

# Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajäteveden- puhdistamoilla ja kaatopaikoilla

**Jukka Mehtonen, Jaakko Mannio, Kirsti Kalevi, Sami Huhtala,  
Jari Nuutinen, Noora Perkola, Pirjo Sainio, Jenna Pihlajamäki,  
Ville Kasurinen, Jani Koponen, Raija Paukku ja Panu Rantakokko**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN  
RAPORTTEJA 29 | 2012

# Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajäteveden- puhdistamoilla ja kaatopaikoilla

**Jukka Mehtonen, Jaakko Mannio, Kirsti Kalevi, Sami Huhtala,  
Jari Nuutinen, Noora Perkola, Pirjo Sainio, Jenna Pihlajamäki,  
Ville Kasurinen, Jani Koponen, Raija Paukku ja Panu Rantakokko**

Helsinki 2012

Suomen ympäristökeskus



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 29 | 2012  
Suomen ympäristökeskus  
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Taitto: Pirjo Lehtovaara

Julkaisu on saatavana vain internetistä:  
[www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke)

ISBN 978-952-11-4117-1 (PDF)  
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

## SISÄLLYS

<b>1 Johdanto</b> .....	5
<b>2 Tutkimuskohteet, tutkitut aineryhmät ja menetelmät</b> .....	8
2.1 Tutkimuskohteet ja tutkitut aineryhmät .....	8
2.2 Näytteenotto .....	9
2.2.1 Jätevedet.....	9
2.2.2 Lietteet .....	9
2.2.3 Laadunvarmistus .....	9
2.3 Analyysimenetelmät .....	10
2.3.1 Ftalaatit.....	10
2.3.2 Fenoliset yhdisteet .....	10
2.3.3 PAH-yhdisteet.....	11
2.3.4 Orgaaniset tinayhdisteet.....	12
2.3.5 Dioksiinit, furaanit & PCB-yhdisteet .....	12
2.3.6 PFAS-yhdisteet.....	13
2.3.7 Bromatut palonestoaineet .....	13
<b>3 Tulokset ja tulosten tarkastelu</b> .....	15
3.1 Ftalaatit .....	15
3.1.1 Di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP).....	15
3.1.2 Butyylibentsyyliftalaatti (BBP) .....	18
3.1.3 Dibutyyliftalaatti (DBP).....	20
3.2 Fenoliset yhdisteet.....	22
3.2.1 Nonyylifenoli (NP) ja nonyylifenolietoksylaatit (NPE) .....	22
3.2.2 Oktyylifenoli (OP) ja oktyylifenolietoksylaatit (OPE).....	25
3.2.3 Bisfenoli A (BPA) .....	27
3.3 Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) .....	30
3.4 Orgaaniset tinayhdisteet .....	34
3.5 Dioksiinit, furaanit ja PCB .....	40
3.6 Perfluoratut alkyylilyhdisteet (PFAS) .....	43
3.7 Bromatut palonestoaineet .....	47
<b>4 Yhteenveto</b> .....	51
Lyhenteet ja käsitteet .....	53
Kirjallisuutta.....	54
Liite 1. Tutkittujen yhdisteiden lyhenteet .....	59
Liite 2. Tulokset yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta .....	62
Liite 3. Tulokset kaatopaikalta.....	70
Kuvailulehti .....	72
Presentationsblad.....	73
Documentation page .....	74



# 1 Johdanto

Kemikaalien riskinhallinnan tavoitteena on tunnistaa markkinoilla olevista tuhansista kemikaaleista ennakolta sellaiset aineet, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristössä, sekä varmistaa, että niiden käyttö on riskitöntä. Haitallisten aineiden riskinhallinnan ongelmana ovat puutteelliset tiedot aineiden ominaisuuksista, käytöstä, päästöistä sekä esiintymisestä ympäristössä. EU:n uuden kemikaalilainsäädännön (REACH-asetus) tarkoituksena on mm. varmistaa kemikaalien riskinhallintaan tarvittavien perustietojen saatavuus. Tästä johtuen tulisi panostaa mm. haitallisten tai sellaisiksi arveltavien aineiden esiintymisen ja vaikutusten tutkimukseen Suomen pohjoisissa oloissa.

Ympäristönäkökulmasta erityistä huomiota on kiinnitetty niin sanottuihin POP-yhdisteisiin, jotka ovat ympäristössä hitaasti hajoavia, biokertyviä orgaanisia haitallisia yhdisteitä. Useat niistä kertyvät ravintoketjussa ja ovat eliöille toksisia, karsinogeenisia tai hormonaalisia häiriöitä aiheuttavia. Useimmat ko. yhdisteistä ovat hydrofobisia, suuren molekyylipainon omaavia, vaikeasti haihtuvia ja kertyvät elävien organismien rasvakudoksiin. POP-yhdisteitä on päässyt ympäristöön pitkän ajanjakson aikana suuresta määrästä erilaisia päästölähteitä. Vaikka sopimusten avulla on rajoitettu haitallisten yhdisteiden käyttöä, on näitä yhdisteitä olemassa edelleen runsaasti käytössä olevissa esineissä, laitteissa ja rakennuksissa sekä kerääntyneenä ympäristöön. POP-yhdisteet leviävät kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi laajalle ympäristöön myös kaukokulkeuman seurauksena, joten kyse ei ole paikallisesta ongelmasta (Haimi & Mannio 2008).

Tietoa kemikaalien päästöistä ympäristöön on olemassa hyvin harvojen aineiden osalta ja vain suurimmista pistemäisistä päästölähteistä, kuten teollisuuslaitoksista, joiden päästöjen kemikaaleista jää yhä suuri osa tunnistamatta. Tällä hetkellä piste- ja hajakuormitusta arvioidaan vain muutamille kemikaaleille (mm. metallit, dioksiinit, PCB:t, 4 PAH-yhdistettä, HCB, pentakloorifenoli) ja niillekin luotettavammin ilmapäästöjen osalta. Kemikaalien päästöistä vesiin ja määristä jätteessä tiedetään huomattavasti vähemmän. Kuormituksen arviointi voidaan tehdä kustannustehokkaasti laskennallisesti (esim. ainevirta-analyysi, SFA, jossa käytetään pääasiassa päästökertoimia) ja mallintamalla, mutta niiden perustaksi ja tueksi tarvitaan mitattua pitoisuustietoa päästöistä sekä ympäristöstä.

