Länsi- ja Sisä-Suomessa. Diklofenaakin ja karbamatsepiinin osalta lähtevässä jätevedessä näkyi sama jakauma kuin tulevalle jätevedelle, sillä kumpikin aineista on puhdistamolla huonosti poistuva.
 - Karbamatsepiinin osalta korkein pitoisuus mitattiin laitoksella, joka ei vastaanota teollisuusjätevesiä ja alhaisin laitoksella, jonka teollisuusjätevesien osuus virtaamasta oli 25 % (liite 6). Diklofenaakin ja ibuprofeenin osalta samanlaista trendiä ei havaittu.
 - Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden lääkeaineiden pitoisuuksiin. Noin 20 % keskiarvoa korkeampia diklofenaakin pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli lääketeollisuutta. Pitoisuudet verrattuna niihin puhdistamoihin, joiden viemäröintialueella ei sijainnut lääketeollisuutta olivat lähes 40 % korkeammat. Ibuprofeenille vastaavat arvot olivat 12 % ja 20%. Karbamatsepiinin pitoisuuksiin lääketeollisuuden esiintyminen viemäröintialueella ei vaikuttanut. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden lääkeaineiden pitoisuuksissa havaittu.
 - Lääkeaineita mitattiin ainoastaan laitoksilla, joiden biologinen prosessi oli perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto. Diklofenaakin keskimääräinen pitoisuus oli biologisissa typenpoistolaitoksissa 1.5 µg/l ja perinteisissä aktiivilietelaitoksissa 0.7 µg/l (liite 7). Karbamatsepiinin pitoisuudet taas olivat biologisilla typenpoistolaitoksilla perinteistä aktiivilietettä alemmat. Ibuprofeenin pitoisuuksilla ei ollut suurta eroa biologisten menetelmien välillä.
 - Diklofenaakin pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat biologisen jälkisuodatuksen ja hiekkasuodatuksen jälkeen (liite 8). Alin pitoisuus mitattiin kemikaloinnin ja flotaation jälkeen. Karbamatsepiinin pitoisuudet olivat jälkikäsitteilyn (biologinen suodatin, kemikalointi + flotaatio ja hiekkasuodatus) jälkeen alemmalla tasolla kuin ilman jälkikäsitteilyä. Ibuprofeenin pitoisuudet olivat matalalla tasolla 0.2 – 0.3 µg/l käytettiin jälkikäsitteilyä tai ei.

- Lääkeaineiden poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

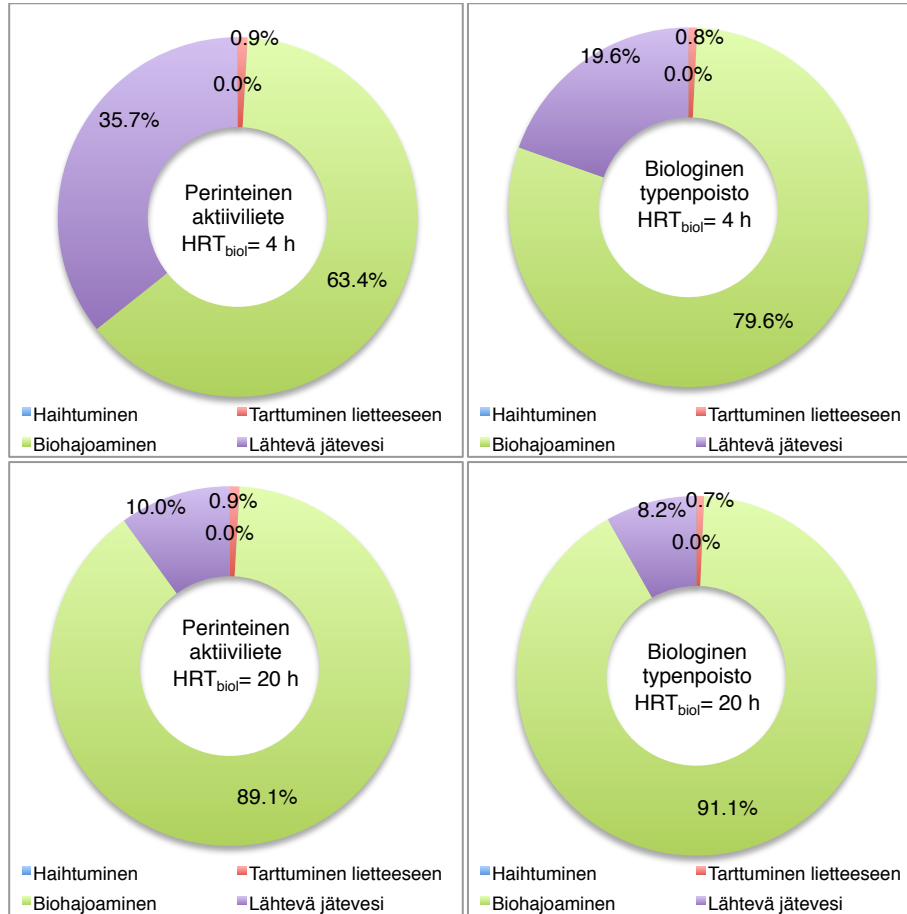
	Diklofenaakki	Ibuprofeeni	Karbamatsepiini
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	895	8000	165
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	845	130	190
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	5 % (-48 – 42 %)	98 % (90 – 100 %)	-5 % (-115 – 75 %)

- Diklofenaakin keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 5 %. Diklofenaakin alhaisin poistuma mitattiin < 10 000 AVL:n puhdistamolla, mutta mittaus perustuu vain yhden puhdistamon tulokseen (liitteet 9-11). Biologisella puhdistusmenetelmällä ei ollut suurta vaikutusta diklofenaakin poistumiseen. Korkein keskimääräinen diklofenaakin poistuma mitattiin laitoksilla, joilla oli hiekkasuodatus jälkikäsittelymenetelmänä.
- TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 5.40), n. 4% diklofenaakista tarttuu puhdistamolla lietteeseen. Aineesta biohajoaa 2 – 15 %, mutta suurin osa eli 80 – 93 % päätyy puhdistettuihin jätevesiin. Diklofenaakki biohajosi enemmän biologisen typenpoiston mukaisessa puhdistamomallissa. Lisäksi pidempi viipymä lisäsi aineen biohajoamista.



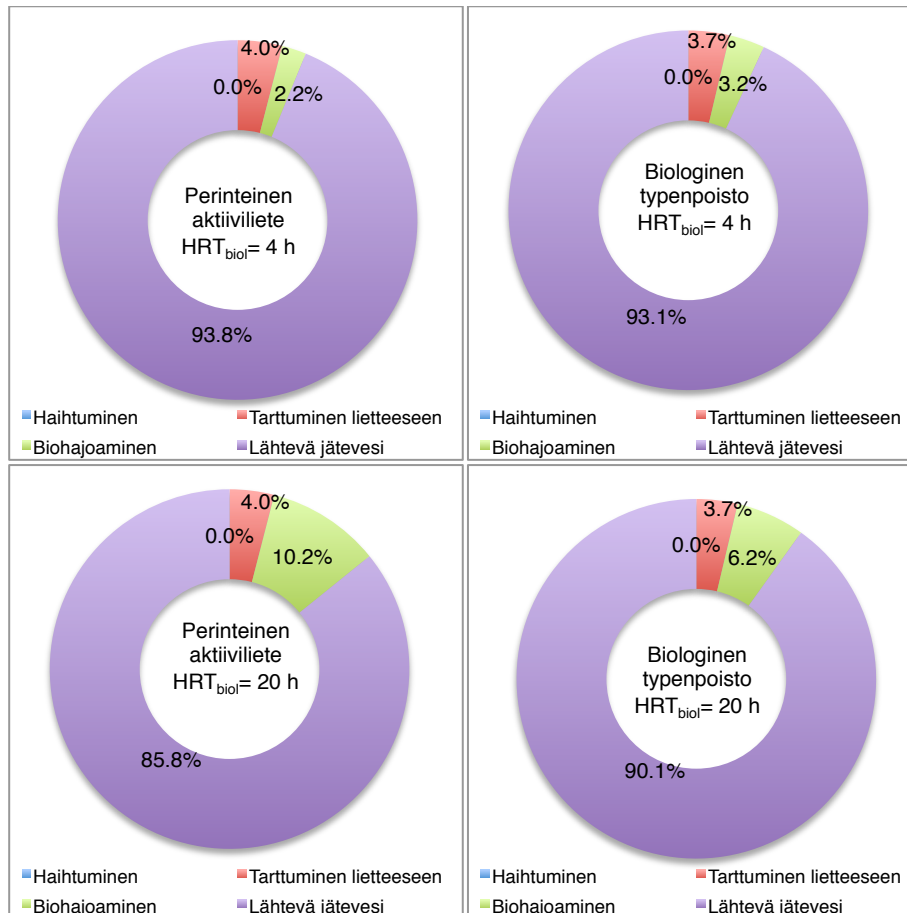
Kuva 5.40. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset diklofenaakin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa

- Ibuprofeenin keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 98 %. Ibuprofeenin poistuma oli korkea, > 90 %, riippumatta puhdistamon koosta, käytetystä biologisesta käsittelystä tai mahdollisesta jälkikäsittelymenetelmästä. (liitteet 10 – 11).
- TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 5.50) ibuprofeeni ei juuri tartu lietteeseen eikä se haihdu puhdistuksen aikana. Biohajoaminen on pääasiallinen poistumismekanismi. Biologinen typenpoisto sekä pitkä viipymä biologisessa prosessissa parantavat ibuprofeenin biohajoamista ollen mallin mukaan korkeimmillaan 91 %.



Kuva 5.50. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset ibuprofeenin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

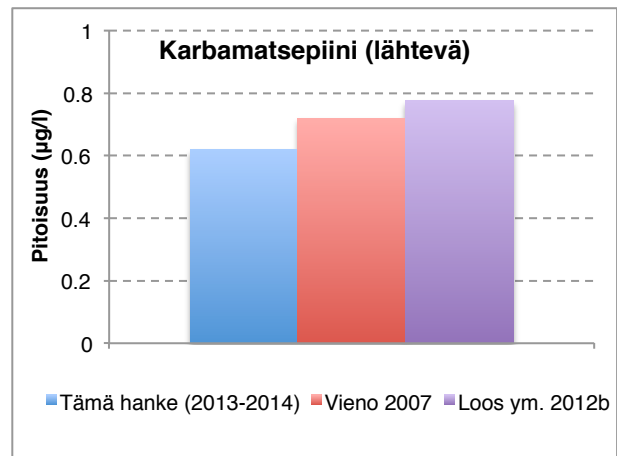
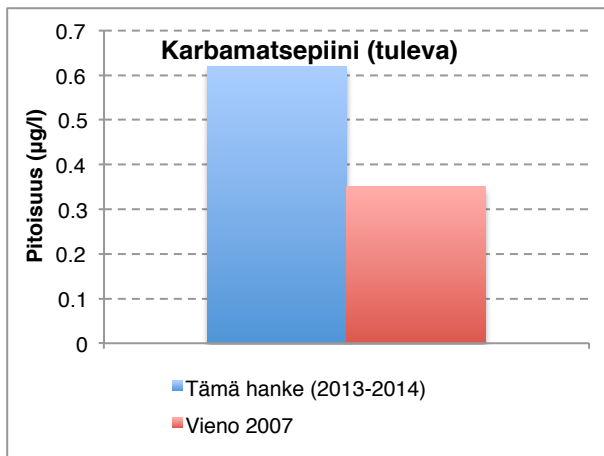
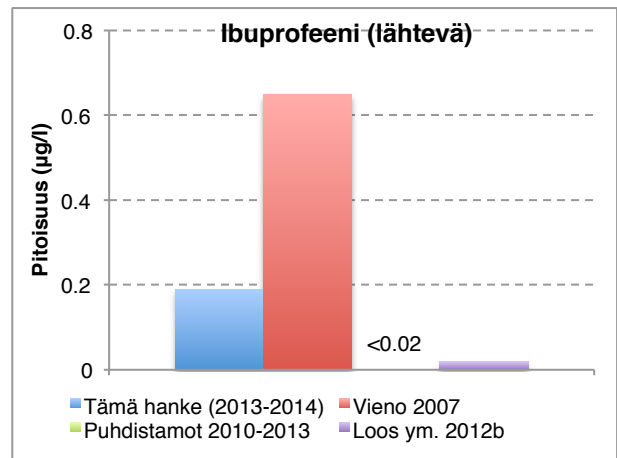
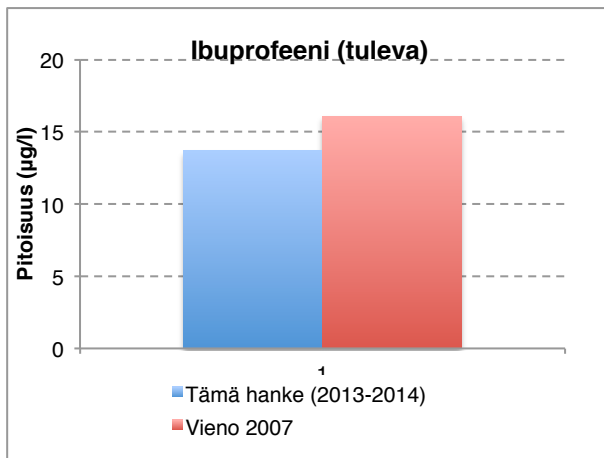
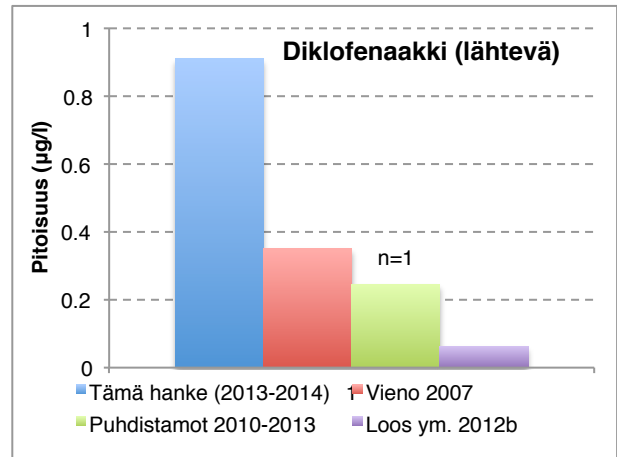
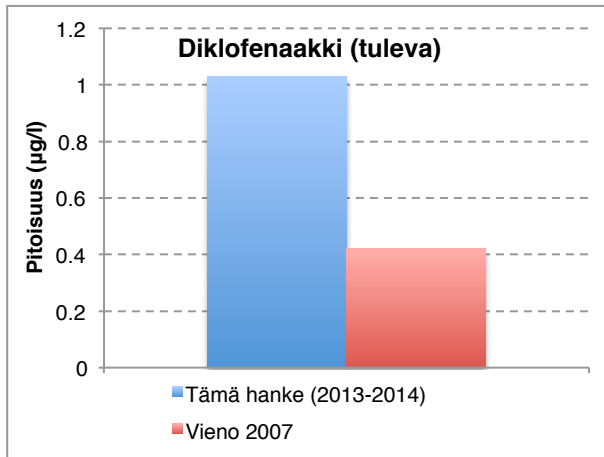
- Karbamatsepiinin keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli -5 %. Karbamatsepiinin poistuma oli alhainen riippumatta puhdistamon koosta tai käytetystä biologisesta menetelmästä. Poistuminen oli biologisessa typenpoistossa keskimäärin -30 % ja perinteisessä aktiivilieteprosessissa 10 %. Eniten karbamatsepiinin pitoisuuden havaittiin nousevan hiekkasuodatusta tai biologista suodatusta jälkikäsittelymenetelmänä käytävillä laitoksilla. (liitteet 10 ja 11)
- TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 5.51) suurin osa karbamatsepiinista (90 – 94 %) päättyy puhdistettuun jäteveeseen. Aine tarttuu jonkin verran lietteeseen ja voi biohajota, mutta vähäisessä määrin. Viipymän pidentäminen lisää biohajoamista hieman, mutta ei mallin mukaan kuitenkaan > 10 %.



Kuva 5.51. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset karbamatsepiinin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio -menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Ainakin yhtä lääkeainetta mitattiin yli määrittäysrajan kaikissa analysoiduissa tulevan ja lähtevän jäteveden näytteissä. Diklofenaakin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 1.03 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.91 µg/l. Ibuprofeenille keskimääräiset pitoisuudet olivat 13.7 ja 0.19 µg/l ja karbamatsepiinille 0.68 ja 0.62 µg/l. Karbamatsepiinin pitoisuuksien välillä havaittiin suurempia vaihteluita puhdistamoiden välillä kuin diklofenaakille ja ibuprofeenille. Tämä saattaa johtua siitä, että epilepsialääkkeenä karbamatsepiini on reseptilääke ja käyttö rajautuu vain tiettyyn potilasryhmään. Käsikauppatavarana saatavien tulehduskipulääkkeiden käyttö taas on väestössä tasaisempaa. Pääasiallinen lääkeainekuormitus jätevedenpuhdistamoille tulee kotitalouksista (lääkkeiden käyttö). Lääketeollisuuden esiintyminen viemäröintialueella saattaa lisätä joidenkin lääkeaineiden pitoisuuksia tulevassa jätevedessä. Karbamatsepiinille eroa pitoisuuksissa ei havaittu, mutta diklofenaakin pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat noin 20 % ja ibuprofeenin noin 12 % korkeampia, kun puhdistamon viemäröintialueella sijaitseva lääketehollisuus. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden lääkeaineiden pitoisuuksissa havaittu.



Kuva 5.52. Lääkeainemittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Tulevan jäteveden osalta pitoisuuksia verrattiin Vienon (2007) raportoihin kolmellatoista puhdistamolla vuosina 2004 – 2006 tehtyjen mittausten keskiarvoihin (kuva 5.52). Tässä selvityksessä diklofenaakin ja karbamatsepiinin keskimääräiset pitoisuudet olivat selvästi Vienon (2007) raportoimia suurempia. Ibuprofeenin pitoisuudet taas olivat hieman alhaisemmat. Diklofenaakin ja karbamatsepiinin kulutus ei kuitenkaan ole kasvanut näin rajusti viimeisten vuosien aikana. Karbamatsepiinin kulutus on Vienon (2007) raportoihin arvoihin verrattuna jopa laskenut 20 % ja

diklofenaakin kulutus pysynyt samalla tasolla. Ibuprofeenin kulutus taas on noussut noin 13 % vuodesta 2005. Pitoisuuseroja ei siis voida selittää pelkästään kulutusmäärien muutoksilla.

Myös lähtevän jäteveden osalta diklofenaakin keskimääräinen pitoisuus oli selvästi Vienon (2007) raportoimia korkeampi. Vienon (2007) kanssa samalla tasolla oli mittauksen ulkopuolella. Loos ym. (2012b) raportoi selvästi kaikkia muita selvityksiä alhaisempia diklofenaakin lähtevän jäteveden pitoisuuksia. Ibuprofeenin lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat tässä selvityksessä selvästi Vienon (2007) raportoimia alhaisempia. Toisaalta taas Loos ym. raportoimat tulokset olivat selvästi tässä selvityksessä mitattuja matalampia. Karbamatsiiniin lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat kaikissa kolmessa selvityksessä samalla tasolla.

Diklofenaakin poistuma puhdistamoilla oli keskimäärin 5 % ja vaihteluväli suuri (-48 – 42 %). TOXCHEM-mallinnuksen mukaan diklofenaakin puhdistamolle tulevasta kuormasta 4 % sitoutuu lietteeseen, 2 – 15 % hajoaa biologisesti ja 80 – 93 % päätyy puhdistamolta lähtevään jätevetteen. Diklofenaakin poistuma on aiemmissa tutkimuksissa vaihdellut negatiivisista arvoista aina yli 80 % (Vieno ja Sillanpää 2014). Estrogeenien yhteydessä läpikäyty glukuronidi-konjugaattien muodostuminen ja pilkkoutuminen puhdistamoilla voi tapahtua myös diklofenaakille. Aineesta noin 10 % erittyy ihmisistä glukuronidi-konjugaattina, joka voi hajota jätevedenpuhdistuksen aikana ja vapauttaa diklofenaakkia. Diklofenaakille määritetyt adsorptiovakiot lietteeseen eli $\log K_d$ -arvot ovat olleet välillä 1.2 – 2.7. Suurin sitoutumisenergia diklofenaakilla on raakalietteeseen, mutta yleisesti ottaen on arvioitu aineen lietteeseen sitoutumisen olevan vähäistä (Vieno ja Sillanpää 2014). TOXCHEM-mallin mukaan diklofenaakki biohajoaa puhdistamoilla jonkin verran ja biohajoamista edistää viipymän kasvattaminen biologisessa puhdistusvaiheessa. Lisäksi malli arvioi, että aineen poistuminen olisi hieman suurempaa biologisilla typenpoistolaitoksilla. Diklofenaakin on arvioitu olevan hitaasti biohajoava. Biohajoaminen voi kuitenkin olla nopeampaa nitrifioivien bakteerien läsnäollessa (Vieno ja Sillanpää 2014). Tässä selvityksessä diklofenaakin poistuma kuitenkin oli biologisissa typenpoistolaitoksissa perinteisiä aktiivilietelaitoksia alhaisempi. Kyseessä voi kuitenkin olla typenpoistolaitoksilla tapahtuva konjugoituneen diklofenaakin tehokkaampi hajoaminen ja tästä johtuva aineen vapautuminen jätevetteen.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida diklofenaakin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 895 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 4%: 36 kg/v
- Biohajoaa 2 %: 14 kg/v
- Lähtevä jätevesi 94 %: 845 kg/v

Diklofenaakin pitoisuuksia lietteessä ei tässä selvityksessä mitattu. Aiemmissa Suomessa tehdyissä mittauksissa, diklofenaakin pitoisuudet biokaasulaitosten mädätysjäännöksessä ovat olleet keskimäärin 174 µg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014).

Lääkekulutuksesta arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille oli 308 kg eli selvästi alempi kuin mittausten mukaan laskettu kuormitus. Diklofenaakille ei ole määrätty lainsäädännössä EQS-arvoa. Direktiivin 2013/39/EU uusimisprosessin aikana kuitenkin esitettiin diklofenaakille seuraavia EQS-arvoja: sisävedet 0.1 µg/l ja rannikkovedet 0.01 µg/l. Mitatut lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat välillä 0.12 – 2 µg/l. Laimennuskertoimet pitoisuudet saattamiseksi alle alimmat EQS-arvon 0.01 µg/l olisivat 12 – 200.

Ibuprofeenin poistuma puhdistamoilla oli tasaisesti korkea ja keskimäärin 98 %. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan 63 – 91 % ibuprofeenista biohajoaa ja < 1 % sitoutuu lietteeseen. Lähteviin jätevesiin päätyy mallin mukaan 8 – 36 % ibuprofeenista. Muissa tutkimuksissa mitatut ibuprofeenin poistumat ovat lähes aina olleet > 90 % (Vieno 2007). Ibuprofeeni on jätevedenpuhdistamoilla erittäin hyvin biohajoava ja sen poistumat ovat olleet korkeita riippumatta biologisen puhdistuksen menetelmästä. Näin oli myös tässä selvityksessä.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida ibuprofeenin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 8000 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 0.5 %: 40 kg/v
- Biohajoaa 97.5 %: 7830 kg/v
- Lähtevä jätevesi 2 %: 130 kg/v

Ibuprofeenin pitoisuuksia lietteessä ei tässä selvityksessä mitattu. Aiemmissa Suomessa tehdyissä mittauksissa, ibuprofeenin pitoisuudet biokaasulaitosten mädätysjäännöksessä ovat olleet keskimäärin 3270 µg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014)

Lääkekulutuksesta arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille oli 4240 kg eli noin puolet alempi kuin mittausten mukaan laskettu kuormitus. Ibuprofeenille ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

Karbamatsepiinille poistuman vaihteluväli puhdistamoilla oli vielä diklofenaakkiakin suurempi (-115 – 75 %). Keskimääräinen poistuma oli – 5 %. Karbamatsepiinin pitoisuus oli siis keskimäärin lähtevässä jätevedessä tulevaa suurempi. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan karbamatsepiinistä 4 % sitoutuu lietteeseen, 2 – 10 % biohajoaa ja 90 – 94 % päätyy puhdistamolta lähteviin jätevesiin. Karbamatsepiinin vähäinen poistuminen jätevedenpuhdistamoilla on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (Vieno 2007). Parhaimmillaan poistuma on 30 % luokkaa. Ainetta pidetään kuitenkin erittäin pysyvänä ja lähestulkoon hajoamattomana jätevedenpuhdistamoilla. Lievä pitoisuuksien kohoaminen puhdistuksen aikana johtunee estrogeenien yhteydessä käsiteltyjen lääkeaineen glukuronidi-konjugaattien hajoamisesta puhdistuksen aikana. Tällöin lääkeainetta vapautuu jätevedeen nostaen aineen pitoisuutta.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida karbamatsepiinin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 165 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 4 %: 7 kg/v
- Biohajoaa 2 %: 3 kg/v
- Syntyy puhdistamalla
(mahdollisesti konjugaattien
hajoaminen) 21 %: 35 kg
- Lähtevä jätevesi 115 %: 190 kg/v

Karbamatsepiinin lietepitoisuuksia ei tässä selvityksessä mitattu. Aiemmissa Suomessa tehdyissä mittauksissa, karbamatsepiinin pitoisuudet biokaasulaitosten mädätysjäännöksessä ovat olleet keskimäärin 81.6 µg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014)

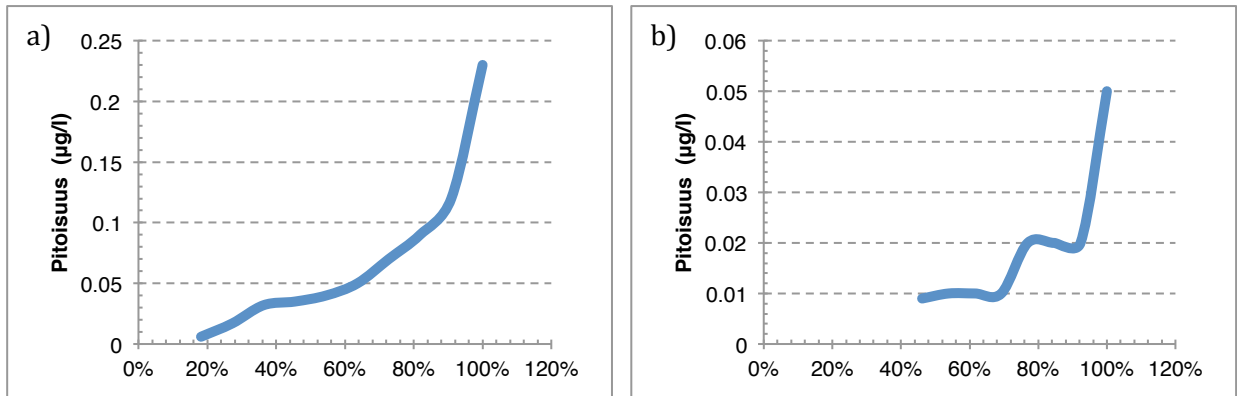
Lääkekulutuksesta arvioitu kuormitus jätevedenpuhdistamoille oli 56 kg eli selvästi alempi kuin mittausten mukaan laskettu kuormitus. Karbamatsepiinille ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

5.2.19 Triklosaani

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.18. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.18. Yhteenveto triklosaanin tuloksista. Määrittäjärajat ks. taulukko 5.2.

Triklosaani	
Tuleva jätevesi	
n	11
n > mr	9
Min (µg/l)	< 0.006
Max (µg/l)	0.23
Keskiarvo (µg/l)	0.067
Mediaani (µg/l)	0.05
Lähtevä jätevesi	
n	12
n > mr	8
Min (µg/l)	< 0.01
Max (µg/l)	0.05
Keskiarvo (µg/l)	0.017
Mediaani (µg/l)	0.01
AA-EQS (µg/l)	-
MAC-EQS (µg/l)	-



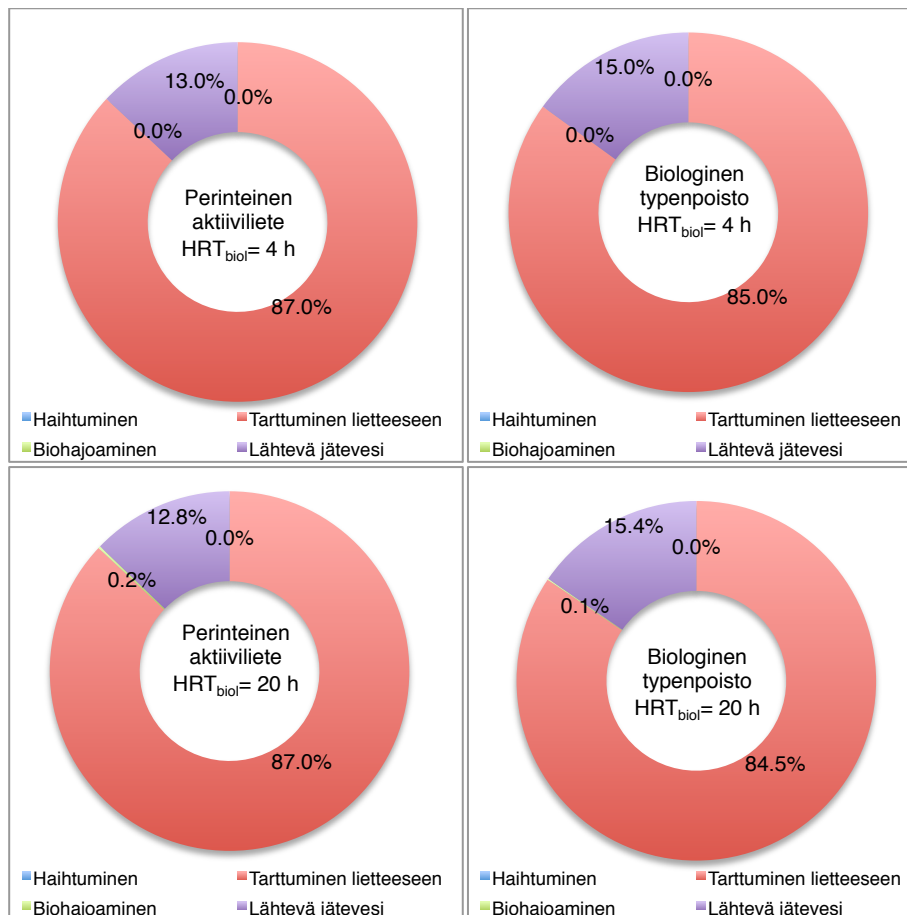
Kuva 5.53. Triklosaanin pisyvyyskäyrä a) tulevan ja b) lähtevän jäteveden tuloksille. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Triklosaanin pitoisuudet tulevassa jätevedessä ylittivät määritysrajan 82 % näytteistä ja lähtevässä jätevedessä 67 % näytteistä. Tulevassa jätevedessä triklosaanin keskimääräinen pitoisuus oli 0.067 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.017 µg/l. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.
- Triklosaania mitattiin pääasiassa isoimmilla eli > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Yksi näyte < 10 000 AVL:n puhdistamolta. Tämän vuoksi liitteessä 4 esitetyt vertailut puhdistamoiden koon ja triklosaani- pitoisuuksien välillä eivät vastaa todellista tilannetta.
- Näytteenoton pääasiallisena kohteena olleet > 100 000 AVL:n puhdistamot sijaitsevat Etelä-Suomessa, Länsi- ja Sisä-Suomessa sekä Lounais-Suomessa. Triklosaanin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli korkein Länsi- ja Sisä-Suomen puhdistamoilla (0.12 µg/l) ja matalin Itä-Suomen ja Lounais-Suomen puhdistamoilla (n. 0.05 µg/l) (liite 5).
- Lähtevän jäteveden näytteissä pitoisuudet olivat Pohjois-Suomen puhdistamoilla keskimäärin alle määritysrajan 0.01 µg/l. Muilla alueilla (paitsi Lapissa, jossa mittausten määrä oli nolla) pitoisuudet olivat tasolla n. 0.02 µg/l (liite 5).
- Lievä positiivinen korrelaatio havaittiin triklosaanipitoisuuden ja laitoksen tulovirtaaman teollisuusjätevesiosuuden välillä (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemärointialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden triklosaanin pitoisuuksiin. Minkään teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden triklosaanin pitoisuuksissa havaittu.
- Triklosaania mitattiin ainoastaan laitoksilla, joiden biologinen prosessi oli perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto. Aineen keskimääräinen pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli biologisissa typenpoistolaitoksissa 0.012 µg/l ja perinteisissä aktiivilietelaitoksissa 0.2 µg/l (liite 7).
- Triklosaanin pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat laitoksilla, joissa ei ollut käytössä jälkikäsittelyä (liite 8). Alin pitoisuus (< 0.01 µg/l) mitattiin kemikaloinnin ja flotaation sekä hiekkasuodatuksen jälkeen.

- Triklosaanin poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

Triklosaani	
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	25
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	8
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	73 % (50 – 93 %)

- Triklosaanin keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 73 %. Triklosaanin korkein poistuma mitattiin < 10 000 AVL:n puhdistamolla, tosin mittaus perustuu vain yhden puhdistamon tulokseen (liite 9). Biologisella puhdistusmenetelmällä ei ollut suurta vaikutusta triklosaanin poistumiseen. Perinteisillä aktiivilietelaitoksilla triklosaanin poistuma oli keskimäärin n. 10 %-yksikköä biologista typenpoistoa korkeampi. Korkein keskimääräinen triklosaanin poistuma mitattiin laitoksilla, joilla oli kemikalointi ja flotaatio jälkikäsittelymenetelmänä.
- TOXCHEM-mallinnuksen mukaan suurin osa triklosaanista tarttuu puhdistuksen aikana lietteeseen. Haihtumista tai biohajoamista ei tapahdu. Tulevasta triklosaani-kuormasta 13 – 15 % päätyy puhdistettuun jäteveteen. Viipymän lisääminen biologisessa prosessissa ei vaikuttanut aineen poistumaan. Mallin mukaan triklosaani poistuu hieman paremmin perinteisessä aktiivilieteprosessissa kuin biologisessa typenpoistoprosessissa.

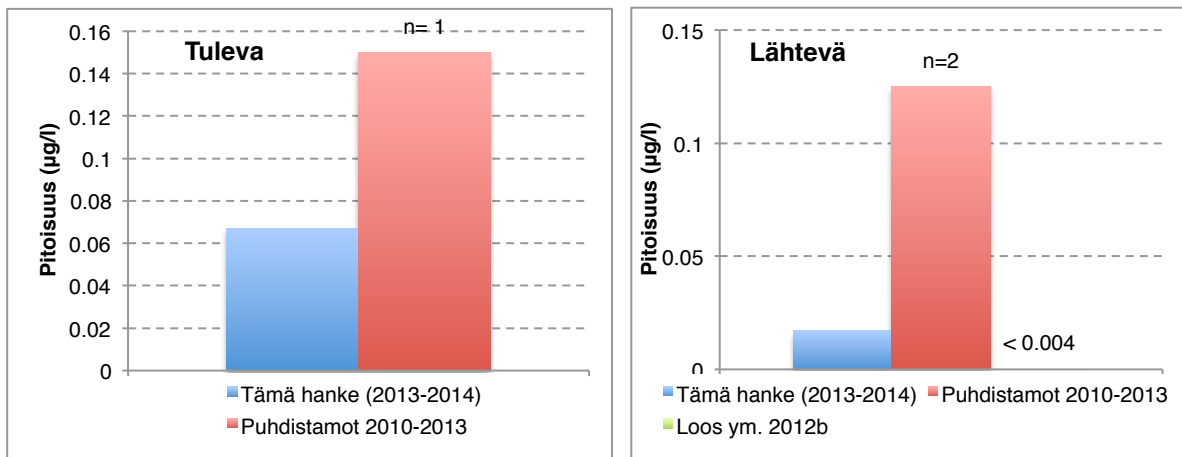


Kuva 5.54. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset triklosaanin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol} = viipymä biologisessa prosessissa.

Tulosten tarkastelu

Tulevan jäteveden osalta triklosaanin pitoisuudet ylittivät määräysrajan 82 % näytteistä ja sen keskimääräinen pitoisuus oli 0.067 µg/l. Lähtevässä jätevedessä keskimääräinen pitoisuus oli 0.017 µg/l. Triklosaanin pitoisuudet vaihtelivat jonkin verran puhdistamon koon ja maantieteellisen sijainnin mukaan, mutta mitään selvää kaavaa vaihtelulla ei ollut. Minkään teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta ei havaittu merkittäviä eroja tulevan jäteveden triklosaanin pitoisuuksissa. Triklosaania käytetään pääasiassa kuluttajatuotteiden biosidinä. Sen pääasiallinen jätevedenpuhdistamoiden kuormituslähde onkin kotitaloudet.

Triklosaania on jonkin verrattu mitattu suomalaisilla puhdistamoilla ennenkin (kuva 5.55). Puhdistamoiden lähettämässä tuloksissa triklosaania oli mitattu tulevassa jätevedessä yhdellä puhdistamolla (pitoisuus 0.15 µg/l) ja lähtevässä jätevedessä kahdella puhdistamolla (keskimääräinen pitoisuus 0.13 µg/l). Nämä ovat selvästi tässä selvityksessä mitattuja triklosaanin keskimääräisiä pitoisuuksia korkeampia. Loos ym (2012b) mittausten mukaan kaikilla kuudella puhdistamolla pitoisuudet olivat alle määräysrajan 0.004 µg/l.



Kuva 5.55. Trihalometaanimittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Kreikassa trikloaania on mitattu jätevesistä pitoisuuksissa 0.36 – 1.56 µg/l ja puhdistetuista jätevesistä 0.11 – 0.14 µg/l pitoisuudessa (Kosma ym. 2014, Samaras ym. 2013). Japanissa trikloaanin pitoisuuksiksi on mitattu jätevedessä 0.51 µg/l ja puhdistetuissa jätevesissä n. 0.1 µg/l (Nakada ym. 2006). Yhdysvalloissa mitatut pitoisuudet ovat jätevesissä olleet 2.3 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.05 µg/l (Yu ym. 2013).

Trihalometaanin poistuma oli jätevedenpuhdistamoilla keskimäärin 73 % ja vaihteluväli 50 – 93 %. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan trikloaani ei biohajoa ja puhdistamolle tulevasta kuormasta sitoutuu lietteeseen 85 – 87 %. Wick ym. (2011) arvioi trikloaanin sitoutumisen lietteeseen olevan voimakasta ja $\log K_d$ -arvon olevan > 4 . Aineen sitoutumisen lietteeseen voidaan arvioida olevan merkittävää, kun $\log K_d$ -arvo on > 2.7 . Stasinakis ym. (2013) mukaan trikloaanin poistuma jätevedenpuhdistamolla oli n. 90 %, josta biohajoamista oli noin 45 % ja lietteeseen sitoutumista noin 45 %. Stasinakis ym. (2007) raportoi myös, että trikloaani on OECD:n biohajoavuustestin mukaan biohajoava ja sen biohajoamisen puoliintumisaika on 1.8 päivää. Samaras ym. (2013) raportoi trikloaanin poistuvan jätevedenpuhdistamolla 91 - 93 %:sti. Biohajoamisen osuudeksi arvioitiin 52 – 81 % ja lietteeseen sitoutumisen 11 – 41 % riippuen puhdistamosta. Erot lietteeseen sitoutumisen ja biohajoamisen välillä voivat johtua siitä, että lietteeseen sitoutuneen trikloaanin on todettu biohajoavan tehokkaasti. Trihalometaanin ei siis näytä kertyvän lietteeseen.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida triklosaanin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 25 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 68 * %: 17 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 32 %: 8 kg/v

* Triklosaani ei luultavasti kerry lietteeseen vaan biohajoaa tehokkaasti.

Triklosaanille ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

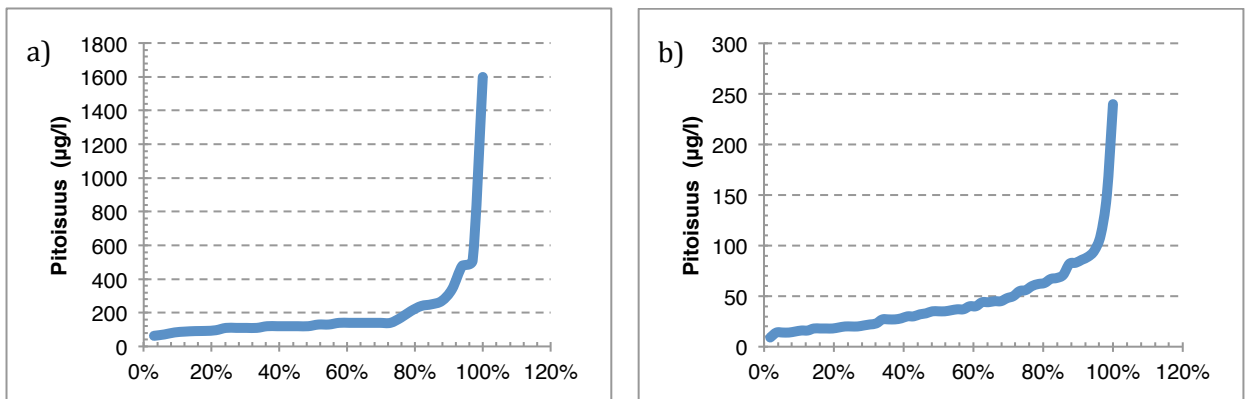
5.2.20 Sinkki

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.19. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.19. Yhteenveto sinkin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Sinkki	
Tuleva jätevesi	
n	33
n > mr	33
Min (µg/l)	63
Max (µg/l)	1600
Keskiarvo (µg/l)	206
Mediaani (µg/l)	130
Lähtevä jätevesi	
n	55
n > mr	55
Min (µg/l)	9.1
Max (µg/l)	240
Keskiarvo (µg/l)	45.3
Mediaani (µg/l)	35
AA-EQS (µg/l)	-
MAC-EQS (µg/l)	-

- Sinkin pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä yli määrittäysrajan. Tulevassa jätevedessä keskimääräinen pitoisuus oli 205 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 45.3 µg/l. Aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.



Kuva 5.56. Sinkin pysyvyyssäyrät a) tulevan ja b) lähtevän jäteveden tuloksille. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Sinkin keskimääräiset tulevan jäteveden pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat > 50 000 AVL:n puhdistamoilla (n. 300 µg/l) (liite 4). Alle 10 000 AVL:n puhdistamoilla sinkin keskimääräinen pitoisuus oli 85 µg/l.
- Lähtevän jäteveden näytteissä taas pienten, < 10 000 AVL:n, puhdistamoiden keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeimmat (60 µg/l) (liite 4). Pitoisuuserot olivat kuitenkin tulevaa jätevettä vähäisemmät eri kokoluokkien välillä.
- Selvästi korkein keskimääräinen sinkin pitoisuus tulevassa jätevedessä (480 µg/l) mitattiin Lapin puhdistamoilla (liite 5). Lähtevässä jätevedessä pitoisuuserot olivat vähäisemmät. Korkein keskimääräinen sinkin pitoisuus (68 µg/l) mitattiin Länsi- ja Sisä-Suomen puhdistamoilla (liite 5).
- Teollisuusjätevesien osuus puhdistamolle tulevasta virtaamasta ei korreloinut tulevan jäteveden sinkkipitoisuuden kanssa (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden sinkkipitoisuuksiin. Keskimäärin noin 45 – 50 % korkeampia sinkkipitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli satama tai lentokenttä. Keskimäärin 30 – 35 % korkeampia sinkkipitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli painoteollisuutta tai elintarviketeollisuutta. Kaksi puhdistamo ilmoitti viemäröintialueellaan olevan sinkityslaitoksia. Toisen puhdistamon tulevan jäteveden sinkkipitoisuus oli kaksinkertainen keskiarvoon verrattuna, mutta toisen vain puolet keskiarvosta. Yhden puhdistamon viemäröintialueella sijaitsee sinkinvalmistuslaitos. Tulevan jäteveden sinkkipitoisuus oli puhdistamolla kuitenkin keskimääräistä alempi. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden sinkkipitoisuuksissa havaittu.
- Korkein sinkin keskimääräinen pitoisuus lähtevässä jätevedessä mitattiin bioroottori-puhdistuksen jälkeen. Sinkin pitoisuus perinteisen aktiivilieteprosessin ja biologisen typen poistoprosessin jälkeen olivat samalla tasolla (liite 7).