Kunnalliset jätevedenpuhdistamot mittaavat puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä lähinnä rehevöitymiseen liittyviä muuttujia sekä lietteen raskasmetallipitoisuuksia. Kunnalliseen viemäriin tulee kuitenkin runsaasti erilaisia kemikaaleja esimerkiksi kotitalouksista ja pk-yrityksistä. Jätevedenkäsittelyssä ei saada poistettua kaikkia haitallisia yhdisteitä, joten niitä pääsee purkuvesistöihin. Vesistöissä osa aineista hajoaa, mutta osa jää veteen, osa siirtyy sedimenttiin ja eliöihin.

Tällä kartoituksella saadaan tietoa yhdyskuntajäteveden ja -lietteen sekä kaatopaikkojen suotovesien sisältämistä kemikaaleista sekä parannetaan lietteen käyttökelppoisuuden arviointiin liittyvää tietämystä.

Haitallisia aineita koskevien uusien kansainvälisten sopimusten nojalla tietoa kemikaalien päästöistä ympäristöön tarvitaan erityisesti hitaasti hajoavia orgaanisia yhdisteitä (ns. POP-yhdisteet) koskevan UNECE:n kaukokulkeutumispöytäkirjan ja UNEP:n Tukholman sopimuksen toimeenpanossa. Tällaisten aineiden kohdalla tavoitteena on päästöjen vähentäminen. Tietoisesti tuotettujen POP-yhdisteiden päästöjä vähennetään kieltämällä ja rajoittamalla niiden käyttöä (esim. poistaminen markkinoilta ja korvaaminen vähemmän haitallisilla aineilla), kun taas prosesseissa sivutuotteena syntyvien POP-yhdisteiden päästöjä vähennetään muulla tavoin.

Vesipolitiikan puitteiden direktiivissä 2000/60/EY (vesipuitteiden direktiivi) vahvistetaan puitteet pinta- ja pohjavesien suojelulle ja asetetaan ympäristöpolitiikan tavoitteet, joihin kuuluvat hyvän kemiallisen ja ekologisen tilan saavuttaminen ja vesien tilan huonontumisen ehkäiseminen. Jotta pintavesimuodostumien kemiallinen tila olisi hyvä, niiden on täytettävä prioriteettiaineille asetetut ympäristölaatu-normit. Prioriteettiaineet ovat vesipuitteiden direktiivissä määritellyt kemikaaleja, jotka aiheuttavat riskin vesiympäristölle. Osa prioriteettiaineista on määritelty vaarallisiksi prioriteettiaineiksi, koska ne ovat hitaasti hajoavia, eliöihin kertyviä ja/tai myrkyllisiä tai antavat vastaavaa aiheutta huoleen. Hyvän kemiallisen ja ekologisen tilan tavoitteen lisäksi vesipuitteiden direktiivissä vaaditaan hyväksymään hallintatoimia, joiden tarkoituksena on vähentää prioriteettiaineiden päästöjä ja häviöitä asteittain ja lopettaa vaarallisten prioriteettiaineiden päästöt ja häviöt vesiympäristöön kerralla tai vaiheittain. Lisäksi Euroopan päästö- ja siirtorekisteriä koskeva E-PRTR asetus (166/2006) velvoittaa suurimpia jätevedenpuhdistamoita raportoimaan päästöistä veteen ja ilmaan.

Hallitusohjelmassa vuodelta 2003 edellytettiin, että Suomessa valmistellaan kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma, jossa korostetaan varovaisuusperiaatetta uusien tuotteiden mahdollisten ennakoimattomien haittavaikutusten minimoimiseksi. Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma (YM 2006) luovutettiin ympäristöministerille 28.2.2006. Kemikaaliohjelman tavoitteena on, etteivät kemikaalit aiheuta Suomessa merkittävää terveys- ja ympäristöhaittaa vuonna 2020. Tämä tavoite on yhteneväinen YK:n kansainvälisen kemikaalistrategian kanssa, joka perustuu vuonna 2002 pidetyn Johannesburgin kestävän kehityksen huippukokouksen päätöksiin. Kemikaaliohjelman väliarviointi ja tarkistus valmistuu vuoden 2012 loppuun mennessä (YM luonnos).

Kansallisessa kemikaaliohjelma kattaa kemikaalien aiheuttamat haitat yksittäiselle kuluttajalle, kansanterveydelle, työntekijöiden terveydelle ja ympäristölle kemikaalin koko elinkaaren aikana. Ohjelmassa painotetaan EU:n kemikaalipolitiikan yleisiä periaatteita, terveyden ja ympäristönsuojelun korkeaa tasoa sekä nykyisen että tulevien sukupolvien hyvinvointi huomioon ottaen. Lähtökohtana on varovaisuusperiaate, jonka mukaan riskien vähentämistoimiin on ryhdyttävä, jos tieteelliset tulokset osoittavat, että kemikaalista saattaa aiheutua haitallisia vaikutuksia, vaikka haitan suuruudesta ja luonteesta olisi vielä tieteellistä epävarmuutta. Toinen lähtökohta on edistää haitallisten aineiden korvaamista vähemmän haitallisilla, jos soveltuvia vaihtoehtoja on käytettävissä. Ohjelma sisältää 36 ehdotettua toimenpidettä haittojen vähentämiseksi.

Kemikaaliohjelmassa esitettiin toimenpidesuosituksia viiden vaikutustavoitekonaisuuden saavuttamiseksi, joista tälle työlle merkittävin vaikutustavoite on:

”Riskinarviointia ja riskinhallintaa sekä toimenpiteiden vaikuttavuuden arvioimista varten on riittävästi tietoa terveydelle ja ympäristölle vaarallisille aineille altistumisesta ja päästöistä”.