- Jälkikäsittelymenetelmistä alhaisin keskimääräinen sinkin pitoisuus mitattiin UV-desinfiointia käyttävillä laitoksilla. Muiden jälkikäsittelymenetelmien jälkeinen sinkin pitoisuus oli samalla tasolla kuin laitoksella, jolla ei ollut käytössä jälkikäsittelyä. (liite 8)
- Sinkin poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

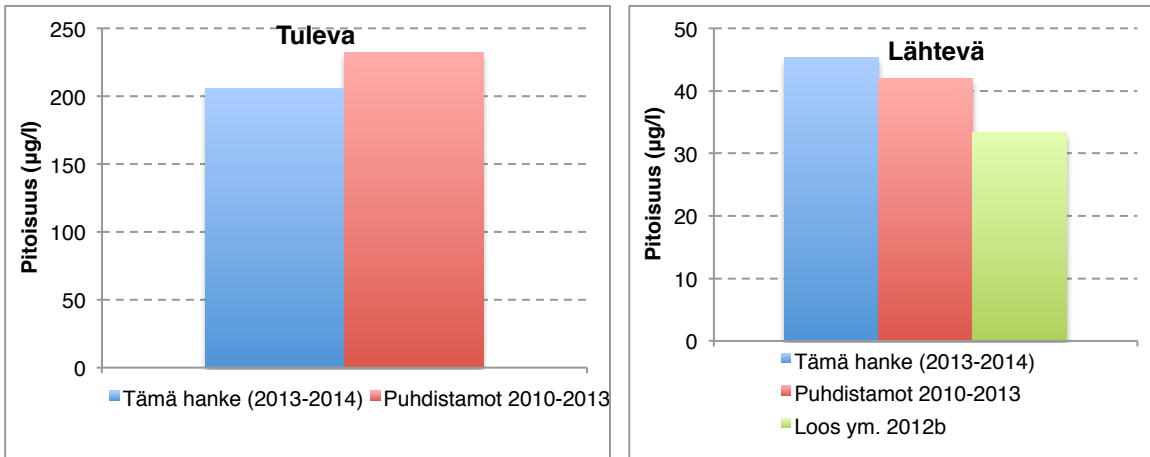
	Sinkki
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	117 500
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	24 500
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	75 % (23 – 95 %)

- Sinkin keskimääräinen poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli 75 %. Puhdistamon koko ei merkittävästi vaikuttanut sinkin poistotehokkuuteen (liite 9). Biologisessa suodatinprosessissa sinkki poistui keskimäärin hieman perinteistä aktiivilieteprosessia ja biologista typenpoistoa tehokkaammin. Korkein keskimääräinen poistuma mitattiin hiekkasuodatusta jälkikäsittelymenetelmänä käyttävillä puhdistamoilla. Matalin poistuma mitattiin biologista jälkisuodatusta käyttävillä puhdistamoilla. TOXCHEM-mallinnuksia ei sinkille tehty.

Tulosten tarkastelu

Sinkkiä mitattiin yli määräysrajan kaikissa jätevesinäytteissä. Tulevassa jätevedessä keskimääräinen pitoisuus oli 205 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 45.3 µg/l. Sinkin pitoisuudet tulevassa jätevedessä olivat selvästi korkeimmat > 50 000 AVL:n puhdistamoilla. Syytä tähän ei tiedetä. Korkeimmat keskimääräiset pitoisuudet mitattiin Lapissa sijaitsevilla puhdistamoilla. Tulevan jäteveden pitoisuuksia näyttää nostavan viemärintialueella sijaitsevat satamat tai lentokentät. Keskimääräistä korkeampia jätevesipitoisuuksia mitattiin myös, kun viemärintialueella sijaitsevat painoteollisuutta tai elintarviketeollisuutta. Myös sinkityslaitoksista tai sinkinvalmistusteollisuudesta vastaanotetut jätevedet voivat sisältää suuria sinkin pitoisuuksia.

Tässä selvityksessä raportoidut sinkkipitoisuudet ovat samalla tasolla kuin muissa Suomessa tehdyissä selvityksissä (kuva 5.57). Itävallassa sinkkipitoisuuksien on mitattu olevan lähtevässä jätevedessä keskimäärin 5.6 µg/l ja vaihtelevan välillä 1 – 41 µg/l. Suomessa mitatut pitoisuudet ovat näihin verrattuna moninkertaiset. Iso-Britanniassa tehdyissä mittauksissa sinkin pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli keskimäärin 30.9 µg/l ja korkeimmillaan 83.4 µg/l (Gardner ym. 2012). Nämä arvot ovat lähempänä tässä tutkimuksessa mitattuja pitoisuuksia.



Kuva 5.57. Sinkki-mittausten keskiarvoja tulevassa ja lähtevässä jätevedessä tässä hankkeessa sekä aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa.

Sinkki poistui jätevedenpuhdistamoilla keskimäärin 75 % ja vaihteluväli oli 23 – 95 %. Sinkki ei biohajoa ja kaiken poistumisen voidaan olettaa olevan sitoutumista lietteeseen. Clara ym. (2012) määritteli sinkin poistuman olevan jätevedenpuhdistamoilla 91 %. Tässä selvityksessä sinkin poistumiseen ei näyttänyt vaikuttavan puhdistamon koko tai biologinen käsittelymenetelmä. Niillä laitoksilla, joissa jätevettä jälkikäsiteltiin hiekkasuodatuksella, sinkin poistuma oli kuitenkin muita laitoksia suurempi. Koska sinkki on osittain jätevedessä sitoutuneena kiintoaineeseen, saattaa tämä johtua kiintoaineen suuremmasta poistumisesta hiekkasuodatuksen sisältävillä puhdistamoilla.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida sinkin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 117 500 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 79 %: 93 000 kg/v
- Biohajoaa 0 %: 0 kg/v
- Lähtevä jätevesi 21%: 24 500 kg/v

Sinkille ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

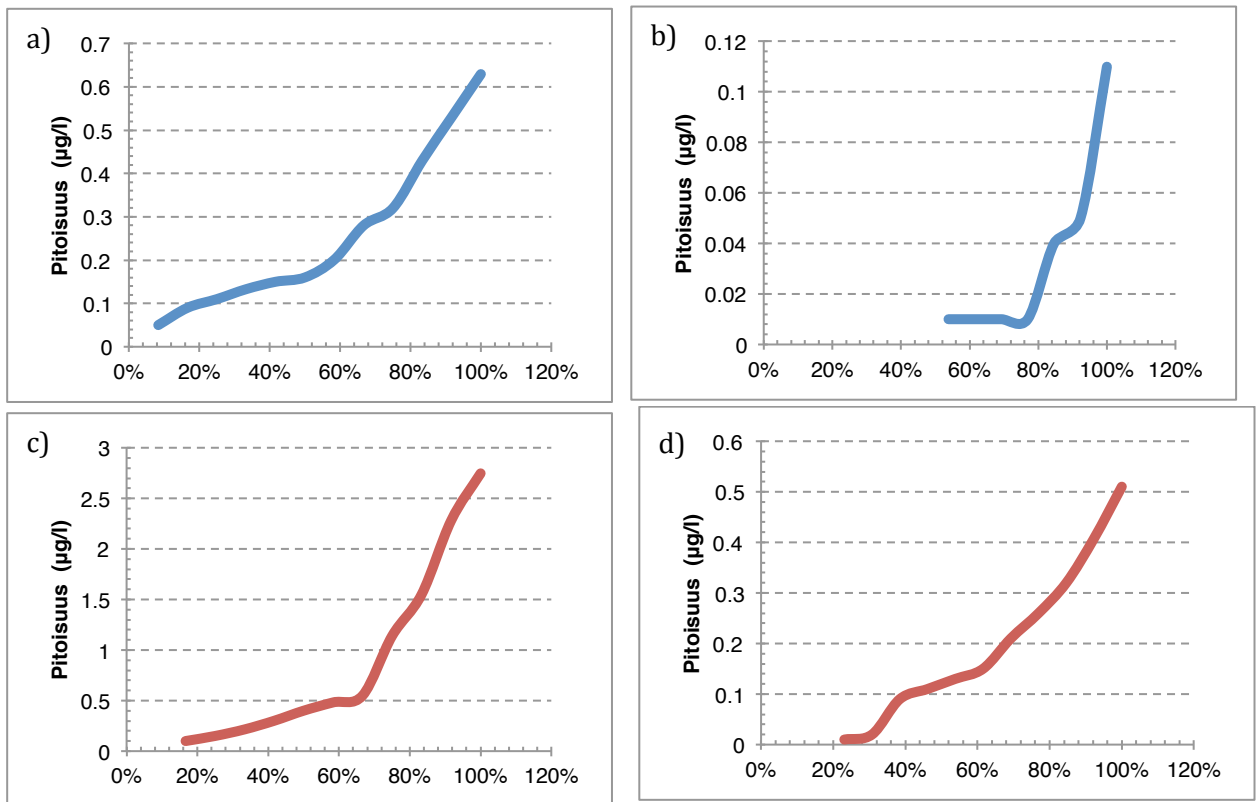
5.2.21 Glyfosaatti ja AMPA

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.20. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.20 Yhteenveto glyfosaatin ja AMPAn tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

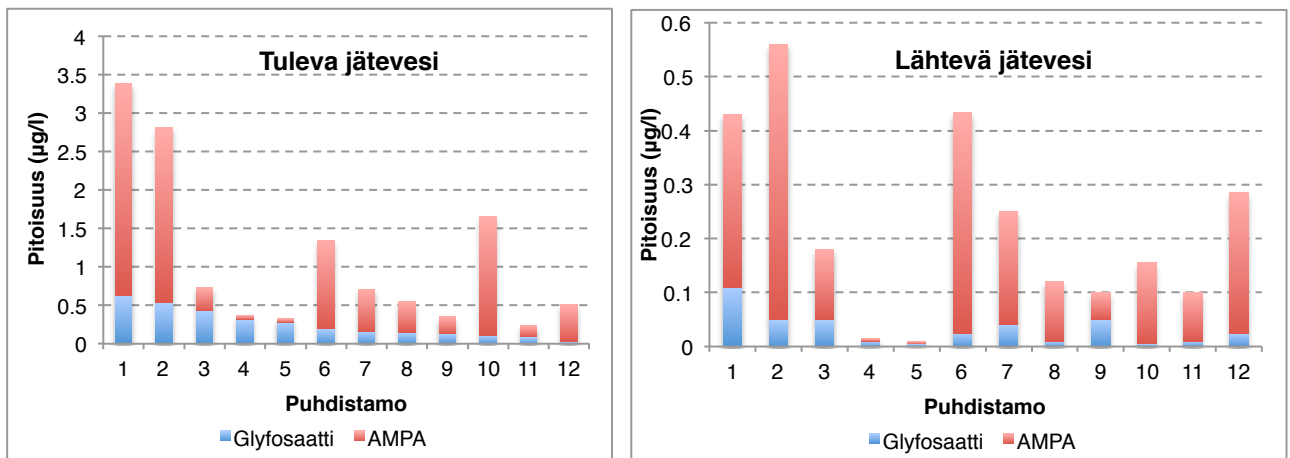
	Glyfosaatti	AMPA
Tuleva jätevesi		
n	12	12
n > mr	11	10
Min (µg/l)	<0.05	<0.1
Max (µg/l)	0.63	2.75
Keskiarvo (µg/l)	0.25	0.83
Mediaani (µg/l)	0.18	0.44
Lähtevä jätevesi		
n	13	13
n > mr	6	11
Min (µg/l)	<0.01	<0.01
Max (µg/l)	0.11	0.51
Keskiarvo (µg/l)	0.03	0.18
Mediaani (µg/l)	0.025	0.13
AA-EQS (µg/l)	-	-

- Glyfosaattia mitattiin yli määritysrajan 92 %:ssa tulevan jäteveden näytteistä ja 46 % lähtevän jäteveden näytteistä. AMPA on glyfosaatin hajoamistuote ja sitä mitattiin 83 %:ssa tulevan jäteveden näytteistä ja 85 %:ssa lähtevän jäteveden näytteistä. Glyfosaatin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.25 µg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.03 µg/l. AMPAn vastaavat arvot olivat 0.83 ja 0.18 µg/l. Kummallekaan aineelle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.



Kuva 5.58. Glyfosaatin ja sen metaboliatuote AMPAn pysyvyyskäyrät a) glyfosaatti tuleva, b) glyfosaatti lähtevä, c) AMPA tuleva ja d) AMPA lähtevä. x-akseli: Osuus puhdistamoista, joilla pitoisuus on alempi.

- Glyfosaatin ja AMPAn suhde vaihteli eri puhdistamoiden välillä (kuva 5.59). Tulevassa jätevedessä glyfosaatin suhde AMPAn vaihteli välillä 0.05 ja 6.4. Lähtevässä jätevedessä vaihteluväli oli 0.03 – 2.



Kuva 5.59. Glyfosaatin ja AMPAn osuudet aineiden yhteismäärästä eri puhdistamoilla sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä.

- Glyfosaattia ja AMPAa mitattiin pääasiassa isoimmilla eli > 100 000 AVL:n puhdistamoilla. Yksi näyte otettiin < 10 000 AVL:n puhdistamolta. Tulevan jäteveden osalta juuri tässä näytteessä oli eniten sekä glyfosaattia että AMPAa

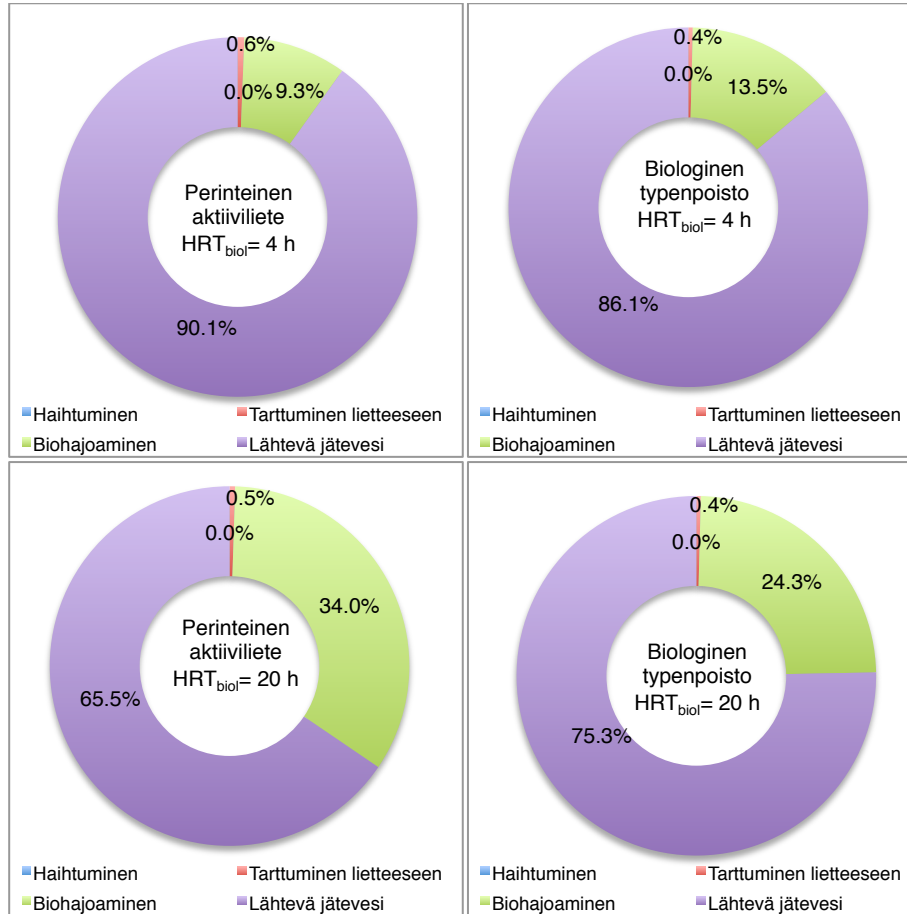
verrattuna muihin kokoluokkiin (liite 4). Lähtevässä jätevedessä glyfosaatin pitoisuudet olivat samalla tasolla puhdistamon koosta riippumatta. AMPAn kohdalla kokoluokan 50 000 – 99 999 AVL puhdistamoilla keskimääräiset pitoisuudet olivat hieman muita kokoluokkia suuremmat.

- Näytteenoton pääasiallisena kohteena olleet > 100 000 AVL:n puhdistamot sijaitsevat Etelä-Suomessa, Länsi- ja Sisä-Suomessa sekä Lounais-Suomessa. Glyfosaatin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli korkein Etelä-Suomen puhdistamoilla (0.38 µg/l) ja matalin Itä-Suomen ja Pohjois-Suomen puhdistamoilla (n. 0.1 µg/l) (liite 5). AMPAn keskimääräinen tulevan jäteveden pitoisuus oli korkein Etelä- ja Pohjois-Suomen puhdistamoilla.
- Lähtevän jäteveden näytteissä glyfosaatin pitoisuudet olivat Pohjois- ja Lounais-Suomen puhdistamoilla keskimäärin alle määritysrajan 0.01 µg/l. Etelä-Suomen puhdistamoilla glyfosaatin keskimääräinen pitoisuus oli selvästi korkein (> 0.04 µg/l) (liite 5). AMPAn pitoisuudet olivat samalla tasolla puhdistamon maantieteellisestä alueesta riippumatta.
- Glyfosaatin tai AMPAn pitoisuudella ja laitoksen tulovirtaaman teollisuusjätevesiosuuden välillä ei ollut korrelaatiota (liite 6).
- Puhdistamojen ilmoittamia viemäröintialueella olevia teollisuuden, palvelujen tai muiden toimintojen aloja vertailtiin tulevan jäteveden glyfosaatin ja AMPAn pitoisuuksiin. Glyfosaatin osalta minkään teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen välillä ei ollut merkittäviä eroja puhdistamoiden tulevan jäteveden pitoisuuksissa. AMPAn osalta keskimäärin 45 % korkeampia pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli eristeteollisuutta. Lisäksi keskimäärin 20 – 25 % korkeampia AMPAn pitoisuuksia mitattiin niiden laitosten tulevissa jätevesissä, joiden viemäröintialueella oli kumi- tai muoviteollisuutta tai painoteollisuutta. Muiden teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen osalta merkittäviä eroja ei tulevan jäteveden AMPAn pitoisuuksissa havaittu.
- Glyfosaattia ja AMPAa mitattiin ainoastaan laitoksilla, joiden biologinen prosessi oli perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto. Glyfosaatin keskimääräinen pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli biologisissa typenpoistolaitoksissa 0.02 µg/l ja perinteisissä aktiivilietelaitoksissa 0.035 µg/l (liite 7). AMPAlle vastaavat arvot olivat 0.18 µg/l ja 0.17 µg/l.
- Glyfosaatin pitoisuudet olivat keskimäärin alimmat (< 0.01 µg/l) laitoksilla, joilla oli käytössä kemikalointi ja flotaatio tai hiekkasuodatus (liite 8). Biologisen suodatuksen jälkeen pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin ilman jälkiselkeytystä toimivilla puhdistamoilla. AMPAlle havaittiin muuten glyfosaatin kanssa samanlainen trendi, mutta erona oli se, että korkein keskimääräinen AMPAn pitoisuus mitattiin hiekkasuodatuksen jälkeen.

- Glyfosaatin ja AMPAn poistumat puhdistusprosessissa sekä kuormat jätevedenpuhdistamoille Suomessa ja kuorma jätevesien mukana ympäristöön (kg/v):

	Glyfosaatti	AMPA
Kuorma puhdistamoille Suomessa (kg/v)	103	320
Kuorma jätevesien mukana ympäristöön Suomessa (kg/v)	18	98
Poistuma puhdistamoilla (keskiarvo ja vaihteluväli)	87 % (62 – 98 %)	71 % (40 – 90 %)

- Glyfosaatin keskimääräinen poistuma puhdistamoilla oli 87 % ja AMPAn 71 %. Puhdistamon koolla ei ollut suurta vaikutusta kummankaan aineen poistumiseen (liite 9). Eroa ei myöskään havaittu perinteisen aktiivilieteprosessin ja biologisen typenpoistoprosessin välillä (liite 10). Jälkiselkeytysmenetelmistä kemikalointia ja flotaatiota käyttävillä laitoksilla molempien aineiden poistumat olivat suurimmat: glyfosaatin keskimäärin 98 % ja AMPAn keskimäärin 90 %. Muut jälkikäsittelymenetelmät eivät vaikuttaneet aineiden poistoa tehostavasti.
- AMPAlle ei tehty TOXCHEM-mallinnusta, koska tarvittavia lähtöparametrejä ei löydetty. Glyfosaatille tehdyn mallinnuksen mukaan aine ei tartu lietteeseen ja biohajoaa vain vähän (kuva 5.60). Suurin osa eli 66 – 90 % glyfosaatista päätyy puhdistettuun jäteveteen. Viipymän pidentäminen biologisessa prosessissa lisää kuitenkin aineen biohajoamista merkittävästi.



Kuva 5.60. TOXCHEM-mallinnuksen tulokset glyfosaatin käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla (perinteinen aktiiviliete tai biologinen typenpoisto nitrifikaatio-denitrifikaatio –menetelmällä). HRT_{biol}= viipymä biologisessa prosessissa

Tulosten tarkastelu

Glyfosaattin pitoisuudet ylittivät määrittämissä määritysrajan 92 %:ssa ja AMPAn 83 %:ssa tulevan jäteveden näytteitä. Glyfosaatin keskimääräinen pitoisuus tulevassa jätevedessä oli 0.25 µg/l ja lähtevässä jätevedessä oli 0.03 µg/l. AMPAn vastaavat arvot olivat 0.83 ja 0.17 µg/l. Glyfosaatti on Suomessa yleisimmin käytetty kasvintorjunta-aine ja sen käyttö on sallittu keväällä ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Tässä selvityksessä jätevesinäytteet kerättiin marras-tammikuun aikana eli juuri glyfosaatin sallitun levittämisen jälkeen. Glyfosaatti voi hajoata AMPAksi jo muutamassa päivässä, mutta Suomessa on todettu, että hajoaminen on selvästi hitaampaa talven aikana (Laitinen 2009). Jätevedenpuhdistamoille glyfosaatti ja AMPA päätyvät hulevesien mukana pelloilta tai muilta alueilta, joissa kasvintorjunta-ainetta on käytetty. Glyfosaatti hajoaa AMPAksi myös jätevedenpuhdistamoilla. Lisäksi erilaiset pesuaineiden sisältämät fosfonaatit voivat jätevedenpuhdistuksen aikana hajota AMPAksi. Fosfonaattien biologisen hajoamisen on jätevedenpuhdistamoilla kuitenkin todettu olevan vähäistä, sillä ne sitoutuvat voimakkaasti lietteeseen (Nowack 2002). Jätevedenpuhdistamoiden on Yhdysvalloissa todettu olevan merkittävä glyfosaatin lähde vesistöissä. Vesistömittauksessa sitä mitattiin jätevedenpuhdistamoiden alajuoksuilla kaksi kertaa yläjuoksuilla mitattuja useammin (Kolpin ym. 2006)

Tässä selvityksessä havaittiin glyfosaatin ja AMPAn esiintyvän korkeissa pitoisuuksissa (0.53 ja 2.28 µg/l) pienen vertailupuhdistamon tulevassa jätevedessä. Puhdistamolle johdetaan pääasiassa kiinteistöjen jätevesiä, mutta se sijaitsee golfkentän välittömässä läheisyydessä. Tietoa glyfosaatin käytöstä kasvintorjunta-aineena tällä golfkentällä ei ole. On kuitenkin mahdollista, että muutkin kuin peltoalueet ovat glyfosaatin ja AMPAn lähteitä jätevedessä.

Glyfosaatin ja AMPAn suhde vaihteli puhdistamoittain. AMPAn pitoisuus on luultavasti sitä suurempi, mitä pidempi on ollut aineiden viipymä maaperässä. Puhdistamoilla, joilla glyfosaatin pitoisuus oli AMPAa selvästi suurempi, kuormitus tulee luultavasti läheltä puhdistamoita.

Glyfosaatin osalta minkään teollisuus-, palvelu- tai toiminta-alojen välillä ei ollut merkittäviä eroja puhdistamoiden tulevan jäteveden pitoisuuksissa. AMPAn osalta taas viemärintialueella sijaiseva eristeteollisuus, kumi- tai muoviteollisuus sekä painoteollisuus näyttivät nostavan tulevan jäteveden pitoisuuksia. Tämä voi johtua AMPAn esiasteiden (esim. pesuaineiden fosfonaattien) käytöstä kyseisillä teollisuuden aloilla.

Aiempiä jäteveden glyfosaattimittauksia ei löydetty Suomesta. Muissa maissa joitain mittauksia on tehty, mutta yleensä lähtevistä jätevesistä. Itävällassa AMPA on mitattu vuosina 2001 – 2002 tehdyissä mittauksissa tulevassa jätevedessä pitoisuuksissa 9.4 – 27.2 µg/l, esiselkeytetyissä jätevesissä 5.8 – 29.4 µg/l ja biologisesti käsitellyissä jätevesissä 1.4 - 31 µg/l (Pfeffer ym. 2003). AMPAn pitoisuudet olivat siis selvästi korkeampia kuin tässä selvityksessä mitatut. Kolpin ym. (2005) mittasivat glyfosaatin ja AMPAn pitoisuuksia kymmenen jätevedenpuhdistamon lähtevissä jätevesissä. Glyfosaatin korkein pitoisuus oli 2.2 µg/l ja AMPAn 3.9 µg/l eli vain hieman tässä selvityksessä korkeampia pitoisuuksia.

Tässä selvityksessä mitatut glyfosaatin poistumat olivat keskimäärin 87 % ja vaihteluväli 62 – 98 %. Poistumalla ei ollut merkittävää eroa aktiivilietelaitosten ja biologisten typenpoistolaitosten välillä. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan 9 – 34 % aineesta biohajoaa ja loput päätyvät puhdistettuihin jätevesiin. Malli ei luultavasti arvioi oikein glyfosaatin sitoutumista lietteeseen. Tämä johtunee siitä, että glyfosaatille ei kirjallisuudesta löydetty K_d -arvoa ja lietteeseen sitoutuminen on arvioitu $\log K_{ow}$ -arvon perusteella, joka glyfosaatille on -3.4. Maaperässä ja vesistöissä glyfosaatin on kuitenkin todettu sitoutuvan voimakkaasti kiintoaineeseen (Laitinen 2009), joten suurella todennäköisyydellä myös sitoutumista lietteeseen tapahtuu. Tätä tukee Ghanem ym. (2007) tutkimus, jonka mukaan glyfosaattia mitattiin puhdistamolietteisistä keskimäärin pitoisuudessa 1100 µg/kg k.a.

AMPAn poistuma tässä selvityksessä oli jätevedenpuhdistamoilla keskimäärin 71 % ja vaihteluväli 40 – 90 %. Poistumalla ei ollut merkittävää eroa aktiivilietelaitosten ja biologisten typenpoistolaitosten välillä. TOXCHEM-mallinnusta ei voitu tehdä, koska tarvittavia fysikaalis-kemiallisia lähtötietoja ei aineelle löydetty. Pfefferin ym. (2003) mukaan AMPAn poistuma voi vaihdella suuresti riippuen hajoamisen esiasteiden esiintymisestä tulevassa jätevedessä. Heidän selvityksessään AMPAn poistuma

vaihteli suuresti kahden puhdistamon välillä. Toisella puhdistamolla poistuma esiselkeytyksessä oli 38 %, biologisessa puhdistuksessa 76 % ja kokonaisuudessaan 85 %. Toisella puhdistamolla AMPAn pitoisuus taas nousi 12 % puhdistuksen aikana. Osa AMPAsta luultavasti biohajoaa, mutta osa sitoutuu myös lietteeseen. Ghanem ym. (2007) mukaan AMPAn pitoisuudet puhdistamolietteissä olivat keskimäärin 20-300 µg/kg k.a.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida glyfosaatin massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 103 kg/v
- Lietteeseen tarttuu 63* %: 64 kg/v
- Biohajoaa 20 %: 21 kg/v
- Lähtevä jätevesi 17%: 18 kg/v

* TOXCHEM-mallinnuksen mukaan lietteeseen sitoutuminen on vähäistä. Kirjallisuusselvityksen mukaan glyfosaatti voi sitoutua voimakkaasti lietteeseen, joten on arvioitu, että lietteeseen sitoutuisi n. 63 % glyfosaatista. Glyfosaatille ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

Mitattujen tulosten, mallinnusten ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan arvioida AMPAn massataseeksi Suomessa:

- Tuleva jätevesi: 320 kg/v
- Lähtevä jätevesi 31%: 98 kg/v

Puutteellisten lähtötietojen vuoksi AMPAn biohajoamisen tai lietteeseen sitoutumisen osuutta ei voida arvioida. Oletettavaa on, että osa biohajoaa, mutta sitoutuminen lietteeseen lienee myös merkittävä poistumisreitti puhdistamoilla. AMPAlle ei ole lainsäädännössä määrätty EQS-arvoa.

5.2.22 Vapaa syanidi

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.21. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5.21. Yhteenveto vapaan syanidin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Vapaa syanidi	
Tuleva jätevesi	
n	10
n > mr	0
Min (µg/l)	<5
Max (µg/l)	<10
Keskiarvo (µg/l)	<10
Mediaani (µg/l)	<10
Lähtevä jätevesi	
n	10
n > mr	0
Min (µg/l)	<5
Max (µg/l)	<10
Keskiarvo (µg/l)	<10
Mediaani (µg/l)	<10
AA-EQS (µg/l)	-
MAC-EQS (µg/l)	-

Kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan 5 – 10 µg/l. Aineelle ei ole määrätty lainsäädännössä EQS-arvoa. On arvioitu, että Suomessa syanidin lähdettä, kaliumsyanidia käytetään esimerkiksi emäksisinä vesiliuoksina hopeoinnissa, kuparoinnissa ja metallien pintakäsittelyssä. Jätevedenpuhdistamolle syanidia voi päätyä teollisuuden jätevesien mukana tai huuhtoutumana ja hulevesien mukana.

Puhdistamojen lähettämien vuonna 2010 – 2013 tehtyjen mittausten mukaan syanidin pitoisuuksia lähtevässä jätevedessä oli tutkittu kahdella puhdistamolla kahden näytteenoton yhteydessä. Kaikki mittaukset olivat alle määrittäysrajan, joka oli 5–50 µg/l.

5.2.23 Endosulfaani

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.22. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.22. Yhteenveto endosulfaanin tuloksista. Määrittäysrajat ks. taulukko 5.2.

Endosulfaani	
Tuleva jätevesi	
n	10
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.00015
Max (µg/l)	< 0.00015
Keskiarvo (µg/l)	< 0.00015
Mediaani (µg/l)	< 0.00015
Lähtevä jätevesi	
n	10
n > mr	0
Min (µg/l)	< 0.00015
Max (µg/l)	< 0.0015
Keskiarvo (µg/l)	< 0.00015
Mediaani (µg/l)	< 0.00015
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.005
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.0005
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	0.01
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.004
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS- rajan)	0

Kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan 0.0015 – 0.00015 µg/l. Suurimmalle osalle näytteistä määrittäysraja oli 0.00015 µg/l, mikä on alempi kuin aineelle määrätty alhaisin EQS-arvo.

Puhdistamoiden lähettämien vuosina 2010 – 2013 tehtyjen mittausten mukaan endosulfaania oli mitattu kolmen puhdistamon tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Kaikki mittaukset olivat alle määrittäysrajan, joka oli 0.01 – 0.1 µg/l. Toivikon (2011) raportin mukaan endosulfaania mitattiin yhdellä laitoksella yhdeksästä pitoisuudessa 0.03 µg/l. Muut mittaukset olivat alle määrittäysrajan 0.01 µg/l. Myös Huhtala ym. (2011) raportoi endosulfaanin pitoisuuksista lähtevissä jätevesissä. Vuonna 2009 ja 2010 otettujen näytteiden endosulfaanin keskimääräinen pitoisuus oli 0.019 µg/l. Endosulfaania ei ole Suomessa käytetty vuoden 2005 jälkeen ja näyttäisi, että jätevedenpuhdistamoille ei juuri enää päädy endosulfaania.

5.2.24 Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset aineet

Dioksiinit ja sen kaltaiset yhdisteet ovat ubikvitäarisä eli kaikkialla läsnä olevia aineita. Tähän ryhmään laskettavia aineita ovat dioksiinit (PCDD), furaanit (PCDF) ja polyklooratut bifenyylit (PCB). Ympäristöön näitä aineita päätyy laskeumana ja jätevedenpuhdistamoille hulevesien mukana. Myös elintarvikkeet voivat sisältää epäpuhtautena dioksiineja, furaaneja ja polykloorattuja bifenyylejä ja olla näiden aineiden lähde jätevedessä.

Dioksiinit, furaanit ja polyklooratut bifenyylit ovat yläkäsitteitä isolle joukolle yhdisteitä. Dioksiineja on 75 erilaista ainetta eli kongeneeriä, jotka erottaa toisistaan ainoastaan klooriatomien määrä ja niiden sijainti. Furaanikongeneerejä on 135 kappaletta ja PCD-kongeneerejä 209 kappaletta.

Kongeneerien summaparametri voidaan laskea joko suoraan summaamalla mitatut pitoisuudet yhteen tai käyttämällä ns. toksisuusekvivalenttimenetelmää. Tämä menetelmä on kehitetty, koska kaikki kongeneerit eivät ole yhtä haitallisia. Haitallisimmille kongeneereille on määritetty toksisuusekvivalenttikertoimet (TEF) siten, että kaikkein haitallisimmille aineille arvo on 1. Aineiden toksisuus alenee TEF-arvon pienentyessä. Taulukkoon 5.23 on koottu WHO:n (2005) mukaiset TEF-arvot tutkituille PCDD-, PCDF- ja PCB-yhdisteille. Summaparametrin arvo eli TEQ (toxicity equivalence) –arvo lasketaan kaavalla:

$$TEQ = \sum_{i=1}^n (c_i \times TEF_i)$$

jossa c_i on yksittäisen kongeneerin pitoisuus
 TEF on toksisuusekvivalenttikerroin (toxicity equivalence factor)

Summaparametri voidaan laskea erikseen PCDD-, PCDF- tai PCB-yhdisteille tai kaikille kolmelle aineryhmälle. Jos tuloksen ilmoitetaan olevan 'lower bound' tarkoittaa se, että kongeneerin pitoisuuden ollessa alle määritysrajan, se lasketaan nolaksi. Jos tulos taas ilmoitetaan olevan 'upper bound', huomioidaan alle määritysrajan olleet tulokset määritysrajan suuruisina.

Yksittäisten kongeneerien tuloksista laskettiin ensin keskiarvot, jotka on esitetty taulukossa 5.23. Keskiarvon laskussa alle määritysrajan olleita tuloksia ei ole otettu huomioon. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3. Eri kongeneereille laskettiin sitten summaparametri laskemalla yhteen pitoisuudet tai ottamalla huomioon toksisuusekvivalenttikertoimet (taulukko 5.23). TEQ-tulokset on taulukossa 5.23 ilmoitettu 'lower bound' -menetelmällä laskettuna. Tämä menetelmä valittiin, sillä PCDD-, PCDF- ja PCB-analyysyjä tehtiin kolmessa eri laboratoriossa ja määritysrajojen välillä oli huomattavia eroja, jotka olisivat vaikuttaneet tuloksia vääristävästi, jos ne olisi otettu laskuissa huomioon.

Taulukko 5.23. Dioksiinien, furaanien ja polykloorattujen bifenyyliden eri kongeneerien keskimääräiset pitoisuudet jätevesissä. Keskiarvon laskussa alle määrittäysrajan olleita tuloksia ei ole otettu huomioon. HUOM pitoisuudet ovat yksiköissä pg/l. TEQ laskettu WHO 2005 mukaan (lower bound).

	n>	Pitoisuus	TEQ	n>	Pitoisuus	TEQ
	mr	keskiarvot	(pg/l)	mr	keskiarvot	(pg/l)
		(pg/l)			(pg/l)	
2,3,7,8-TCDD	1	0	-	0	-	0
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0	-	0	-	0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0	-	0	-	0
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0	-	0	-	0
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0	-	0	-	0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	2	8.5	0.085	1	0.47
OCDD	0.0003	5	167	0.05	1	3
Summa (PCDD):			175.5	0.135		3.47
2,3,7,8-TCDF	0.1	0	-	0	-	0
1,2,3,7,8-PeCDF	0.03	0	-	0	-	0
2,3,4,7,8-PeCDF	0.3	0	-	0	-	0
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	1	92	9.2	0	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	1	27	2.7	0	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	1	0.55	0.055	0	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0	-	0	0	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	5	148	1.48	0	-
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	2	75	0.75	0	-
OCDF	0.0003	5	793	0.234	0	-
Summa (PCDF):			1136	14.42		0
PCB-77	0.0001	2	195	0.0195	2	5.1
PCB-81	0.0003	2	0.86	0.00026	1	0.2
PCB-105	0.00003	2	57	0.00171	2	12
PCB-114	0.00003	1	5.8	0.00017	0	0
PCB-118	0.00003	3	210	0.0063	4	29
PCB-123	0.00003	0	-	0	0	0
PCB-126	0.1	2	0.77	0.077	0	0
PCB-156	0.00003	6	67	0.002	4	4.6
PCB-157	0.00003	0	7.8	0.00023	0	0
PCB-167	0.00003	2	22	0.00066	1	1.7
PCB-169	0.03	0	-	0	0	0
PCB-189	0.00003	2	10.8	0.00032	0	0
Summa (PCB):			577	0.108		52.6
Summa(PCDD+PCDF+PCB):			1888.5	14.66		55.47

Dioksiineista mitattiin määrittäysrajat ylittäviä pitoisuuksia vain 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD:tä ja OCDD:tä (taulukko 5.23). Niiden poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli keskimäärin 98 %. Furaaneista mitattiin tulevassa jätevedessä kuutta kongeneeria kymmenestä, mutta lähtevässä jätevedessä kaikki tulokset olivat alle määrittäysrajan. Yleisimmin jätevesissä esiintyi PCB-yhdisteitä, joista tulevassa jätevedessä mitattiin kymmentä kongeneeria kahdestatoista ainakin yhdessä näytteessä. Lähtevässä jätevedessä yleisimmät PCB-yhdisteet olivat PCB-118 ja PCB-156. Kokonaisuudessaan PCDD-, PCDF- ja PCB-yhdisteiden poistumat jätevedenpuhdistamoilla olivat 97 %.

Toksisuusekvivalenttimenetelmällä lasketun PCDD + PCDF + PCB –summaparametrin arvo tulevassa jätevedessä oli keskimäärin 14.66 pg/l ja lähtevässä jätevedessä 0.0076 pg/l (lower bound, taulukko 5.23). Aineita mitattiin yhteensä 11 puhdistamolta. Dioksiineille, furaaneille ja polyklooratuille bifenyyleille on määrätty EQS-arvo ainoastaan biotalle.

Nakari ym. (2011) raportoi PCDD + PCDF –summan olevan lähtevissä jätevesissä välillä 0 – 0.0551 pg/l I-TEQ (lower bound). Tässä selvityksessä mitattu keskimääräinen PCDD + PCDF –pitoisuus niiden laitosten lähtevissä jätevesissä, joissa aineita löytyi oli 0.0056 pg/l I-TEQ (lower bound). Nakarin ym. (2011) mukaan PCB-yhdisteiden pitoisuus lähtevässä jätevedessä oli 0 – 0.0362 pg/l I-TEQ (lower bound) ja tässä selvityksessä Suomessa välillä 0.002 pg/l I-TEQ (lower bound). Tulevalle jätevedelle mittauksia ei löydetty.

Dioksiinien, furaanien ja PCB-yhdisteiden tiedetään jätevedenpuhdistamoilla päätyvän lietteisiin. Tämän vuoksi niitä on aiemmissa tutkimuksissa mitattu pääasiassa puhdistamolietteistä. Mehtonen ym. (2012b) raportoi, että lietenäytteistä löydettiin pääasiassa PCB-yhdisteitä sekä furaaneista OCDF- ja dioksiineista OCDD-kongeneerejä. Neljän neljän puhdistamon lietteistä mitatut PCDD + PCDF –pitoisuudet olivat tässä selvityksessä keskimäärin 800 – 1000 ng/kg k.a. ja 3 – 3.7 ng I-TEQ/kg k.a. PCB-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat puhdistamolietteessä välillä 30 – 107 µg/kg k.a. Nakarin ym. (2011) mukaan PCDD/F-yhdisteiden pitoisuus lietteessä oli 3.739 ng/kg I-TEQ/kg k.a. ja PCB-yhdisteiden 0.7934 ng/kg I-TEQ/kg k.a. Biokaasulaitosten mädätysjännösten keskimääräisiksi dioksiinipitoisuuksiksi on mitattu 2.88 ng I-TEQ/kg k.a. PCB-yhdisteiden pitoisuudet olivat alle määritysrajan 50 µg/kg k.a. (Marttinen ym. 2014).

5.2.25 TCMTB ja MBeT

Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 5.24. Kaikkien puhdistamojen tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.24. Yhteenveto TCMTB:n ja MBeT:n tuloksista. Määrittelyrajat ks. Taulukko 5.2.

	TCMTB	MBeT
Tuleva jätevesi		
n	14	14
n > mr	0	2
Min (µg/l)	< 0.1	< 0.1
Max (µg/l)	< 1	1
Keskiarvo (µg/l)	< 0.1	0.36
Mediaani (µg/l)	< 0.1	0.25
Lähtevä jätevesi		
n	13	13
n > mr	0	0
Min (µg/l)	< 0.01	< 0.5
Max (µg/l)	< 0.1	< 0.5
Keskiarvo (µg/l)	< 0.1	< 0.5
Mediaani (µg/l)	< 0.1	< 0.5
AA-EQS (µg/l) sisävedet	0.8	0.018
AA-EQS (µg/l) rannikkovedet	0.08	0.0018
MAC-EQS (µg/l) sisävedet	-	-
MAC-EQS (µg/l) rannikkovedet	-	-
n (puhdistamot, jotka ylittivät EQS-ajan)	0	0

TCMTB:n kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittelyrajan. Lähtevän jäteveden osalta määrittelyraja oli 0.01 – 0.1 µg/l. Aineelle on Suomen lainsäädännössä määrätty EQS-arvot 0.08 – 0.8 µg/l. Alle määrittelyrajan olleet tulokset ovat suurella todennäköisyydellä myös alle EQS-arvojen vaikka osalle näytteistä määrittelyraja 0.01 µg/l ei toteutunutkaan. TCMTB:ta voi jätevesiin päätyä teollisuuden jätevesien mukana. Tässä selvityksessä näytteitä otettiin vain laitoksilta, jotka esitiedoissaan ilmoittivat jätevesiä vastaanotettavan seuraavilta aloilta: massanvalmistus, paperin- ja kartonginvalmistus, nahan valmistus ja käsittely, kumiteollisuus, maalien valmistus tai puunsuoja-aineita käyttävät teollisuuden alat. Koska kaikki mittaukset olivat alle määrittelyrajan, on epätodennäköistä, että TCMTB:tä löytyisi määrittelyrajat tai EQS-arvot ylittäviä pitoisuuksia muilta jätevedenpuhdistamoilta.

MBeT:n pitoisuudet olivat tulevassa jätevedessä keskimäärin 0.36 µg/l ja sitä mitattiin kahden puhdistamon (14 %) tulevassa jätevedessä. Lähtevän jäteveden MBeT-pitoisuudet olivat kaikki alle määritysrajan 0.5 µg/l. Lähtevän jäteveden määritysraja oli kuitenkin korkeampi kuin aineelle määritetyt EQS-arvot (0.0018 ja 0.018 µg/l). Määritysrajan alitus ei siis vielä tarkoita EQS-arvon alitusta. Tässä selvityksessä näytteitä otettiin vain laitoksilta, jotka esitiedoissaan ilmoittivat jätevesiä vastaanotettavan seuraavilta aloilta: massanvalmistus, paperin- ja kartonginvalmistus, nahan valmistus ja käsittely, kumiteollisuus, maalien valmistus tai puunsuoja-aineita käyttävät teollisuuden alat. Kahta määritysrajat ylittävää mittausta ei kuitenkaan voitu kohdistaa tiettyyn teollisuusalaan. MBeT:tä voi siis jatkossakin vielä löytyä lähtevistä jätevesistä. On myös huomioitava, että TCMTB jätevedenpuhdistamolla voi hapellisissa olosuhteissa hajota biologisesti MBeT:ksi (Kirouani-Harani 2003). MBeT on TCMTB:tä hitaammin biohajoava. MBeT:n $\log K_{ow}$ arvo on 2.42 eli se ei ole kovin adsorboituva hydrofobiseen ainekseen. Stasinakis ym. (2013) mukaan MBeT:n poistuma jätevedenpuhdistamoilla oli keskimäärin noin 80 %, josta suurin osa johtui heidän mukaansa aineen biohajoamisesta. MBeT:n pitoisuus tulevassa jätevedessä vaihteli välillä 0.22 – 4.5 µg/l ja oli keskimäärin 0.7 µg/l. Pitoisuudet olivat siis samalla tasolla kuin tässä selvityksessä mitatut MBeT-arvot. Stasinakis ym. (2013) raportoi lähtevän jäteveden pitoisuuksi keskimäärin 0.11 µg/l, mikä oli matalampi kuin tämän selvityksen määritysraja. Aiempia jätevesimittauksia Suomesta ei löydetty.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä mitattiin 42 vesiympäristölle haitalliseksi tai vaaralliseksi luokiteltua tai luokiteltavaksi ehdotettua ainetta. Selvitykseen osallistui 64 puhdistamoa, joiden koot vaihtelivat välillä 1 110 – 1 800 000 AVL. Yhteensä nämä puhdistamot puhdistivat keskimäärin 3.2 miljoonan suomalaisen jätevedet eli vuorokaudessa noin 1 miljoonaa m³ jätevettä. Puhdistamoiden edustajat vastasivat myös taustakyselyyn, jossa kerättiin tietoja viemäröintialueilla sijaitsevasta teollisuudesta, palveluista ja muusta toiminnasta. Vertailupuhdistamona käytettiin Rinnekoti-Säätiön puhdistamoa, jolla puhdistetaan pääasiassa alueen kiinteistöjen ja hoitolaitosten jätevesiä. Aineet jaettiin analyysipaketteihin sen perusteella vaadittiinko niitä määritettäväksi puhdistamoilla Ympäristöministeriön ohjeistuksessa (asetuksien 1022/2006 ja 868/2010 soveltamisohje, Ymra 15/2012, Karvonen ym. 2012), olivatko ne direktiivin 2013/39/EU mukaisia uusia prioriteettiaineita tai tarkkailuaineita tai olivatko ne ehdolla tarkkailu- tai prioriteettiaineiksi. Valituille aineille kilpailutettiin avoimella tarjouskilpailulla hankintanormien mukaisesti yksi tai useampi laboratorio aineryhmäkohtaiseen puitejärjestelyyn. Yhteensä laboratorioita oli mukana seitsemän kappaletta. Näytteet otettiin marraskuun 2013 ja tammikuun 2014 välisenä aikana puhdistamohenkilökunnan tai heidän valitsemansa konsultin toimesta. Näytteitä otettiin tulevasta ja lähtevästä jätevedestä puhdistamon koosta riippuen.