Kansallisen kemikaaliohjelman ohjausryhmän suositusten mukaisesti Suomen ympäristökeskus on päävastuussa mm. selvittäessä tärkeimpien POP-yhdisteiden päästölähteitä (toimenpide 4.2.4) ja selvittäessä yhdyskuntajäteveden mukana tulevien sekä lietteen sisältämien haitallisten aineiden seurannan tarvetta (toimenpide



4.2.6). Lisäksi kemikaalipäästöjä tulisi selvittää kartoituksella esimerkiksi kaatopaikkojen suotovesistä (toimenpide 4.2.7).

Tämän selvityksen suunnittelun ja osittain myös tulosten arvioinnin pohjana on käytetty aikaisemmin laadittua kirjallisuusselvitystä haitallisten aineiden näytteenotosta ja esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla (Haimi & Mannio 2008). EU:n vesipuitedirektiivin, UNECE:n kaukokulkeutumispöytäkirjan ja UNEP:n Tukholman sopimuksen sekä HELCOM:in Itämeren toimintaohjelman vaatimukset on otettu huomioon tämän selvityksen suunnittelussa ja toteutuksessa.

## 2 Tutkimuskohteet, tutkitut aineryhmät ja menetelmät

### 2.1

#### Tutkimuskohteet ja tutkitut aineryhmät

Tutkittavat kohteet valittiin siten, että mukaan tuli edustavasti eri kokoluokan jätevedenpuhdistamoja. Ämmässuon jätyteenkäsittelykeskus valittiin sillä perusteella, että se on selkeästi suurin jätteenkäsittelyalue Suomessa. Näytteenottoajankohdat on esitetty Taulukossa 1 ja tutkitut aineryhmät sekä analyysit tehneet laboratoriot Taulukossa 2.

Taulukko 1. Tutkimuskohteena olleet laitokset ja näytteenottotiedot.

Kohdelaitokset / asukasvastikeluku (AVL, BOD7) tai puhdistamolle jätevetensä johtavien asukkaiden lukumäärä	Näytteenotto 2008	Näytteenotto 2009
Kaltevan jätevedenpuhdistamo, Hyvinkää AVL 40 300	22.10.2008 / liete ja jätevesi	25.3.2009 / liete ja jätevesi
Suomenojan jätevedenpuhdistamo, Espoo AVL 295 000	22.10.2008 / liete ja jätevesi	25.3.2009 / liete ja jätevesi
Viihinmäen jätevedenpuhdistamo, Helsinki AVL 780 000	21.10.2008 / liete ja jätevesi	Ei näytettä
Kirkonkylän puhdistamo, Nurmijärvi 7 000 asukasta	Ei näytettä	24.3.2009 / liete ja jätevesi
Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus, Espoo	22.10.2008 / suotovesi, laskeutusaltaan pohjaliete	23.3.2009 / suotovesi, laskeutusaltaan pohjaliete

Taulukko 2. Tutkitut matriisit ja analysoivat laboratoriot aineryhmäkohtaisesti. JY = Jyväskylän yliopisto, SYKE = Suomen ympäristökeskus, THL = Terveiden ja hyvinvoinnin laitos.

(\* analysoitu vain vuoden 2008 näytteistä, \*\* analysoitu vain vuoden 2009 näytteistä)

Aineryhmä	Analyysit tehnyt laboratorio	Puhdistamo, tuleva ja puhdistettu jätevesi	Puhdistamo, liete	Kaato-paikka, suotovesi	Kaato-paikka, laskeutus-altaan liete
Ftalaatit	JY	x	x	x	x
Fenoliset yhdisteet*	SYKE	x	x	x	x
PAH-yhdisteet	JY	x	x	x	x
Organotinayhdisteet	THL	x	x	x	x
Dioksiinit, furaanit & PCB-yhdisteet**	THL		x		
PFAS-yhdisteet**	SYKE	x	x	x	
Bromatut palonsuoja-aineet	SYKE		x	x	x

## 2.2

# Näytteenotto

### 2.2.1

#### Jätevedet

Jätevedenpuhdistamoilta otettiin näytteet tulevasta ja lähtevästä vedestä vuorokauden kokoomanäytteinä. Tulevan veden näytteet otettiin puhdistamolle tulevasta jätevedestä välppäyksen jälkeen. Lähtevän veden näytteet otettiin jäteveden viimeisen käsittelyvaiheen jälkeen vesistöön johdettavasta vedestä.

Näytteenoton suoritti yleensä puhdistamon oma henkilökunta SYKEN antamien ohjeiden mukaan. Näytepullot toimitettiin esikäsiteltynä etukäteen SYKEstä.

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen suotovedestä otettiin SYKEN toimesta ker-  
tanäytteet, sillä kokoomanäytteenottimen vastaanottoastia oli liian pieni tarvittavan kokonaisuuden saamiseksi homogeenisena. Suotovesiputkesta otettiin näytettä useita nostoja isoon astiaan ja siitä saatava homogeeninen näyte pulloitettiin näyte-  
pulloihin.

### 2.2.2

#### Lietteet

Puhdistamolietteistä otettiin näytteet lietteenkäsittelyn viimeisestä kuivausvaiheesta kun liete on lingottu, suotonauhapuristettu tai muulla tavalla kuivattu, mielellään esimerkiksi suoraan nauhalta. Näyte muistuttaa rakenteeltaan kosteaa multaa.

Ämmässuon jätteenkäsittelylaitoksen suotovesialtaan pohjalta otettiin syksyllä 2008 manuaalisesti saatavissa olevaa lietettä, joka sekoitettiin mahdollisimman ho-  
mogeeniseksi.

### 2.2.3

#### Laadunvarmistus

Näyteastioiden puhtauden tarkkailuun ja erilaisten kontaminaatiomahdollisuuksien eliminoimiseksi otettiin molemmilla näytteenottokerroilla kenttänollanäytteitä. Tämä tehtiin siten, että näytteenotossa oli mukana pullot kenttänollia varten ja tarpeellinen määrä pulloja täytettynä laboratorion saadulla tislattulla vedellä. Näytteenottopai-  
kassa näytepulloon kaadettiin, ohjeiden mukaan, mukana ollut tislattu vesi, kuten otettaisiin näyte. Kun näytepullo on pesty samoin kuin kaikki muutkin pullot ja se kulkee koko näytteenottokierroksen mukana, niin nähdään onko jossain vaiheessa pulloon jäänyt tai tarttunut tutkittavia haitta-aineita.

Laadun varmistamiseksi otettiin molemmilla näytteenottokerroilla myös rinnak-  
kainäytteitä. Rinnakkainäytteet olivat samasta kohteesta ja näytetyypistä otettuja erillisiä näytteitä, jotka analysoitiin omina näytteinään. Nämä näytteet kontrolloivat paitsi näyteastioiden puhtautta myös analyysimenetelmän toimivuutta. Rinnakkais-  
näytteitä otettiin eri kohteista jokaista analyysiä varten.

## Analyysimenetelmät

### Ftalaatit

#### *Ftalaattien määrittäminen maa- ja sedimenttinäytteistä. GC-menetelmä.*

Menetelmä soveltuu butyylibentsyyliftalaatin, dibutyyliftalaatin ja di(2-etyyliheksyyli)ftalaatin määrittämiseen maa- ja sedimenttinäytteistä.

Menetelmä on sisäinen menetelmä. Kirjallisuutena on käytetty mm. Marttinen, S.K., Kettunen, R.H., Sormunen, K.M. Rintala, J.A. 2003. Removal of Bis(2-ethylhexyl) phthalate at a Sewage Treatment Plant.

Menetelmä on sisäisen standardin menetelmä. Näyte uutetaan standardin lisäyksen jälkeen dikloorimetäänillä, puhdistetaan tarvittaessa Florisil-pylväällä ja kvantitoidaan kaasukromatografisesti (kaksoiskolonnilaitteisto) EC-detektoreita käyttäen. Pienimmät määritettävissä olevat pitoisuudet ovat 0,5-1,0 mg/kg kuiva-ainetta kohti laskettuna. Mittausepävarmuus yhdisteille on 30 %.

#### *Ftalaattien määrittäminen vesinäytteistä. GC-menetelmä*

Menetelmä soveltuu butyylibentsyyliftalaatin, dibutyyliftalaatin ja di(2-etyyliheksyyli)ftalaatin määrittämiseen vesinäytteestä.

Menetelmä on sisäinen menetelmä, jonka kehittämisessä on käytetty mm. Sanna Marttisen väitöskirjaa (2004).

Menetelmä on sisäisen standardin menetelmä. Näyte uutetaan standardin lisäyksen jälkeen etyyliasettaatti/heksaaniseoksella ja kvantitoidaan kaasukromatografisesti (kaksoiskolonnilaitteisto) EC-detektoreita käyttäen. Pienimmät määritettävissä olevat pitoisuudet ovat 0,3-1 µg/l. Mittausepävarmuus yhdisteille on 30 %.

### Fenoliset yhdisteet

#### *Fenoliset yhdisteiden määrittäminen vesi ja kiinteistä näytteistä nestekromatografi-massaspektrometrillä (LC-MS)*

Jätevesinäytteen osanäytteeseen (100 ml) lisätään fenolisten yhdisteiden kvantitointistandardit. Jätevesistä fenoliset yhdisteet uutetaan asetoni/metanoli/vesi kunnostetulla kiinteäfaasipatruunalla (SPE) ja tutkittavat yhdisteet eluoidaan SPE-patruunasta asetonilla. Eluointiliuotin haihdutetaan typpivirralla lähes kuiviin ja jäännös liuotetaan vesi-metanoli-seokseen.

Lietteistä tutkittavat fenoliset yhdisteet uutetaan ravistelemalla asetoni-pentaani-seoksella. Asetoni poistetaan uutteen vesipesulla. Pentaani uute haihdutetaan lähes kuiviin typpivirralla ja jäännös liuotetaan metanoliin. Vettä lisätään niin, että metanolin määrä on alle 40 % koko tilavuudesta. Metanoli-vesi seokseen lisätään kvantitointistandardit. Metanoli-vesi seos puhdistetaan kiinteäfaasiuutolla ja tutkittavat yhdisteet eluoidaan SPE-patruunasta asetonilla. Asetoni haihdutetaan typpivirralla kuiviin ja jäännös liuotetaan vesi-metanoli-seoksella.

Fenoliset yhdisteet analysoidaan vesi-metanoli-seoksesta nestekromatografi-massaspektrometrillä (LC-MS). Tulosten laskenta perustuu isotooppileimattujen kvantitointistandardien käyttöön.

Jätevesinäytteissä fenolisten yhdisteiden määrittämissä rajat ovat 0,07 – 0,35 µg/l. Lietteissä menetelmän määrittämissä rajat ovat yhdisteestä riippuen 200 – 1000 µg/kg kuivapainoa kohti.

### 2.3.3

#### PAH-yhdisteet

##### *Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) määrittäminen maa- ja sedimentinäytteistä, HPLC-menetelmä.*

Menetelmä soveltuu polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (naftaleenin, asenaftteenin, asenaftyleenin, fluoreenin, fenantreenin, antraseenin, fluoranteenin, pyreenin, bentso(a)antraseenin, kryseenin, bentso(b)fluoranteenin, bentso(k)fluoranteenin, bentso(a)pyreenin, dibentso(ah)antraseenin, bentso(ghi)peryleenin ja indeno(1,2,3-cd)pyreenin) määrittämiseen maa- ja sedimentinäytteistä.

Menetelmä on sisäinen menetelmä, jonka kehittämisessä on käytetty standardeja SFS-EN ISO 17993 (Water quality. Determination of 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water by HPLC with fluorescence detection after liquid-liquid extraction (ISO 17993:2002)) ja SFS-ISO 18287 (Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS)).