Tulokset käsiteltiin määrittämällä tulevan ja lähtevän jäteveden mittauksille keskiarvot, mediaanit sekä minimi- ja maksimiarvot. Jos mittaustulos oli alle määräysrajan käytettiin keskiarvon ja mediaanin laskuissa arvona määräysrajan puolikasta joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Tällaisia tilanteita oli esimerkiksi, kun mittaustuloksen määräysraja oli selvästi muita mitattuja tuloksia suurempi. Tällöin mittaustulosta ei otettu keskiarvon tai mediaanin määrittämisessä huomioon. Jos keskiarvon tai mediaanin lukuarvo oli alle määräysrajan, merkittiin tuloksen olevan alle määräysrajan. Pitoisuuksille piirrettiin myös pysyvyyssäyrät. Puhdistamoilta saatujen taustatietojen perusteella arvioitiin haitallisten aineiden lähteitä jätevedessä. Lisäksi ilmoitettiin lähtevän jäteveden osalta puhdistamoiden lukumäärät, jotka ylittivät aineille määrätty EQS-arvot. Näistä laskettiin laimennuskertoimet, jotka vaadittaisiin pitoisuuksien laskemiseksi alle EQS-arvon. Aineiden poistumat laskettiin niillä puhdistamoilla, joilla tulevan jäteveden mittaustulos ylitti määräysrajan. Jos lähtevän jäteveden arvo oli alle määräysrajan, käytettiin laskuissa määräysrajan puolikasta. Aineiden käyttäytymistä arvioitiin TOXCHEM-nimisen matemaattisen mallin sekä kirjallisuusselvityksen avulla. Aineille laskettiin koko Suomen osalta kuormitukset jätevedenpuhdistamoille sekä lähtevän jäteveden mukana ympäristöön. Lisäksi arvioitiin aineiden biohajoamisen ja lietteeseen sitoutumisen osuuksia poistumista ja puhdistamon biologisen puhdistusmenetelmän vaikutusta poistumiseen.

6.1 NÄYTTEENOTTO JA ANALYSOINTI

Orgaanisten haitta-aineiden näytteenotossa on otettava huomioon, että jotkin analysoidut aineet (erityisesti ftalaatit) voivat esiintyä muovimateriaaleissa. Tästä syystä näytteenotossa on tärkeää välttää näytteen pitkäaikaista kosketusta muovisten näytteenottovälineiden kanssa. Muovitarvikkeissa on hyvä suosia elintarvikelaatuista HDPE (high-density polyethylene) muovia. Mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää lasista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja näytteenottovälineitä. Näytteenotossa voi käyttää kertakäyttöhanskoja, mutta näytepullojen suuhun ei saa koskea.

Näytteen edustavuuden kannalta hankkeessa suositeltiin kokoomanäytteen ottamista. Vuorokauden kokoomanäyte ottaa huomioon jäteveden laadun ajallisen vaihtelun ja kuvaa kertanäytettä paremmin jäteveden keskimääräistä laatua. Automaattisissa näytteenottimissa on muoviosia, mutta kontakti näytteen kanssa on lyhytaikaista. Jos halutaan välttää muovisten näytteenottimien käyttöä, voidaan näyte kerätä osanäytteistä esimerkiksi työpäivän aikana ja koota kokoomanäytteeksi. Tällöin tulee huolehtia siitä, että osanäytteen tilavuus on > 50 ml ja osanäytteet pidetään viileässä. Kertanäytteenotossa sekä kokoomanäytteestä näytettä pulloon siirrettäessä, on hyvä varmistaa laboratorion ohjeista että näytepullo on juuri kyseiselle aineelle tarkoitettu ja täytetäänkö pullo korkkiin asti vai jätetäänkö siihen ilmavara. Tarvittava näytemäärä voi myös vaihdella laboratorioden välillä ja tämä asia kannattaa myös varmistaa ohjeista.

Kertanäytteenotossa näyte otetaan kauhalla tai näytteenottimella suoraan pulloon. Näytteenottoaika on valittava huolella ja sen tulee olla sellainen, ettei kiintoaine laskeudu näytteenottoaikaan pohjalle. Jos näyte otetaan altaasta, kannattaa ottaa vähintään kolme osanäytettä eri kohdista allasta ja koota ne yhdeksi näytteeksi.

Asetuksen 868/2010 mukaan haitalliseksi tai vaaralliseksi luokitellun aineen analyysin tavoitemääritysraja lasketaan alimman EQS-arvon mukaan seuraavasti: $0.3 \times EQS$. Niille aineille, joille EQS-arvoa ei oltu määrätty, ohjausryhmä arvioi tavoitemääritysrajan suuruuden. Dioksiinien, furaanien ja polykloorattujen bifenyyliden osalta tavoitemääritysrajat pystyttiin alittamaan. Vain yhden kongeneerin (PCB114) osalta tulevassa jätevedessä tavoitteeseen ei päästy. Muiden aineiden osalta sekä tulevassa että lähtevässä jätevedessä 22 aineella 42:sta (52 %) tavoitemääritysrajaan ei päästy. Kauimpina tavoitemääritysrajasta oltiin tributyyliin, PFOS:in, sybutryynin ja sypermetriinin osalta.

Kaikissa analyyseissä ei päästy laboratorioden tarjouksissaan esittämiin määritysrajoihin. Erityisesti tulevan jäteveden kohdalla laboratoriot joutuivat joissain näytteissä nostamaan tarjouksessaan esittämänsä määritysrajaa näytteiden analysoinnissa ilmenneiden matriisihäiriöiden vuoksi. Lähtevässä jätevedessä tarjottujen määritysrajojen ylitykset olivat harvinaisempia, sillä häiritsevän matriisin määrä oli alhaisempi. Koska määritysrajojen ylityksistä aiheutui vesihuoltolaitoksille haittaa, laati hankkeen ohjausryhmä ehdotuksen siitä, millä tavoin aiheutunut haitta vesihuoltolaitoksille korvattiin. Laboratoriot suostuivat ehdotettuihin korvauksiin tai lupasivat toistaa analyysit. Vesihuoltolaitoksille koitunut haitta arvioitiin

tapauskohtaisesti asteikolla, vähäinen, kohtalainen, suuri tai erittäin suuri. Analyysista ehdotettiin alennusta vastaavasti 10 %, 25 %, 40 % tai 50 %. Arvioinnissa otettiin huomioon mm. määrittelyn hinta, määrittelyraja ja sen sijoittuminen suhteessa muiden laboratorioden tarjouksiin ja toteutuneisiin tuloksiin sekä tuloksen tosiasiallinen informaatioarvo. Koska tuleva jätevesi on näytematriisina käsiteltyä jätevettä haastavampi, ehdotettiin korvauksia maksettavaksi vain lähtevän jäteveden näytteiden osalta.

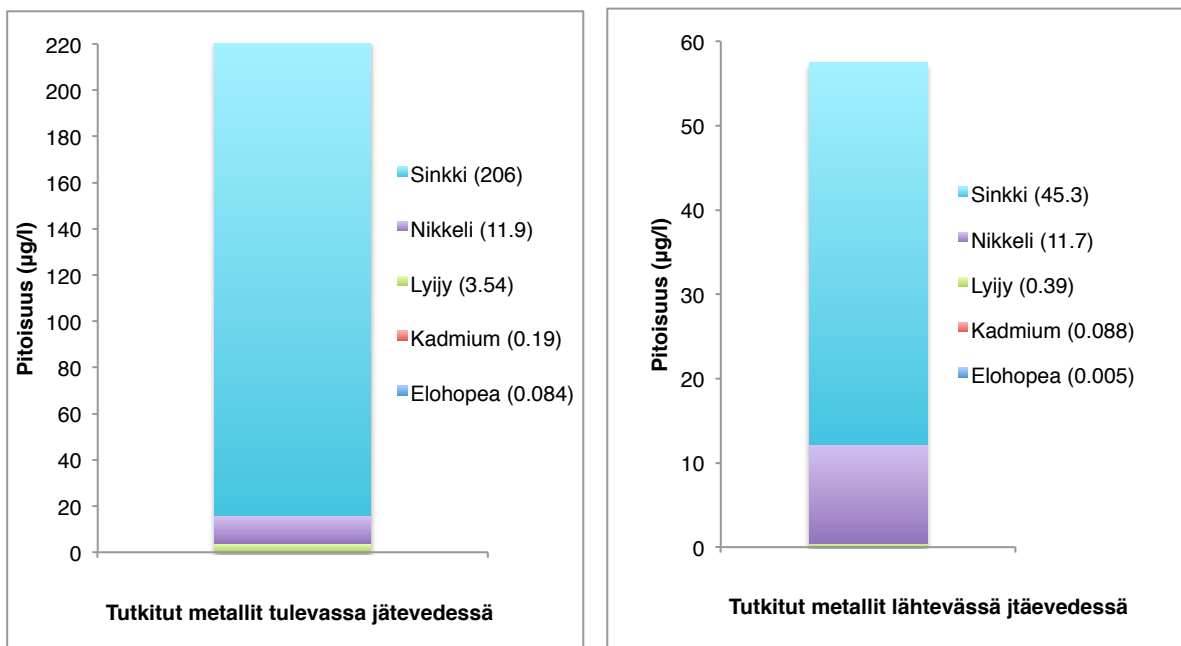
Laboratorioilta tarjouksia pyydettyä onkin hyvä varmistaa, että määrittelyraja on ilmoitettu tilaajan haluamassa näytematriisissa. Lisäksi laboratorioden on hyvä jo tarjous- tai viimeistään tilausvaiheessa kertoa asiakkaalle, että määrittelyrajan nosto jossain tilanteissa on mahdollista. Tällöin ei jälkikäteen tule yllätyksiä, jos määrittelyrajaa joudutaan nostamaan. Tarjouspyynnössä voidaan edellyttää tai etukäteen voidaan sopia mahdollisista korvauksista tai näytteiden uudelleenanalysoinneista, jos tuloksen laatu ei ole sovitun mukainen.

6.2 TUTKITTUJEN AINEIDEN PITOISUUDET TULEVISSA JA LÄHTEVISSÄ JÄTEVESISSÄ

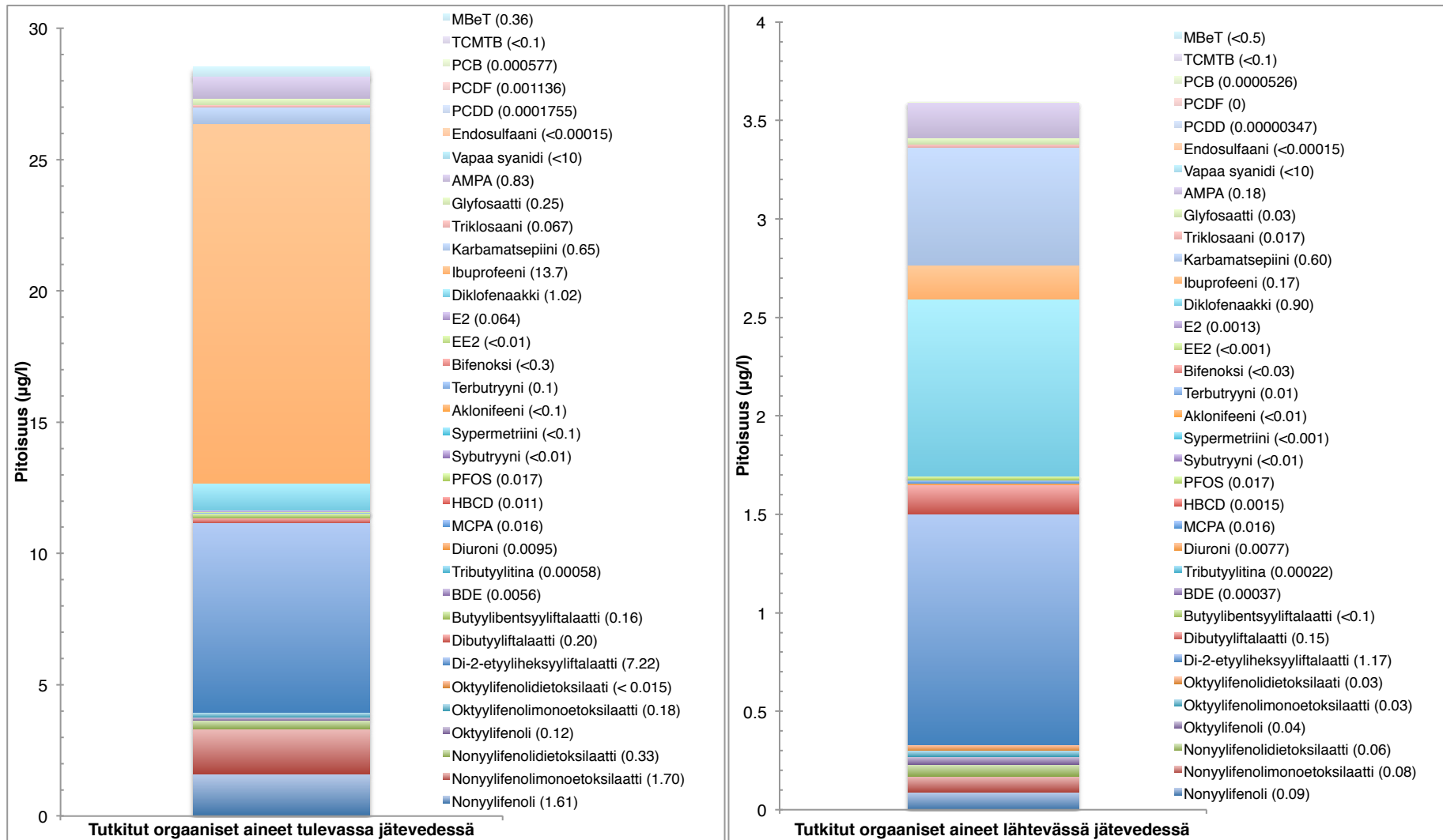
Kuvaan 6.1 on koottu metallimittausten keskimääräiset arvot tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Muille aineille, jotka kaikki olivat orgaanisia, nämä on esitetty kuvassa 6.2. Lisäksi yhteenvedot tuloksista on esitetty liitteissä 12 ja 13. Kaikkien puhdistamojen tulokset on koottu liitteeseen 3. Sybutryniä, sypermetriiniä, terbutryniä, aklonifeeniä, bifenoksia, EE2:ta, endosulfaania, vapaata syanidia ja TCMTB:tä lukuunottamatta kaikkia aineita mitattiin määrittelyrajat ylittäviä pitoisuuksia ainakin yhdestä tulevan tai lähtevän jäteveden näytteestä. Pitoisuudet vaihtelivat dioksiinien muutamasta pikogrammasta sinkin yli milligrammaan litrassa. Lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat yleensä tulevaa jätevettä pienempiä. Nikkelin, PFOS:in ja karbamatsepiinin pitoisuuksien havaittiin osalla puhdistamoista nousevan käsittelyn aikana. Nikkelillä tämä saattaa johtua siitä epäpuhtautena sisältävien kemikaalien käytöstä puhdistamoilla. PFOS:in taas tiedetään olevan puhdistamoilla hyvin pysyvä ja se on myös ainakin sadan muun kemikaalin hajoamistuote. Karbamatsepiini on lääkeaine, joka erittyy ihmisistä osin konjugoituneena glukuronidi-molekyylin kanssa. Jätevesissä *E Coli* erittää β -glukuronidaasi -nimistä entsyymiä, joka voi pilkkoa glukuronidi-konjugaatteja vapauttaen tässä tapauksessa karbamatsepiinia jäteveteen. Koska aine on puhdistamolla hyvin pysyvä, johtaa tämä pitoisuuksien nousuun käsittelyn aikana.

Vertailupuhdistamona toimineen Rinnekoti-Säätiön puhdistamon pitoisuuksien suhde kaikkien tulosten keskiarvoihin on esitetty kuvassa 6.3. Elohopean korkea pitoisuus oli Rinnekoti-Säätiön puhdistamolla tiedossa jo ennen tätä selvitystä eikä sen lähdettä jätevedessä tiedetä. Glyfosaatin ja AMPAn korkea pitoisuus juontanee huuhtoumana läheiseltä golfkentältä. Pääasiassa kotitalouksista peräisin olevien aineiden, kuten ftalaattien pitoisuudet olivat Rinnekoti-Säätiön puhdistamolla keskimääräistä korkeampia. Tämä johtuu konsentroituneemmasta jätevedestä, jota eivät ole

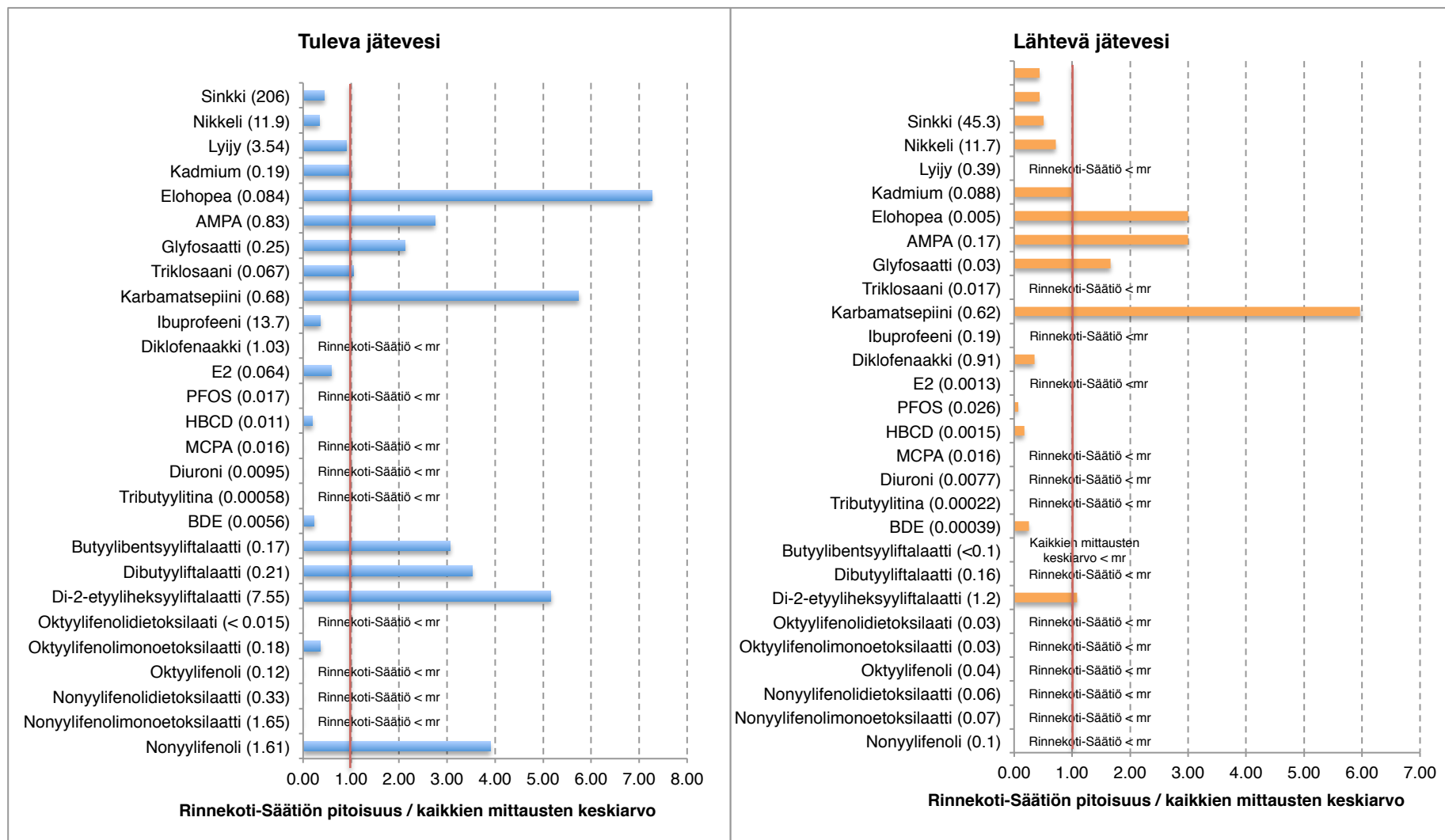
laimentameet teollisuuden jätevedet tai hulevedet. Huuhtoutumana tai teollisuudesta jäteveeseen päätyvien aineiden pitoisuudet taas olivat Rinnekoti-Säätiön puhdistamolla keskimääräistä pienempiä tai alle määritysrajan. On huomioitavaa, että pääosa jätevedestä saapuu Rinnekoti-Säätiön puhdistamolle alueen hoitolaitoksista. Rinnekoti-Säätiö tuottaa palveluja erityisesti kehitysvammaisille henkilöille. Laajasti käytettävien apteekista ilman reseptiä saatavien tulehduskipulääkkeiden (diklofenaakki ja ibuprofeeni) pitoisuudet olivat Rinnekoti-Säätiön jätevedessä keskimääräistä alemmat. Toisaalta taas epilepsian hoitoon käytettävän karbamatsepiinin pitoisuus oli Rinnekoti-Säätiön tulevassa jätevedessä 3.9 µg/l, kun se muilla puhdistamoilla oli keskimäärin 0.68 µg/l. Tämän lääkeaineen käyttö lienee hoitolaitoksessa keskimääräistä yleisempää. Koska karbamatsepiinia poistuu puhdistamolla vain vähän, on sen pitoisuus myös lähtevässä jätevedessä selvästi muita puhdistamoja suurempi.



Kuva 6.1. Tutkittujen metallien keskimääräiset pitoisuudet tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Pitoisuudet on ilmoitettu aineen nimen vieressä suluissa (µg/l).



Kuva 6.2. Tutkittujen orgaanisten aineiden keskimääräiset pitoisuudet tulevassa ja lähtevässä jätevedessä. Pitoisuudet on ilmoitettu aineen nimen perässä (µg/l).



Kuva 6.3. Rinnekoti-Säätiön puhdistamolla mitattujen pitoisuuksien suhde kaikkien mittausten keskiarvoon

Taustakyselyssä kerättyjen viemäröintialueilla sijaitsevan teollisuuden, palveluiden ja muun toiminnan tietojen, tulevan jäteveden mittaustulosten sekä kirjallisuuden perusteella arvioitiin tutkittavien aineiden mahdolliset lähteet jätevedessä. Tulokset on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. Tutkittujen aineiden mahdolliset lähteet jätevedessä.

Aine	KT	HV	LK	S	P	Teollisuus								
						MA	MU	EL	ER	PA	ME	PI	LÄ	EL
NP	X		X											
NP ₁ EO	X		X											
NP ₂ EO	X		X											
OP	X				X									
OP ₁ EO	X				X									
OP ₂ EO	X				X									
DEHP ¹⁾	X					X	X							
DBP ¹⁾	X					X	X			X				
BBP ¹⁾	X					X	X							
BDE	X	X	X					X						
Tributyyliitina	X			X							X			
Diuroni		X												
MCPA		X												
Elohopea	X	X									X			
Kadmium ²⁾			X	X						X	X			
Lyijy			X	X						X				
Nikkeli			X	X							X			
HBCD ³⁾	X	X	X	X				X	X					
PFOS	X	X												
Sybutryyni		X												
Sypermtriini		X												
Aklonifeeni		X												
Terbutryyni		X												
Bifenoksi		X												
E2	X													
EE2	X													
Diklofenaakki	X												X	
Ibuprofeeni	X												X	
Karbamatsepiini	X													
Triklorsaani	X													
Sinkki ³⁾	X		X	X						X		X		X
Glyfosaatti		X												
AMPA		X												
Endosulfaani		X												
Vapaa syanidi ⁴⁾														
TCMTB ⁴⁾														
MBet ⁵⁾														
PCDD	X	X												
PCDF	X	X												
PCB	X	X												

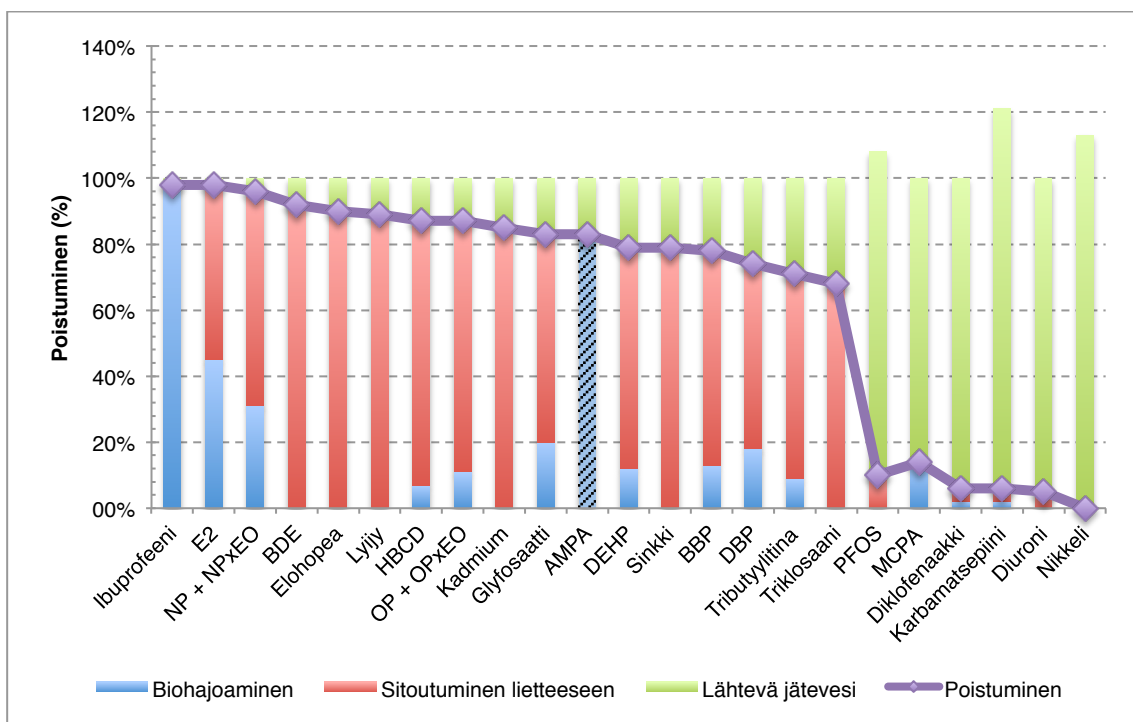
KT= kotitaloudet, HV= hulevedet, LK= lentokenttä, S= satama, P= pesula, MA= maaliteollisuus, MU= muoviteollisuus, EL= elektroniikkateollisuus, ER= eristeteollisuus, PA= painoteollisuus, ME= metalliteollisuus, PI= pintakäsittelyteollisuus, LÄ= lääketeollisuus, EL= elintarviketeollisuus

¹⁾ tarralaminatien valmistus, ²⁾ sinkintuotanto, ³⁾ sinkityslaitos, ⁴⁾ ei ylittänyt määritysrajaa, voi esiintyä erilaisten teollisuusalojen jätevesissä, ⁵⁾ määritysrajat ylittäneitä mittauksia vain kaksi, voi esiintyä erilaisten teollisuusalojen jätevesissä

6.3 TUTKITTUJEN AINEIDEN POISTUMA JA KÄYTTÄYTYMINEN PUHDISTAMOILLA

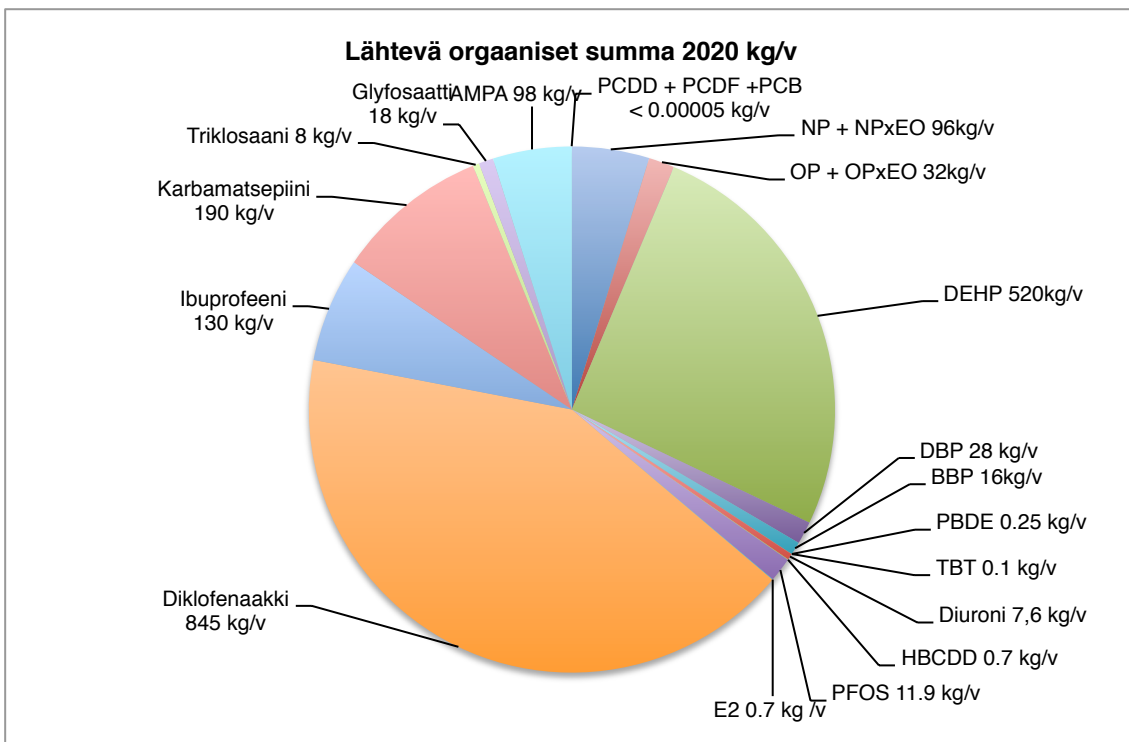
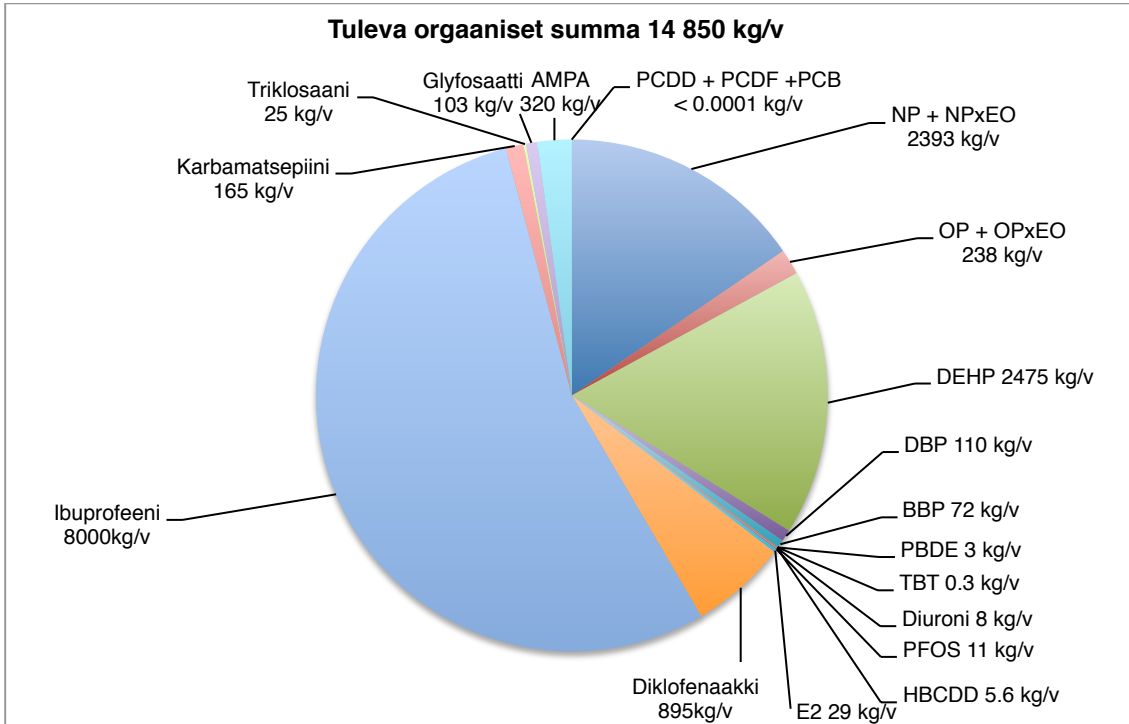
Pitoisuusmittauksista lasketut poistumat sekä mallinnetut ja kirjallisuuden perusteella arvioidut poistumisreitit jätevedenpuhdistamoilla on esitetty kuvassa 6.4. PFOS:n, karbamatsepiinin ja nikkelin pitoisuuksien lisääntymisestä puhdistuksen aikana on keskusteltu aiemmin tässä kappaleessa.

Tutkitut aineet eivät jätevedenpuhdistuksessa haihdu vaan poistuma on joko biohajoamista ja/tai sitoutumista lietteeseen. Tutkittavat aineet eivät kokonaisuudessaan olleet kovin biohajoavia. Ainoastaan ibuprofeenin poistuma oli pääasiassa biohajoamisen tulosta. Jonkin verran biohajoavia olivat myös E2 ja nonyyliifenolit ja –etoksilaatit. Heikosti biohajoavia olivat HBCD, oktyyliifenoli ja –etoksilaatit, glyfosaatti, DEHP, BBP, DBP, tributyyliitina ja MCPA. Biohajoavia eivät olleet BDE-yhdisteet, diuroni, PFOS, diklofenaakki, karbamatsepiini ja metallit. Suurin osa aineista näyttää sitoutuvan lietteeseen. Lietenäytteitä ei tässä selvityksessä analysoitu, mutta suurinta osaa tutkituista aineista on löydetty joko Suomessa tai muualla määritetyistä lietenäytteistä.



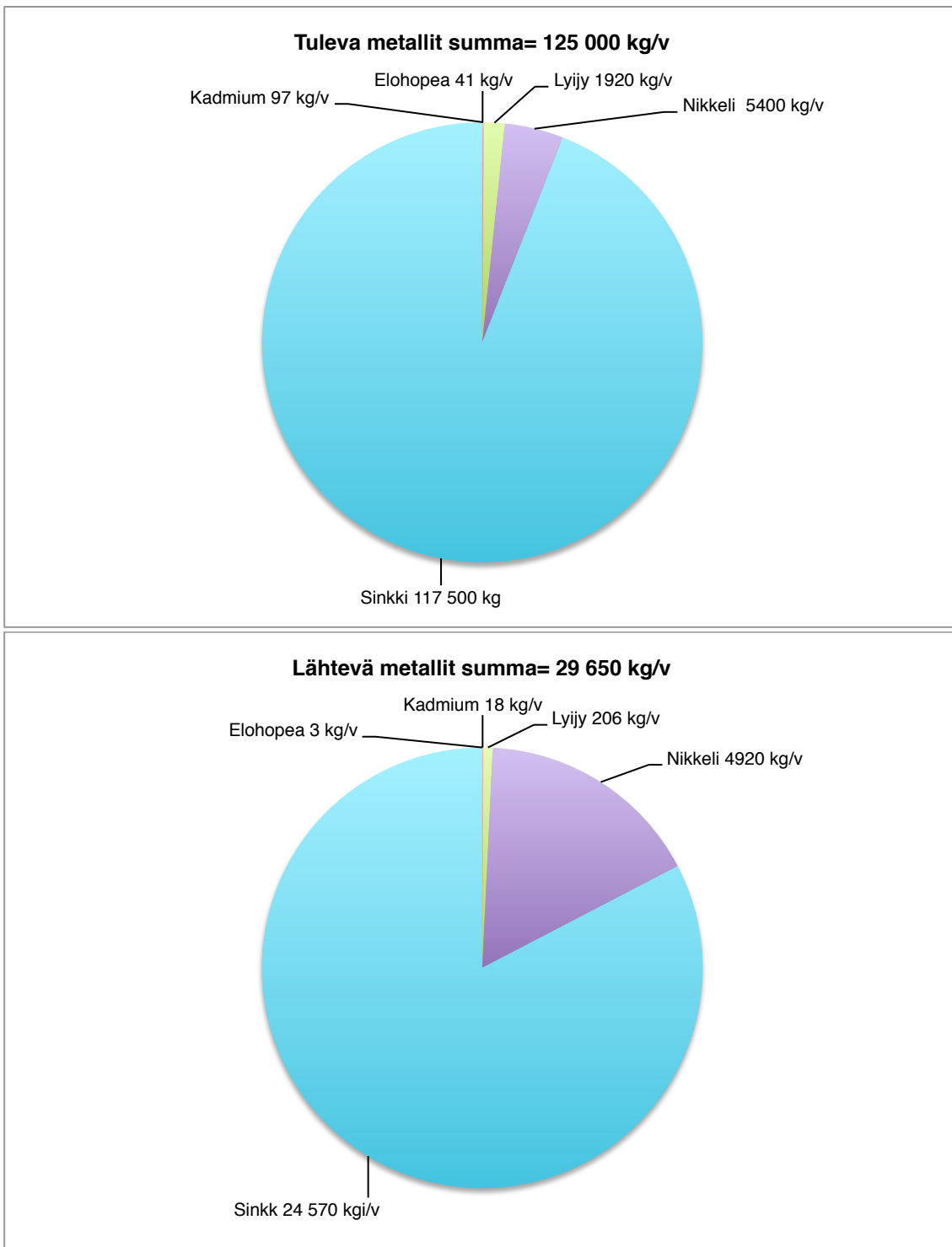
Kuva 6.4. Tutkittujen aineiden kokonaispoistuma ja massataseista määritetty käyttäytyminen puhdistamolla. AMPA:lle ei voitu määrittää biohajoamisen ja lietteeseen sitoutumisen osuuksia.

Tulosten perusteella laskettiin kuvissa 6.5 ja 6.6 esitetyt kuormitukset jätevedenpuhdistamoille Suomessa sekä puhdistamoilta vesiympäristöön.



Kuva 6.5. Tutkittujen orgaanisten aineiden kuormat jätevedenpuhdistamoille sekä lähtevän jäteveden mukana ympäristöön.

Tutkittuja orgaanisia aineita arvioitiin päätyvän jätevesien mukana puhdistamoille Suomessa yhteensä n. 14 850 kg/v. Tästä määrästä arviolta 61 % eli n. 9 000 kg/v biohajoaa ja 25 % eli 3 730 kg/v sitoutuu puhdistamolietteeseen. Puhdistamoilta lähteviin jätevesiin orgaanisia aineita päätyy 14 % sisääntulevasta kuormasta eli arviolta 2 020 kg/v.



Kuva 6.6. Tutkittujen metallien kuormat jätevedenpuhdistamoille sekä lähtevän jäteveden mukana ympäristöön.

Tutkittuja metalleja arvioitiin päätyvän jätevesien mukana puhdistamoille Suomessa n. 125 000 kg/v. Tästä määrästä arviolta 76 % eli 95 350 kg/v sitoutuu puhdistamolietteeseen. Puhdistamoilta lähteviin jätevesiin tutkittuja metalleja päätyy 24 % puhdistamoille tulevasta kuormasta eli 29 650 kg/v.

Biologisella puhdistusmenetelmällä oli tämän selvityksen aineiston perusteella jonkin verran vaikutusta tutkittujen aineiden poistumiseen puhdistamoilla (liite 10). Aineet, joiden poistuminen oli keskimäärin suurempi (poistumien ero > 10 %) perinteisellä aktiivilietelaitoksella olivat: DBP, TBT, PFOS, triklosaani, diklofenaakki ja karbamatsepiini. Aineet, joiden poistuminen oli keskimäärin suurempi (poistumien ero > 10 %) biologisilla typenpoistolaitoksilla: OP + OP_xEO, DEHP ja HBCD. Aineet, joiden poistuma ei riippunut biologisesta puhdistusmenetelmästä (poistumien ero < 10 %): NP + NP_xEO, BBP, BDE, elohopea, kadmium, lyijy, sinkki, glyfosaatti, AMPA, E2 ja ibuprofeeni. Erot voivat johtua satunnaisista syistä tai hajonnasta. Toisaalta biologisilla typenpoistolaitoksilla veden viipymä biologisessa prosessissa on usein pidempi ja erityisesti biohajoavat aineet voivat poistua niissä paremmin. Tehokkaampi poistuminen voi johtua myös siitä, että jotkin aineet voivat olla helpommin biohajoavia hapettomissa tai anoksisissa olosuhteissa. Biologisen typenpoiston lieteikä on yleensä perinteistä aktiivilietelaitosta korkeampi. Tämä saattaa edesauttaa haitallisia aineita hajottavien bakteerien rikastumisen lietteeseen ja täten aiheuttaa aineiden paremman poistuman puhdistamalla. Lietteiden erilaiset ominaisuudet voivat myös vaikuttaa aineiden sitoutumiseen puhdistamolietteeseen.

6.4 JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN OSUUS YMPÄRISTÖN KUORMITAJANA

Osalle tutkituista aineista voidaan arvioida jätevedenpuhdistamoiden osuutta vesistöjen kuormittajana. Mehtonen ym. (2012) ovat Suomen osalta arvioineet taulukossa 6.2 esitettyjen haitallisten aineiden kuormituksia ilmaan, pintavesiin sekä maaperään. Nonyylifenoli- ja oktyylifenolietoksilaaattien osalta jätevedenpuhdistamot näyttävät olevan aineiden pääasiallinen lähde vesistöissä. Puhdistettujen jätevesien on todettu olevan myös tärkeä nonyyllifenolien lähde vesistöissä (Mehtonen ym. 2012). Taulukossa 6.2 ilmoitettu kokonaiskuorma vesistöihin saattaa olla arvioitu liian isoksi tai kokonaiskuormitus on voinut muutaman vuoden sisällä laskea huomattavasti. Oktyylifenolien osalta on arvioitu esineiden kulumisesta (esim. autonrenkaat) johtuvan aineen pääsyn ympäristöön olevan jätevesiä suurempi vesistöjen kuormittaja. PFOS:in osalta jätevedenpuhdistamot ovat melko huomattava aineen lähde vesistöissä. Muiden taulukon 6.2 aineiden osalta jätevedenpuhdistamot ovat erittäin vähäinen vesistöjen kuormittaja. Nämä aineet ovat ns. ubikvitäärisiä eli kaikkialla läsnäolevia aineita, joiden pääasialliset lähteet vesistöissä ovat kaukokulkeuma sekä laskeuma pölyn, sateen ja lumen mukana. TBT:n osalta suurin kuormittaja on ollut aineen liukeneminen sillä käsitellyistä puutavaroista sekä liukeneminen TBT-pitoisista veneenpohjien maaleista.

Kasvintorjunta-aineiden kuten glyfosaatin ja sen hajoamistuotteen AMPAn pääasiallinen reitti vesistöihin lienee huuhtouma aineella käsitellyiltä maa-alueilta. Vaikka kokonaiskuormia vesistöihin ei löydetty, voidaan jätevedenpuhdistamoiden arvioida olevan vähäinen vesistökuormittaja.

Lääkeaineiden osalta jätevedenpuhdistamoiden voidaan arvioida olevan aineiden pääasiallinen lähde ympäristössä. On hyvä huomioida, että erityisesti tiettyjä antibiootteja käytetään myös karjaeläinten hoidossa. Lääkkeellä hoidetun eläimen lanta

voi siis olla joidenkin lääkeaineiden merkittävä lähde ympäristössä. Tässä selvityksessä mitattuja lääkeaineita käytetään pääasiassa ihmisten hoitoon. Hormonien osalta jätevedenpuhdistamoiden osuus lienee myös merkittävä. Kuitenkin myös eläimet erittävät luontaisia hormoneita (estradioli eli E2) ja eläinten jätökset voivatkin paikallisesti olla jätevedenpuhdistamoita suurempi ympäristön kuormittaja.

Taulukko 6.2. Haitallisten aineiden arvioitu kokonaiskuorma vesistöön Mehtonen ym. (2012) mukaan sekä tämän selvityksen perusteella laskettu kuorma jätevedenpuhdistamoilta vesistöihin.