Näytteet uutetaan liuotinaiseseoksella ultraääniuuttohauhteessa tai ASE 200 uuttolaitteella. Liuotinuuton jälkeen näytteeseen lisätään glykolia ja näyte haihdutetaan lähes kuiviin, ja sen jälkeen näytteeseen lisätään tunnettu määrä asetonitriiliä. Kvantitointi suoritetaan nestekromatografisesti (HPLC) fluoresenssi- ja diodirividektoreita käyttäen. Pienin määrittävissä oleva pitoisuus menetelmällä on 0,10 mg/kg kuiva-ainetta kohti laskettuna.

Menetelmä on akkreditoitu 2008 (ei asenaftyleeni). Mittausepävarmuus menetelmällä on 30 %.

##### *Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) määrittäminen vesinäytteistä, HPLC-menetelmä.*

Menetelmä soveltuu polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (naftaleenin, asenaftteenin, asenaftyleenin, fluoreenin, fenantreenin, antraseenin, fluoranteenin, pyreenin, bentso(a)antraseenin, kryseenin, bentso(b)fluoranteenin\*, bentso(k)fluoranteenin\*, bentso(a)pyreenin\*, dibentso(ah)antraseenin, bentso(ghi)peryleenin\* ja indeno(1,2,3-cd)pyreenin\*) määrittämiseen vesinäytteistä.

Menetelmä on sisäinen menetelmä, jonka kehittämisessä on käytetty standardeja SFS-EN ISO 17993 (Water quality. Determination of 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water by HPLC with fluorescence detection after liquid-liquid extraction (ISO 17993:2002)) ja SFS-ISO 18287 (Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS)).

PAH-analyysissä näytettä uutetaan pH:n säädön jälkeen sykloheksaanilla. Sykloheksaanuuuton jälkeen näyte kuivataan natriumsulfaatilla ja näytteeseen lisätään glykolia ja haihdutetaan varovasti kuiviin. Tämän jälkeen näytteeseen laitetaan tunnettu määrä asetonitriiliä. Kvantitointi suoritetaan nestekromatografisesti ulkoisen standardin menetelmällä fluoresenssi- ja diodirividektoreita käyttäen. Pienin määrittävissä oleva pitoisuus menetelmällä on 0,001 - 0,01 µg/l/yhdiste. Mittausepävarmuus yhdisteille on 30 %.

#### 2.3.4

### Orgaaniset tinayhdisteet

Määritettävät yhdisteet olivat mono-, di- ja tributyylitina ja mono-, di- ja trifenyylitina sekä dioktyylitina.

#### *Orgaanisten tinayhdisteiden määrittäminen lietenäytteistä kaasukromatografisesti massaselektiivisellä detektorilla.*

Uuttoon otettiin 0,1 g homogenisoitua ja kylmäkuivattua lietettä. Ennen uuttoa liete hajotettiin tetrametyyliammoniumhydroksidilla. Orgaaniset tinayhdisteet uutettiin etikkahapon avulla eetteri-heksaaniin, jossa oli tropolonia kompleksoijana. Yhdisteistä muodostettiin etyylijohdannaiset natriumtetraetyyliboraatilla. Derivatisoidut uutteen pylväspuhdistettiin aktivoitulla alumiinioksidilla käyttäen eluenttina eetteri-heksaania.

#### *Orgaanisten tinayhdisteiden määrittäminen vesinäytteistä kaasukromatografisesti massaselektiivisellä detektorilla*

Uuttoon otettiin 200 ml vesinäytettä. Orgaaniset tinayhdisteet derivatisoitiin vesifaasissa natriumtetraetyyliboraatilla. Etyylijohtannaiset uutettiin heksaaniin ja pylväspuhdistettiin aktivoitulla alumiinioksidilla käyttäen eluenttina eetteri-heksaania.

Sekä liete- että vesinäytteiden kvantitoinnissa käytettiin kullekin yhdisteelle sen perdeuteroitua analogia sisäisenä standardina, joka lisättiin näytteisiin analyysin alussa. Poikkeuksena dioktyylitina, jonka sisäisenä standardina käytetään difenyylitinan perdeuteroitua analogia. Yhdisteet määritettiin kaasukromatografisesti (Hewlett Packard 6890) korkean erotuskyvyn massaspektrometrillä (Autospec Ultima). Käytetty kolonni oli HP-1 kapillaarikolonni (Hewlett Packard: 12 m, i.d. 0.20 mm, 0.33 µm).

Määrittämissä vesinäytteille ovat 0,4 – 25 ng/g dw ja vesinäytteille 0,03 ng/l – 1,7 ng/l yhdisteestä riippuen.

Menetelmät ovat akkreditoituja.

#### 2.3.5

### Dioksiinit, furaanit & PCB-yhdisteet

#### *PCDD/PCDF-, co-PCB- ja muiden POP-yhdisteiden määrittäminen maa- ja sedimentinäytteistä.*

Näytteestä määritettiin kuiva-aine-%. Analysoitavat yhdisteet uutettiin kuivatusta näytteestä Soxhlet-uutolla etanoli-tolueeniin (70/30 v/v). Liuotin vaihdettiin heksaaniksi ja rikki saostettiin näytteestä kuparijauheella. Näyte puhdistettiin silikageeli-, aktiivihili- ja alumiinioksidi-pylväillä.

PCDD/PCDF-yhdisteiden kvantitoinnissa käytettiin sisäisinä standardeina <sup>13</sup>C-leimattuja PCDD/PCDF-standardeja (yhteensä 16 kappaletta). PCB-yhdisteiden sisäisinä standardeina käytettiin PCB-standardia PCB 30 ja <sup>13</sup>C-leimattuja PCB-standardeja (PCB 52, 80, 101, 105, 118, 123, 138, 153, 156, 157, 170, 180, 194, ja 209). Non-orto eli co-PCB-yhdisteiden sisäisinä standardeina käytettiin <sup>13</sup>C-leimattuja PCB-standardeja (PCB 77, 81, 126 ja 169).

Yhdisteet analysoitiin kaasukromatografisesti (Hewlett-Packard 6890) korkean erotuskyvyn massaspektrometrillä (VG 70-250SE) käyttäen SIM-tekniikkaa ja 10 000 resoluutiota. Erotuskolonnina käytettiin J&W Scientificin DB-Dioxin kolonnina (60 m, ID 0.25 mm, 0.15 µm).