Aine	Kokonaiskuorma vesistöön (kg/v)	Kuorma jätevedenpuhdistamoilta vesistöön (kg/v)	Jätevedenpuh- distamoiden osuus (%)
NP	312 – 364	38	n. 10
NP _x EO	27 – 81	58	70 – 100
OP	726 – 754	13	n. 2
OP _x EO	1.3 – 21	19	90 – 100
BDE	2.2 – 2.3	0.25	n. 10
Tributyyliitina	23 – 24	0.1	< 1
Elohopea	690	3	< 1
Kadmium	634 – 860	18	2 – 3
HBCD	47	0.7	n. 1
PFOS	67 – 85	11.9	14 – 18
PCDD+PCDF+PCB	3 – 6.5	<<1	<< 1

6.5 TUTKITTUJEN AINEIDEN SUHTEET NIILLE MÄÄRÄTTYIHIN EQS-ARVOIHIN

Tutkittavat näytteet jaettiin alla oleviin luokkiin. Aineet, jotka on luokiteltu vaarallisiksi prioriteettiaineiksi, on **lihavoitu**. Tarkemmin EQS-arvosta ja ne ylittäneiden puhdistamoiden lukumäärästä on esitetty liitteessä 13. Huomioitavaa on, että ympäristölaatunormit eli EQS-arvot eivät ole käsitellyn jäteveden normeja, vaan ne ovat vesienhoidon suunnittelussa käytössä olevia vesistön hyvän kemiallisen tilan mittareita. Käsitelty jätevesi sekoittuu ja laimenee purkuvesistössä.

Aineet, joille ei ole määrätty EQS-arvoa (vesistössä), mutta joiden lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat > mr ainakin yhdessä näytteessä

- E2
- Diklofenaakki
- Karbamatsepiini
- Triklosaani
- Sinkki

- Glyfosaatti
- AMPA
- **PCDD**
- **PCDF**
- **PCB**

Aineet, joille ei ole määrätty EQS-arvoa ja joiden lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat kaikki < mr :

- EE2

Aineet, joiden lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat alle EQS-arvojen ja määrittärajat asetuksen 868/2010 mukaan riittävät:

- BBP
- Diuroni
- MCPA
- Aklonifeeni
- Terbutryyni
- Endosulfaani
- TCMTB
- **Elohopea**

Aineet, joiden lähtevän jäteveden pitoisuudet olivat kaikki alle määrittärajoiden, mutta määrittäraja oli korkeampi kuin EQS:

- Sybutryyni
- Sypermetriini
- Bifenoksi
- MBeT

Aineet, joiden lähtevän jäteveden pitoisuus ylitti EQS-arvon ainakin yhdessä näytteessä (ylityksien lukumäärä mittauksiin verrattuna sekä laimennuskertoimet pitoisuuksien saattamiseksi alle alimman EQS-arvon):

- **NP + NP_xEO** (n= 8/56, 1.03 – 1.63)
- Oktyylifenoli (n= 13/56, 1.1 – 12)
- **DEHP** (n= 10/58, 1 – 15)
- DBP (n= 2/58, 1.2 – 3.2)
- **BDE** (n= 42/60, 1 – 2.9) *HUOM. Kaikki mittaukset alle uusien EQS-arvojen, jotka implementoidaan myös Suomen lainsäädäntöön.*
- **TBT** (n= 5/60, 1 – 9.5)
- **Kadmium** (n= 8/54, 1 – 30)
- Lyijy (n= 2/54, 1 – 3.7)
- Nikkeli (n= 53/54, 1.03 – 18)
- **HBCD** (n= 2/11, 1.05 – 17.5)
- **PFOS** (n= 6/12, 14 – 89)

LOPPUSANAT

Haitta-aineet jätevedenpuhdistamoilla –hanke oli lajissaan laajin Suomessa koskaan toteutettu hanke. Tässä selvityksessä mitattiin 42 vesiympäristölle haitalliseksi tai vaaralliseksi luokiteltua tai luokitelluksi ehdotettua ainetta 64 jätevedenpuhdistamolta. Ensiarvoisen tärkeää oli myös, että osallistumalla hankkeeseen puhdistamot pystyivät täyttämään ympäristöministeriön heiltä edellyttämän haitta-aineiden selvittämisen jättevesissään.

Osa tutkituista aineista on ollut mukana useissa aiemmin tehdyissä selvityksissä, mutta tutkittavien aineiden joukossa oli myös sellaisia, joille laajoja tarkkailututkimuksia ei Suomessa aiemmin ole tehty. Tällaisia aineita olivat muun muassa lääkeaineet, hormonit, triklosaani, sypermetriini, sybutryyni, aklonifeeni, bifenoksi, terbutryyni, glyfosaatti, AMPA, TCMTB ja MBeT. Näiden aineiden osalta tämä selvitys antoi arvokasta lisätietoa niiden esiintymisestä jättevesissämme.

Selvityksessä saatuja tuloksia pyrittiin vertaamaan aiempien selvitysten tuloksiin. Vertailua hankaloitti se, että aiemmissa mittauksissa näytteitä oli otettu vain isoimmilta puhdistamoilta tai vain muutamalta puhdistamolta. Tulokset eivät siis ole täysin vertailukelpoisia. Vertailussa kuitenkin havaittiin usean aineryhmän kohdalla selvästi aiempaa alhaisempia lähtevän jäteveden pitoisuuksia. Esimerkiksi kasvintorjunta-aine endosulfaanin pitoisuudet ylittivät vielä muutama vuosi sitten yleisesti määräysrajan jättevesinäytteissä. Tässä selvityksessä kaikki tulevan ja lähtevän jäteveden mittaukset olivat alle määräysrajan, joka sekin oli aiempia mittauksia alhaisempi. Aiempaa alhaisempia pitoisuuksia mitattiin myös muun muassa tributyyliinille, PFOS:ille, nonyyli- ja oktyylifenolille sekä dibutyyli- ja bentsyylibutyyliiftalaatille, diuronille ja MCPA:lle. Nonyyli- ja oktyylifenolien etoksilaattien pitoisuudet sen sijaan olivat samaa luokkaa aiempien mittausten kanssa. Näitä aineita käytetään edelleen EU:n ulkopuolisissa maissa vaatteiden käsittelyssä ja kosmetiikassa. Tuotteita myydään myös Suomen markkinoilla, jolloin vaatteita pestessä tai kosmetiikkaa käytettäessä aineet irtoavat pesuveteen ja päätyvät jätevedenpuhdistamoille. Myös dietyyliheksyyliiftalaatin pitoisuudet olivat aiempien mittausten kanssa samalla tasolla. Aine on listattu vaaralliseksi prioriteettiaineeksi ja sen käyttö tulisikin lähivuosina lopettaa kokonaan. Palonestoaineiden pitoisuudet olivat myös samalla tasolla tai hieman suuremmat kuin aiemmat mittaukset. Niiden käyttö on kuitenkin lopetettu tai loppumassa, mutta pysyvyytensä vuoksi niitä tulee esiintymään ympäristössä ja myös jättevesissä vielä pitkään. Suurin ympäristön kuormittaja palonestoaineiden osalta on kuitenkin laskeuma pölyn, sateen ja lumen mukana. Jätevedenpuhdistamoiden osuus vesistöjen kokonaiskuormituksesta on arviolta alle 10 %.

Hankkeessa tehdyn kilpailutuksen ja saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta, että analysoitaessa käsittelemätöntä tai käsiteltyä jätevettä usean aineen kohdalla joudutaan tällä hetkellä hyödyntämään menetelmiä, joissa asetuksessa 868/2010 asetetut määräysrajaa koskevat vaatimukset eivät täyty. Analyysimenetelmien kehittäminen onkin yksi lähitulevaisuuden suurimmista haasteista haitallisten aineiden tarkkailussa.

Erityisen suuri arvo tässä hankkeessa oli tiedon lisääminen < 100 000 AVL:n puhdistamoiden tilanteesta haitta-aineiden osalta. Tämän selvityksen tuloksia tullaan hyödyntämään muun muassa päivitettäessä vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten soveltamisohjeita.

LÄHTEET

Ahel, M., Giger, W. ja Koch, M. 1994. Behavior of alkyphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment – I. Occurrence and transformation in sewage treatment. *Water Research* 28(5), 1131-1142.

Airi Karvonen, Tuire Taina, Juhani Gustafsson, Jaakko Mannio, Jukka Mehtonen, Taina Nystén, Marja Ruoppa, Pirjo Sainio, Katri Siimes, Kimmo Silvo, Sirkku Tuominen, Matti Verta, Kari-Matti Vuori ja Lauri Äystö. Ympäristöministeriön raportteja 15/2012, 2012.

Andersson, H., Palm Cousins, A., Westerdahl, J., Braun, H., Bergfors, L., Brorström-Lundén, E., Pettersson, M., Wickman, T., Jamtrot, A., Parkman, H., Krupanek, J., Frismanis, J., Toropovs, V., Verta, M. ja Nielsen, U. 2012. Major Sources and Flows of the Baltic Sea Action Plan Hazardous Substances WP4 FINAL REPORT. COHIBA (Control of Hazardous Substances in the Baltic Sea Region).

ATSDR 2002. Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Saatavilla: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp68.pdf>

Barbiere, M., Carrera, J., Ayora, C., Sanchez-Vila, X., Licha, T., Nödler, K., Osorio, V., Pérez, S., Köck-Schulmeyer, M., López de Alda, M. ja Barceló, D. 2012. Formation of diclofenac and sulfamethoxazole reversible transformation products in aquifer material under denitrifying conditions: Batch experiments. *Science of the Total Environment* 426, 256-263.

Brooke, D., Johnson, I., Mitchell, R. ja Watts, C. 2005. Environmental Risk Evaluation Report: 4-tert-Octylphenol. Published by Environment Agency, Bristol, UK.

Carballa, M., Omil, F., Lema, J.M., Llompart, M., García-Jares, C., Rodríguez, I., Gómez, M. ja Ternes, T. 2004. Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research* 38, 2918-2926.

Clara, M., Scharf, S., Scheffknecht, C. ja Gans, O. 2007. Occurrence of selected surfactants in untreated and treated sewage. *Water Research* 41, 4339-4348.

Dargnat, C., Teil, M.-J., Chevreuil, M. ja Blanchard, M. 2009. Phthalate removal throughout wastewater treatment plant Case study of Marne Aval station (France). *Science of the Total Environment* 407, 1235-1244.

Davis, J.W., Gonsior, S.J., Markham, D.A., Friederich, U., Hunziker, R.W. ja Ariano, J.M. 2006. Biodegradation and product identification of [14C]hexabromocyclododecane in wastewater sludge and freshwater aquatic sediment. *Environmental Science and Technology* 40(17), 5395-5401.

ECHA 2011. SVCH Support Document- 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenol, 4-tert-octylphenol. Published by European Chemicals Agency (ECHA).

EFSA 2004. Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] to assess the health risks to consumers associated with exposure to organitins in foodstuffs. *EFSA Journal* 102, 1-119. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/102.pdf>

EFSA 2005a. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) on a request from the Commission related to Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) for use in food contact materials. *EFSA Journal* 243, 1-20. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/243.pdf>

EFSA 2005b. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) on a request from the Commission related to Butylbenzylphthalate (BBP) for use in food contact materials. *EFSA Journal* 241, 1-14. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/241.pdf>

EFSA 2005c. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Material in Contact with Food (AFC) on a request from the Commission related to Di-Butylphthalate (DBP) for use in food contact materials. *EFSA Journal* 242, 1-17. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/242.pdf>

EFSA 2007. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance bifenox. *EFSA Scientific Report* 119, 1-84. Saatavilla: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/119r.pdf>

EFSA 2008. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substances – Aclonifen. EFSA Scientific Report 149, 1-80.

EFSA 2011a. Results of the monitoring of perfluoroalkylated substances in food in the period 2000 – 2009. EFSA Journal 9, 2016-2049. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2016.pdf>

EFSA 2011b. Scientific opinion on Hexabromocyclododecanes (HBCDs) in Food. EFSA Journal 9(7), 2296. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2296.pdf>

EFSA 2011c. Scientific opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. EFSA Journal 9(5), 2156. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2156.pdf>

EFSA 2012. Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. EFSA Journal 10(6), 2743. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2743.pdf>

EPA 2009. Guidance for Reporting on the Environmental Fate and Transport of the Stressors of Concern in Problem Formulations for Registration Review, Registration Review Risk Assessments, Listed Species Litigation Assessments, New Chemical Risk Assessments, and Other Relevant Risk Assessments. United States Environmental Protection Agency. Saatavilla: http://www.epa.gov/pesticides/science/efed/policy_guidance/team_authors/endangered_species_reregistration_workgroup/esa_reporting_fate.htm#I_B_two

EPA 2014. Emerging Contaminants – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA). Emerging contaminants fact Sheet. United States Environmental Protection Agency. Saatavilla: <http://www2.epa.gov/fedfac/emerging-contaminants-perfluorooctane-sulfonate-pfos-and-perfluorooctanoic-acid-pfoa>

EU 2011. Chemicals/REACH: six dangerous substances to be phased out by the EU. Press releases database. European Commission - IP/11/196 17/02/2011. Viitattu 30.5.2014. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-196_en.htm

EU 2014. Euroopan Unionin kosmetiikkadirektiivi. CosIng-tietokanta. Viitattu 1.5.2014. <http://ec.europa.eu/consumers/cosmetics/cosing/>

EU 2008. Review report for the active substance MCPA. European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General. Directorate D – Food Safety: Production and distribution chain. Unit D.3 – Chemicals, contaminants and pesticides.

EVIRA 2008. Orgaanisten tinayhdisteiden pitoisuudet Itämeren kalassa ja kotimaisessa järvikalassa. Tekijät: Hallikainen, A., Airaksinen, R., Rantakokko, P., Vartiainen, T., Vuorinen, P.J., Lappalainen, A., Vihervuori, A. ja Mannio, J. Eviran tutkimuksia 6/2008.

EVIRA 2011. EU kalat II, Itämeren kalan ja muun kotimaisen kalan ympäristömyrkyt: OCDD/F-, PCB-, PBDE-, PFC- ja OT-yhdisteet. Tekijät: Hallikainen, A., Airaksinen, R., Rantakokko, P., Koponen, J., Mannio, J., Vuorinen, P.J., Jääskeläinen, T ja Kiviranta, H. Eviran tutkimuksia 2/2011.

Evira 2014. Dioksiinin saanti. Verkkomateriaali. Vierailtu 1.5.2014: <http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/asiakokonaisuudet/vierasaineet/tutkimukset+ja+projektit/dioksiinin+saanti/>

Fausser, P., Sörensen, P.B., Carlse, L. ja Vikelsöe, J. 2001. Phthalates, nonylphenols and LAS in Roskilde Wastewater Treatment Plant. NERI Technical Report No. 354. Ministry of Environment and Energy. National Environmental Research Institute.

FCG 2012. Rinnekoti-Säätiö. Hakemus Rinnekodin jätevedenpuhdistamon ja jätevesilietteen kompostointialueen toistaiseksi voimassa olevan ympäristöluvan tarkistamiseksi. 16.7.2012. Finnish Consulting Group.

Fernandez-Fontaina, E., Omil, F., Lema, J.M. and Carballa, M. 2012. Influence of nitrifying conditions on the biodegradation and sorption of emerging micropollutants. Water Research 46, 5434-5444.

Fimea 2012. Lääkekulutus Suomessa vuonna 2012. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea. Saatavilla: <http://www.fimea.fi/laaketieto/kulutustiedot>

Focazio, Michael J., Dana W. Kolpin, Kimberlee K. Barnes, Edward T. Furlong, Michael T. Meyer, Steven D. Zaugg, Larry B Barber, and Michael E. Thurman. "A National Reconnaissance for Pharmaceuticals and Other Organic Wastewater Contaminants in the United States — II) Untreated Drinking Water Sources." Science of the Total Environment 402 (2008): 201-216

- Gatidou, Georgia, Nikolaos S Thomaidis, Athanasios S Stasinakis, and Themistokles D Lekkas. "Simultaneous Determination of the Endocrine Disrupting Compounds Nonylphenol, Nonylphenol Ethoxylates, Triclosan and Bisphenol A in Wastewater and Sewage Sludge by Gas Chromatography-mass Spectrometry." *Journal of Chromatography A* 1138, no. 1-2 (2007)
- Gaulke, L.S., Strand, S.E., Kalthorn, T.F. ja Stensel, D.H. 2008. 17 α -ethinylestradiol transformation via abiotic nitration in the presence of ammonia oxidizing bacteria. *Environmental Science and Technology* 42, 7622-7627.
- Gerecke, A.C., Giger, W., Hartmann, P.C., Heeb, N.V., Kohler, H.-P.E., Schmid, P., Zennegg, M. ja Kohler, M. 2006. Anaerobic degradation of brominated flame retardants in sewage sludge. *Chemosphere* 64(2), 311-317.
- Ghanem, A., Badon, P., Estaun, A.R., de Alencastro, L.F., Taibi, S., Einhorn, J. ja Mougin, C. 2007. Concentrations and specific loads of glyphosate, diuron, atrazine, nonylphenol and metabolites thereof in French urban sewage sludge. *Chemosphere* 69, 1368-1373.
- Giesy, J.P., Naile, J.E., Khim, J.S., Jones, P.D. ja Newsted, J.L. 2010. Aquatic toxicology of perfluorinated chemicals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 202, 1-52.
- Hamid, H. ja Eskicioglu, C. 2012. Fate of estrogenic hormones in wastewater and sludge treatment: A review of properties and analytical detection techniques in sludge matrix. *Water Research* 46, 5813-5833.
- HELCOM 2009. Hazardous substances of specific concern to the Baltic Sea - Final report of the HAZARDOUS project. Baltic Sea Environment Proceedings No. 119.
- HELCOM 2009. Hazardous substances of specific concern to the Baltic Sea - Final report of the HAZARDOUS project. Baltic Sea Environment Proceedings No. 119.
- Huhtala S., Munne P., Nakari T., Nuutinen J., Perkola N., Sainio P., Schultz E., Schultz L. 2011. WP3 Innovative Approaches to Chemicals Controls of Hazardous Substances. National Report Finland. COHIBA –project (Control of Hazardous Substances in the Baltic Sea Region)
- Hung, N.V., Tateda, M., Ike, M., Fujita, M., Tsunoi, S. ja Tanaka, M. 2004. Sorption of biodegradation end products of nonylphenol polyethoxylates onto activated sludge. *Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 564-569.
- Ichiharaa, M., Yamamotoa, A., Takakuraa, K., Kakutania, N. ja Sudob, M. 2014. Distribution and pollutant load of hexabromocyclododecane (HBCD) in sewage treatment plants and water from Japanese Rivers. *Chemosphere* 110, 78–84.
- Johnson, A.C. ja Williams, R.J. 2004. A model to estimate influent and effluent concentrations of estradiol, estrone, and ethinylestradiol at sewage treatment works. *Environmental Science and Technology*, 38, 3649-3658.
- Johnson, A.C. ja Williams, R.J. 2004. A model to estimate influent and effluent concentrations of estradiol, estrone, and ethinylestradiol at sewage treatment works. *Environmental Science and Technology* 38, 3649-3658.
- Jones, D. 2013. Environmental Fate of Cypermethrin. Report of Environmental Monitoring & Pest Management. Department of Pesticide Regulation. Sacramento, CA. Saatavilla: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/cyperm.pdf>
- Joss, A., Zabczynski, S., Göbel, A., Hoffmann, B., Löffler, D., McArdell, C.S., Ternes, T.A., Thomsen, A. ja Siegrist, H. 2006. Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: Proposing classification scheme. *Water Research* 40, 1686-1696.
- JRC 2008. Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Summary Risk Assessment Report. Joint Research Center, European Commission. Institute for Health and Consumer Protection. European Chemicals Bureau, Ispra, Italy.
- Kekki, T.K., Keinänen-Toivola, M.M., Kaunisto, T. ja Luntamo, M. 2007. Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisu 1. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy.

- Kim, M., Guerra P., Theocharides, M., Barclay, K., Smyth, S. A., Alae, M. 2013. Polybrominated diphenyl ethers in sewage sludge and treated biosolids: effect factors and mass balance. *Water Research* 47, 6496-6505.
- Kirouani-Harani, H. 2003. Microbial and photolytic degradation of benzothiazoles in water and wastewater. Väitöskirja. Technischen Universität Berlin.
- Kolpin, D.W., Thurman, E.M., Lee, E.A., Meyer, M.T., Furlong, E.T. ja Glassmeyer, S.T. 2006. Urban Contributions of Glyphosate and Its Degradates AMPA to Streams in the United States. *Science of the Total Environment*, 354(2-3), 191-197.
- Kosma, C. I., Lambropoulou, D. A., Triantafyllos, A. A. 2014. Investigation of PPCPs in wastewater treatment plants in Greece: Occurrence, removal and environmental risk assessment. *Science of the total environment* 466-467, 421-438.
- Kosma, C.I., Lambropoulou, D.A. ja Albanis, T.A. 2014, Investigation of PPCPs in wastewater treatment plants in Greece: Occurrence, removal and environmental risk assessment. *Science of the Total Environment* 466-467, 421-438.
- Kouloumpos, V. 2009 The Influence of Sewage Sludge Treatment on the Fate of Nonylphenol in Sludge-amended Soils. Tohtorin väitöstyö, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2009/2967/pdf/Kouloumpos_Vasileios.pdf
- Laitinen, P. 2009. Fate of the organophosphate herbicide glyphosate in arable soils and its relationship to soil phosphorus status. Doctoral Dissertation. MTT Agrifood Research Finland.
- Lange, C.C. 2002. 3M Environmental Laboratory. Biodegradation Screen Study for Telomer Type Alcohols. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Docket AR226-1149.
- Langford, K .H, Scrimshaw, M.D., Birkett, J.W. ja Lester, J.N. 2005. The Partitioning of Alkylphenolic Surfactants and Polybrominated Diphenyl Ether Flame Retardants in Activated Sludge Batch Tests. *Chemosphere* 61, 1221-1230.
- Lee, Hing-Biu, Thomas E Peart, and M Lewina Svoboda. "Determination of Endocrine-disrupting Phenols, Acidic Pharmaceuticals, and Personal-care Products in Sewage by Solid-phase Extraction and Gas Chromatography-mass Spectrometry." *Journal of Chromatography A* 1094, no. 1-2 (2005)
- Liu, Z., Kanjo, Y. ja Mizutani, S. 2009. Urinary excretion rates of natural estrogens and androgens from humans, and their occurrence and fate in the environment: A review. *Science of the Total Environment*. 407, 4975-4985.
- Liu, Z., Kanjo, Y. ja Mizutani, S. 2009. Urinary excretion rates of natural estrogens and androgens from humans, and their occurrence and fate in the environment: A review. *Science of the Total Environment* 407, 4975-4985.
- Liu, Ze-Hua, Yoshinori Kanjo, and Satoshi Mizutani. "Removal Mechanisms for Endocrine Disrupting Compounds (EDCs) in Wastewater Treatment - Physical Means, Biodegradation, and Chemical Advanced Oxidation: A Review." *Science of the Total Environment* 407, no. 2 (2009)
- Loos 2012a. Analytical methods relevant to the European Commission's 2012 Proposal on Priority Substances under the Water Framework Directive. JRC Scientific and Policy Reports. European Union. Saatavilla: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/26936/1/lb-na-25532-en-n.pdf.pdf>
- Loos, R., Carvalho, R., Comero, S., António, D.C., Ghiani, M., Lettieri, T., Locoro, G., Paracchini, B., Tavazzi, S. Gawlik, B.M., Blaha, L., Jarosova, B., Voospoels, S., Schwesig, D., Haglund, P., Fick, J. ja Gans, O. 2012b EU Wide Monitoring Survey on Waste Water Treatment Plant Effluents. JRC Scientific and Policy Reports. European Union. Saatavilla:
- Luft, A., Wagner, M. ja Ternes, T.A. 2014. Transformation of biocides irgarol and terbutryn in the biological wastewater treatment. *Environmental Science and Technology* 48, 244-254.
- M. Clara, S. Scharf, C. Scheffknecht, O. Gans. "Occurrence of Selected Surfactants in Untreated and Treated Sewage." *Water Research* 41 (2007): 4339-4348

M. Pfeffer, K. Kress, C. Scheffknecht, C. Lesueur, M. Fürhacker: Waste water as a source of Aminomethylphosphonic acid (AMPA) in Austrian rivers – poster presented at 4th European Meeting on Environmental Chemistry, 10.-13.12.2003, Plymouth, England.

Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. Martin van den Berg, Linda S. Birnbaum, Michael Denison, Mike De Vito, William Farland, Mark Feeley, Heidelore Fiedler, Helen Hakansson, Annika Hanberg, Laurie Haws, Martin Rose, Stephen Safe, Dieter Schrenk, Chiharu Tohyama, Angelika Tritscher, Jouko Tuomisto, Mats Tysklind, Nigel Walker, ja Richard E. Peterson. http://www.who.int/foodsafety/chem/tef_update/en/

Mannio, Jakko, Jukka Mehtonen, Susan Londesborough, Mira Grönroos, Anna Paloheimo, Petrina Köngäs, Kirsi Kalevi, Kirsti Erkomaa, Sami Huhtala, Hannu Kiviranta, Keijo Mäntykoski, Jari Nuutinen, Raija Paukku, Henna Piha, Panu Rantakokko, Pirjo Sainio ja Leena Welling. 2011. Vesiympäristölle haitallisten

Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L.F., Abegglen, C., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M ja Barry, D.A. 2013. Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? *Science of the Total Environment* 461-462, 480-498.

Mehtonen, J., Munne, P. Ja Verta, M. 2012. Work package 4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea, Summary Report Finland. COHIBA (Control of Hazardous Substances in the Baltic Sea Region).

Nakari, T., Schultz, E., Sainio, P., Munne, P., Bachor, A., Lennart, K., Madsen, K.B., Manusadzianas, L., Mielzynska, C., Parkman, H., Pockeviciute, D., Pollumae, A., Strate, S., Volkov, E. ja Zielonka, U. 2011. WP3 Innovative approaches to chemicals control of hazardous substances. WP3 Final Report, COHIBA Control of hazardous substances in the Baltic Sea Region.

Norihide Nakada, Toshikatsu Tanishima, Hiroyuki Shinohara, Kentaro Kiri, Hideshige Takada. "Pharmaceutical Chemicals and Endocrine Disrupters in Municipal Wastewater in Tokyo and Their Removal During Activated Sludge Treatment." *Water Research* 40 (2006): 3297-3303

Nowack, B. 2002. Aminopolyphosphonate removal during wastewater treatment. *Water Research* 36, 4636-4642.

Ochoa-Herrera, V. ja Sierra-Alvarez, R. Removal of perfluorinated surfactants by sorption onto granular activated carbon, zeolite and sludge. *Chemosphere* 72, 1588-1593.

OECD 2002. Co-operation of existing chemicals. Hazard assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and its salts. Environment Directorate. Joint meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology. ENV/JM/RD(2002)17/FINAL. Saatavilla: <http://webnet.oecd.org/HPV/UI/handler.axd?id=e403b4ea-e002-4363-b5df-c2942612aace>

OECD 2004. The 2004 OECD List of High Production Volume Chemicals. Saatavilla: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/33883530.pdf>

Perez, S. ja Barcelo, D. 2008. First Evidence for Occurrence of Hydroxylated Human Metabolites of Diclofenac and Aceclofenac in Wastewater Using QqLIT-MS and QqTOF-MS. *Analytical Chemistry* 80, 8135–8145.

Petrovic, Mira, and Damia Barcelo. "Determination of Anionic and Nonionic Surfactants, Their Degradation Products, and Endocrine-Disrupting Compounds in Sewage Sludge by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry." *Analytical Chemistry* 72 (2000): 4560-4567

Pomiès, M., Choubert, J.-M., Wisniewski, C., Coquery, M. 2013. Modelling of micropollutant removal in biological wastewater treatments: a review. *Science of the total environment* 443 (2013) 733-748.

Prieto, A, S Schrader, and M Moeder. "Determination of Organic Priority Pollutants and Emerging Compounds in Wastewater and Snow Samples Using Multiresidue Protocols on the Basis of Microextraction by Packed Sorbents Coupled to Large Volume Injection Gas Chromatography-mass Spectrometry Analysis." *Journal of Chromatography A* 1217 (2010): 6002-6011

Racz, L. ja Goel, RK. 2010. Fate and removal of estrogens in municipal wastewater. *Journal of Environmental Engineering* 12(1), 58-70.

Radjenovic, J., Petrovic, M. ja Barcelo, D. 2009. Fate and Distribution of Pharmaceuticals in Wastewater and Sewage Sludge of the Conventional Activated Sludge (CAS) and Advanced Membrane Bioreactor (MBR) Treatment. *Water Research* 43, 831-841.

Remberger, M., Kaj, L., Palm, A., Sternbeck, J., Kvernes, E. ja Brorström-Lunden, E. 2003. Scree-ning tertiary butylphenols, methylphenols, and long-chain alkylphenols in the Swedish environ-ment. IVL report B1594. 93 s. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.

Rudel, Ruthann A, Steven J Melly, Paul W Geno, Gang Sun, and Julia G Brody. "Identification of Alkylphenols and Other Estrogenic Phenolic Compounds in Wastewater, Septage, and Groundwater on Cape Cod, Massachusetts." *Environmental Science & Technology* 32 (1998): 861-869

Samaras, Vasilios G., Athanasios S. Stasinakis, Daniel Mamais, Nikolaos S. Thomaidis, and Themistokles D. Lekkas. "Fate of Selected Pharmaceuticals and Synthetic Endocrine Disrupting Compounds During Wastewater Treatment and Sludge Anarobic Digestion." *Journal of Hazardous Materials* 244-245 (2013): 259-267

Seriki, K., Gasperi, J., Castillo, L., Scholes, L., Eriksson, E., Revitt, M., Meinhold, J., Atanasova, N. 2008. Priority pollutants behavior in end of pipe wastewater treatment plants. Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants (ScorePP).

Shen, G., Huan, J. ja Yu, Gang. 2007. Measurement of the free concentrations of alkyl phenols and bisphenol A to determine their biodegradation kinetics by activated sludge. *Chinese Science Bulletin*, 52(20), 2766-2770.

SRC 2014. PhysProp Database. Kemikaalien fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien tietokanta. Saatavilla: <http://esc.syrres.com/fatepointer/search.asp>

Stasinakis, A. S., Kotsifa, S., Gatidou, G. ja Mamais, D. 2009. Diuron biodegradation in activated sludge batch reactors under aerobic and anoxic conditions. *Water research* 43, 1471-1479.

Stasinakis, Athanasios S, Anastasios V Petalas, Daniel Mamais, and Nikolaos S Thomaidis. "Application of the OECD 301F Respirometric Test for the Biodegradability Assessment of Various Potential Endocrine Disrupting Chemicals." *Bioresource Technology* 99 (2007): 3458–3467.

Suarez, S., Lema, J.M. ja Omil, F. 2010. Removal of Pharmaceutical and Personals Care Products (PPCPs) under nitrifying and denitrifying conditions. *Water Research* 44, 3214-3224.

Suárez, S., Reif, R., Lema, J.M. and Omil, F. 2012. Mass balance of pharmaceutical and personal care products in a pilot-scale single-sludge system: Influence of T, SRT and recirculation ratio. *Chemosphere* 89, 164-171.

teollisuus- ja kuluttaja-aineiden kartoitus (VESKA 1). Suomen Ympäristö 3/2011.

Ternes, T.A., Herrmann, N., Bonerz, M., Knacker, T., Siegrist, H. ja Joss, A. 2004. A rapid method to measure the solid-water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge. *Water Research* 38, 4075-4084.

Ternes, T.A., Joss, A. ja Siegrist, H. 2004b. Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. *Environmental Science and Technology* 38, 392A-399A.

Tran, N.H., Urase, T. ja Kusakabe, O. 2009. The characteristics of enriched nitrifier culture in the degradation of slected pharmaceutically active compounds. *Journal of Hazardous Materials* 171, 1051-1057.

TTL 2014. Perustelumuistiot nikkelin ja nikkeliyhdisteiden, elohopean ja sen epäorgaanisten yhdisteiden, lyijyn ja kadmiumin ja sen yhdisteiden toimenpiderajoiksi. Työterveyslaitos. Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit_ja_polyt/biomonitorointi/Sivut/default.aspx

VHVSY 2011. Jätevedenpuhdistamoiden yhteistarkkailu. Rinnekoti-Säätiö, Espoo. Käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2011.

Vieno, N. 2007. Occurrence of Pharmaceuticals in Finnis Sewage Treatment Plants, Surface Waters, and Their Elimination in Drinking Water Treatment Process. Doctoral Thesis. Publication 666, Tampere Univerisity of Technology.

Vieno, N. ja Sillanpää, M. 2014. Fate of diclofenac in municipal wastewater treatment plant – A review. *Environment International*, in press.

Vorkamp, K., Bossi, R., Bester, K., Bollmann, U.E. ja Boutrup, S. 2014. New priority substances of the European Water Framework Directive: Biocides, pesticides and brominated flame retardants in the aquatic environment of Denmark. *Science of the Total Environment* 470-471, 459-468.

WHO 2005. The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and

WHO 2014. The Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) classification system and Defined Daily Dose (DDD). WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology. Verkkomateriaali: www.whocc.no.

Wick, A., Marincas, O., Moldovan, Z. ja Ternes, T.A. 2011. Sorption of biocides, triazine and phenylurea herbicides, and UV-filters onto the secondary sludge. *Water Research* 45, 3638-3652.

Ying, G.G. ja Kookana, R. S. 2007. Triclosan in wastewaters and biosolids from Australian wastewater treatment plants. *Environment International* 33, 199-205.

Yu, J., Hu, J., Tanaka, S. ja Fujii, S. 2009. Perfluorooxycane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in sewage treatment plants. *Water Research* 43, 2399-2408.

Yu, J., Hu, J., Tanaka, S. ja Fujii, S. 2009. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in sewage treatment plants. *Water research* 43, 2399-2408.

Yu, Y., Wu, L. ja Chang, A.C. 2013. Seasonal variation of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment* 442, 310 – 316.

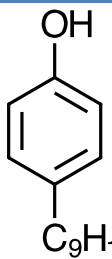
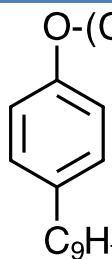
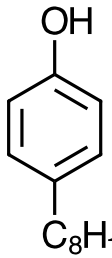
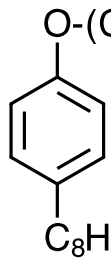
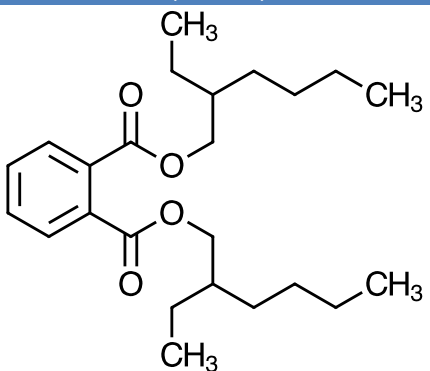
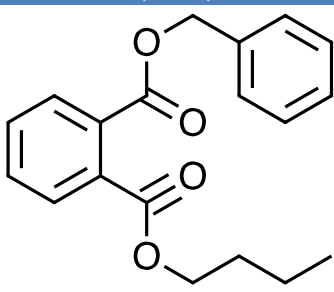
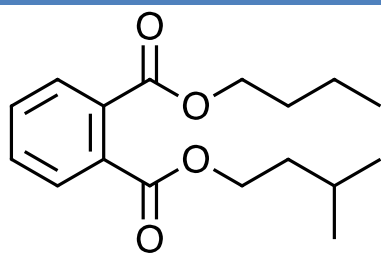
Zhou, Q., Deng, S., Zhang, Q., Fan, Q., Huang, J. ja Yu, G. 2010. Sorption of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate on activated sludge. *Chemosphere* 81, 453-458.

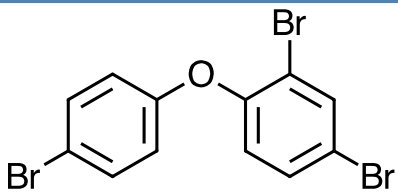
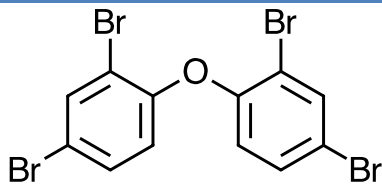
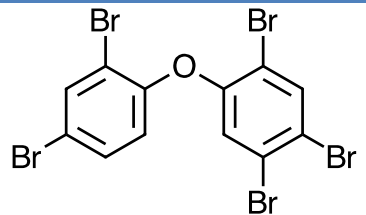
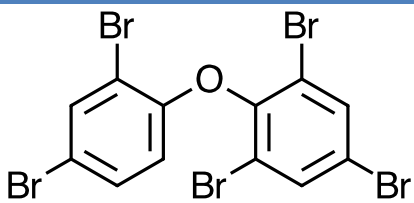
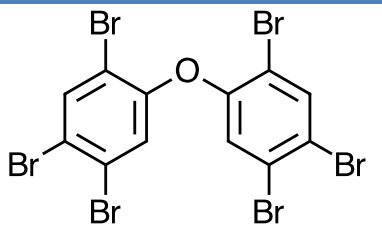
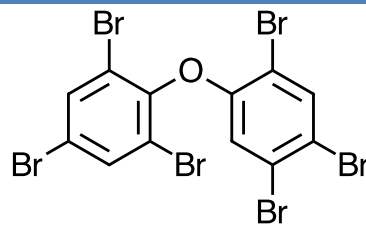
Zhou, Q., Deng, S., Zhang, Q., Fan, Q., Huang, J. ja Yu, G. 2010. Sorption of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate on activated sludge. *Chemosphere* 81, 453 – 458.

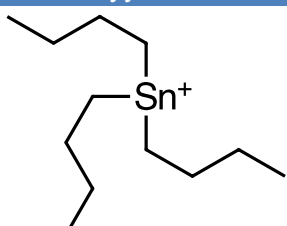
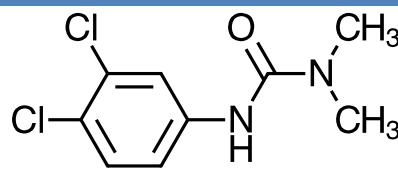
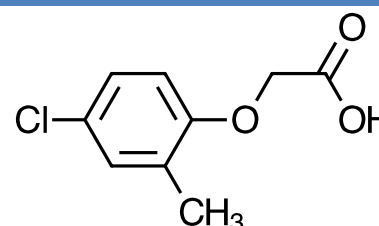
LIITTEET

LIITE 1. TUTKITTUJEN AINEIDEN RAKENNEKAAVAT JA CAS-NUMEROT

Analyysipaketti 1

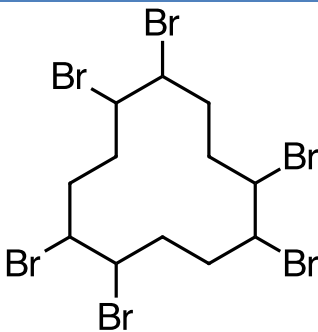
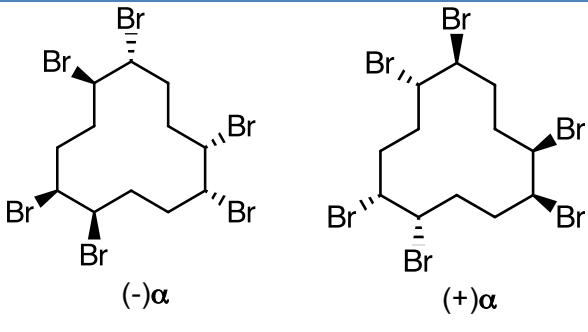
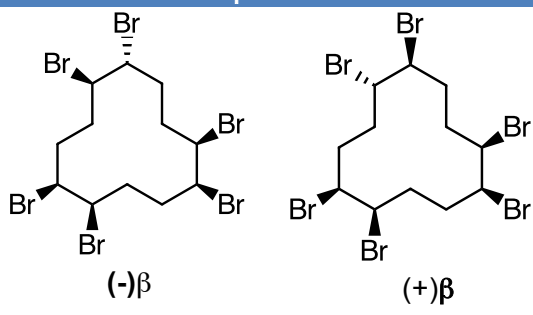
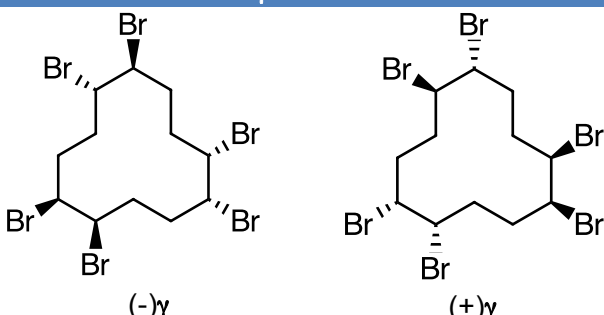
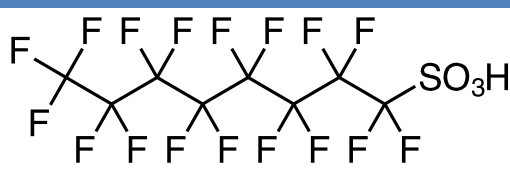
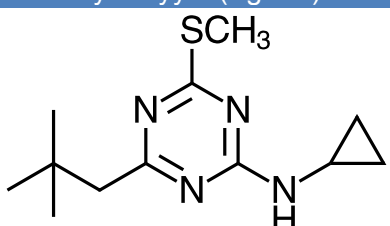
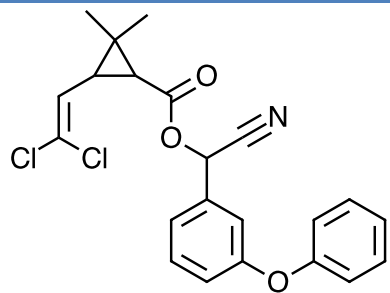
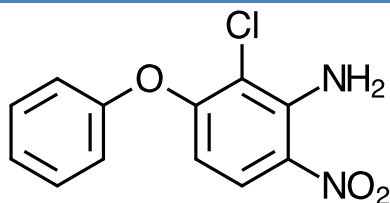
4-nonyylifenoli (NP)		4-nonyylifenolietoksilaatti			
	C_9H_{19}		$\text{O}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_x\text{H}$ x= 1 monoetoksilaatti (NP ₁ EO) x= 2 dietoksilaatti (NP ₂ EO)		
CAS-numero 84852-15-3		CAS-numero ei tiedossa			
Oktyylifenoli (OP)		Oktyylifenolietoksilaatti			
	C_8H_{17}		$\text{O}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_x\text{H}$ x= 1 monoetoksilaatti (OP ₁ EO) x= 2 dietoksilaatti (OP ₂ EO)		
CAS-numero 140-66-9		CAS-numero ei tiedossa			
Di-2-etyyliheksyyliiftalaatti (DEHP)		Bentsyylibutylyiftalaatti (BBP)		Dibutylyiftalaatti (DBP)	
					
CAS-numero 117-81-7		CAS-numero 85-86-7		CAS-numero 84-74-2	

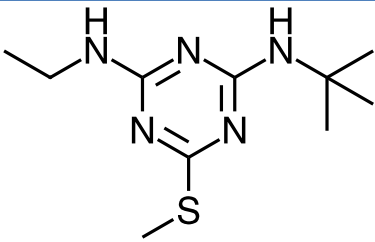
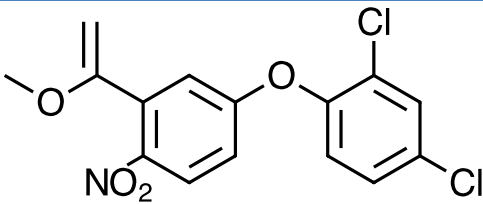
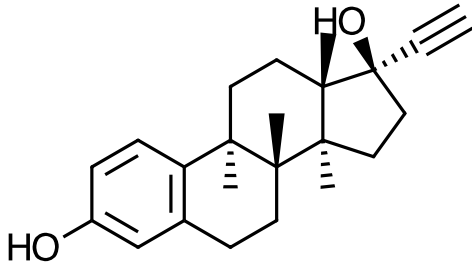
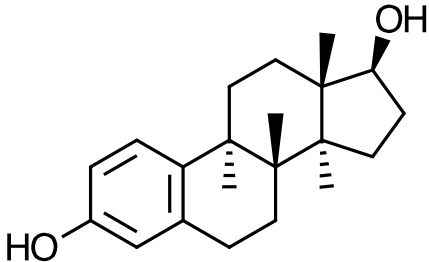
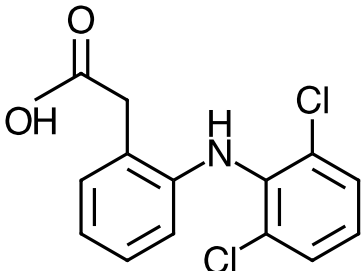
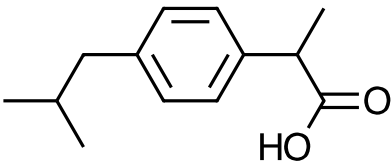
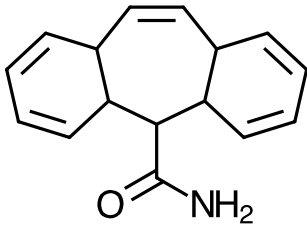
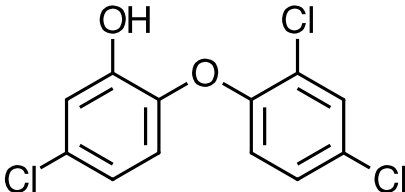
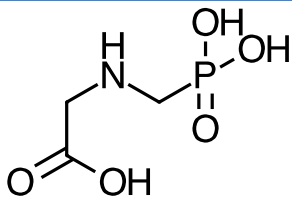
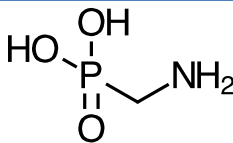
BDE-28	BDE-47	BDE-99
		
CAS-numero 41318-75-6	CAS-numero 40088-47-9 (5436-49-1)	CAS-numero 32534-81-9 (60348-60-9)
BDE-100	BDE-153	BDE-154
		
CAS-numero 189084-64-8	CAS-numero 68631-49-2	CAS-numero 207122-15-4

Tributyyliinakationi (TBT+)	Diuron	MCPA
		
CAS-numero 36643-28-4 (TBTH: 688-73-3)	CAS-numero 330-54-1	CAS-numero 94-74-6

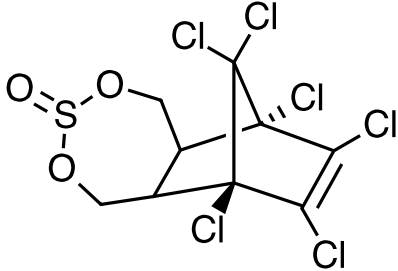
Elohopea ja elohopeayhdisteet	Nikkeli ja nikkeliyhdisteet
Hg	Ni
CAS-numero 7439-97-6	CAS-numero 7440-02-0
Lyijy ja lyijy-yhdisteet	Kadmium ja kadmiumyhdisteet
Pb	Cd
CAS-numero 7439-92-1	CAS-numero 7440-43-9

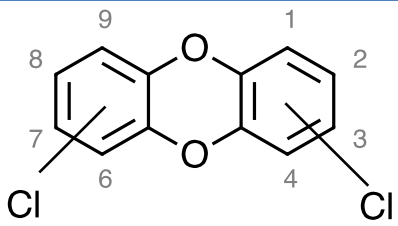
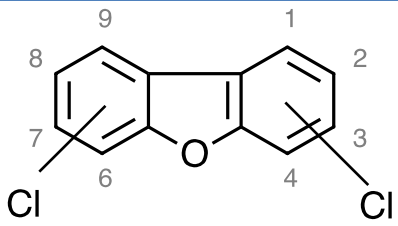
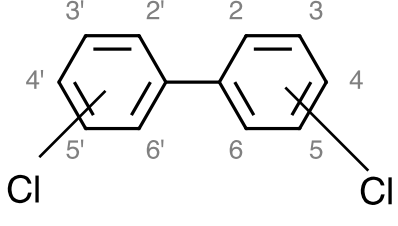
Analyysipaketti 2

1,2,5,6,9,10-HBCD		α -HBCD	
			
CAS-numero 3194-55-6 (25637-99-4)		CAS-numero 134237-50-6	
β -HBCD		γ -HBCD	
			
CAS-numero 134237-51-7		CAS-numero 134237-52-8	
PFOS		Sybutryyni (Irgarol)	
			
CAS-numero 1763-23-1		CAS-numero 28159-98-0	
Sypermetriini		Aklonifeeni	
			
CAS-numero 52315-07-8		CAS-numero 74070-45-5	

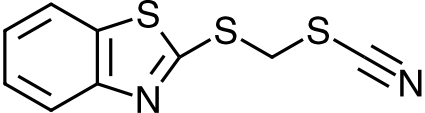
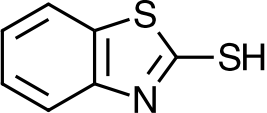
Terbutryyni		Bifenoksi	
			
CAS-numero 886-50-0		CAS-numero 42576-02-3	
17 α -etinyyliestradioli (EE2)		17 β -estradioli (E2)	
			
CAS-numero 57-63-6		CAS-numero 50-28-2	
Diklofenaakki (DCF)	Ibuprofeeni (IBP)	Karbamatsepiini (CBZ)	
			
CAS-numero 15307-79-6	CAS-numero 15687-27-1	CAS-numero 298-46-4	
Triklosaani (TCS)	Sinkki ja sen yhdisteet	Vapaa syanidi	
	Zn	CN⁻	
CAS-numero 3380-34-5	CAS-numero 9029-97-4 (7440-66-6)	CAS-numero 57-12-5	
Glyfosaatti	Aminometyylifosfonihappo (AMPA)		
			
CAS-numero 1071-83-6	CAS-numero 1066-51-9		

Analyysipaketti 3

Endosulfaani	
	
CAS-numero	115-29-7 (tekninen laatu)
(α -endosulfaani:	959-98-8
β -endosulfaani:	33213-65-9)

Dioksiinit (PCDD)		CAS numero
	2,3,7,8-TCDD	1746-01-6
	1,2,3,7,8-PeCDD	40321-76-4
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	39227-28-6
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	57653-85-7
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	19408-74-3
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	35822-46-9
	OCDD	3268-87-9
Furaanit (PCDF)		CAS numero
	2,3,7,8-TCDF	51207-31-9
	1,2,3,7,8-PeCDF	57117-41-6
	2,3,4,7,8-PeCDF	57117-31-4
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	70648-26-9
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	57117-44-9
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	72918-21-9
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	60851-34-5
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	67562-39-4
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	55673-89-7
OCDF	39001-02-0	
Polyklooratut bifenyylit (PCB-DL)		CAS numero
	PCB-77 (3,3',4,4'-TCB)	32598-13-3
	PCB-81 (3,3',4',5'-TCB)	70362-50-4
	PCB-105 (2,3,3',4,4'-PeCB)	32598-14-4
	PCB-114 (2,3,4,4',5'-PeCB)	74472-37-0
	PCB-118 (2,3',4,4',5'-PeCB)	31508-00-6
	PCB-123 (2,3',4,4',5'-PeCB)	65510-44-3
	PCB-126 (3,3',4,4',5'-PeCB)	57465-28-8
	PCB-156 (2,3,3',4,4',5'-HxCB)	38380-08-4
	PCB-157 (2,3,3',4,4',5'-HxCB)	69782-90-7
	PCB-167 (2,3',4,4',5,5'-HxCB)	52663-72-6
	PCB-169 (3,3',4,4',5,5'-HxCB)	32774-16-6
	PCB-7189 (2,3,3',4,4',5,5'-HpCB)	39635-31-9

Analyysipaketti 4

TCMTB	MBeT
 <chem>CSC1=NC(=S)C=C1C#N</chem>	 <chem>SC1=NC(=S)C=C1</chem>
CAS-numero 21564-17-0	CAS-numero* 149-30-4

LIITE 2. PUHDISTAMOILLE LÄHETETTY NÄYTTEENOTTO-OHJE

YLEISIÄ OHJEITA NÄYTTEENOTTOON

Laboratoriot toimittavat teille näytepullot, ohjeet niiden täyttämiseksi ja merkitsemiseksi. Lukekaa ohjeet huolella ennen näytteenottoa!

Täyttäkää sivulla kolme oleva lomake näytteenoton yhteydessä ja toimittakaa se yhdessä prosessikaavion tai prosessikuvauksen kanssa Envienolle joko skannattuna tai postilla osoitteeseen:

Envieno
Niina Vieno
Logomo Byrå
Köydenpunojankatu 14
20100 Turku
niina.vieno@envieno.com

Tärkeää ottaa huomioon näytteenotossa:

- ✓ Suunnittele näytteenotto huolella etukäteen ja lue ohjeet.
- ✓ Näytteenotto pyritään toteuttamaan kuivan sääjakson aikana.
- ✓ Näytteenottovälineistö on puhdistettava huolella ennen näytteenottoa.
- ✓ Näytteet ja kokooma-astiat on säilytettävä kylmässä (< 6 °C) koko näytteenoton ajan!
- ✓ Jos näytteenotossa käytetään muovia, suosi HDPE-laatua.
- ✓ Vältä näytteen turhia siirtoja astiasta toiseen.
- ✓ Ftalaatteja (aineryhmä 002) käytetään muovien (erityisesti PVC:n) pehmittimenä. Näytteenotossa tulee käyttää lasista sekä HDPE-muovista valmistettuja astioita.
- ✓ Bromatut difenyylietterit (aineryhmä 003) ja heksabromosyklododekaanit (aineryhmä 011) ovat palonestoaineita, joita käytetään myös muovien valmistamisessa. Näytteet suositellaan otettavaksi kertänäytteinä tai aikapainotteisena kokoomänäytteenä välttäen pitkäaikaista kosketusta muovien kanssa.

Näytteenotossa tärkeintä on saada edustava näyte, joka kuvaa mahdollisimman hyvin koko vesimassan laatua:

- Tulevan jäteveden näyte kannattaa ottaa väljän ja hiekanerotuksen jälkeen.
- Lähtevän jäteveden näyte otetaan siitä kohdasta, josta näyte puretaan ympäristöön.

Näytteet voidaan ottaa kertonäytteinä tai kokoomanäytteinä. Kokoomanäytteiden ottoa suositellaan, koska se huomio jäteveden laadun ajallisen vaihtelun ja kuvaa täten paremmin jäteveden keskimääräistä laatua.

Kokoomanäyte

Automaattisella näytteenottimella voidaan ottaa esim. 24 h virtaamapainotteinen kokoomanäyte. Kokoomanäyte voidaan ottaa myös aikapainotteisesti. Tällöin voidaan esimerkiksi ottaa kertonäyte joka tunti työpäivän tai ennalta sovitun ajanjakson aikana ja yhdistämällä ne samaan astiaan kokoomanäytteeksi. Osanäytteen tilavuuden tulee olla > 50 ml. Huolehdi, että näytteen kokonaistilavuus on riittävä.

Muista, että näytteet ja kokooma-astiat on säilytettävä kylmässä (< 6 °C) koko näytteenoton ajan!

Kertonäyte

Jos kokoomanäytteen otto ei ole mahdollista, voidaan näyte ottaa kertonäytteenä. Näyte otetaan näytteenottimella tai kauhalla suoraan pulloon. Ota näyte paikasta, joka on hyvin sekoittunut, kuten putken suu. Virtauksen tulee näytteenottoaikassa olla riittävän suuri, ettei kiintoaine laskeudu näytteenottoaikaa pohjalle. Jos näyte otetaan altaasta, ota vähintään kolme osanäytettä altaan eri kohdista ja yhdistä ne yhdeksi näytteeksi.

NÄYTTEENOTTOPÄIVÄKIRJA

Liitä mukaan prosessikaavio tai sanallinen selitys prosessista.

Laitoksen

nimi: _____

Puhdistamon

nimi:

Pvm:

Näytteenottaja: _____

Tulevan

jäteveden

virtaama

näytteenottopäivänä: _____

Näytteenottopisteet (esim. tuleva jätevesi, välppäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen):

Näytteenottomenetelmä (esim. kokoomanäyte, kertanäyte, osanäytteistä koottu kertanäyte): _____

Näytteenottimet ja niiden materiaalit (esim. muovikauha, HDPE-muovi):

Normaalista poikkeavat jäteveden laadun tai prosessin toiminnan muutokset tai muut näytteen laatuun mahdollisesti vaikuttavat tekijät: _____

LIITE 3. PUHDISTAMOKOHTAISET TULOKSET

Alkyylifenolit- ja etoksilaatit

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	NP	NP ₁ EO	NP ₂ EO	OP	OP ₁ EO	OP ₂ EO	NP	NP ₁ EO	NP ₂ EO	OP	OP ₁ EO	OP ₂ EO
AA-EQS sisävedet										0.1		
AA-EQS rannikkovedet										0.01		
Forssa	<2	<2	<1	<1	<1	<1	<0.07	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
HS-Vesi: Parainen	1.7	0.15	<0.1	<0.1	0.15	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
HS-Vesi: Akaa							<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hanko: Suursuo							0.123	<0.06	<0.06	0.012	<0.003	<0.003
HSY: Viikinmäki	2.6	1.05	<0.5	0.123	0.575	<0.15	<0.1	<0.1	<0.1	0.016	<0.01	<0.01
HSY: Suomenoja	0.908	1.9	<0.6	0.06	0.135	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Huittinen	0.51	0.42	0.1	<0.1	<0.1	<0.1						
Hyvinkää: Kalteva	1.91	3.68	<1	<0.1	0.135	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Iisalmi: Vuohiniemi							<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ikaalinen							<0.08	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Imatra: Meltola	1.15	<0.3	<0.3	<0.05	0.057	<0.015	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Inari Lapin Vesi: Mellanaava							0.18	0.23	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Janakkala							<0.1	<0.06	<0.06	<0.01	<0.003	<0.003
Jämsä							0.12	0.14	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Jyväskylä: Nenäinniemi	1.1	1.3	0.45	<0.1	0.42	<0.1	0.08	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kajaani: Peuraniemi	1.1	2.3	<0.1	<0.1	0.25	<0.1	0.08	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kannus							0.315	<0.1	<0.1	0.055	<0.01	<0.01
Kemi: Peurasaari							<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kempele: Lakeuden puhdistamo	1.8	4.1	<0.5	0.14	0.5	<0.3	0.15	0.08	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	NP	NP _{1EO}	NP _{2EO}	OP	OP _{1EO}	OP _{2EO}	NP	NP _{1EO}	NP _{2EO}	OP	OP _{1EO}	OP _{2EO}
AA-EQS sisävedet										0.1		
AA-EQS rannikkovedet										0.01		
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.525	0.318	<0.2	0.025	<0.02	<0.02	0.34	<0.1	<0.1	0.047	<0.01	<0.01
Kuopio: Lehtoniemi	0.55	0.48	0.17	<0.1	0.14	<0.1	0.19	0.06	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kuusamo: Toranki							0.08	0.07	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kuusamo: Ruka							0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kymen Vesi	2.75	2.04	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Lappeenranta: Oravaharju							0.17	0.08	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Lappeenranta: Toikansuo	1.8	2.3	<0.1	0.17	0.64	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Levi							<0.12	<0.08	<0.06	0.02	0.037	0.012
Lohja: Pitkäniemi	0.74	1.4	0.44	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Loimaa							0.12	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Loviisa: Vårdö	2.56	2.21	<0.6	<0.1	<0.09	<0.1	<0.1	<0.06	<0.06	0.071	<0.003	<0.003
Mäntsälä: Kirkonkylä							<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Nurmijärvi: Klaukkala	3.04	5.8	<1	0.503	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.012	0.01	<0.01
Outokumpu: Jokipohja							<0.06	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pieksamäki							0.09	0.1	0.11	<0.1	<0.1	<0.1
Pietarsaari: Alheda	<1	0.78	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.2	<0.05	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02
Pori: Luotsinmäki	1.8	2.7	0.24	<0.1	0.13	<0.1	0.06	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Porvoo: Hermanninsaari	1.48	1.46	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.011	<0.01	<0.01
Pudasjärvi: Kurenala							0.185	0.194	<0.1	0.019	0.014	<0.01
Punkalaidun	<0.3	0.31	<0.3	<0.1	<0.1	<0.1						
Raahe							0.103	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Raasepori: Karjaa-Pohja							<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	NP	NP _{1EO}	NP _{2EO}	OP	OP _{1EO}	OP _{2EO}	NP	NP _{1EO}	NP _{2EO}	OP	OP _{1EO}	OP _{2EO}
AA-EQS sisävedet										0.1		
AA-EQS rannikkovedet										0.01		
Raasepori: Skeppsholmen							<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Riihimäki: linja 1	1.25	2.7	<1	<0.1	0.148	<0.1	<0.1	<0.06	<0.06	<0.01	<0.003	<0.003
Riihimäki: meijerilinja	<1	<1	<1	<0.1	<0.1	<0.8						
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	1.2	2.4	0.45	0.14	0.34	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Salo	<1	<1	<1	<0.1	<0.1	<0.1	0.196	0.199	<0.1	0.019	0.018	<0.01
Sastamala: Keskuspuhdistamo	0.72	2.6	1	<0.1	<0.1	<0.1						
Sastamala: Äetsä	0.5	0.35	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1						
Seinäjäoki	1.9	1.6	<0.5	<0.5	0.11	<0.10	0.135	<0.1	<0.1	0.019	<0.01	<0.01
Siikalatva							0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sotkamo: Kirkonkylä							<0.05	0.06	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tampere: Viinikanlahti	1.59	1.75	<0.6	<0.1	0.214	<0.05	<0.1	<0.075	<0.03	<0.01	<0.005	0.0065
Tampere: Rahola	3.76	3.01	<1	0.722	0.236	<0.2	0.12	<0.1	<0.1	0.019	<0.01	<0.01
Turku: Kakolanmäki	4.7	3.6	<0.1	0.24	0.502	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Vaasa: Pätt	1.46	1.6	<0.5	0.068	0.097	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Keski-Savon Vesi: Akonniemi							0.12	0.19	0.21	<0.1	<0.1	0.14
Vihti: Nummela							<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Vesikolmio: Ylivieska	0.72	1.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.18	0.13	0.22	<0.1	<0.1	<0.1
Ylläs							0.196	0.199	<0.1	0.019	0.018	<0.01
Äänekoski: Teräväniemi							0.11	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rinneköti-Säätiö	6.28	<0.6	<0.6	<0.1	0.065	<0.03	<0.1	<0.06	<0.06	<0.01	<0.003	<0.003

Nonyylifenoli ja –etoksilaatit summaparametrit

	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
Puhdistamo	NP + NP _x EO *	NP + NP _x EO *
AA-EQS		0.3
Forssa	1.75	< 0.16
HS-Vesi: Paroinen	1.8	< 0.16
HS-Vesi: Akaa		< 0.16
Hanko: Suursuo		< 0.16
HSY: Viikinmäki	3.25	< 0.16
HSY: Suomenoja	2.0	< 0.16
Huittinen	0.77	
Hyvinkää: Kalteva	4.0	< 0.16
Iisalmi: Vuohiniemi		< 0.16
Ikaalinen		< 0.16
Imatra: Meltola	1.3	< 0.16
Inari Lapin Vesi: Mellanaava		0.32
Janakkala		< 0.16
Jämsä		0.215
Jyväskylä: Nenäinniemi	1.98	< 0.16
Kajaani: Peuraniemi	2.33	< 0.16
Kannus		0.365
Kemi: Peurasaari		< 0.16
Kempele: Lakeuden puhdistamo	3.98	0.215
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.73	0.39
Kuopio: Lehtoniemi	0.88	0.245
Kuusamo: Toranki		< 0.16
Kuusamo: Ruka		< 0.16
Kymen Vesi	4.02	< 0.16
Lappeenranta: Oravaharju		0.235
Lappeenranta: Toikansuo	3.2	< 0.16
Levi		< 0.16
Lohja: Pitkäniemi	1.66	< 0.16
Loimaa		< 0.16
Loviisa: Vårdö	3.82	< 0.16
Mäntsälä: Kirkonkylä		< 0.16
Nurmijärvi: Klaukkala	6.19	< 0.16
Outokumpu: Jokipohja		< 0.16

	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
Puhdistamo	NP + NP _x EO *	NP + NP _x EO *
AA-EQS		0.3
Pieksamäki		0.195
Pietarsaari: Alheda	1.02	< 0.16
Pori: Luotsinmäki	3.27	< 0.16
Porvoo: Hermanninsaari	2.46	< 0.16
Pudasjärvi: Kurenala		0.307
Punkalaidun	0.38	
Raahe		< 0.16
Raasepori: Karjaa-Pohja		< 0.16
Raasepori: Skeppsholmen		< 0.16
Riihimäki: linja 1	2.85	< 0.16
Riihimäki: meijerilinja	1.0	
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	2.63	< 0.16
Salo	1.0	0.321
Sastamala: Keskuspuhdistamo	2.52	
Sastamala: Äetsä	0.7	
Seinäjoki	2.83	0.185
Siikalatva		< 0.16
Sotkamo: Kirkonkylä		< 0.16
Tampere: Viinikanlahti	2.62	< 0.16
Tampere: Rahola	5.52	0.17
Turku: Kakolanmäki	6.53	< 0.16
Vaasa: Pätt	2.39	< 0.16
Keski-Savon Vesi: Akonniemi		0.32
Vihti: Nummela		< 0.16
Vesikolmio: Ylivieska	1.35	0.355
Ylläs		0.321
Äänekoski: Teräväniemi		< 0.16
Rinnekoti-Säätiö	6.58	< 0.16

* TEF: NP= 1, NP_xEO= 0.5 (WHO 2005) (tuloksen ollessa <mr käytettiin laskuissa määrittämissä rajat puolikasta)

Ftalaatit

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)			Lähtevä jätevesi (µg/l)		
	DEHP	DBP	BBP	DEHP	DBP	BBP
AA-EQS sisävedet				1.3	10	10
AA-EQS rannikkovedet				1.3	1	1.4
Forssa	9.3	<0.1	<0.1	1.2	<0.1	<0.1
HS-Vesi: Paroinen	7.4	0.28	0.15	<0.3	<0.1	<0.1
HS-Vesi: Akaa	3.3	<0.1	<0.1	<0.3	<0.1	<0.1
Hanko: Suursuo				0.48	<0.1	<0.1
Heinola				0.51	<0.1	<0.1
HSY: Viikinmäki	1.2	0.14	<0.1	0.89	<0.1	<0.1
HSY: Suomenoja	2.3	<0.1	<0.1	0.46	<0.1	<0.1
Huittinen	1.4	<0.1	<0.1			
Hyvinkää: Kalteva	6.1	0.19	0.22	<0.3	<0.1	<0.1
Iisalmi: Vuohiniemi				0.55	<0.1	<0.1
Ikaalinen				0.5	<0.1	<0.1
Imatra: Meltola	<3	<1	<1	0.41	<0.3	<0.4
Inari Lapin Vesi: Mellanaava				0.86	<0.1	<0.1
Jämsä				0.56	0.18	<0.1
Janakkala				<0.4	<0.3	<0.4
Jokioinen	1.6	<0.1	<0.1	0.59	<0.1	<0.1
Jyväskylä: Nenäinniemi	4.5	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	<0.1
Kajaani: Peuraniemi	4.2	<0.1	<0.1	2.4	<0.1	<0.1
Kannus				2.3	<0.3	<0.3
Kemi: Peurasaari				0.41	<0.1	<0.1
Kemijärvi				1.2	<0.1	0.24
Kempele: Lakeuden puhdistamo	24	<0.1	<0.1	0.84	<0.1	<0.1
Kokkola: Hopeakivenlahti	8.4	<0.1	<0.1	8.2	<0.1	<0.1
Kuopio: Lehtoniemi	3	<0.1	0.17	1.8	<0.1	<0.1
Kuusamo: Toranki				<0.3	<0.1	<0.1
Kuusamo: Ruka				<0.3	<0.1	<0.1
Kymen Vesi	0.9	<0.1	<0.1	<0.3	<0.1	<0.1
Lappeenranta: Oravaharju				0.36	<0.1	<0.1
Lappeenranta: Toikansuo	12	0.69	0.61	0.43	<0.1	<0.1
Levi				<0.4	<0.3	<0.4
Lohja: Pitkäniemi	7.2	<0.1	<0.1	0.34	<0.1	<0.1
Loimaa				1	<0.1	<0.1
Loviisa: Vårdö	1.8	<0.1	<0.1	<0.3	<0.1	<0.1

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)			Lähtevä jätevesi (µg/l)		
	DEHP	DBP	BBP	DEHP	DBP	BBP
AA-EQS sisävedet				1.3	10	10
AA-EQS rannikkovedet				1.3	1	1.4
Mäntsälä: Kirkonkylä				<0.3	<0.1	<0.1
Nurmijärvi: Klaukkala	17	1	0.67	<0.3	<0.1	<0.1
Outokumpu: Jokipohja				0.42	<0.1	<0.1
Pieksamäki				0.52	1.2	<0.1
Pietarsaari: Alheda	4.5	<0.1	<0.1	1.8	<0.1	<0.1
Pori: Luotsinmäki	2.8	0.12	<0.1	1.5	<0.1	<0.1
Porvoo: Hermanninsaari	15	<0.6	<0.4	<0.4	<0.3	<0.4
Pudasjärvi: Kurenala				<1	<1	<1
Punkalaidun	1.4	0.18	<0.1			
Raahe				0.46	<0.3	<0.4
Raasepori: Karjaa-Pohja				<0.3	<0.1	<0.1
Raasepori: Skeppsholmen				<0.3	<0.1	<0.1
Riihimäki: linja 1	7.2	0.13	<0.1	<0.3	<0.1	<0.1
Riihimäki: meijerilinja	7.1	<0.1	<0.1			
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	9.3	0.17	<0.1	0.56	<0.1	<0.1
Salo	4.4	<1	<1	<0.4	<0.3	<0.4
Sastamala: Keskuspuhdistamo	2.1	<0.1	<0.1			
Sastamala: Äetsä	0.72	<0.1	<0.1			
Seinäjäki	4.8	<0.1	<0.1	0.89	<0.1	<0.1
Siikalatva				20	3.2	<0.1
Sotkamo: Kirkonkylä				0.33	<0.1	<0.1
Tampere: Rahola	21	0.47	0.66	6.9	<0.1	<0.1
Turku: Kakolanmäki	8.4	0.55	0.31	0.41	0.42	<0.05
Vaasa: Pätt	2.5	<0.1	<0.1	0.74	<0.1	<0.1
Keski-Savon Vesi: Akonniemi				0.39	<0.1	<0.1
Vihti: Nummela				0.5	<0.1	<0.1
Vesikolmio: Ylivieska	5.4	0.17	<0.1	0.36	<0.1	<0.1
Ylläs				<0.4	<0.3	<0.4
Äänekoski: Teräväniemi				0.87	<0.1	<0.1
Rinnekotu-Säätiö	39	0.74	0.52	1.3	<0.1	0.11

Bromatut difenyylietterit

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154
Forssa	0.00021	0.0092	0.0028	0.00046	0.00049	0.00037	<0.00004	0.00024	0.00009	<0.00004	<0.00004	<0.00004
HS-Vesi: Paroinen	0.00024	0.0068	0.0011	<0.0001	0.00048	<0.0003	<0.00004	0.00006	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004
HS-Vesi: Akaa							<0.0001	0.00013	0.00011	<0.0001	<0.0003	<0.0003
Hanko: Suursuo							<0.00004	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Heinola							<0.00004	0.00041	0.00032	0.00006	<0.00004	<0.00004
HSY: Viikinmäki	<0.0001	0.0015	0.00074	<0.0003	<0.0010	<0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0003	<0.0003
HSY: Suomenoja	<0.0003	0.0018	0.00074	<0.0003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.00014	<0.0001	<0.0001	<0.0003	<0.0003
Huittinen	<0.0001	0.0006	0.00015	<0.0001	<0.0003	<0.0003						
Hyvinkää: Kalteva	<0.0001	0.0017	0.00059	0.00015	<0.0003	<0.0003	<0.00004	0.00008	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Iisalmi: Vuohiniemi							<0.00004	0.00031	0.00024	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Ikaalinen							<0.00004	0.00006	0.00006	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Imatra: Meltola	<0.0001	0.0013	0.00073	<0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.00004	0.00018	0.00018	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Inari Lapin Vesi: Mellanaava							<0.00004	0.00015	0.00012	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Jämsä							<0.00004	0.00021	0.00024	0.00005	<0.00004	<0.00004
Janakkala							<0.00004	0.00022	0.00018	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Jokioinen	<0.0002	0.0021	0.0012	<0.0002	<0.0005	<0.0005	<0.00004	0.00006	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.0002	0.0053	0.0024	0.00055	0.00058	0.00036	<0.00004	0.00014	0.0001	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Kajaani: Peuraniemi	<0.0003	0.005	0.0016	0.00035	<0.0005	<0.0005	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0002	<0.0002
Kannus							<0.00004	0.00031	0.00036	0.000065	<0.00004	<0.00004
Kemi: Peurasaari							<0.00004	0.00006	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Kemijärvi							<0.00004	0.00025	0.00033	0.00006	<0.00004	<0.00004

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154
Kempele: Lakeuden puhdistamo	<0.0002	0.0058	0.0049	0.00097	0.00053	0.00058	<0.00004	0.00015	0.00019	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.0001	0.0028	0.0019	<0.0001	<0.0003	<0.0003	0.00004	0.00008	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004
Kuopio: Lehtoniemi	<0.0001	0.0018	0.00057	<0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0001	0.00012	<0.0001	<0.0001	<0.0003	<0.0003
Kuusamo: Toranki							<0.00004	0.00014	0.00011	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Kuusamo: Ruka							<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Kymen Vesi	<0.0001	0.0041	0.0024	0.0005	<0.0003	0.00033	<0.00004	0.00024	0.00023	0.00005	<0.00004	<0.00004
Lappeenranta: Oravaharju							<0.00004	0.00009	0.00006	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Lappeenranta: Toikansuo	0.0001	0.0034	0.00085	0.00014	0.00018	0.0001	<0.00004	0.00024	0.00028	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Levi							<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Lohja: Pitkäniemi	<0.0002	0.0036	0.0018	0.00051	<0.0003	<0.0003	<0.00004	0.00006	0.00051	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Loimaa							<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Loviisa: Vårdö	<0.0003	0.0034	0.0019	0.0004	<0.0005	<0.0005	<0.00004	0.00007	<0.00006	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Mäntsälä: Kirkonkylä							<0.0001	0.00007	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Nurmijärvi: Klaukkala	<0.0001	0.002	0.0017	0.00025	<0.0003	<0.0003	<0.00004	0.00009	0.00008	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Oulu: Taskila	<0.0002	0.0025	0.0012	0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.00004	0.00009	0.00006	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Outokumpu: Jokipohja							<0.00004	0.00005	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Pieksamäki							<0.00004	0.00004	0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Pietarsaari: Alheda	0.00025	0.0036	0.002	0.00048	0.00032	0.00024	<0.00004	0.00013	0.00014	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Pori: Luotsinmäki	<0.0003	0.0038	0.0024	0.00046	<0.0007	<0.0007	<0.00004	0.00008	0.00007	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Porvoo: Hermanninsaari	<0.0001	0.0029	0.00097	0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Pudasjärvi: Kurenala							<0.00004	0.0001	0.00009	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Punkalaidun	<0.0002	0.0005	0.00047	<0.0002	<0.0005	<0.0005						

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)						Lähtevä jätevesi (µg/l)					
	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154	BDE-28	BDE-47	BDE-99	BDE-100	BDE-153	BDE-154
Raahе							<0.00004	0.00017	0.00013	0.00005	<0.00004	<0.00004
Raasepori: Karjaa-Pohja							<0.00004	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Raasepori: Skeppsholmen							<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Riihimäki: linja 1	<0.0001	0.0033	0.0021	<0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.00004	0.00008	0.00008	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Riihimäki: meijerilinja	<0.0001	0.00037	0.00017	<0.0001	<0.0003	<0.0003						
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	<0.0001	0.0019	0.00079	0.00018	0.00012	<0.0001	<0.00004	0.00017	0.00013	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Salo	<0.0001	0.0022	0.00074	0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0003	<0.0003
Sastamala: Keskuspuhd.	<0.0002	0.0019	0.0012	<0.0002	<0.0005	<0.0005						
Sastamala: Äetsä	<0.0001	0.0011	0.00041	<0.0001	<0.0002	<0.0002						
Seinäjoki	<0.0002	0.0035	0.0015	0.00027	<0.0005	<0.0005	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Siikalatva							<0.00004	0.00011	0.00012	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Sotkamo: Kirkonkylä							<0.00004	0.00017	0.00018	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Tampere: Viinikanlahti	<0.0001	0.0019	0.0007	0.00012	<0.0002	<0.0002	<0.00004	0.00055	0.00056	0.00007	0.00005	<0.00004
Tampere: Rahola	<0.0001	0.003	<0.0007	<0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Turku: Kakolanmäki	<0.0002	0.0053	0.0041	0.00073	<0.0005	<0.0005	<0.00004	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Vaasa: Pätt	<0.0002	0.0048	0.0032	0.00066	<0.0005	<0.0005	<0.00004	0.00013	0.00018	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Keski-Savon Vesi: Akonniemi							<0.00004	0.00011	0.0001	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Vihti: Nummela							<0.00004	0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004
Vesikolmio: Ylivieska	<0.0002	0.0018	0.0081	0.0011	0.0018	0.0011	<0.00004	0.0003	0.00037	0.00007	0.00004	<0.00004
Ylläs							<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0003	<0.0003
Äänekoski: Teräväniemi							<0.00004	0.00028	0.00026	0.00005	<0.00004	<0.00004
Rinneoti-Säätiö	<0.0001	0.0018	0.0016	0.00034	0.00023	<0.0002	<0.00004	0.00005	0.00005	<0.00004	<0.00004	<0.00004

Bromatut difenyylietterit (summa)

Jos yksittäisen kongeneerin tulos on ollut alle määrittäysrajan on laskennassa käytetty määrittäysrajan puolikasta. Ne tulokset joiden kaikkien kongeneerien tulos on ollut alle määrittäysrajan on merkitty olevan < summa.

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
	Summa BDE	Summa BDE
AA-EQS sisävedet		0.0005
AA-EQS rannikkovedet		0.0002
MAC-EQS sisävedet		0.14
MAC-EQS rannikkovedet		0.014
Forssa	0.0135	0.00041
HS-Vesi: Paroinen	0.0088	0.00019
HS-Vesi: Akaa		0.00064
Hanko: Suursuo		0.00015
Heinola		0.00085
HSY: Viikinmäki	0.0034	< 0.0005
HSY: Suomenoja	0.0038	0.00059
Huittinen	0.0012	
Hyvinkää: Kalteva	0.0028	< 0.0005
Iisalmi: Vuohiniemi		0.00063
Ikaalinen		0.0002
Imatra: Meltola	0.0023	0.0004
Inari Lapin Vesi: Mellanaava		0.00035
Jämsä		0.00056
Janakkala		0.0048
Jokioinen	0.004	0.00016
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.0093	0.00032
Kajaani: Peuraniemi	0.0076	< 0.0003
Kannus		0.0008
Kemi: Peurasaari		0.00019
Kemijärvi		0.0007
Kempele: Lakeuden puhdistamo	0.0128	0.00042
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.0052	0.0003
Kuopio: Lehtoniemi	0.0028	0.00057
Kuusamo: Toranki		0.00033
Kuusamo: Ruka		< 0.00012
Kymen Vesi	0.0075	0.00058
Lappeenranta: Oravaharju		0.00023
Lappeenranta: Toikansuo	0.0048	0.0006
Levi		< 0.00012
Lohja: Pitkäniemi	0.0063	0.00065

	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
Puhdistamo	Summa BDE	Summa BDE
AA-EQS sisävedet		0.0005
AA-EQS rannikkovedet		0.0002
MAC-EQS sisävedet		0.14
MAC-EQS rannikkovedet		0.014
Loimaa		< 0.00012
Loviisa: Vårdö	0.0064	0.00018
Mäntsälä: Kirkonkylä		0.00032
Nurmijärvi: Klaukkala	0.0043	0.00025
Oulu: Taskila	0.0043	0.00023
Outokumpu: Jokipohja		0.00018
Pieksamäki		0.00016
Pietarsaari: Alheda	0.0069	0.00035
Pori: Luotsinmäki	0.0075	0.00023
Porvoo: Hermanninsaari	0.0044	< 0.00012
Pudasjärvi: Kurenala		0.00027
Punkalaidun	0.0017	
Raahe		0.00041
Raasepori: Karjaa-Pohja		0.00015
Raasepori: Skeppsholmen		< 0.00012
Riihimäki: linja 1	0.0058	0.00024
Riihimäki: meijerilinja	0.00094	
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	0.0031	0.00038
Salo	0.0035	< 0.0005
Sastamala: Keskuspuhd.	0.0038	
Sastamala: Äetsä	0.0018	
Seinäjäoki	0.0059	< 0.00012
Siikalatva		0.00031
Sotkamo: Kirkonkylä		0.00043
Tampere: Viinikanlahti	0.0030	0.00127
Tampere: Rahola	0.0037	< 0.00012
Turku: Kakolanmäki	0.0107	0.00015
Vaasa: Pätt	0.0093	0.00039
Keski-Savon Vesi: Akonniemi		0.00029
Vihti: Nummela		0.00014
Vesikolmio: Ylivieska	0.014	0.00082
Ylläs		< 0.001
Äänekoski: Teräväniemi		0.00065
Rinnekotu-Säätiö	0.0041	0.00018

Tributyyliini, diuron ja MCPA

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)			Lähtevä jätevesi (µg/l)		
	TBT	Diuron	MCPA	TBT	Diuron	MCPA
AA-EQS				0.0002	0.2	1.6
MAC-EQS				0.0015	1.8	0.16
Forssa	0.0002	<0.05	0.03	<0.0002	<0.05	0.03
HS-Vesi: Paroinen	<0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
HS-Vesi: Akaa				<0.0002	<0.05	<0.02
Hanko: Suursuo				<0.0002	<0.05	<0.02
Heinola				<0.0002	<0.05	<0.02
HSY: Viikinmäki	0.0007	0.008	<0.02	<0.0002	0.008	<0.02
HSY: Suomenoja	0.0009	0.013	<0.02	<0.0002	0.008	<0.02
Huittinen	<0.0002	<0.05	<0.02			
Hyvinkää: Kalteva	0.0003	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Iisalmi: Vuohiniemi				<0.0002	<0.05	<0.02
Ikaalinen				<0.0002	<0.05	<0.02
Imatra: Meltola	<0.001	<0.005	<0.05	<0.001	<0.005	<0.05
Inari Lapin Vesi: Mellanaava				<0.0002	<0.05	<0.02
Jämsä				<0.0002	<0.05	<0.02
Janakkala				<0.001	0.009	0.05
Jokioinen	0.001	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.0006	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Kajaani: Peuraniemi	0.0012	<0.05	<0.02	0.0002	<0.05	<0.02
Kannus				<0.0002	<0.005	<0.05
Kemi: Peurasaari				<0.0002	<0.05	<0.02
Kemijärvi				0.0019	<0.05	<0.02
Kempele: Lakeuden puhdistamo	0.0004	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.0005	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Kuopio: Lehtoniemi	<0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Kuusamo: Toranki				<0.0002	<0.05	<0.02
Kuusamo: Ruka				0.0002	<0.05	<0.02
Kymen Vesi	0.0005	<0.05	0.14	<0.0002	<0.05	0.08
Lappeenranta: Oravaharju				<0.0002	<0.05	<0.02
Lappeenranta: Toikansuo	<0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Levi				<0.001	<0.005	<0.05
Lohja: Pitkäniemi	0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Loimaa				<0.0002	<0.05	<0.02
Loviisa: Vårdö	0.003	<0.05	<0.02	0.0003	<0.05	<0.02
Mäntsälä: Kirkonkylä				<0.0002	<0.05	<0.02

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)			Lähtevä jätevesi (µg/l)		
	TBT	Diuroni	MCPA	TBT	Diuroni	MCPA
AA-EQS				0.0002	0.2	1.6
MAC-EQS				0.0015	1.8	0.16
Nurmijärvi: Klaukkala	<0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Oulu: Taskila	0.0003			<0.0002		
Outokumpu: Jokipohja				<0.0002	<0.05	<0.02
Pieksamäki				<0.0002	<0.05	<0.02
Pietarsaari: Alheda	0.0009	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Pori: Luotsinmäki	0.0006	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Porvoo: Hermanninsaari	<0.005	0.008	<0.05	<0.001	0.007	<0.05
Pudasjärvi: Kurenala				<0.001	0.006	<0.05
Punkalaidun	<0.0002	<0.05	<0.02			
Raahe				<0.001	0.006	<0.05
Raasepori: Karjaa-Pohja				<0.0002	<0.05	<0.02
Raasepori: Skeppsholmen				<0.0002	<0.05	<0.02
Riihimäki: linja 1	0.0004	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Riihimäki: meijerilinja	0.0002	<0.05	<0.01			
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	0.0006	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Salo	<0.003	<0.05	<0.05	<0.001	<0.005	0.061
Sastamala: Keskuspuhdistamo	0.0005	<0.05	<0.02			
Sastamala: Äetsä	0.0003	<0.05	<0.02			
Seinäjoki	0.0006	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Siikalatva				<0.0002	<0.05	<0.02
Sotkamo: Kirkonkylä				<0.0002	<0.05	<0.02
Tampere: Viinikanlahti	0.0004	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Tampere: Rahola	<0.0002	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Turku: Kakolanmäki	<0.0002	0.009	<0.02	0.0008	0.01	<0.02
Vaasa: Pätt	0.0007	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Keski-Savon Vesi: Akonniemi				<0.0002	<0.05	<0.02
Vihti: Nummela				<0.0002	<0.05	<0.02
Vesikolmio: Ylivieska	0.0003	<0.05	<0.02	<0.0002	<0.05	<0.02
Ylläs				<0.001	<0.005	0.061
Äänekoski: Teräväniemi				<0.0002	<0.05	<0.02
Rinnekoti-Säätiö	<0.0002	<0.005	<0.02	<0.0002	<0.005	<0.02

Raskasmetallit

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)				Lähtevä jätevesi (µg/l)			
	Hg	Cd	Pb	Ni	Hg	Cd	Pb	Ni
Suomi:								
AA-EQS sisävedet					0.5	0.08 – 0.25	7.2	20
AA-EQS rannikkovedet					0.5	0.2	7.2	20
MAC-EQS sisävedet					-	0.45 – 1.5	-	-
MAC-EQS rannikkovedet					-	0.45 – 1.5	-	-
EU:								
AA-EQS sisävedet					-	0.08 – 0.25	1.2	4
AA-EQS rannikkovedet					-	0.45 – 1.5	1.3	8.6
MAC-EQS sisävedet					0.07	0.2	130	34
MAC-EQS rannikkovedet					0.07	0.45 – 1.5	130	34
Forssa	0.004	0.21	4.8	14	<0.004	0.03	0.39	15
HS-Vesi: Paroinen	0.053	0.31	8.8	13	0.002	0.01	0.22	8
HS-Vesi: Akaa					0.035	0.18	4.4	25
Hanko: Suursuo					0.013	0.02	0.31	8.9
Heinola					0.004	0.81	1.1	5.6
HSY: Viikinmäki	0.076	0.15	2.9	5	<0.004	0.02	0.45	5.9
HSY: Suomenoja	0.059	0.1	2.6	6.2	<0.004	0.01	0.14	7.8
Huittinen	0.21	0.15	2.4	4.6				
Hyvinkää: Kalteva	0.033	0.1	2.6	3.7	<0.004	0.02	0.21	9.8
Iisalmi: Vuohiniemi					<0.004	0.05	0.14	9.7
Ikaalinen					<0.004	<0.01	0.09	21
Imatra: Meltola	0.035	0.07	1	3.3	0.005	<0.01	0.09	7.3
Inari Lapin Vesi: Mellanaava					0.004	0.01	0.29	2.7
Jämsä					<0.004	0.01	0.19	5.3
Janakkala					<0.004	0.03	0.35	6.3

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)				Lähtevä jätevesi (µg/l)			
	Hg	Cd	Pb	Ni	Hg	Cd	Pb	Ni
Jokioinen	0.03	0.1	3.1	5.7	0.011	<0.01	0.22	4.9
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.26	0.14	3.7	5.8	0.008	0.01	0.16	10
Kajaani: Peuraniemi	0.049	0.16	2.7	17	<0.004	0.01	0.4	10
Kannus					0.004	0.03	0.24	7.2
Kemi: Peurasaari					<0.004	<0.01	0.08	4.3
Kemijärvi					0.006	0.14	0.25	13
Kempele: Lakeuden puhdistamo	< 0.004	0.19	2.7	9	<0.004	0.03	0.34	7.7
Kokkola: Hopeakivenlahti	0.2	0.39	3.4	15	0.007	0.11	0.12	19
Kuopio: Lehtoniemi	0.029	0.1	1.5	16	<0.004	0.01	0.54	13
Kuusamo: Toranki					<0.004	2.4	0.77	71
Kuusamo: Ruka					<0.004	0.09	0.8	21
Lappeenranta: Oravaharju					<0.004	0.03	0.21	4.8
Lappeenranta: Toikansuo	0.11	0.9	14	67	0.011	0.04	0.42	7.5
Levi					<0.004	<0.01	<0.05	6.8
Lohja: Pitkäniemi	0.034	0.09	2.5	5.6	0.004	0.02	0.2	7.4
Loimaa					<0.004	0.02	0.21	8.6
Mäntsälä: Kirkonkylä					<0.004	<0.01	<0.05	11
Nurmijärvi: Klaukkala	0.034	0.12	2.6	4.6	<0.004	0.01	0.32	4.7
Outokumpu: Jokipohja					0.038	<0.01	0.09	51
Pieksamäki	0.041	0.09	1.6	7.5	<0.004	<0.01	0.16	7.8
Pietarsaari: Alheda	0.041	0.09	1.6	7.5	<0.004	0.02	0.14	7.4
Pori: Luotsinmäki	0.073	0.33	3.9	33	<0.004	0.02	0.47	17
Porvoo: Hermanninsaari	0.03	0.27	6.4	12	<0.004	0.03	0.14	9.3