Menetelmä on akkreditoitu.

Yksittäisten yhdisteiden kvantitointiraja kuiva-ainetta kohti laskettuna on PCDD/PCDF-yhdisteillä 0.013-2.7 pg/g, PCB-yhdisteillä 0.001-0.026 ng/g, ja co-PCB-yhdisteillä 0.037-0.83 pg/g.

### 2.3.6

#### PFAS-yhdisteet

*Perfluorattujen alkyyliaineiden (PFAS) määrittäminen vesi- ja lietenäytteistä nestekromatografi-tandemmassaspektrometrillä (UPLC-MS/MS).*

Vesinäytteet (300 ml), joihin oli lisätty surrogaattistandardit, sentrifugoitiin kiintoaineksen vähentämiseksi. 200 ml näytettä uutettiin kiinteäfaasiuuttolaitteistolla (SPE). Saatu uute puhdistettiin aktiivihieillä. Jokaisessa uuttoerässä määritettiin nollanäyte (menetelmänolla).

Koeputkeen punnittiin 1 g kylmäkuivurilla kuivattua lietettä ja lisättiin surrogaattistandardit sekä 200 mM NaOH (MeOH), minkä jälkeen näytteiden annettiin seistä puoli tuntia. Tämän jälkeen NaOH neutraloitiin lisäämällä 2 M HCl (MeOH). Näyteyhdisteet uutettiin ravistelijassa 2 x 9 ml metanolia. Uute konsentroidtiin 1 ml:aan ja puhdistettiin aktiivihieillä ja väkevällä etikkahapolla. Puhdistettu uute laimennettiin vedellä 1:1 (v/v). Näytteiden lisäksi määritettiin nollanäyte (menetelmänolla).

Näyteyhdisteet analysoitiin nestekromatografi-tandemmassaspektrometrilaitteistolla (UPLC-MS/MS). Ennen analyysiä näytteisiin lisättiin laitestandardit. Ajo-liuottimina käytettiin vettä ja metanolia, joihin lisättiin ammoniumasettaattia. Yhdisteet kvantitoitiin käyttäen suoraketjuista isomeeriä sisältäviä standardiaineita. Analyseissä käytettiin surrogaatti- ja laitestandardeina massaleimattuja yhdisteitä (13C-standardit) ja kvantitointi perustuu isotooppilaimennustekniikkaan. Tulokset ovat saantokorjattuja ja ilmoitettu suoraketjuisten ja haaroittuneiden isomeerien summana.

Menetelmänollien ja kenttänollan (= "nollanäyte", pullotettu Suomenojalla) sisältämät pitoisuudet on vähennetty näytteiden tuloksista. Vesinäytteiden tulokset ovat liuenneen aineen pitoisuuksia.

### 2.3.7

#### Bromatut palonestoaineet

*Polybromattujen difenyyliettereiden (PBDE) määrittäminen kiinteistä näytteistä kaasukromatografi-massaspektrometrillä. (LP-GC-MS/MS).*

*Heksabromi sykloodekaanin (HBCD) määrittäminen kiinteistä näytteistä nestekromatografi-tandemmassaspektrometrillä (UPLC-MS/MS).*

Bromatut palonestoaineet (PBDE ja HBCD) uutettiin kylmäkuivatuista ja homogenoituista näytteistä ASE-uutolla. Uuttoon punnittiin 1 g näytettä ja uuttoliuottimena käytettiin dikloorimetaania (DCM). Jokaisessa uuttosarjassa määritettiin myös nollanäyte.

Uutteet puhdistettiin pylväskromatografisesti joko silika- ja aluminapylväällä (PBDE) tai aluminapylväällä (HBCD).

PBDE pitoisuudet määritettiin LP-GC-MS/MS -tekniikalla (Low-Pressure Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry), jossa näytteiden erotus tapahtuu kaasukromatografisesti alennetussa paineessa (Varian CP3800 kaasukromatografi, Varian 1200L kolmoiskvadrupoli massaspektrometri). Käytetty kolonni oli Varian RapidMS kapillaarikolonni (Varian CP Sil 8 10 m, i.d. 0.53 mm, 0.12 µm). Yhdisteiden

tunnistus perustuu kolmoiskvadrupoli massaspektrometrilla tehtävään yhdisteille tunnusomaisten MS/MS-reaktioiden monitorointiin.

HBCD yhdisteet analysoitiin nestekromatografi-tandemmassalaitteistolla (UPLC-MS/MS). Nestekromatografisen erotuksen avulla (Waters C18 1,7 $\mu$ m, 100mm x 2.1 mm UPLC kolonni) eri isomeerit ( $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$ ) voitiin erottaa toisistaan. Yhdisteiden tunnistus perustuu kolmoiskvadrupoli massaspektrometrilla tehtävään yhdisteille tunnusomaisten MS/MS-reaktioiden monitorointiin.

Analyyseissä käytettiin surrogaatti- ja laitestandardeina massaleimattuja yhdisteitä (13C-standardit) ja kvantitointi perustuu isotooppilaimennustekniikkaan. Tulokset ovat saantokorjattuja.

PBDE määrittäminen on akkreditoitu.



## 3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tässä selvityksessä saadut tulokset raportoidaan yhdisteryhmäkohtaisesti. Lisäksi tuloksia vertaillaan muihin pohjoismaisiin tutkimuksiin. Kuvajissa esitetään puhdistamoiden keskiarvojen keskiarvot (pylväät) sekä suurin yksittäisen puhdistamon keskiarvotulos (jana). Tämän selvityksen analyysitulosten keskiarvot on laskettu vuoden 2008 ja 2009 tuloksista. Tekstissä ja tulosliitteissä käytetyt eri yhdisteiden lyhennysten selitykset ovat liitteessä 1 ja kaikki alkuperäiset tulokset löytyvät liitteistä 2 ja 3.