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)				Lähtevä jätevesi (µg/l)			
	Hg	Cd	Pb	Ni	Hg	Cd	Pb	Ni
Pudasjärvi: Kurenala					<0.004	0.02	0.09	26
Punkalaidun	0.17	0.1	3.9	8.9				
Raahe					<0.004	<0.01	0.08	11
Raasepori: Karjaa-Pohja					<0.004	0.12	0.12	5
Raasepori: Skeppsholmen					<0.004	0.02	0.24	5.4
Riihimäki: linja 1	0.1	0.22	4.8	5.5	0.005	0.04	0.46	10
Riihimäki: meijerilinja	0.006	0.06	1.3	5				
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	0.025	0.2	6.7	11	<0.004	0.02	0.42	8.9
Salo	0.02	0.1	1.9	14	<0.004	0.11	0.44	7.2
Sastamala: Keskuspuhdistamo	0.056	0.19	1.5	17				
Sastamala: Äetsä	0.054	0.13	3.6	13				
Seinäjoki	0.041	0.21	2	16	<0.004	0.01	0.09	15
Siikalatva					0.006	0.02	0.71	4.1
Sotkamo: Kirkonkylä					0.005	0.02	0.26	12
Tampere: Rahola	0.054	0.18	2.5	8.1	<0.004	0.02	1.2	15
Turku: Kakolanmäki	0.05	0.16	3.6	9.5	<0.05	0.03	0.43	11
Vihti: Nummela					<0.004	<0.01	<0.05	11
Vesikolmio: Ylivieska					<0.004	0.02	0.21	8.6
Ylläs					0.005	0.01	0.23	7.1
Äänekoski: Teräväniemi					<0.004	0.04	0.21	8.3
Rinnekoti-Säätiö	0.61	0.19	3.2	4	0.005	<0.01	0.28	6

Heksabromosyklododekaani (HBCD)

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)				Lähtevä jätevesi (µg/l)			
	1,2,5,6,9,10-HBCD *	α-HBCD	β-HBCD	γ-HBCD	1,2,5,6,9,10-HBCD	α-HBCD	β-HBCD	γ-HBCD
AA-EQS sisävedet					0.0016			
AA-EQS rannikkovedet					0.5			
MAC-EQS sisävedet					0.008			
MAC-EQS rannikkovedet					0.05			
HSY: Viikinmäki	0.00741	0.00454	0.00069	0.00218	0.00084	0.00027	0.00013	0.00044
HSY: Suomenoja	0.004	0.0023	0.0002	0.0015	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.00498	0.00244	0.00016	0.00238	0.0001	0.0001	<0.00009	<0.00009
Kuopio: Lehtoniemi	0.00475	0.00244	0.00065	0.00166	0.00024	0.00024	<0.0001	<0.0001
Kymen Vesi	0.00555	0.00252	0.00026	0.00277	0.0139	0.0106	0.00135	0.00195
Lappeenranta: Oravaharju		<i>Ei analysoitu</i>			0.00021	0.00021	<0.0001	<0.0001
Lappeenranta: Toikansuo	0.00697	0.00482	0.00091	0.00124	0.00054	0.00024	0.00011	0.00019
Oulu: Taskila	0.00859	0.00383	0.0007	0.00406	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Pori: Luotsinmäki	0.071	0.0557	0.0089	0.0066	0.0003	0.0002	<0.0001	0.0001
Tampere: Viinikanlahti	0.00815	0.00373	0.00092	0.0035	0.00051	0.0004	<0.0001	0.00011
Turku: Kakolanmäki	0.00811	0.00259	0.00111	0.00441	<0.00012	<0.00012	<0.00012	<0.00012
Rinnekot-Säätiö	0.00217	0.0013	0.00021	0.00066	0.00026	0.0001	<0.0001	0.00016

* diastereomeerien (α-HBCD, β-HBCD, γ-HBCD) summa

Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi(µg/l)
AA-EQS sisävedet		0.00065
AA-EQS rannikkovedet		0.00013
MAC-EQS sisävedet		36
MAC-EQS rannikkovedet		7.2
HSY: Viikinmäki	0.013	0.0088
HSY: Suomenoja	<0.01	<0.01
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.1	<0.005
Kuopio: Lehtoniemi	<0.01	<0.01
Kymen Vesi	0.04	0.058
Lappeenranta: Oravaharju	<i>Ei analysoitu</i>	<1
Lappeenranta: Toikansuo	<1	<1
Oulu: Taskila	<0.01	0.0034
Pori: Luotsinmäki	<0.01	<0.01
Tampere: Viinikanlahti	<0.1	0.037
Turku: Kakolanmäki	0.023	0.05
Rinnekoti-Säätiö	<0.01	0.0018

Torjunta-aineet (SYB= sybutryyni, SYP= sypermetriini, AKL= aklonifeeni, TER= terbutryyni, BIF= bifenoksi)

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)					Lähtevä jätevesi (µg/l)				
	SYB	SYP	AKL	TER	BIF	SYB	SYP	AKL	TER	BIF
AA-EQS sisävedet						0.0025	0.00008	0.12	0.065	0.012
AA-EQS rannikkovedet						0.016	0.000008	0.012	0.0065	0.0012
MAC-EQS sisävedet						-	0.0008	0.12	0.34	0.4
MAC-EQS rannikkovedet						-	0.00008	0.012	0.034	0.004
HSY: Viikinmäki	<0.01	<0.1	<0.003	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.003	<0.01	<0.03
HSY: Suomenoja	<0.01	<0.1	<0.003	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.003	<0.01	<0.03
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	0.02	<0.03
Kuopio: Lehtoniemi	<0.01	<0.1	na	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	na	<0.01	<0.03
Kymen Vesi	<0.01	<0.1	na	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	na	<0.01	<0.03
Lappeenranta: Oravaharju								<0.01	<0.01	<0.03
Lappeenranta: Toikansuo	<0.01	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.03
Oulu: Taskila	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.03
Pori: Luotsinmäki	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.03
Tampere: Viinikanlahti	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.03
Turku: Kakolanmäki	<0.01	<0.1	na	<0.1	<0.03	<0.01	<0.001	na	<0.01	<0.03
Rinnekoti-Säätiö	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.3	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.03

Hormonit lääkeaineet (EE2= 17 α -etinyyliestradioli, E2= 17 β -estradioli)

Puhdistamo	Tuleva jätevesi ($\mu\text{g/l}$)		Lähtevä jätevesi ($\mu\text{g/l}$)	
	EE2	E2	EE2	E2
HSY: Viikinmäki	<0.001	0.024	<0.001	<0.001
HSY: Suomenoja	<0.001	0.039	<0.001	<0.001
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.001	0.037	<0.001	0.0031
Kuopio: Lehtoniemi	<0.001	0.018	<0.001	<0.001
Kymen Vesi	<0.05	0.26	<0.001	<0.005
Lappeenranta: Oravaharju			<0.001	<0.001
Lappeenranta: Toikansuo	<0.003	0.13	<0.001	<0.001
Oulu: Taskila	<0.001	0.051	<0.001	<0.001
Pori: Luotsinmäki	<0.001	<0.062	<0.001	<0.001
Porvoo: Hermanninsaari	-	-	-	-
Tampere: Viinikanlahti	<0.01	0.061	<0.001	<0.005
Turku: Kakolanmäki	<0.1	<0.1	<0.001	<0.005
Vaasa: Pätt	<0.01	0.032	<0.001	<0.005
Rinnekoti-Säätiö	<0.005	0.038	<0.001	<0.001

Lääkeaineet (DCF= diklofenaakki, IBP= ibuprofeeni, CBZ= karbamatsepiini)

Puhdistamo	Tuleva jätevesi ($\mu\text{g/l}$)			Lähtevä jätevesi ($\mu\text{g/l}$)		
	DCF	IBP	CBZ	DCF	IBP	CBZ
HSY: Viikinmäki	1.7	11	0.26	1.8	0.35	0.33
HSY: Suomenoja	1.9	17	0.3	2	0.039	0.35
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.32	26	0.26	0.22	<0.05	0.32
Kuopio: Lehtoniemi	0.19	15	1.2	0.12	<0.5	0.73
Kymen Vesi	0.3	8.5	<0.02	0.42	<0.05	<0.02
Lappeenranta: Oravaharju				1.4	<0.05	0.89
Lappeenranta: Toikansuo	0.52	2.4	0.81	0.46	<0.5	0.2
Oulu: Taskila	0.25	19	0.21	0.37	<0.5	0.13
Pori: Luotsinmäki	0.43	18	0.44	0.39	<0.5	0.32
Porvoo: Hermanninsaari	0.94	13	0.24	0.86	0.12	0.38
Tampere: Viinikanlahti	1.6	17	0.29	1.3	<1	0.33
Turku: Kakolanmäki	3	10	0.13	1.9	0.072	0.28
Vaasa: Pätt	1.9	16	0.35	1.1	<0.05	0.49
Rinnekoti-Säätiö	<0.5	5	3.9	0.32	<0.05	3.7

Triklosaani

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
HSY: Viikinmäki	0.032	0.01
HSY: Suomenoja	<0.006	0.01
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.23	0.05
Kuopio: Lehtoniemi	0.04	0.02
Kymen Vesi	0.12	<0.1
Lappeenranta: Oravaharju		0.02
Lappeenranta: Tolkansuo	0.09	0.01
Oulu: Taskila	<0.1	0.02
Pori: Luotsinmäki	0.05	<0.01
Tampere: Viinikanlahti	0.017	<0.01
Turku: Kakolanmäki	0.035	0.009
Rinne koti-Säätiö	0.07	<0.01

Sinkki

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
Forssa	250	14
HS-Vesi: Parainen	510	27
HS-Vesi: Akaa		240
Hanko: Suursuo		95
Heinola		9.1
HSY: Viikinmäki	140	45
HSY: Suomenoja	140	37
Huittinen	110	
Hyvinkää: Kalteva	120	48
Iisalmi: Vuohiniemi		20
Ikaalinen		60
Imatra: Meltola	63	15
Inari Lapin Vesi: Mellanaava		110
Jämsä		23
Janakkala		44
Jokioinen	83	21
Jyväskylä: Nenäinniemi	110	29
Kajaani: Peuraniemi	120	18
Kannus		83
Kemi: Peurasaari		18
Kemijärvi		62
Kempele: Lakeuden puhdistamo	170	16
Kokkola: Hopeakivenlahti	140	86
Kuopio: Lehtoniemi	120	44
Kuusamo: Toranki		56
Kuusamo: Ruka		150
Kymen Vesi	270	32
Lappeenranta: Oravaharju		27
Lappeenranta: Toikansuo	340	40
Levi		40
Lohja: Pitkäniemi	110	35
Loimaa		35
Loviisa: Vårdö		
Mäntsälä: Kirkonkylä		33
Nurmijärvi: Klaukkala		28
Oulu: Taskila	130	

Sinkki Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)	Lähtevä jätevesi (µg/l)
Outokumpu: Jokipohja		55
Pieksamäki	120	14
Pietarsaari: Alheda	120	19
Pori: Luotsinmäki	210	37
Porvoo: Hermanninsaari	240	30
Pudasjärvi: Kurenala		82
Punkalaidun	71	
Raahe		18
Raasepori: Karjaa-Pohja		30
Raasepori: Skeppsholmen		50
Riihimäki: linja 1	130	71
Riihimäki: meijerilinja	140	
Napapiirin Vesi: Alakorkalo	480	36
Salo	88	68
Sastamala: Keskuspuhd.	92	
Sastamala: Äetsä	96	
Seinäjoki	1600	89
Siikalatva		14
Sotkamo: Kirkonkylä		67
Tampere: Viinikanlahti	140	63
Tampere: Rahola	140	20
Turku: Kakolanmäki	110	35
Vihti: Nummela		16
Vesikolmio: Ylivieska		18
Ylläs		22
Äänekoski: Teräväniemi		27
Rinnekot-Säätiö	91	20

Vapaa syanidi

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)		Lähtevä jätevesi (µg/l)	
HSY: Viikinmäki	<10		<10	
HSY: Suomenoja	<10		<10	
Jyväskylä: Nenäinniemi	-		-	
Kuopio: Lehtoniemi	<5		<5	
Kymen Vesi	<5		<5	
Lappeenranta: Oravaharju	-		<10	
Lappeenranta: Toikansuo	<10		<10	
Oulu: Taskila	<5		<5	
Pori: Luotsinmäki	<5		<5	
Riihimäki: linja 1	<5		<5	
Tampere: Viinikanlahti	<10		<10	
Turku: Kakolanmäki	<5		<5	
Rinnekoti-Säätiö	<10		<10	

Glyfosaatti ja AMPA

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)		Lähtevä jätevesi (µg/l)	
	Glyfosaatti	AMPA	Glyfosaatti	AMPA
HSY: Viikinmäki	0.16	0.55	0.04	0.21
HSY: Suomenoja	0.15	0.4	0.01	0.11
Jyväskylä: Nenäinniemi	0.32	<0.1	0.01	<0.01
Kuopio: Lehtoniemi	0.09	0.15	0.01	0.09
Kymen Vesi	0.43	0.3	<0.1	0.13
Lappeenranta: Oravaharju	-	-	<0.01	0.02
Lappeenranta: Toikansuo	0.63	2.75	0.11	0.32
Oulu: Taskila	0.11	1.55	<0.01	0.15
Pori: Luotsinmäki	0.28	<0.1	<0.01	0.02
Tampere: Viinikanlahti	0.133	0.215	<0.1	<0.1
Turku: Kakolanmäki	<0.05	0.482	<0.05	0.26
Vaasa: Pätt	0.201	1.14	<0.05	0.408
Rinnekoti-Säätiö	0.53	2.28	0.05	0.51

Endosulfaani

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)		Lähtevä jätevesi (µg/l)	
AA-EQS sisävedet			0.005	
AA-EQS rannikkovedet			0.0005	
MAC-EQS sisävedet			0.01	
MAC-EQS rannikkovedet			0.004	
HSY: Viikinmäki	<0.00015		<0.00015	
HSY: Suomenoja	<0.00015		<0.00015	
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.0015		<0.00015	
Kuopio: Lehtoniemi	<0.00015		<0.00015	
Kymen Vesi	<0.00015		<0.00015	
Lappeenranta: Oravaharju			<0.00015	
Lappeenranta: Toikansuo	<0.00015		<0.00015	
Oulu: Taskila	<0.00015		<0.00015	
Pori: Luotsinmäki	<0.00015		<0.00015	
Tampere: Viinikanlahti	<0.00015		<0.00015	
Turku: Kakolanmäki	<0.00015		<0.00015	

TCMBT ja MBeT

Puhdistamo	Tuleva jätevesi (µg/l)		Lähtevä jätevesi (µg/l)	
	TCMTB	MBeT	TCMTB	MBeT
AA-EQS sisävedet			0.8	0.018
AA-EQS rannikkovedet			0.08	0.0018
Forssa	<1	<0.5	<0.1	<0.5
HS-Vesi: Akaa			<0.1	<0.5
Hanko: Suursuo			<0.1	<0.5
HSY: Viikinmäki	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5
HSY: Suomenoja	<0.1	0.7	<0.1	<0.5
Ikaalinen	<0.1	<0.5		
Jyväskylä: Nenäinniemi	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5
Kymen Vesi	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5
Lohja: Pitkäniemi	<0.1	1	<0.01	<0.5
Nurmijärvi: Klaukkala	<1	<0.5	<0.1	<0.5
Pietarsaari: Alheda	<1	<0.5	<1	<0.5
Pori: Luotsinmäki	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5
Riihimäki: linja 1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5
Sastamala: Keskuspuhdistamo	<0.1	<0.5		
Sastamala: Äetsä	<0.1	<0.5		
Sotkamo: Kirkonkylä			<0.1	<0.5
Tampere: Viinikanlahti	<0.1	<0.5	<0.1	<0.5

Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset aineet

Tuleva jätevesi µg/l

	HSY/ Viikinmäki	HSY/ Suomenoja	Jyväskylä: Nenäinniemi	Kuopio: Lehtoniemi	Kymen Vesi	Lappeenranta: Toikansuo	Oulu: Taskila	Pori: Luotsinmäki	Riihimäki: linja 1	Tampere: Vlinikanlaht	Turku: Kakolanmäki
2,3,7,8-TCDD	<0.00000023	<0.00000017	<0.0000001	<0.00000011	<0.0000001	<0.00000011	<0.00000023	<0.0000001	<0.00000007	<0.00000015	<0.0000001
1,2,3,7,8-PeCDD	<0.00000029	<0.00000037	<0.00000013	<0.00000015	<0.00000018	<0.00000012	<0.00000037	<0.00000018	<0.00000011	<0.00000018	<0.00000014
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0.00000056	<0.00000060	<0.00000028	<0.00000048	<0.00000043	<0.0000003	<0.00000045	<0.00000034	<0.00000014	<0.00000057	<0.00000029
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<0.00000043	<0.00000054	<0.00000028	<0.00000048	<0.00000043	<0.0000003	<0.00000045	<0.00000034	<0.00000014	<0.00000057	<0.00000029
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<0.00000051	<0.00000054	<0.00000028	<0.00000048	<0.00000043	<0.0000003	<0.00000045	<0.00000034	<0.00000014	<0.00000057	<0.00000029
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.00000077	0.00000093	<0.00000051	<0.0000005	<0.00000016	<0.00000069	<0.00000067	<0.00000035	<0.00000013	<0.00000016	<0.00000038
OCDD	0.000055	0.00007	<0.000017	0.00012	<0.000097	<0.000029	<0.000075	0.00019	<0.000072	0.0004	<0.00009
2,3,7,8-TCDF	<0.00000018	<0.00000017	<0.00000011	<0.00000012	<0.00000013	<0.0000001	<0.00000017	<0.00000013	<0.0000005	<0.00000043	<0.00000011
1,2,3,7,8-PeCDF	<0.00000024	<0.00000023	<0.00000016	<0.00000016	<0.0000003	<0.00000013	<0.00000017	<0.00000016	<0.00000008	<0.00000029	<0.00000017
2,3,4,7,8-PeCDF	<0.00000032	<0.00000032	<0.00000016	<0.00000016	<0.0000003	<0.00000013	<0.00000017	<0.00000016	<0.00000008	<0.00000029	<0.00000017
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<0.00000043	<0.00000043	<0.00000029	<0.00000038	<0.00000062	<0.00000032	<0.00000028	<0.00000035	<0.00000046	0.000092	<0.00000031
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<0.00000027	<0.00000031	<0.00000029	<0.00000038	<0.00000062	<0.00000032	<0.00000028	<0.00000035	<0.00000046	0.000027	<0.00000031
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.00000055	<0.00000039	<0.00000029	<0.00000038	<0.00000062	<0.00000032	<0.00000028	<0.00000035	<0.00000046	<0.00000087	<0.00000031
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<0.00000033	<0.00000040	<0.00000029	<0.00000038	<0.00000062	<0.00000032	<0.00000028	<0.00000035	<0.00000046	<0.00000087	<0.00000031
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.00000069	0.00000042	<0.00000042	0.0002	<0.000058	<0.000019	<0.00002	0.00025	<0.000017	0.00028	<0.000094
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.00000047	<0.00000046	<0.00000042	<0.00000064	<0.000058	<0.000019	<0.00002	<0.00000045	<0.000017	0.00015	<0.000094
OCDF	0.00000091	0.00000068	<0.00000097	0.0022	<0.000071	<0.000012	<0.00005	0.00025	<0.000018	0.0015	<0.000011
PCB-77	0.000015	0.000024	<0.00003	<0.00003	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.00003	<0.00005	<0.00003	<0.00001
PCB-81	0.00000073	0.00000098	<0.000005	<0.000005	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.000005	<0.00005	<0.000005	<0.00001
PCB-105	0.000055	0.000059	<0.0005	<0.0005	<0.000118	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.000118
PCB-114	<0.0000037	0.0000058	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.0001	<0.00002	<0.00008
PCB-118	0.00022	0.0002	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.0002	0.000316	<0.001	<0.00025	<0.001	<0.0005

Tuleva jätevesi µg/l

	HSY/ Viikinmäki	HSY/ Suomenoja	Jyväskylä: Nenäinniemi	Kuopio: Lehtoniemi	Kymen Vesi	Lappeenranta: Toikansuo	Oulu: Taskila	Pori: Luotsinmäki	Riihimäki: linja 1	Tampere: Vlinikanlaht	Turku: Kakolanmäki
PCB-123	<0.0000029	<0.0000028	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.0001	<0.00002	<0.00008
PCB-126	0.0000011	0.00000043	<0.000005	<0.000005	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.000005	<0.00005	<0.000005	<0.00001
PCB-156	0.000084	0.00005	0.0000514	0.0000379	<0.00008	<0.0002	<0.0001	0.000026	<0.0001	0.0000882	<0.00008
PCB-157	0.0000081	0.0000074	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.0001	<0.00002	<0.00008
PCB-167	0.000027	0.000017	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.0001	<0.00002	<0.00008
PCB-169	<0.0000002	<0.00000022	<0.000005	<0.000005	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.000005	<0.00005	<0.000005	<0.00001
PCB-189	0.000015	0.0000065	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.0001	<0.00002	<0.00008
TEQ (µg/l) ¹⁾	<1.59 · 10 ⁻⁵	<1.59 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	0	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	0
TEQ (µg/l) ²⁾	<1.59 · 10 ⁻⁵	<1.59 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵	2.58 · 10 ⁻⁵	<1.93 · 10 ⁻⁵

¹⁾ lower bound (alle määrittäysrajan jääneet tulokset on merkitty nollassi)

²⁾ upper bound (alle määrittäysrajan jääneet tulokset on merkitty määrittäysrajaksi)

Jos TEQ-summa on alle määrittäysrajan, tulos on merkitty < mr.

Dioksiinit ja dioksiinien kaltaiset aineet

Lähtevä jätevesi µg/l

	HSY/ Viikinmäki	HSY/ Suomenoja	Jyväskylä: Nenäinniemi	Kuopio: Lehtoniemi	Kymen Vesi	Lappeenranta: Oravaharju	Lappeenranta : Toikansuo	Oulu: Taskila	Pori: Luotsinmäki	Tampere: Vliikanlahti	Turku: Kakolanmäki
2,3,7,8-TCDD	<0.00000023	<0.00000016	<0.00000009	<0.00000011	<0.00000021	<0.0000001	<0.00000008	<0.00000029	<0.00000012	<0.00000024	<0.00000009
1,2,3,7,8-PeCDD	<0.00000033	<0.00000029	<0.00000015	<0.00000017	<0.00000035	<0.00000013	<0.00000011	<0.00000027	<0.00000013	<0.00000002	<0.00000012
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0.00000052	<0.00000045	<0.00000033	<0.00000027	<0.00000048	<0.00000034	<0.00000034	<0.00000015	<0.00000034	<0.00000027	<0.00000003
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<0.00000049	<0.00000004	<0.00000033	<0.00000027	<0.00000048	<0.00000034	<0.00000034	<0.00000015	<0.00000034	<0.00000027	<0.00000003
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<0.00000047	<0.00000041	<0.00000033	<0.00000027	<0.00000048	<0.00000034	<0.00000034	<0.00000015	<0.00000034	<0.00000027	<0.00000003
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<0.00000056	0.00000047	<0.00000072	<0.00000095	<0.00000025	<0.00000066	<0.00000082	<0.00000012	<0.00000039	<0.00000064	<0.00000043
OCDD	<0.0000001	0.0000003	<0.00000011	<0.00000032	<0.00000018	<0.0000001	<0.00000015	<0.00000022	<0.00000001	<0.00000071	<0.00000064
2,3,7,8-TCDF	<0.00000014	<0.00000013	<0.00000011	<0.00000014	<0.00000056	<0.00000009	<0.00000007	<0.00000013	<0.00000011	<0.00000016	<0.00000012
1,2,3,7,8-PeCDF	<0.00000014	<0.00000013	<0.00000015	<0.00000018	<0.00000026	<0.00000013	<0.00000011	<0.00000007	<0.00000014	<0.00000014	<0.00000013
2,3,4,7,8-PeCDF	<0.00000019	<0.00000018	<0.00000015	<0.00000018	<0.00000026	<0.00000013	<0.00000011	<0.00000007	<0.00000014	<0.00000014	<0.00000013
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<0.00000043	<0.00000043	<0.00000029	<0.00000032	<0.00000003	<0.00000032	<0.00000033	<0.00000012	<0.00000003	<0.00000021	<0.00000036
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<0.00000029	<0.00000026	<0.00000029	<0.00000032	<0.00000003	<0.00000032	<0.00000033	<0.00000012	<0.00000003	<0.00000021	<0.00000036
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0.00000033	<0.00000028	<0.00000029	<0.00000032	<0.00000003	<0.00000032	<0.00000033	<0.00000012	<0.00000003	<0.00000021	<0.00000036
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<0.00000042	<0.00000032	<0.00000029	<0.00000032	<0.00000003	<0.00000032	<0.00000033	<0.00000012	<0.00000003	<0.00000021	<0.00000036
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<0.00000056	<0.00000056	<0.00000068	<0.00000054	<0.00000031	<0.00000001	<0.00000016	<0.00000035	<0.00000027	<0.00000083	<0.00000054
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<0.00000039	<0.00000031	<0.00000068	<0.00000054	<0.00000031	<0.00000001	<0.00000016	<0.00000035	<0.00000027	<0.00000083	<0.00000054
OCDF	<0.00000011	<0.00000011	<0.00000041	<0.00000012	<0.00000014	<0.00000086	<0.00000012	<0.00000046	<0.00000032	<0.00000075	<0.00000066
PCB-77	<0.0000003	0.00000051	<0.00000003	<0.00000003	<0.00000001	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000003	<0.00000003	0.00000457
PCB-81	<0.00000013	0.00000002	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000001	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000005	<0.00000001
PCB-105	<0.00000065	0.00000012	<0.00000005	<0.00000005	<0.000000118	<0.00000002	<0.00000002	<0.00000001	<0.00000005	<0.00000005	0.00000504
PCB-114	<0.00000017	<0.00000023	<0.00000002	<0.00000002	<0.00000008	<0.00000002	<0.00000002	<0.00000001	<0.00000002	<0.00000002	<0.00000008
PCB-118	0.00000021	0.00000036	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.0002	<0.0002	0.000342	<0.001	<0.001	0.00175

Lähtevä jätevesi µg/l

	HSY/ Viikinmäki	HSY/ Suomenoja	Jyväskylä: Nenäinniemi	Kuopio: Lehtoniemi	Kymen Vesi	Lappeenranta: Oravaharju	Lappeenranta : Toikansuo	Oulu: Taskila	Pori: Luotsinmäki	Tampere: Vliinkanlahti	Turku: Kakolanmäki
PCB-123	<0.0000014	<0.000002	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.00002	<0.00008
PCB-126	<0.00015	<0.000000095	<0.000005	<0.000005	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.000005	<0.000005	<0.00001
PCB-156	0.000003	0.0000061	0.0000514	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0002	<0.0001	0.0000211	<0.00002	<0.00008
PCB-157	<0.0000013	<0.000001	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.00002	<0.00008
PCB-167	<0.0000013	0.0000017	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.00002	<0.00008
PCB-169	<0.00000017	<0.00000017	<0.000005	<0.000005	<0.00001	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.000005	<0.000005	<0.00001
PCB-189	<0.0000007	<0.0000008	<0.00002	<0.00002	<0.00008	<0.0002	<0.0002	<0.0001	<0.00002	<0.00002	<0.00008
TEQ₁ (µg/l)	<1.59 · 10⁻⁵	<1.59 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	0	0	0	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	0	<1.93 · 10⁻⁵
TEQ₂ (µg/l)	1.6 · 10⁻⁵	<1.59 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	6.6 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵	<1.93 · 10⁻⁵

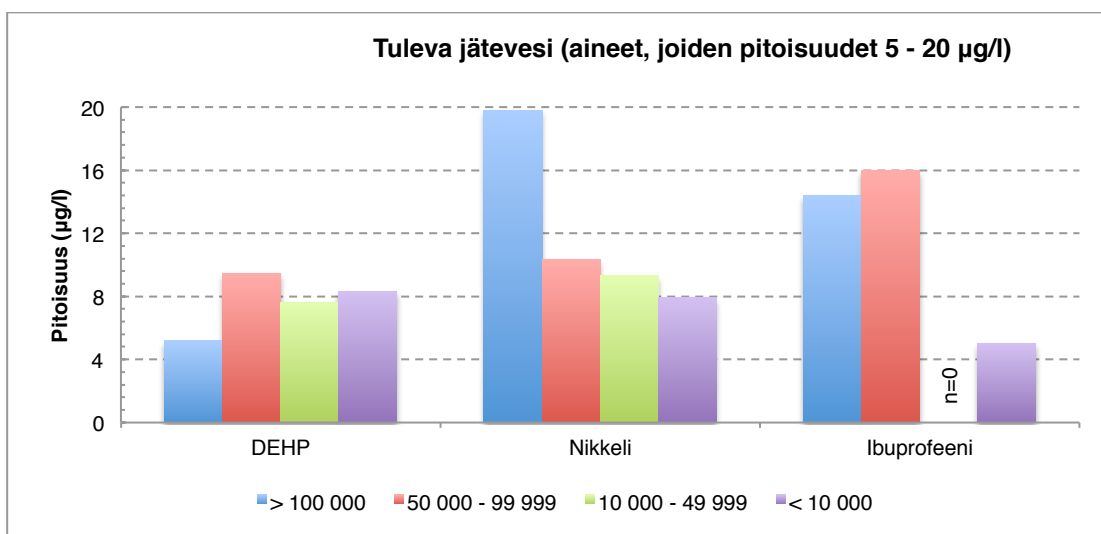
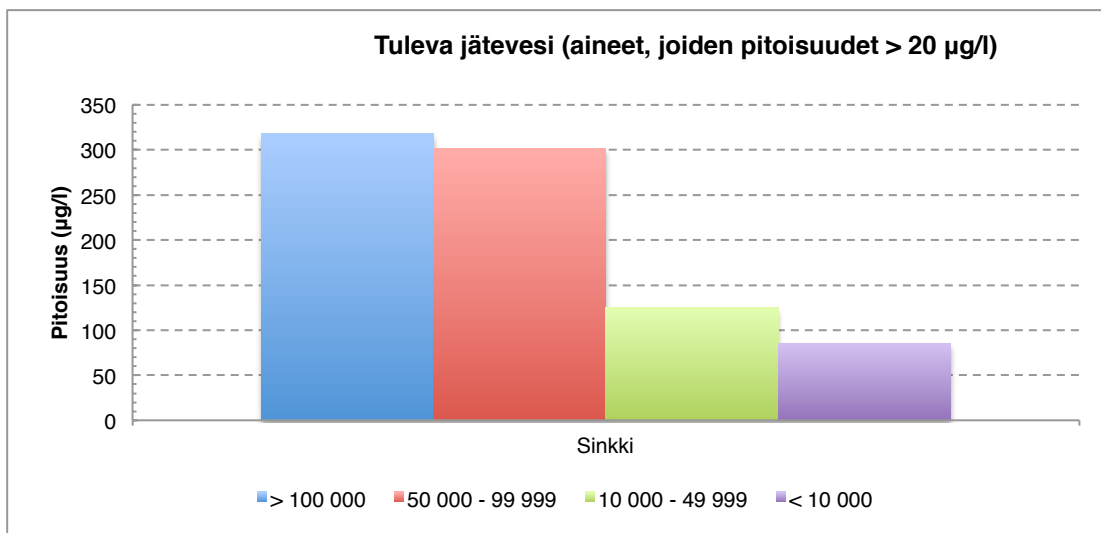
¹⁾ lower bound (alle määrittäysrajan jääneet tulokset on merkitty nollassi)

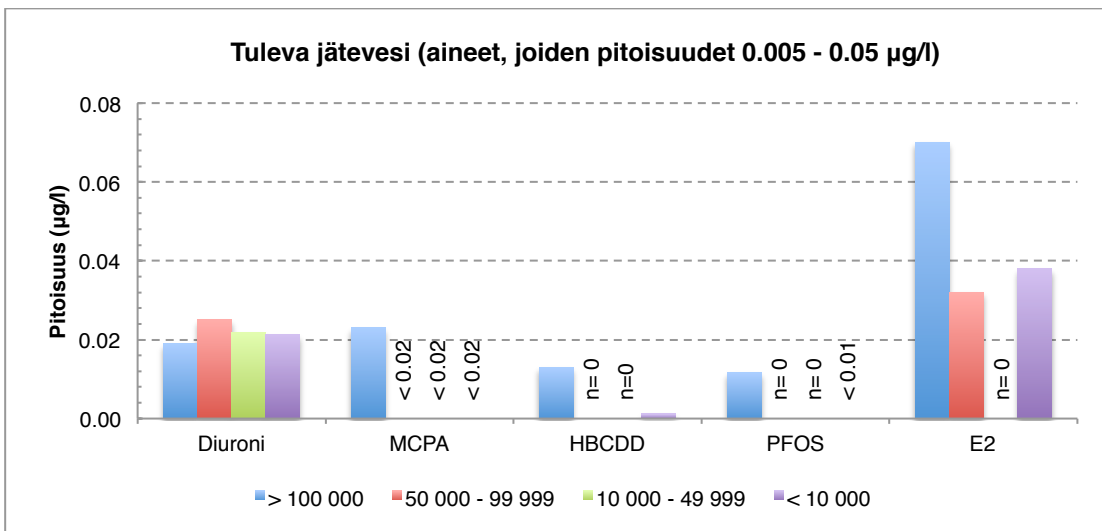
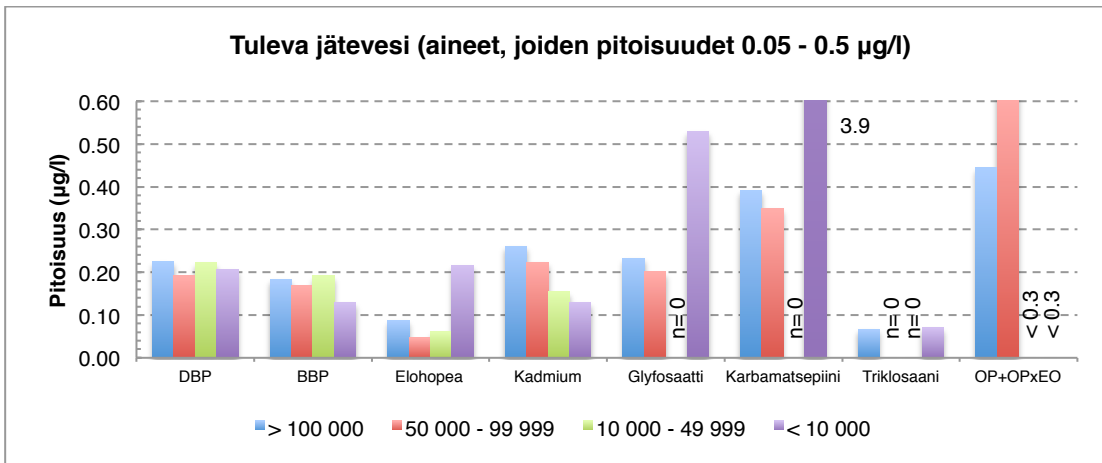
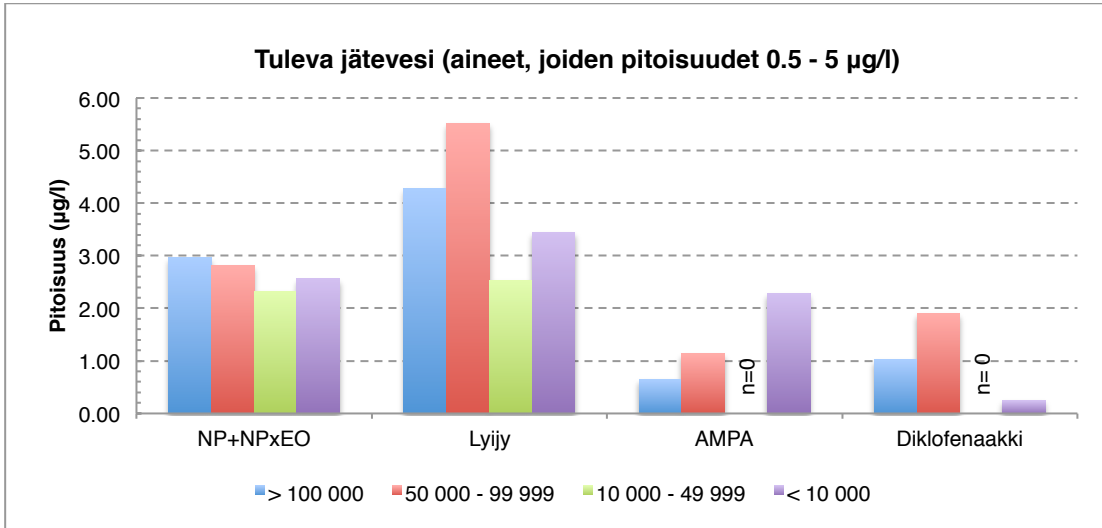
²⁾ upper bound (alle määrittäysrajan jääneet tulokset on merkitty määrittäysrajaksi)

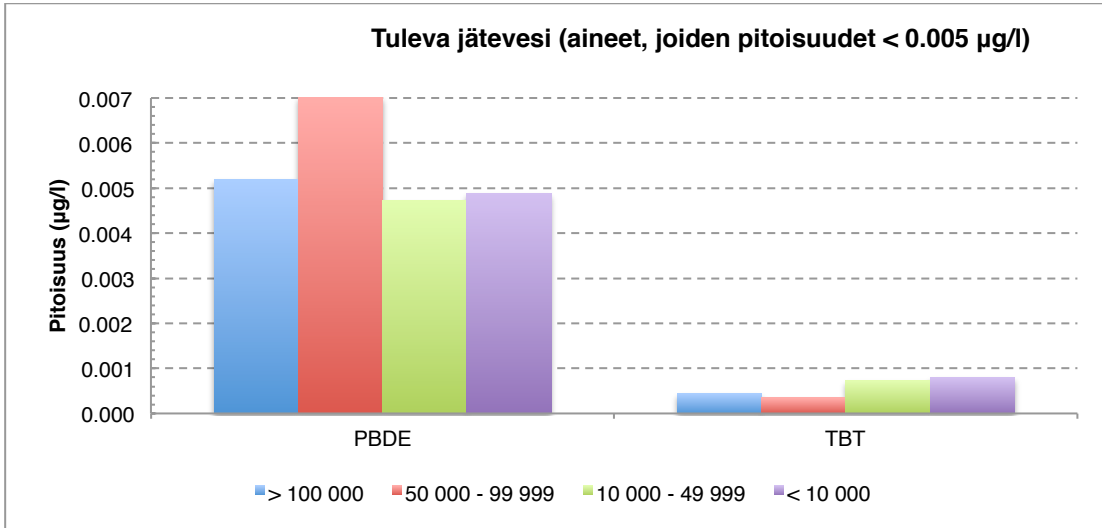
TEQ laskettu WHO 2005 mukaisesti.

LIITE 4. HAITTA-AINEIDEN PITOISUUDET JÄTEVEDESSÄ JAOTELTUNA PUHDISTAMON KOON MUKAAN

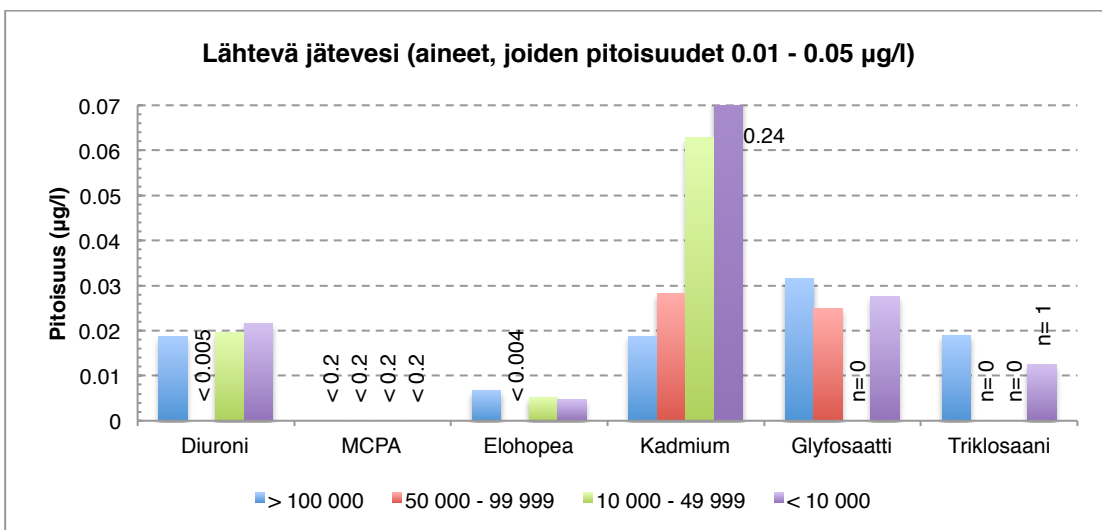
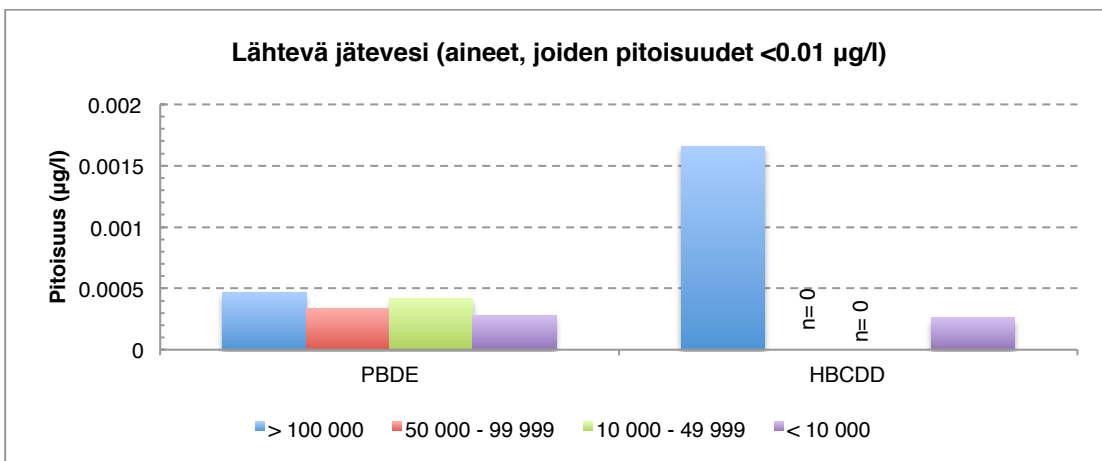
Jaottelu luokkiin > 100 000 AVL (11 kpl), 50 000 – 99 999 AVL (7 kpl), 10 000 – 49 999 AVL (35 kpl) ja < 10 000 AVL (11 kpl).

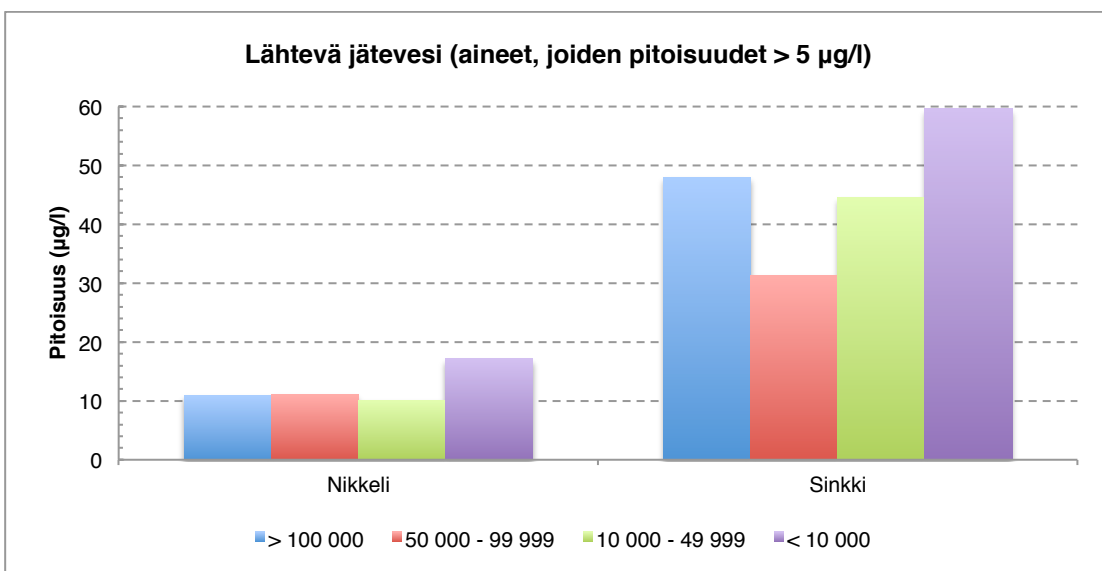
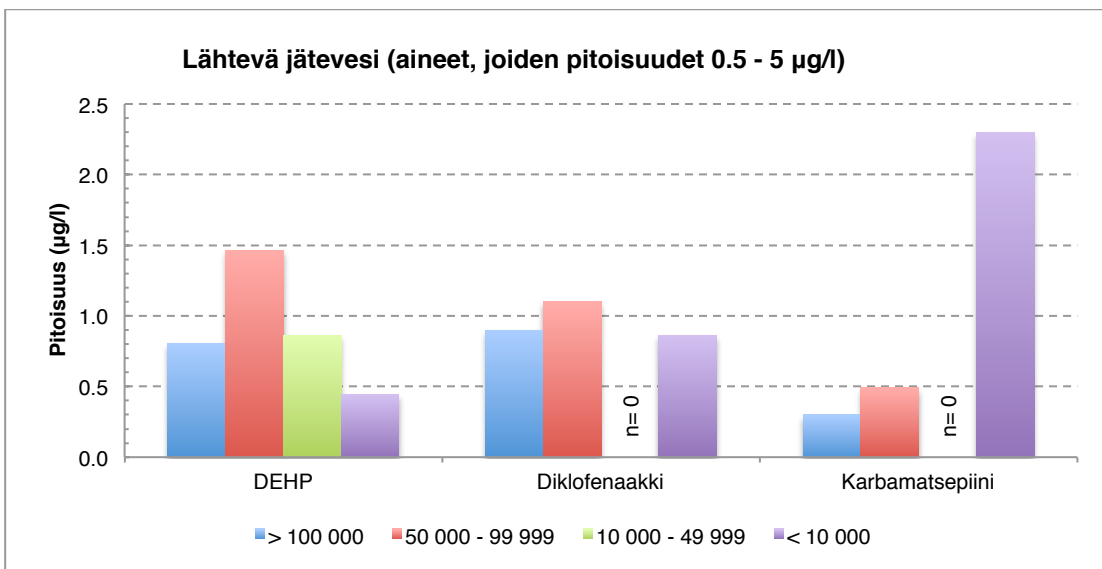
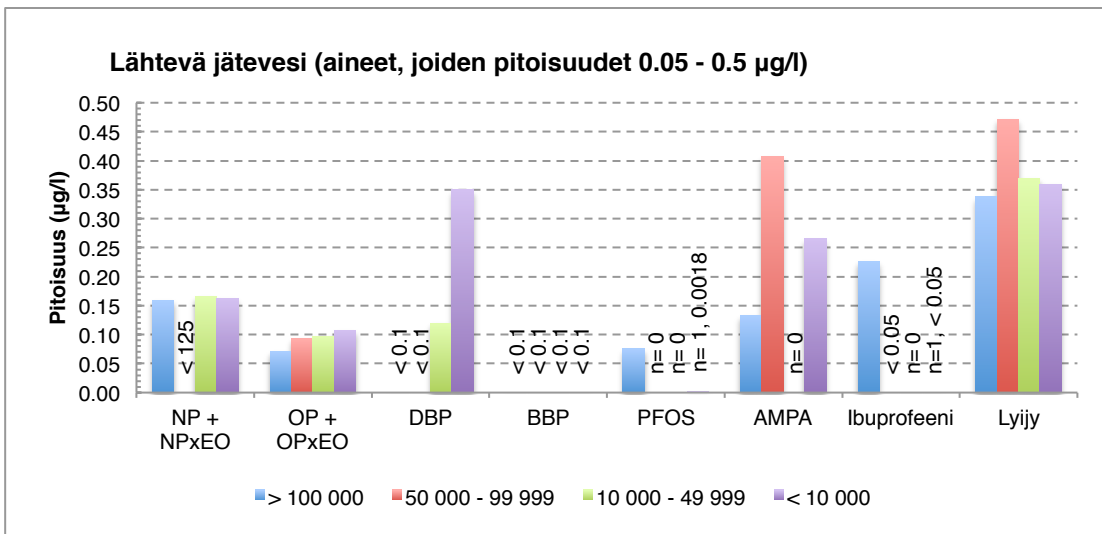




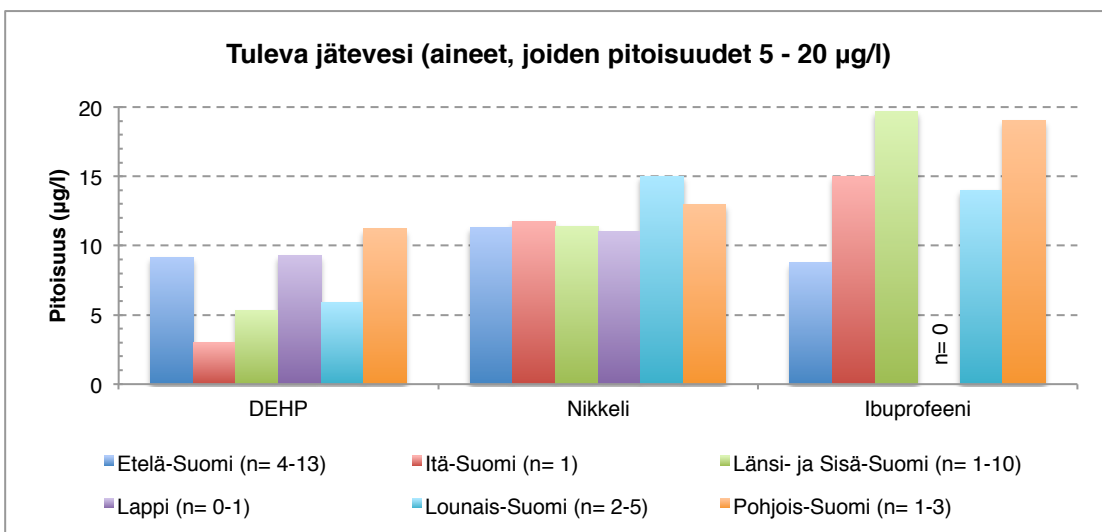
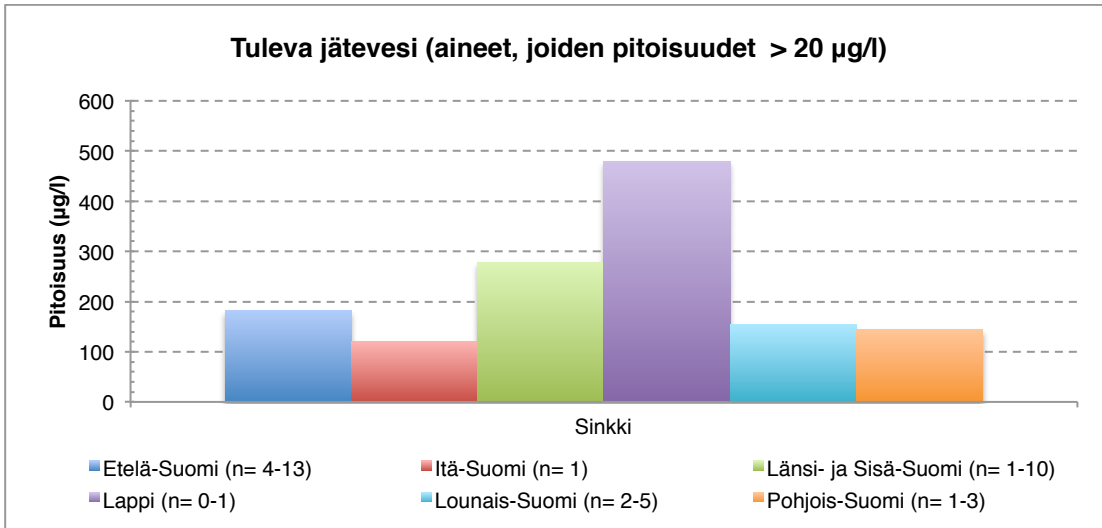


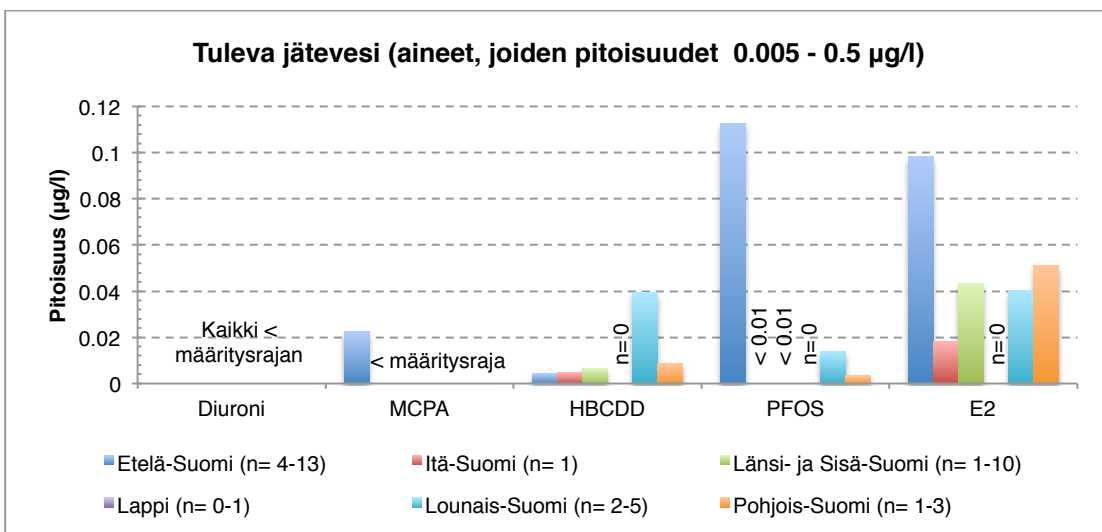
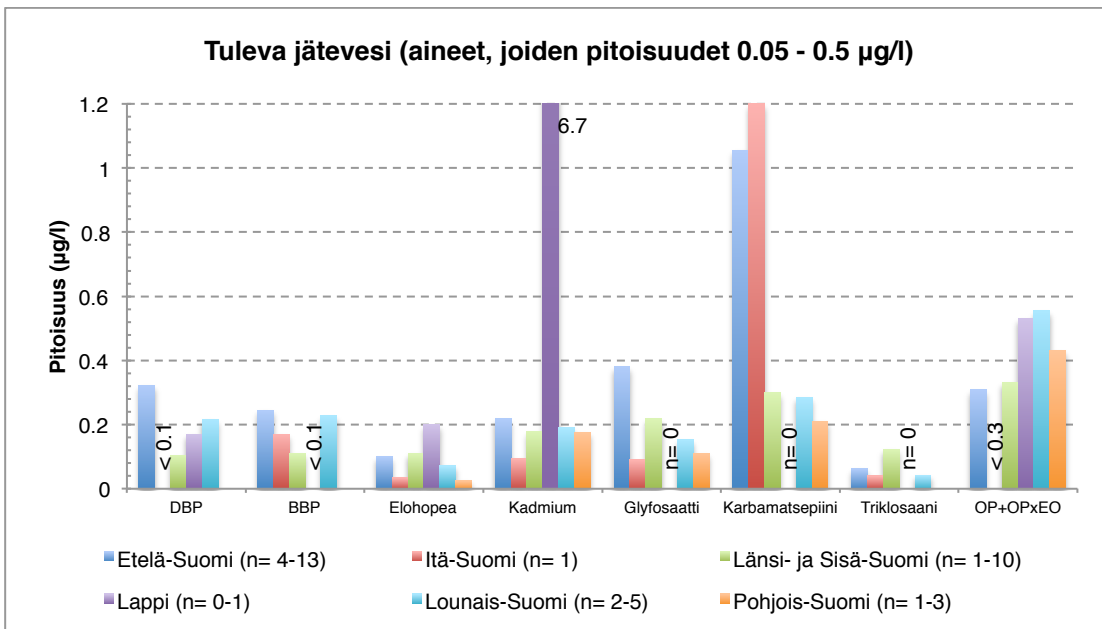
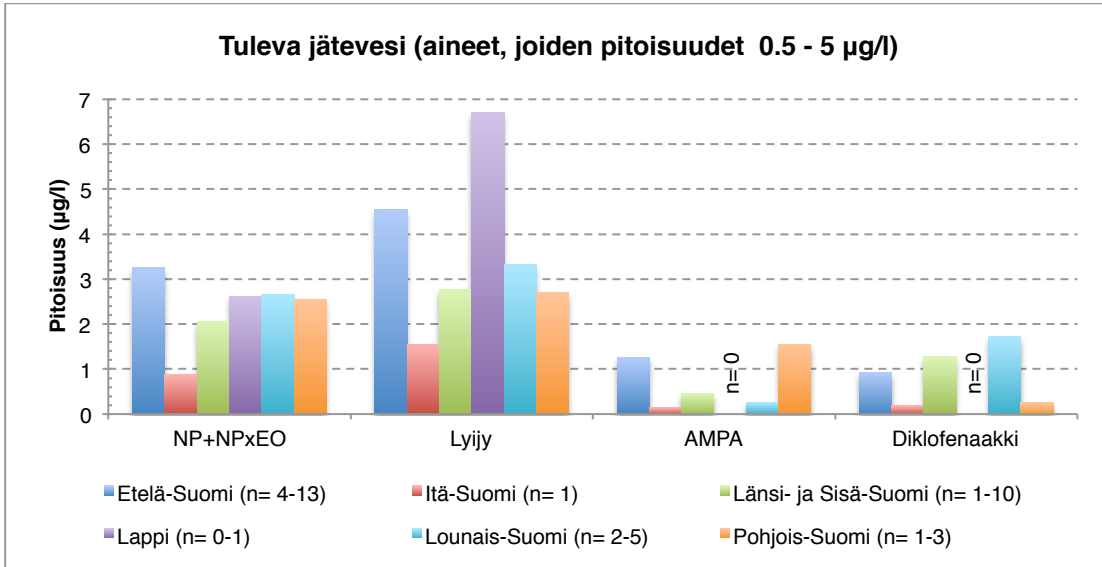
Haitta-aineiden pitoisuudet lähtevässä jätevedessä jaoteltuna puhdistamon koon (AVL= asukasvastineluku) mukaan. Jaottelu luokkiin > 100 000 AVL (11 kpl), 50 000 – 99 999 AVL (7 kpl), 10 000 – 49 999 AVL (35 kpl) ja < 10 000 AVL (11 kpl).

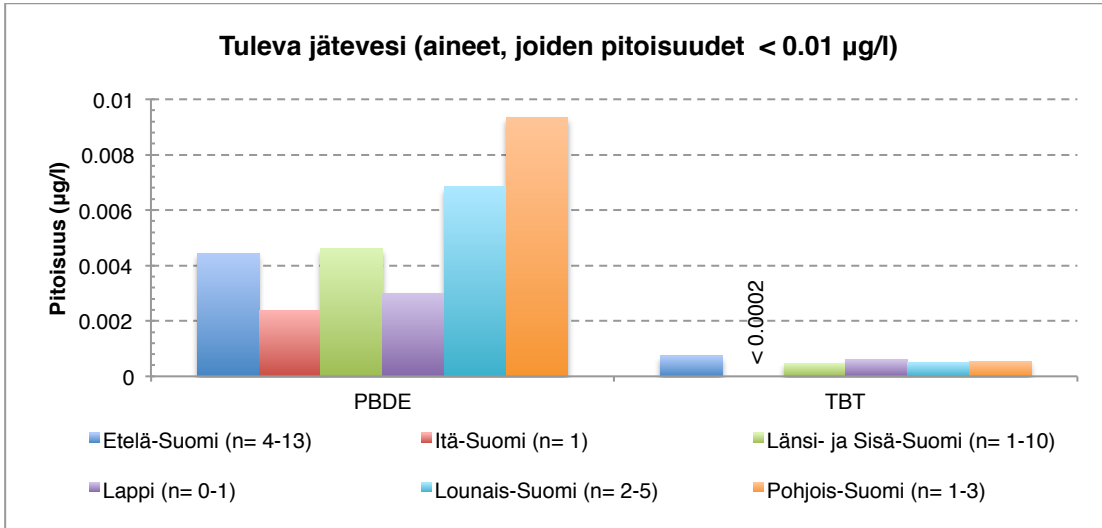




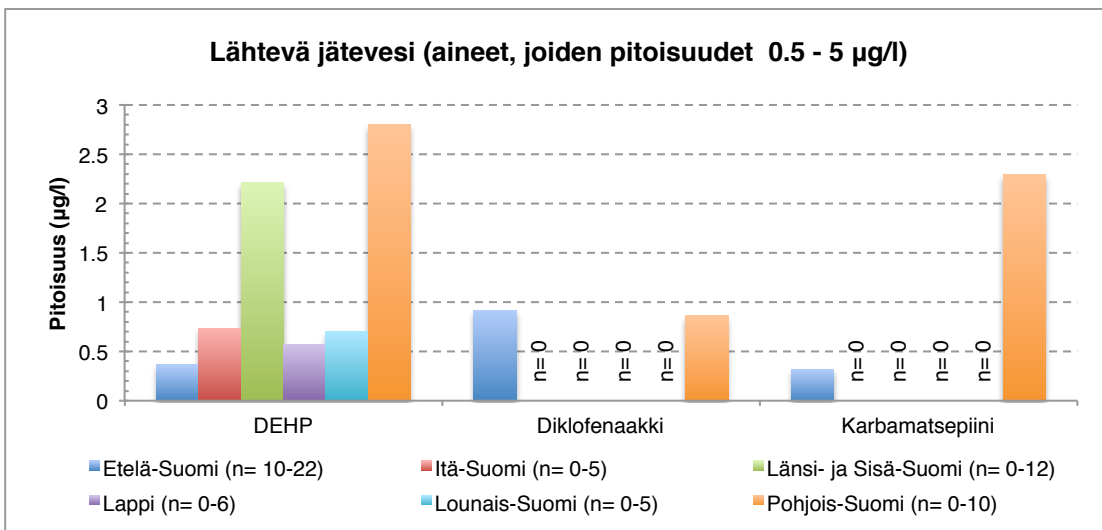
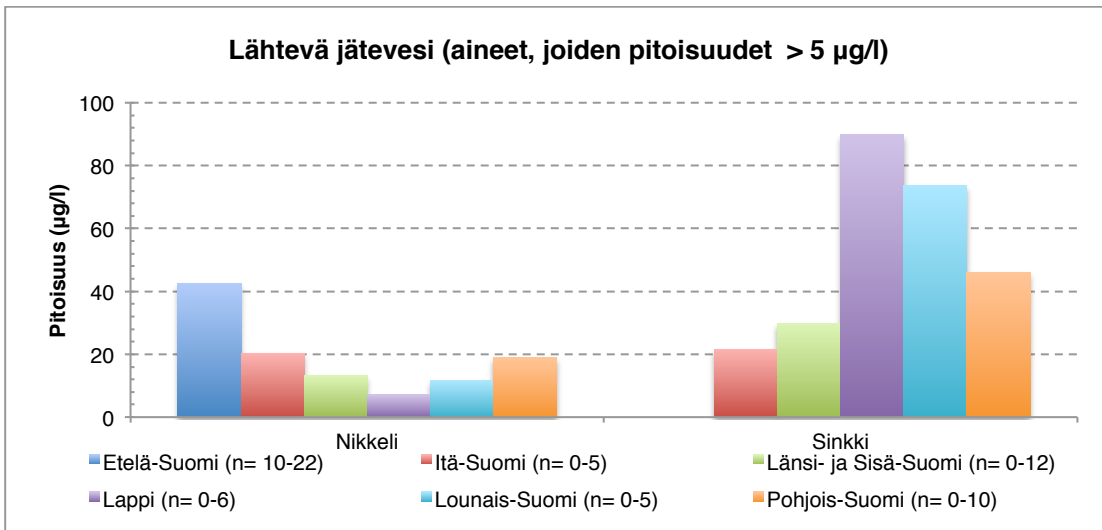
LIITE 5. HAITTA-AINEIDEN PITOISUUDET JÄTEVEDESSÄ JAOTELTUNA PUHDISTAMON MAANTIETEELLISEN SIJAINNIN MUKAAN LUOKKIIN

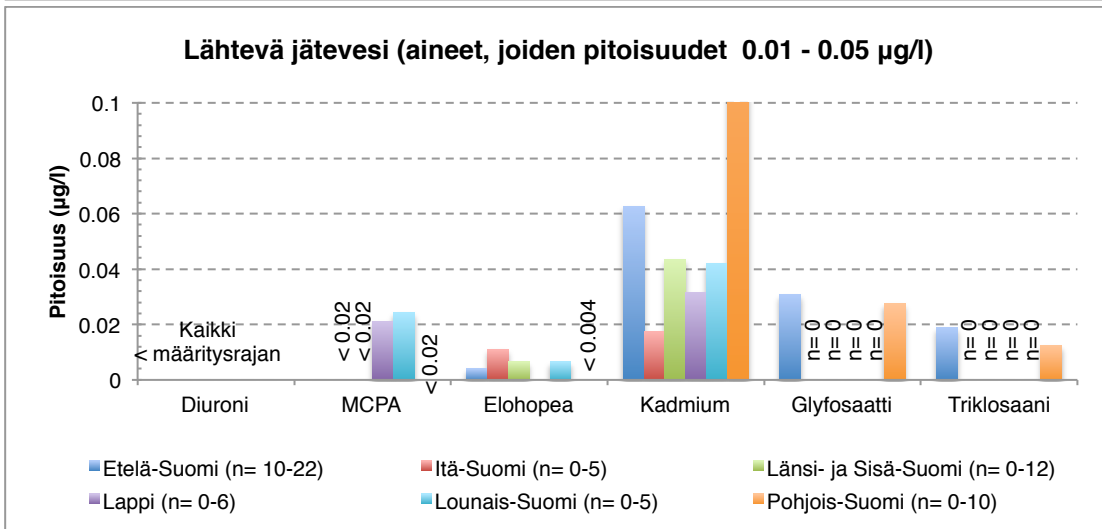
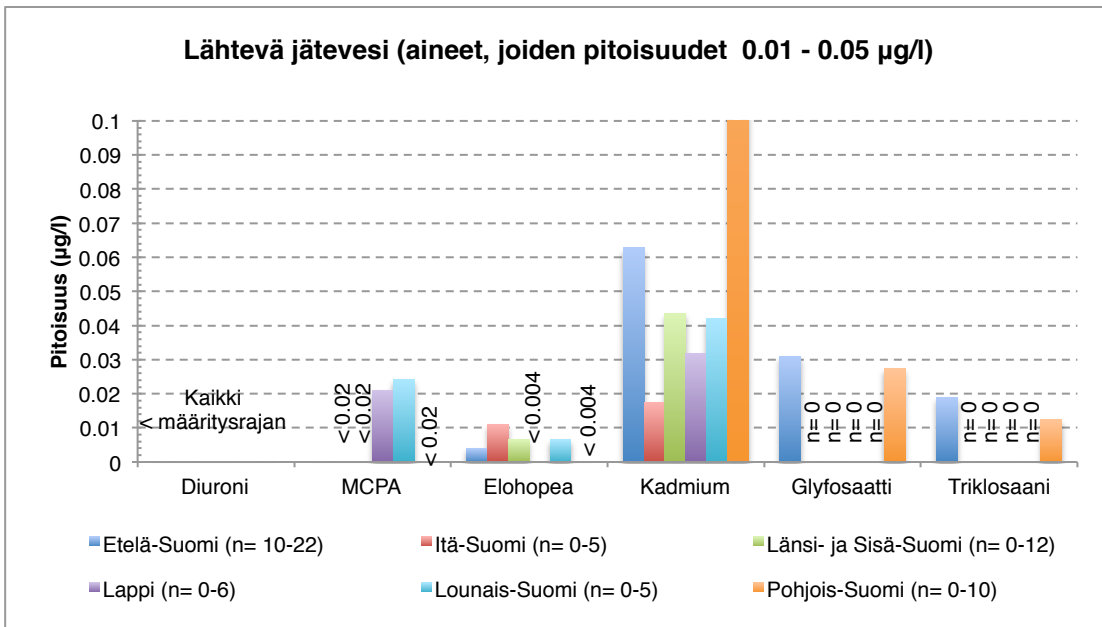
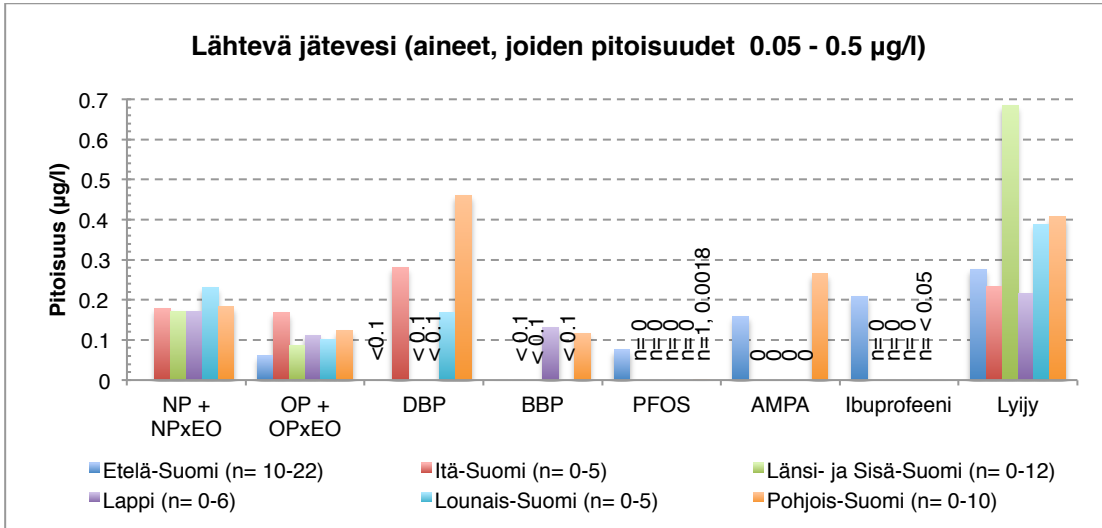




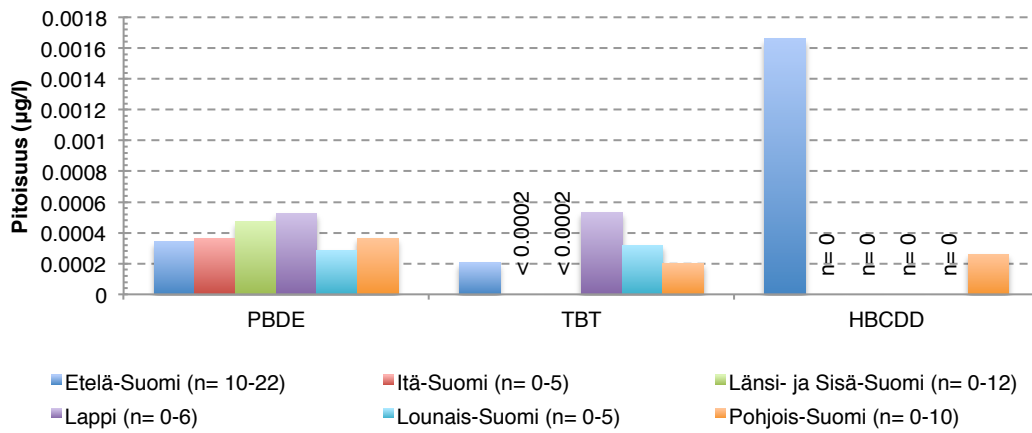


Haitta-aineiden pitoisuudet lähtevässä jätevedessä puhdistamon maantieteellisen sijainnin perusteella.

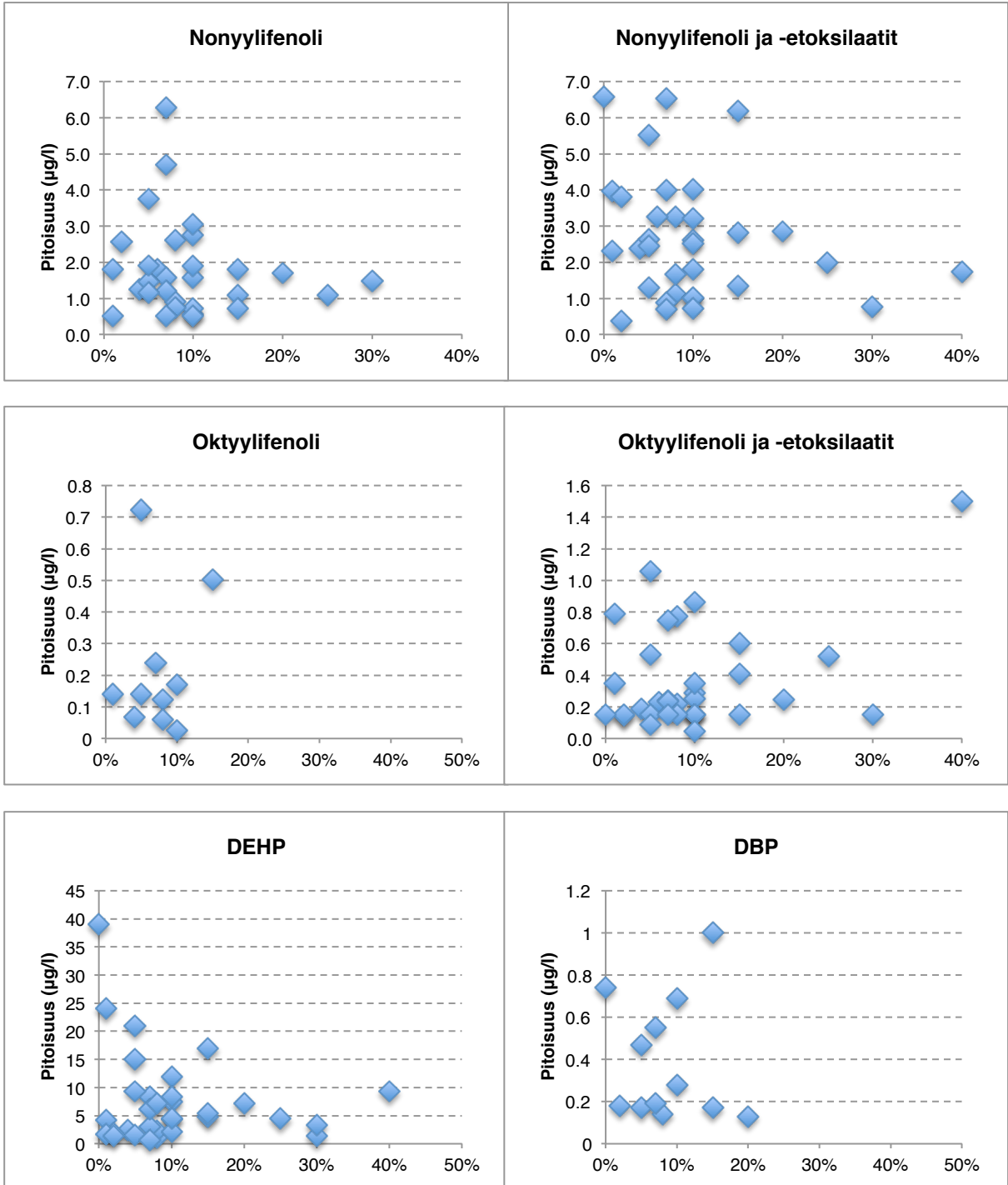


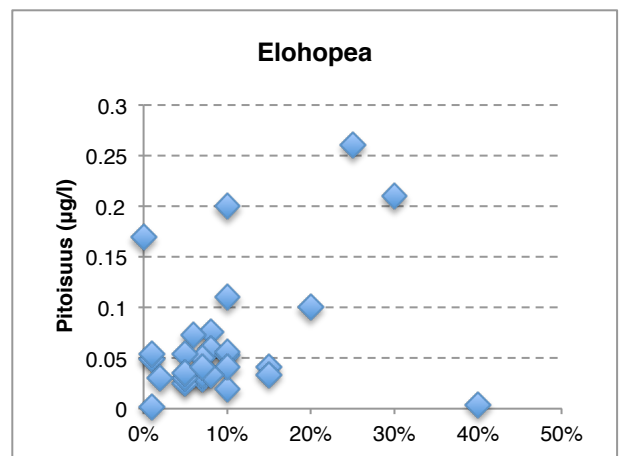
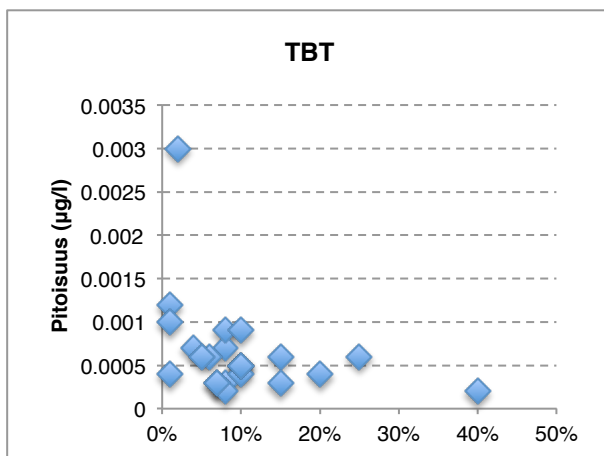
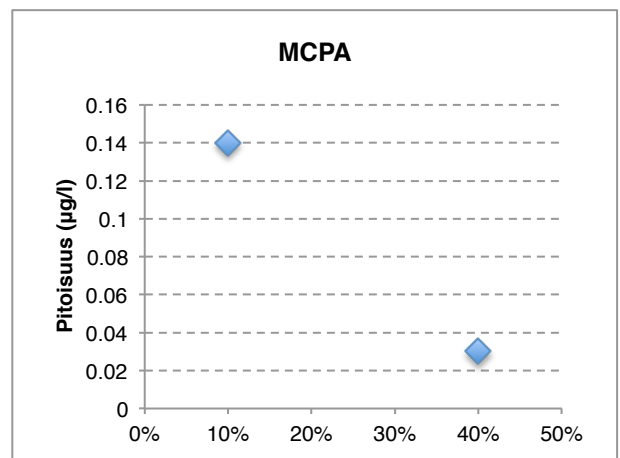
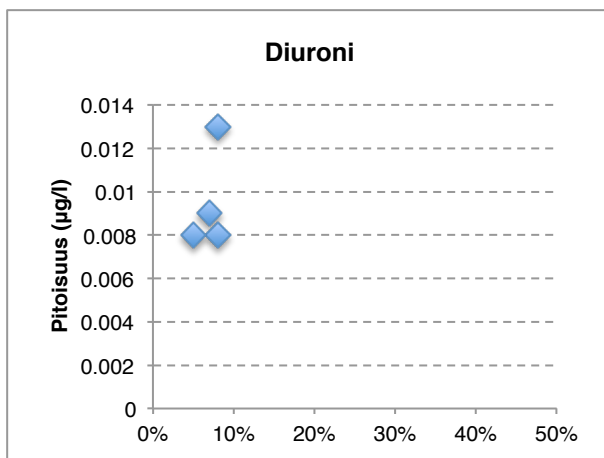
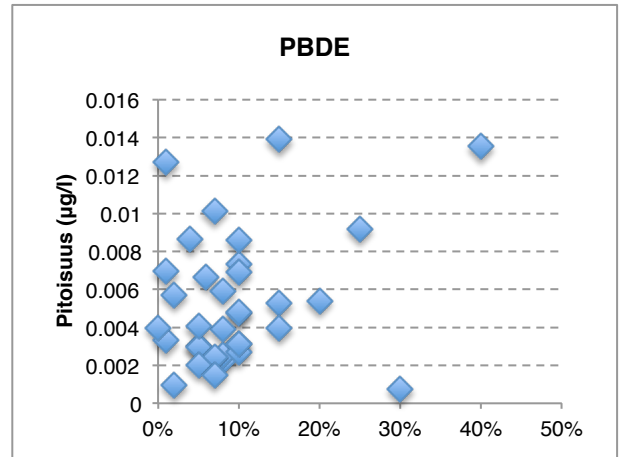
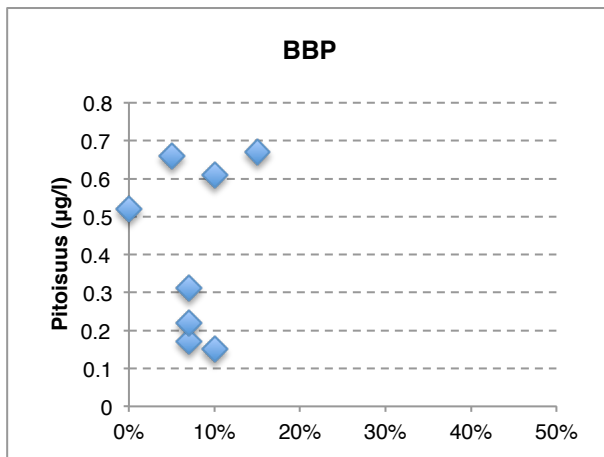


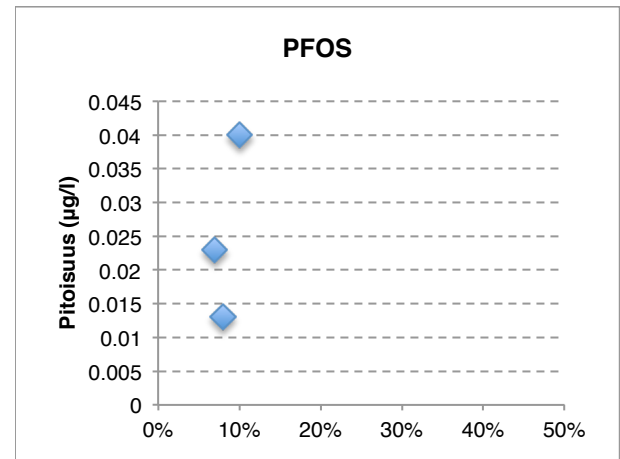
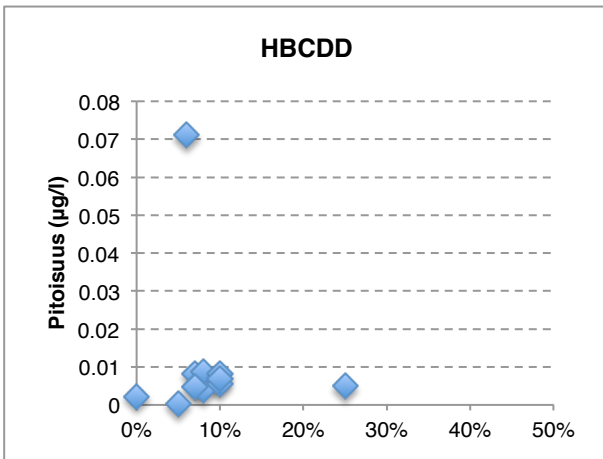
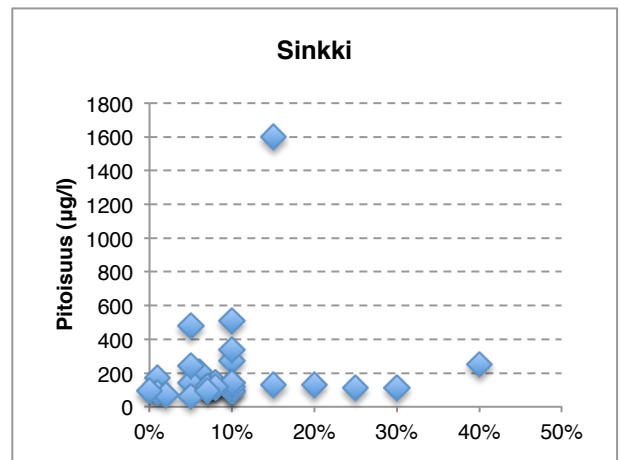
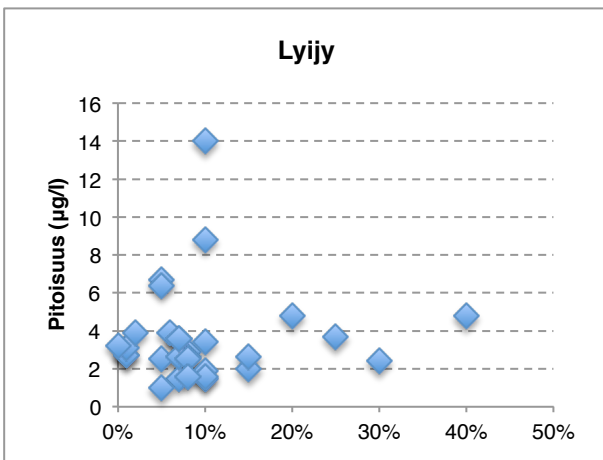
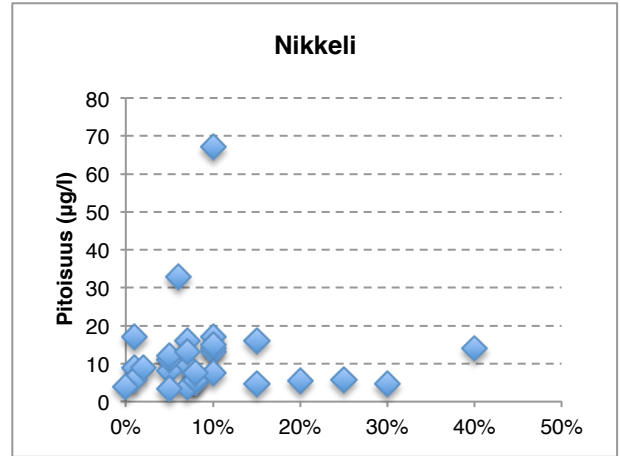
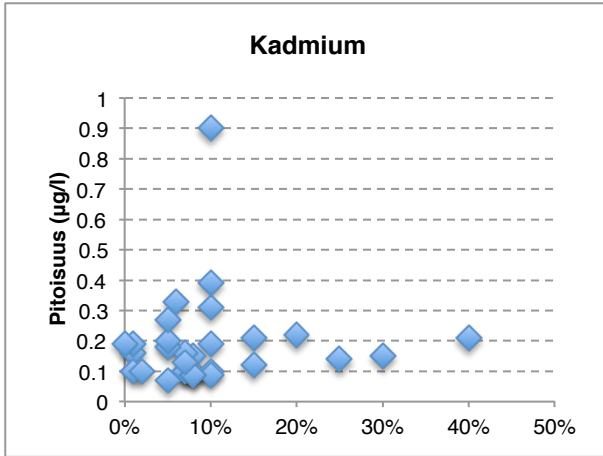
Lähtevä jätevesi (aineet, joiden pitoisuudet < 0.01 µg/l)

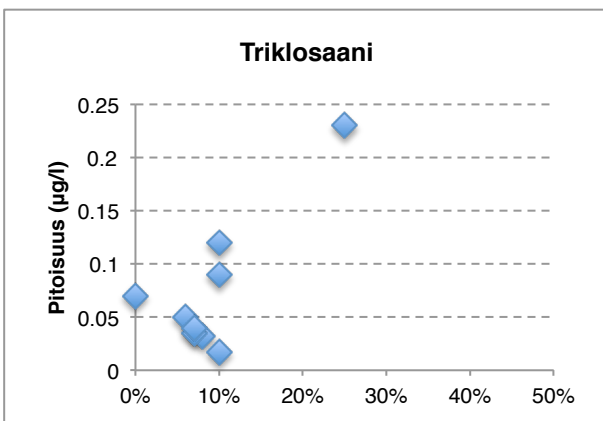
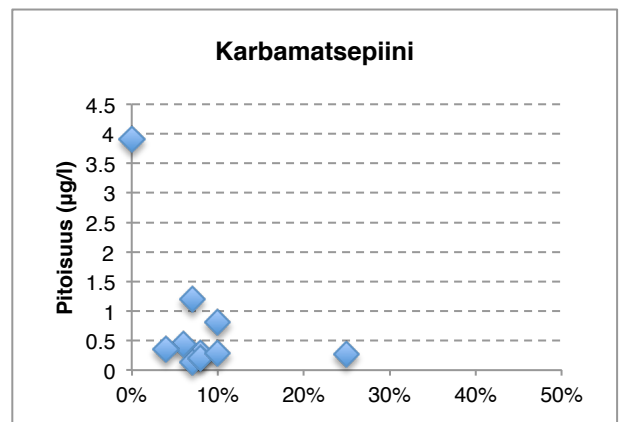
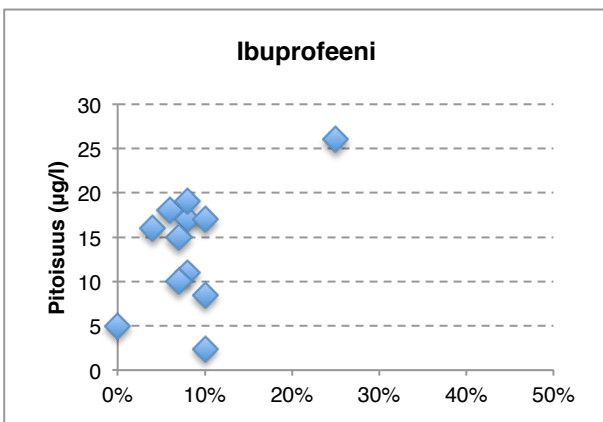
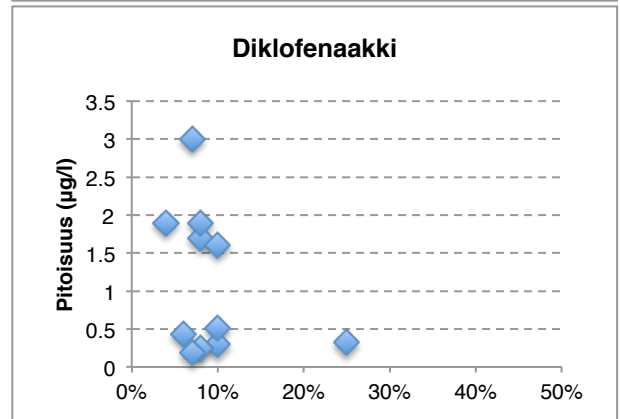
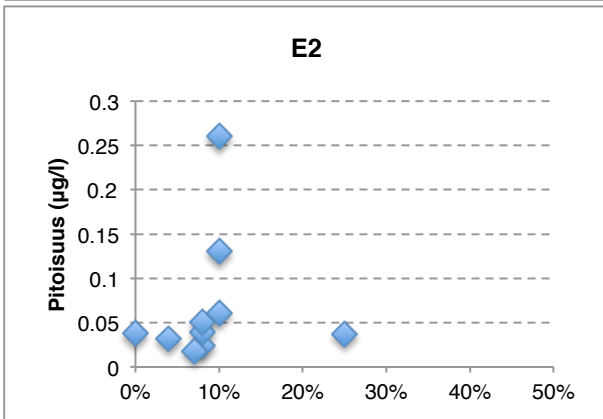
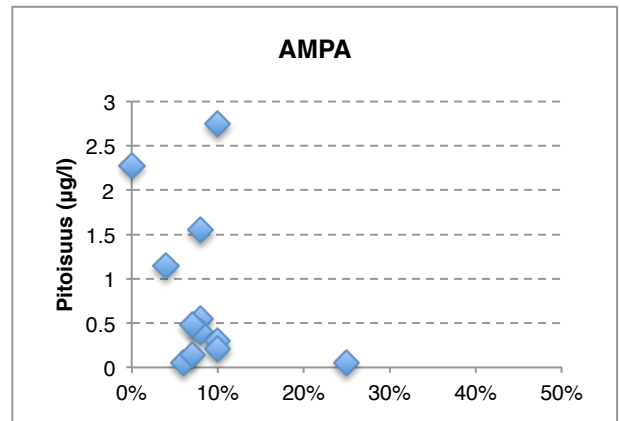
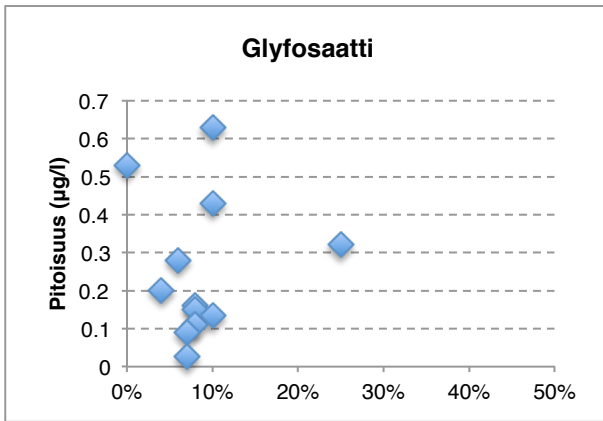