Jos kaikki määritetyt pitoisuudet ovat alle määritysrajan, käytetään tuloksena 0,5 • määritysraja (jos useampi määritysraja ilmoitettu, käytetään korkeinta määritysrajaa). Tällöin tulokselle ei esitetä vaihteluväliä.

### 3.1

#### Ftalaatit

Ftalaatit ovat ryhmä halogenoimattomia orgaanisia yhdisteitä. Niitä ovat muun muassa di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP), dibutyyliftalaatti (DBP) ja butyylibentsyyli-ftalaatti (BBP). Ftalaatteja esiintyy ympäristössä maailmanlaajuisesti. Ne ovat toksisia leville ja suuret pitoisuudet ovat aikaansaaneet hormonaalisia häiriöitä koe-eläimille. Selkärankaisissa ftalaatit metaboloituvat niin nopeasti, etteivät ne akkumuloidu niiden elimistöön mainittavissa määrin. Ftalaatteja käytetään mm. pehmenysaineina muoveissa (erityisesti PVC:ssä) sekä lisäaineina maaleissa, liimoissa ja musteissa (Haimi & Mannio 2008).

#### 3.1.1

##### Di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP)

###### Taustatietoa

Di(2-etyyliheksyyli)ftalaatin (DEHP) käyttömäärä EU-alueella on pysynyt suunnitteen samalla tasolla 1970-luvulta lähtien. DEHP:ta sisältävistä tuotteista noin 78 % käytetään sisätiloissa (mm. muovimatot) ja 22 % ulkotiloissa (EU-RAR 2001). DEHP:ta käytetään Suomessa pääasiassa stabilisaattorina ja pehmittimenä PVC-muovissa ja kumissa. Vähäisemmin sitä käytetään muun muassa tiivistysaineissa, liimoissa, maaleissa ja kosmetiikkatuotteissa. DEHP:n käyttö on vaihdellut Suomessa 2000-luvulla 200 ja 2000 tonnin välillä. (KETU-rekisteri). DEHP ei sitoudu kemiallisesti matriisina olevaan polymeeriin pehmitinkäytössä, vaan sitä voi vapautua monista tuotteista ympäristöön jo käytön aikana sekä loppukäsittelyn yhteydessä (EU-RAR 2001, OSPAR 2006).

Vaikka DEHP on testeissä nopeasti biohajoava, sitä esiintyy yleisesti pieninä pitoisuuksina pintavedessä mm. Pohjois-Euroopassa (Braaten ym. 1996, Vikelsøe ym. 2001, Fromme ym. 2002, EU-RAR 2001). DEHP liukenee huonosti veteen ja se muodostaakin

kolloidisia dispersioita pitoisuuden ollessa suurempi kuin 3 µg/l. Se adsorpoituu helposti veden kiintoaineksen orgaanisten partikkeleiden pinnoille sekä sedimentin pintakerrokseen. Sen hajoaminen sedimentissä voi olla erittäin hidasta (EU-RAR 2001, OSPAR 2006). DEHP:n ei ole todettu olevan myrkyllistä vesieliöille niissä pitoisuuksissa, joissa se liukenee veteen. Se on vesieliöihin kertyvä yhdiste, joskaan sen ei ole havaittu rikastuvan ravintoketjussa. DEHP saattaa häiritä hormonitoimintaa ja se on luokiteltu lisääntymiselle vaaralliseksi aineeksi (ryhmä 2, STM 2005). Aine on luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle haitalliseksi aineeksi eli sen päästöjä ja huuhtoumia on asteittain vähennettävä.

## Tulokset

DEHP:tä tutkittiin neljällä yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Aineen pitoisuus puhdistamattomassa jätevedessä vaihteli välillä 2,3 – 12 µg/l (mediaani 3,9 µg/l) ja puhdistetussa jätevedessä välillä <1,0 – 1,1 µg/l (mediaani <1,0 µg/l). Puhdistustehokkuus pystyttiin laskemaan vain yhdelle puhdistamolle (Viikinmäki 65 %) kun muiden puhdistamoiden osalta voidaan vain todeta että puhdistustehokkuudet olivat >64 % - >92 %. Puhdistamolietteen pitoisuudet olivat välillä 5,0 - 24 mg/kg k.a. (Kuva 1). Puhdistamon koolla (asukasvastineluku) ei näytä olevan korrelaatiota DEHP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä (Kuva 2).

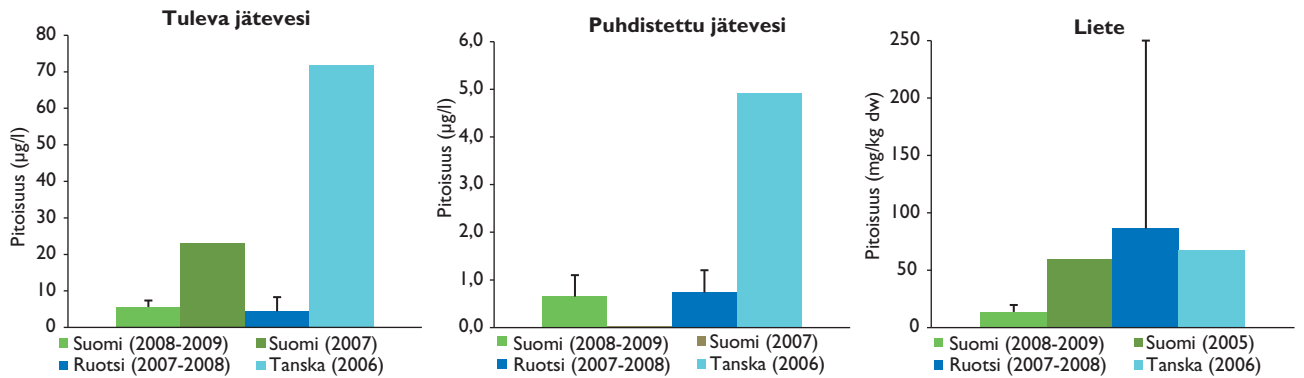
Yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden DEHP-pitoisuus oli samaa suuruusluokkaa kuin Ruotsissa mitatut pitoisuudet, mutta selkeästi pienempiä kuin Suomessa ja Tanskassa mitatut pitoisuudet 2000-luvulla (Kuva 1 ja Mannio ym. 2011, Marttinen ym. 2003, Aaltonen 2011). Puhdistetussa jätevedessä DEHP:n pitoisuus oli samaa suuruusluokkaa tai pienempi kuin Suomessa vuosina 1998-2001 (2-8 µg/l, 4 puhdistamoa, Marttinen ym. 2003), vuosina 2003-2005 (<1-19 µg/l, 3 puhdistamoa, Mannio ym. 2011), vuonna 2007 (Kuva 1), vuonna 2008 (0,1 & 3,5 µg/l, 2 puhdistamoa, Kajaste 2009), vuosina 2009-2010 (0,3-0,7 µg/l, med 0,3 µg/l, 3 puhdistamoa, Aaltonen 2011) ja vuonna 2010 (0,1-3,2 µg/l, med 0,3 µg/l, 9 puhdistamoa, Toivikko 2011) sekä Ruotsissa ja Tanskassa (Kuva 1) mitatut pitoisuudet.