**LIITE 6. TULEVAN JÄTEVEDEN TULOKSET VERRATTUNA
PUHDISTAMOJEN ILMOITTAMAAN
TEOLLISUUSJÄTEVESIEN OSUUTEEN
KOKONAISVIRTAAMASTA**

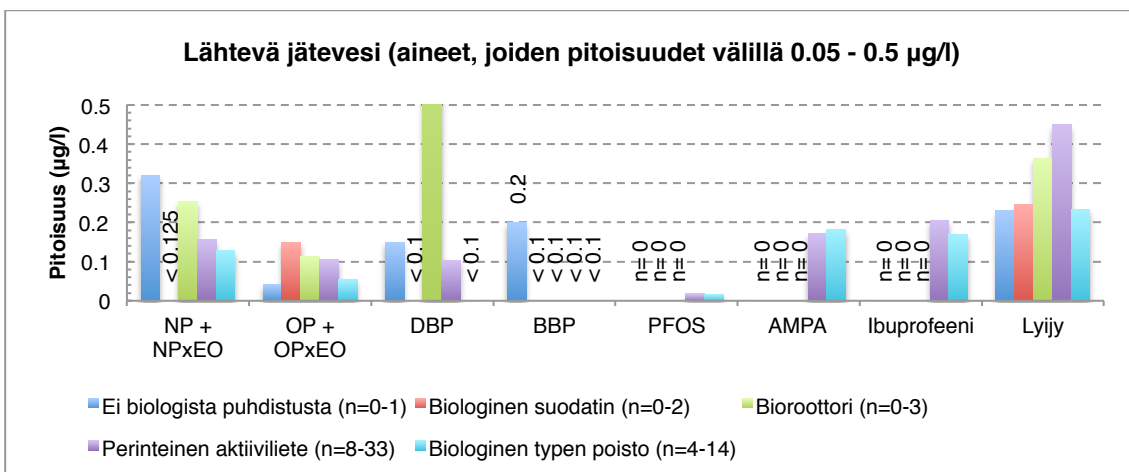
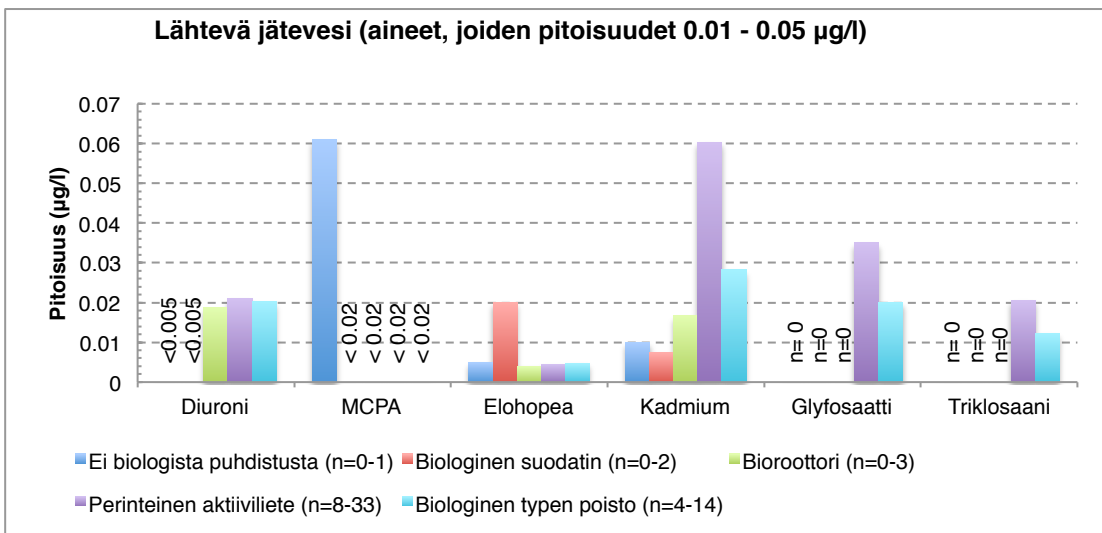
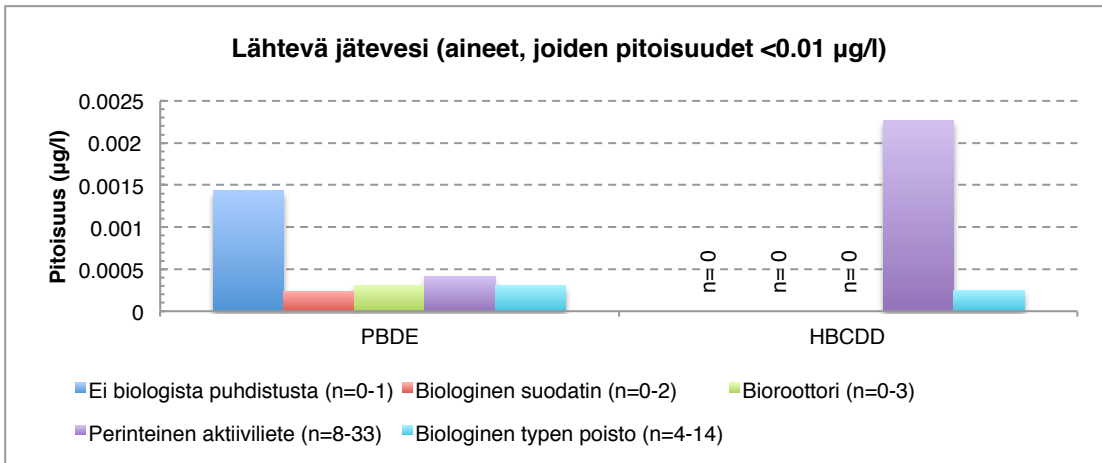


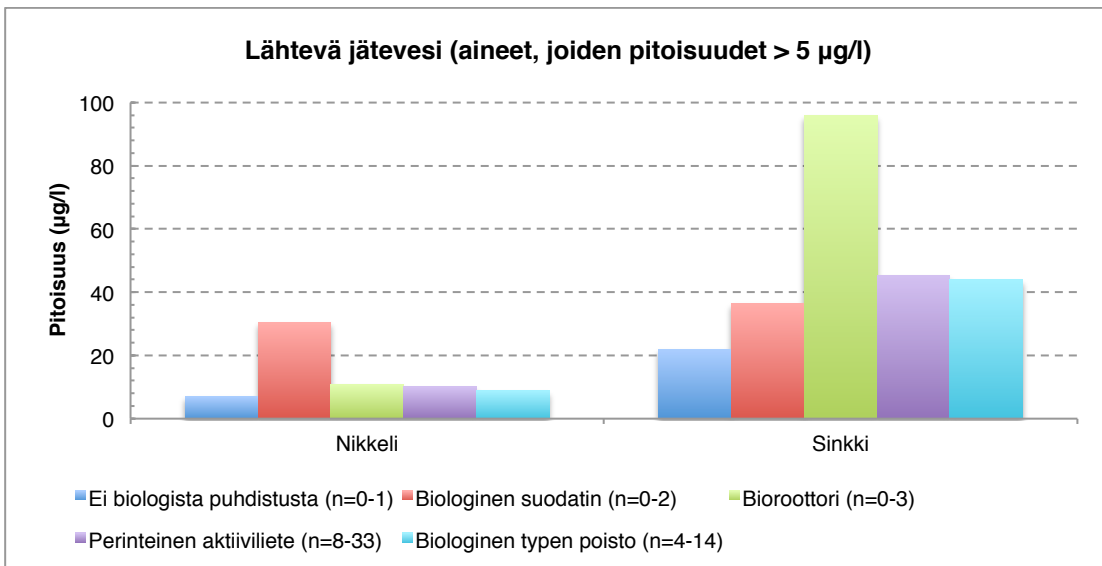
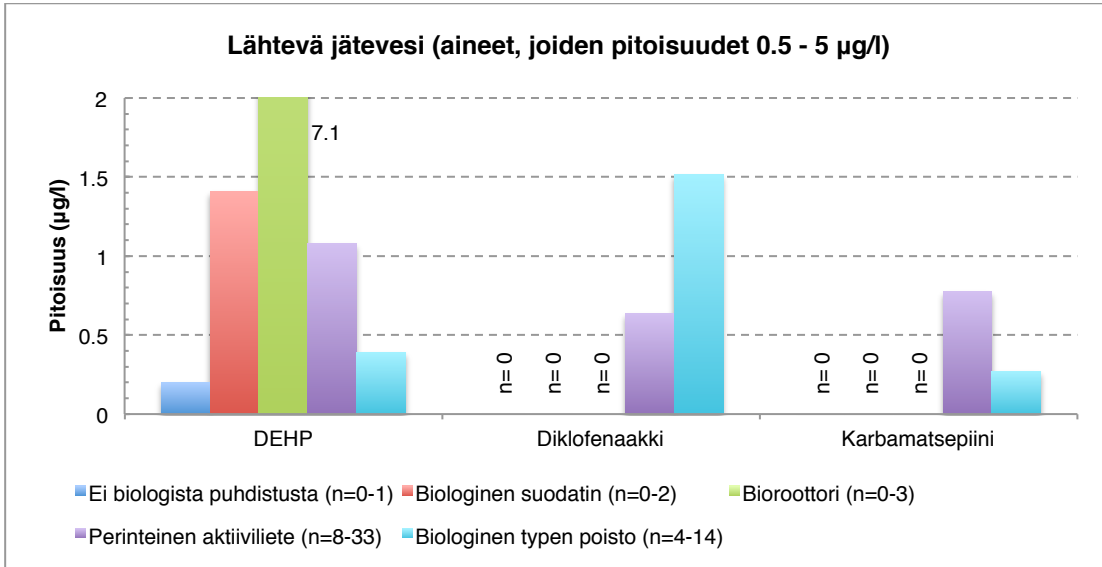




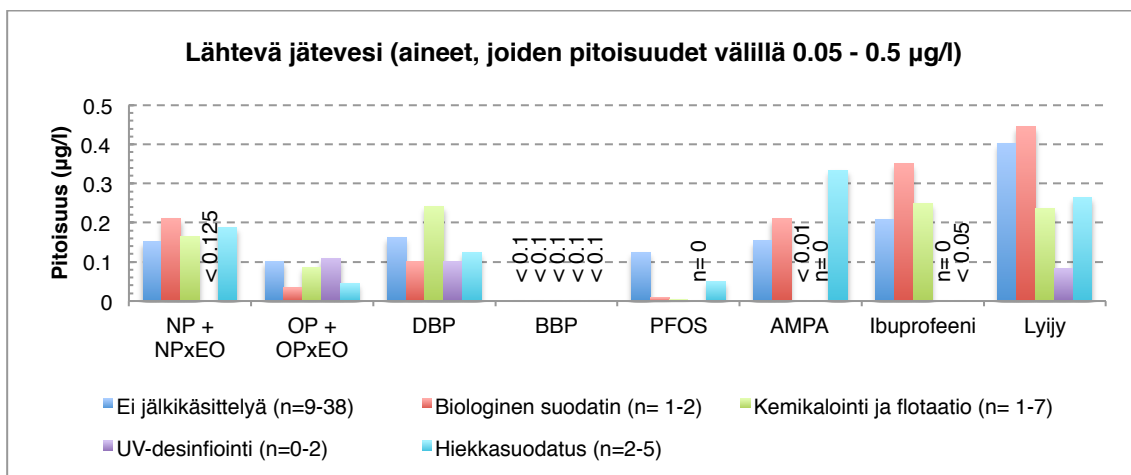
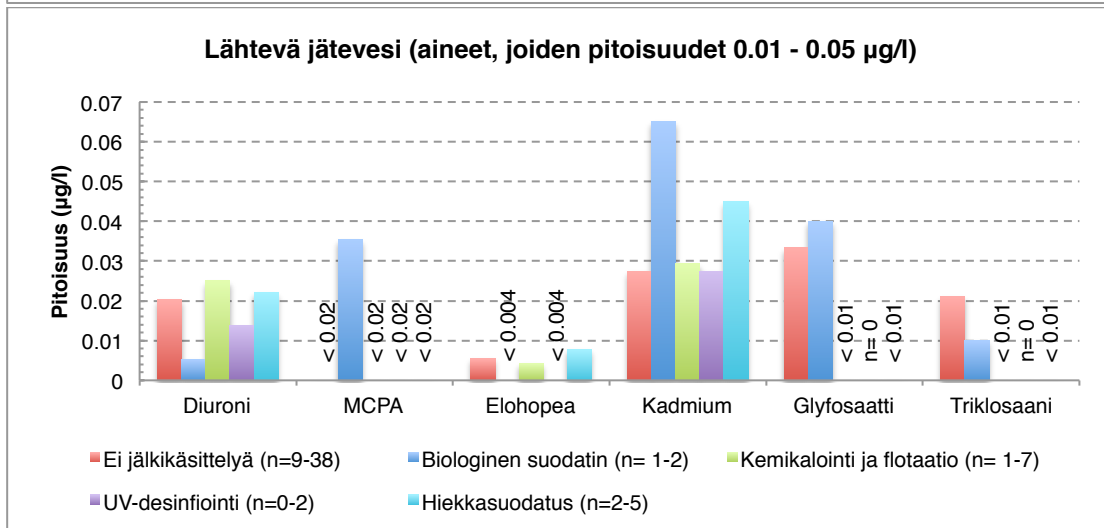
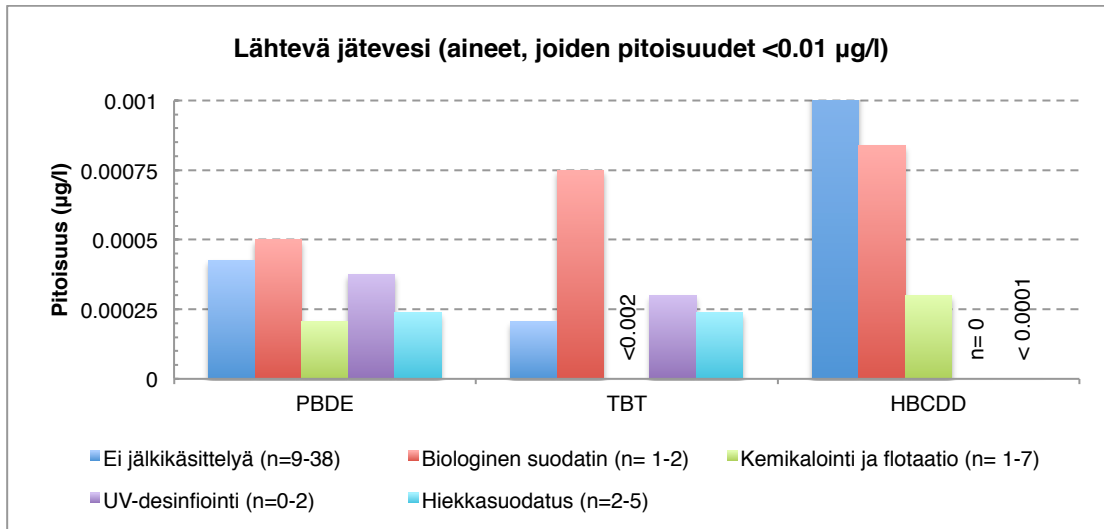


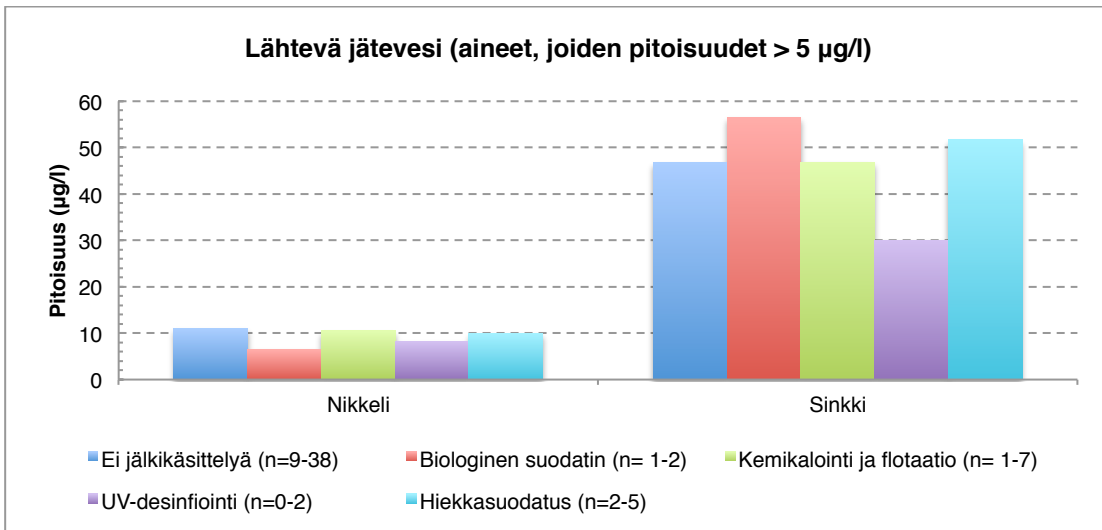
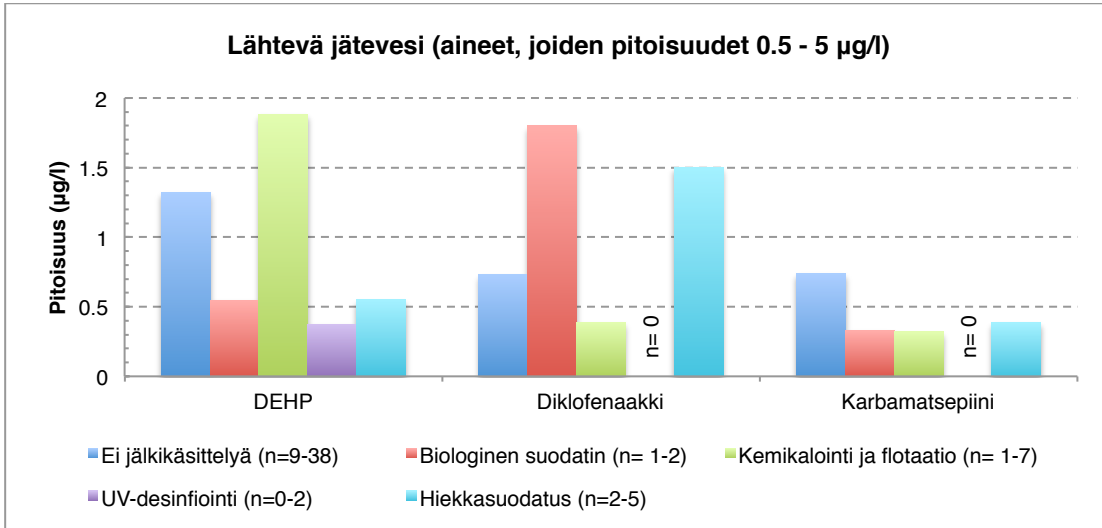
LIITE 7. BIOLOGISEN PUHDISTUSMENETELMÄN VAIKUTUS AINEIDEN PITOISUUKSIIN LÄHTEVÄSSÄ JÄTEVEDESSÄ





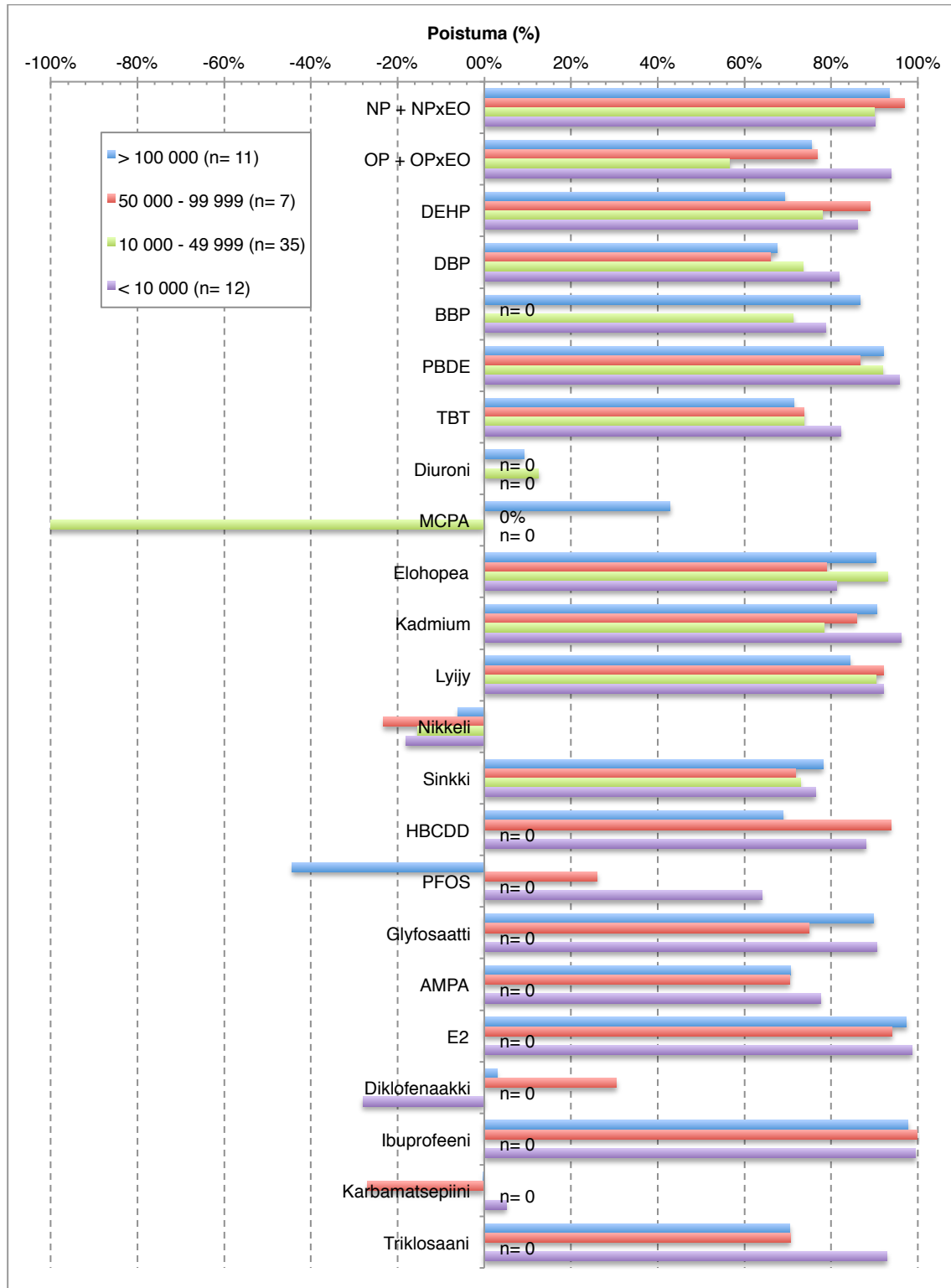
LIITE 8. PUHDISTAMOLLA KÄYTÖSSÄ OLEVAN BIOLOGISEN PUHDISTUKSEN JA LIETTEENEROTUKSEN JÄLKEISEN PUHDISTUSMENETELMÄN VAIKUTUS AINEIDEN PITOISUUKSIIN LÄHTEVÄSSÄ JÄTEVEDESSÄ





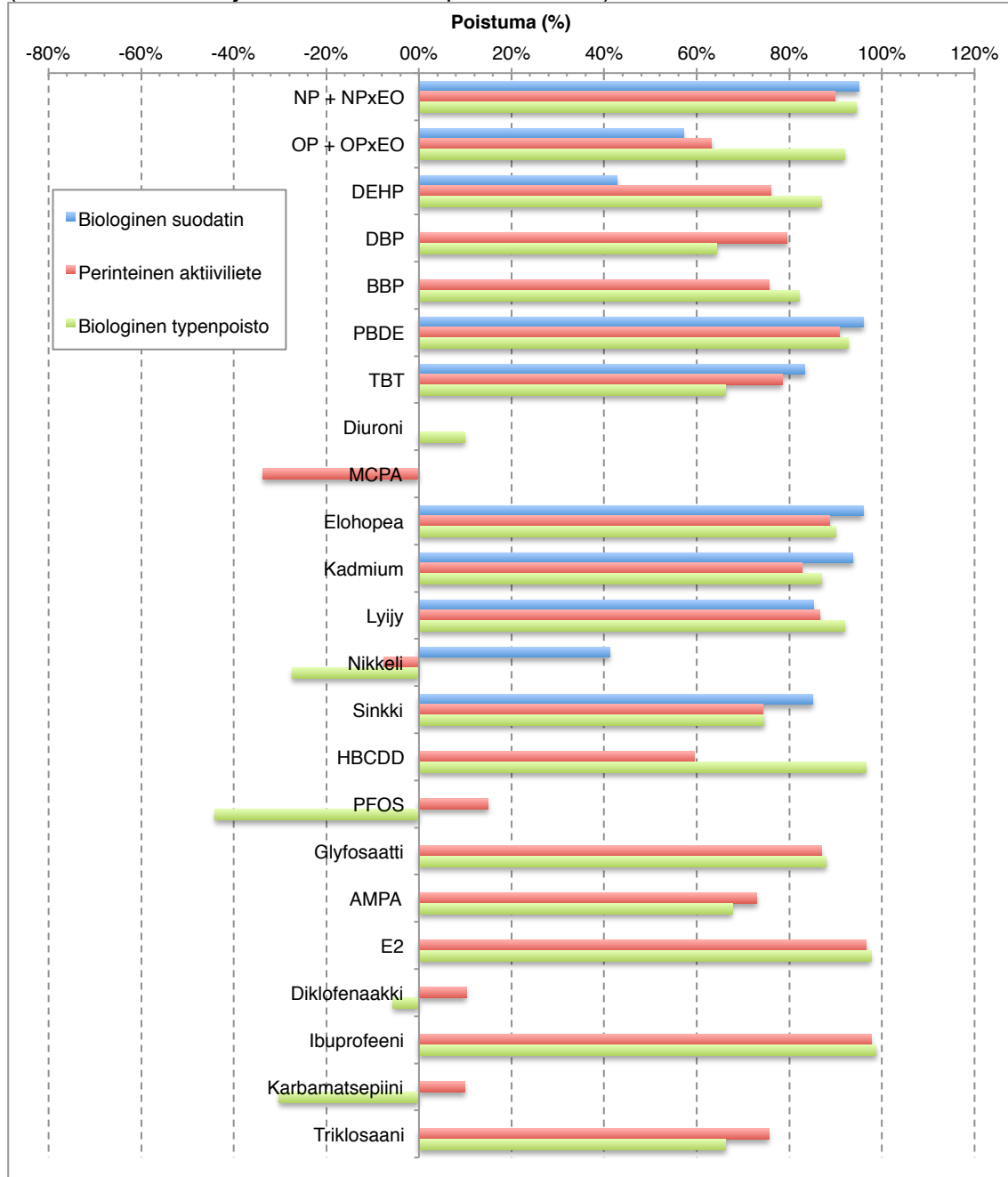
LIITE 9. PUHDISTAMON KOKOLUOKKA JA TUTKITTUJEN AINEIDEN POISTUMA PROSESSISSA

(laskettuna tulevan ja lähtevän veden pitoisuuksista). n= puhdistamoiden määrä eri kokoluokissa.



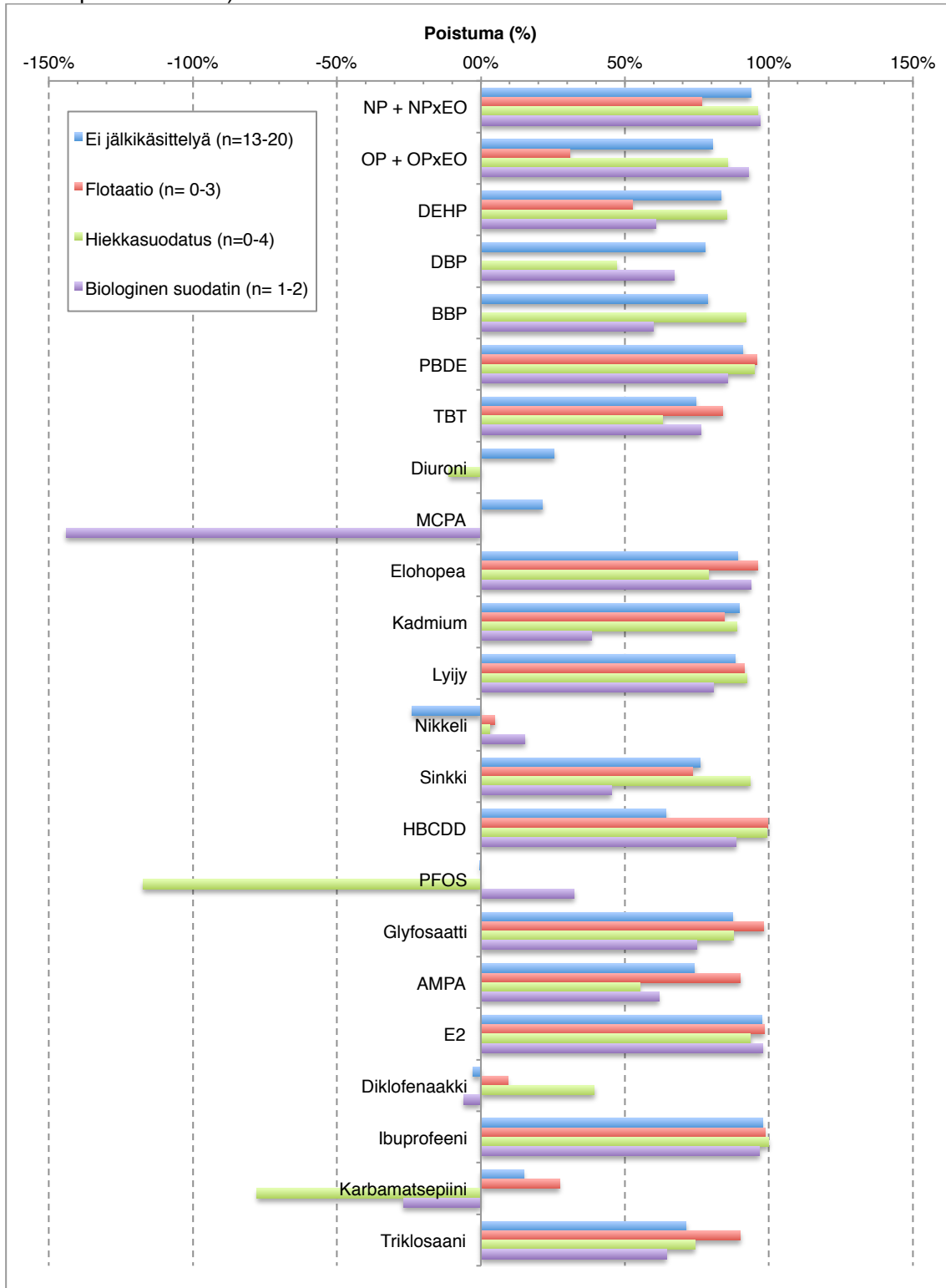
LIITE 10. PUHDISTAMOLLA KÄYTÖSSÄ OLEVA BIOLOGISEN PUHDISTUKSEN MENETELMÄ JA TUTKITTUJEN AINEIDEN POISTUMA PUHDISTUKSEN AIKANA

(laskettuna tulevan ja lähtevän veden pitoisuuksista).



Biologisen puhdistamon osalta n= 1 (mittaukset tehtiin ainoastaan analyysipaketin 1 aineille sekä sinkille). Perinteinen aktiiviliete: n= 7-18, Biologinen typenpoisto: n= 3-10. Diuroni: poistuma laskettu vain biologisissa typenpoistolaitoksissa (muissa pitoisuus ollut < mr tulevassa jätevedessä tai ainetta ei ole mitattu), MCPA: poistuma laskettu vain perinteisissä aktiivilielaitoksissa (muissa pitoisuus ollut < mr tulevassa jätevedessä tai ainetta ei ole mitattu).

LIITE 11. PUHDISTAMOLLA KÄYTÖSSÄ OLEVAN BIOLOGISEN PUHDISTUKSEN JA LIETTEENEROTUKSEN JÄLKEINEN PUHDISTUSMENETELMÄ JA TUTKITTUJEN AINEIDEN POISTUMA PUHDISTUKSEN AIKANA (laskettuna tulevan ja lähtevän veden pitoisuuksista).



LIITE 12. YHTEENVETO TULEVAN JÄTEVEDEN MITTAUSTULOKSISTA

Taulukko 12-1. Analyysipaketin 1 aineiden tulosten yhteenveto tulevassa jätevedessä.

Aine	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr
Nonyylifenoli	<1	6.28	1.61	1.23	34	29
Nonyylifenolimonoetoksilaatti	<0.3	5.8	1.70	1.53	34	29
Nonyylifenolidietoksilaatti	<0.1	1.0	0.33	0.30	34	7
NP + NP_xEO summa TEQ	0.38	6.6	2.48	2.42	34	29
Oktyylifenoli	<0.1	0.71	0.12	0.05	34	10
Oktyylifenolimonoetoksilaatti	<0.09	0.64	0.18	0.11	34	19
Oktyylifenolidietoksilaatti	<0.015	<0.8	<0.015	<0.015	34	0
Di-2-etyyliheksyyliiftalaatti	<3	39	7.22	4.50	35	34
Dibutyyliiftalaatti	<0.1	1	0.20	<0.1	35	12
Bentsyylibutyyliiftalaatti	<0.1	0.67	0.16	<0.1	35	8
BDE-28	<0.0001	0.00025	<0.0001	0.0001	36	5
BDE-47	0.00037	0.0092	0.0030	0.0027	36	36
BDE-99	<0.0007	0.0081	0.0017	0.0012	36	35
BDE-100	<0.0001	0.0011	0.00029	0.00019	36	22
BDE-153	<0.0002	0.0018	0.00029	0.00021	36	9
BDE-154	<0.0001	0.0011	0.00024	0.00015	36	7
BDE summa	<0.0013	0.014	0.0056	0.0044	36	36
Tributyyliitina	<0.0002	0.003	0.00058	0.0004	36	24
Diuroni	<0.005	0.013	0.0095	-	35	4
MCPA	<0.01	0.14	0.016	0.01	35	2
Elohopea	<0.004	0.61	0.084	0.049	31	30
Kadmium	0.06	0.9	0.19	0.15	31	31
Lyijy	1	14	3.54	2.7	31	31
Nikkeli	3.3	67	11.9	8.9	31	31

¹⁾ Direktiivin 2013/39/EU mukainen EQS-arvo

²⁾ Suomen lainsäädännössä voimassa oleva EQS-arvo, joka väistyy 2013/39/EU-direktiivin myötä.

Taulukko 12-2. Analyysipaketin 2 aineiden tulosten yhteenveto tulevassa jätevedessä

Aine	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr
α-HBCD	0.00021	0.0557	0.0071	0.0026	12	12
β-HBCD	<0.0001	0.0089	0.0012	0.00067	12	11
γ-HBCD	<0.0001	0.0066	0.0026	0.0023	12	11
HBCD-summa	0.00021	0.071	0.011	0.0063	12	12
PFOS	<0.01	0.04	0.017	<0.01	11	4
Sybutryyni	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	11	0
Sypermtriini	<0.01	<0.2	<0.1	<0.1	11	0
Aklonifeeni	<0.003	<0.1	<0.1	<0.1	7	0
Terbutryyni	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	11	0
Bifenoksi	<0.03	<0.3	<0.3	<0.3	11	0
EE2	<0.001	<0.1	<0.01	<0.004	12	0
E2	<0.062	0.26	0.064	0.039	12	10
Diklofenaakki	<0.02	3.0	1.02	0.52	13	12
Ibuprofeeni	2.4	26	13.7	15	13	13
Karbamatsepiini	<0.02	3.9	0.65	0.29	13	12
Triklosaani	<0.006	0.23	0.067	0.05	11	9
Sinkki	63	1600	206	130	33	33
Glyfosaatti	<0.05	0.63	0.25	0.18	12	11
AMPA	<0.1	2.75	0.83	0.44	12	10
Vapaa syanidi	<5	<10	<10	<10	10	0

Taulukko 12-3. Analyysipaketin 3 ja 4 aineiden tulosten yhteenveto tulevassa jätevedessä.

Aine	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr
Endosulfaani	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	10	0
PCDD (pg/l)	-	-	175.5	-	11	6
PCDD (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	0.13	-	11	6
PCDF (pg/l)	-	-	1136	-	11	5
PCDF (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	14.4	-	11	5
PCB (pg/l)	-	-	577	-	11	7
PCB (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	0.11	-	11	7
TCMTB	<0.1	<1	<0.1	<0.1	14	0
MBeT	<0.1	1	0.36	0.25	14	2

¹⁾WHO 2005 (lower bound)

LIITE 13. YHTEENVETO LÄHTEVÄN JÄTEVEDEN MITTAUSTULOKSISTA

Taulukko 13-1. Analyysipaketin 1 aineiden tulosten yhteenveto lähtevässä jätevedessä.

Aine	AA-EQS (µg/l)	MAC-EQS (µg/l)	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr	n> AA-EQS	n> MAC-EQS
Nonyylifenoli	-	-	<0.05	0.34	0.09	0.05	56	25	-	-
Nonyylifenolimonoetoksilaatti	-	-	<0.05	0.23	0.08	0.05	56	14	-	-
Nonyylifenolidietoksilaatti	-	-	<0.03	0.220	0.06	0.05	56	3	-	-
NP + NP_xEO summa TEQ	0.3	2.0	< 0.125	0.49	0.16	< 0.125	56	25	8	0
Oktyylifenoli	0.01 – 0.1	-	<0.01	0.12	0.04	0.05	56	13	13	-
Oktyylifenolimonoetoksilaatti	-	-	<0.003	0.037	0.03	0.05	56	4	-	-
Oktyylifenolidietoksilaatti	-	-	<0.003	0.140	0.03	0.05	56	5	-	-
Di-2-etyyliheksyyliiftalaatti	1.3	-	<0.3	20	1.17	0.47	58	40	10	-
Dibutyyliftalaatti	1 – 10	-	<0.1	3.2	0.15	< 0.1	58	4	2	-
Bentsyylibutyyliftalaatti	1.4 – 10	-	<0.1	0.24	< 0.1	< 0.1	58	2	0	-
BDE-28	-	-	<0.00004	<0.0001	<0.00004	<0.00004	60	1	-	-
BDE-47	-	-	<0.00004	0.00055	0.00013	0.00009	60	49	-	-
BDE-99	-	-	<0.00004	0.0012	0.00012	0.00007	60	40	-	-
BDE-100	-	-	<0.00004	0.00007	<0.00004	<0.00004	60	10	-	-
BDE-153	-	-	<0.00004	0.00005	<0.00004	<0.00004	60	3	-	-
BDE-154	-	-	<0.00004	<0.0001	<0.00004	<0.00004	60	1	-	-
BDE summa	0.014 – 0.14 ¹⁾ 0.0002 – 0.0005 ²⁾	-	-	0.0014	0.00037	0.00032	60	49	0 42	0 -
Tributyylitina	0.0002	0.0015	<0.0002	0.0019	0.00022	<0.0002	60	5	5	0
Diuroni	0.2	1.8	<0.005	0.01	0.0077	-	59	7	0	0
MCPA	0.16 – 1.6	-	<0.02	0.08	0.016	0.01	59	5	0	-
Elohopea	0.05 – 0.07	-	<0.004	0.038	0.005	<0.004	54	19	0	-
Kadmium	0.08 – 0.25	0.45 – 1.5	<0.01	2.4	0.088	0.02	54	43	8	-
Lyijy	1.2 – 1.3 ¹⁾ 7.2 ²⁾	14	<0.05	4.4	0.39	0.24	54	51	2 0	0 -
Nikkeli	4 – 8.6 ¹⁾ 20 ²⁾	34	2.7	71	11.7	8.6	54	54	53 6	2 -

¹⁾ Direktiivin 2013/39/EU mukainen EQS-arvo

²⁾ Suomen lainsäädännössä voimassa oleva EQS-arvo, joka väistyy 2013/39/EU-direktiivin myötä.

Taulukko 13-2. Analyysipaketin 2 aineiden tulosten yhteenveto lähtevässä jätevedessä.

Aine	AA-EQS (µg/l)	MAC-EQS (µg/l)	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr	n> AA-EQS	n> MAC-EQS
α-HBCD	-	-	<0.0001	0.0106	0.0011	0.0002	11	8	-	-
β-HBCD	-	-	<0.0001	0.00014	0.0002	<0.0001	11	3	-	-
γ-HBCD	-	-	<0.0001	0.00195	0.0003	0.0001	11	6	-	-
HBCD-summa	0.0008 – 0.0016	0.05 – 0.5	<0.0001	0.0139	0.0015	0.0003	11	8	2	-
PFOS	0.00013 – 0.00065	7.2 - 36	<0.005	0.088	0.026	0.005	12	6	5	0
Sybutryyni	0.0025	0.016	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	11	0	0	0
Sybermetriini	8·10 ⁻⁶ – 8·10 ⁻⁵	8·10 ⁻⁵ – 8·10 ⁻⁴	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	11	0	0	0
Aklonifeeni	0.012 – 0.12	0.012 – 0.12	<0.003	<0.01	<0.01	<0.01	8	0	0	0
Terbutryyni	0.0065 – 0.065	0.034 – 0.34	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	12	1	0	0
Bifenoksi	0.0012 – 0.012	0.004 – 0.4	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	12	0	0	0
EE2	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	12	0	-	-
E2	-	-	<0.001	0.0031	0.0013	0.0005	13	1	-	-
Diklofenaakki	-	-	0.12	2.0	0.90	0.66	14	14	-	-
Ibuprofeeni	-	-	<0.05	0.5	0.17	0.12	14	4	-	-
Karbamatsepiini	-	-	<0.02	3.7	0.60	0.33	14	13	-	-
Triklosaani	-	-	<0.01	0.05	0.017	0.01	12	8	-	-
Sinkki	-	-	9.1	240	45.3	35	55	55	-	-
Glyfosaatti	-	-	<0.01	0.11	0.03	0.025	13	6	-	-
AMPA	-	-	<0.01	0.51	0.18	0.13	13	11	-	-
Vapaa syanidi	-	-	<5	<10	<10	<10	10	0	-	-

Taulukko 13-3. Analyysipaketin 3 ja4 aineiden tulosten yhteenveto lähtevässä jätevedessä.

Aine	AA-EQS (µg/l)	MAC-EQS (µg/l)	Min (µg/l)	Max (µg/l)	Keskiarvo (µg/l)	Mediaani (µg/l)	n	n>mr	n> AA-EQS	n> MAC-EQS
Endosulfaani	0.0005 – 0.005	0.004 – 0.01	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	10	0	0	0
PCDD (pg/l)	-	-	-	-	3.47	-	11	2	-	-
PCDD (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	-	-	0.006	-	11	2	-	-
PCDF (pg/l)	-	-	-	-	0	-	11	0	-	-
PCDF (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	-	-	0	-	11	0	-	-
PCB (pg/l)	-	-	-	-	52.6	-	11	6	-	-
PCB (pg/l I-TEQ ¹⁾)	-	-	-	-	0.002	-	11	4	-	-
TCMTB	0.08 – 0.8	-	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	13	0	0	0
MBeT	0.0018 – 0.018	-	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	13	0	0	0

¹⁾WHO 2005 (lower bound)