DEHP-reduktio puhdistamolla oli samaa suuruusluokkaa kuin on havaittu aikaisemmin mm. VESKA-selvityksessä (Mannio ym. 2011), VVY:n laajassa E-PRTR-selvityksessä (>95 %, VVY 2008) ja mallinlaskelmissa (78 % sitoutuu puhdistamolietteeseen, 15 % hajoaa, ei haihdu ja 7 % pääsee vesistöön, EU-RAR 2001).

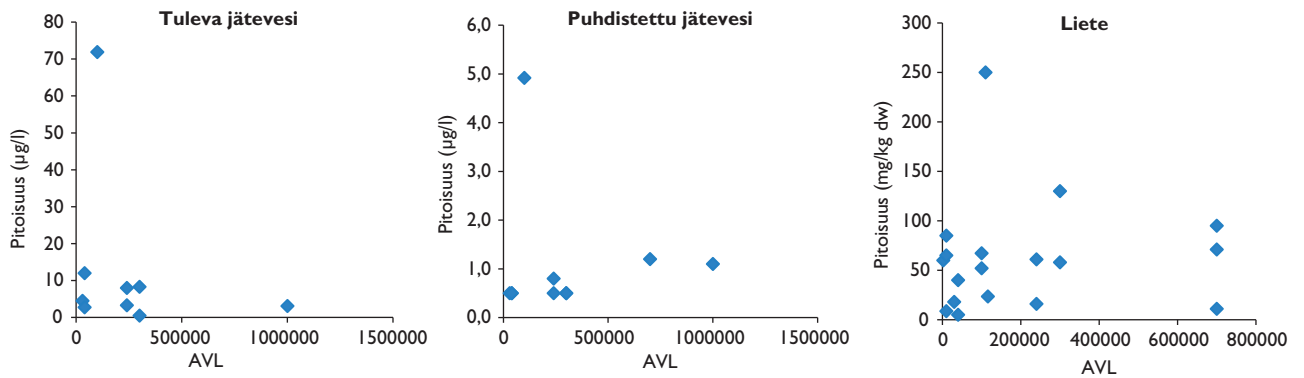
Sen sijaan puhdistamolietteestä mitatut pitoisuudet olivat pienempiä kuin Ruotsissa ja Tanskassa sekä Suomessa mitatut pitoisuudet vuonna 2005 (Kuva 1) ja 1990-luvun lopulla (91-203 mg/kg k.a., 4 puhdistamoa, Marttinen ym. 2003), mutta samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa vuosina 2003-2005 mitatut pitoisuudet (5 - 9 mg/kg k.a., keskiarvo 7 mg/kg k.a., 6 puhdistamoa, Mannio ym. 2011).

Ftalaateille tehtiin vesistä kaksi nollanäytettä, joissa molemmissa kaikkien yhdisteiden pitoisuudet olivat määrittämissä tuntumassa. Ftalaateille tehtiin rinnakkaismääritykset tulevasta ja lähtevästä (2 kpl) vedestä, suotovedestä ja lietteestä (2 kpl). Rinnakkaismääritykset eri yhdisteille olivat hyvät sekä vesi- että lietenäytteistä. Tulosten erot olivat reilusti pienempiä kuin yhdisteille ilmoitetut mittauserävarmuudet.

Ainetta löytyy kaatopaikan suotovedessä. Suotoveden DEHP-pitoisuus oli selvästi pienempi kuin suomalaisissa 1980- ja 1990-luvun lopulla selvityksissä (Taulukko 3), mutta samaa tasoa 2000-luvun suomalaisten ja ruotsalaisten tulosten kanssa. Tosin vanhempien selvitysten analytiikkaan voi liittyä epävarmuuksia, joiden johdosta tulosten vertailu on vaikeaa.



Kuva 1. DEHP-pitoisuuksia yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla pohjoismaissa. Suomi 2008-2009 (4 puhdistamoa, tämä tutkimus); Suomi 2007 (15 puhdistamoa, VVY 2008); Suomi 2005 (4 puhdistamoa, Vikman ym. 2006); Ruotsi 2007-2008 (9 puhdistamoa, Pettersson & Wahlberg 2010, Haglund & Olofsson 2008); Tanska 2006 (1 puhdistamo, Roslev 2007).



Kuva 2. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys DEHP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä. Pitoisuudet ovat yksittäisten puhdistamoiden keskiarvoja. Tiedot ovat samasta lähteestä kuin ylemmän kuvan tiedot

Taulukko 3. DEHP-pitoisuus kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä.

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	1 aktiivinen: 1,3 - 1,5
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	2 aktiivista: ei havaittu (<1)
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2008 & 2011 (Koskinen 2012)	2 aktiivista: ei havaittu (<1 & <2)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Pulkkinen 2012)	1 aktiivinen: 2,5
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Oksman 2012)	1 aktiivinen: ei havaittu (<1)
Suomi, 11 kaatopaikkaa / 1998-1999 (Marttinen ym. 2003)	8 aktiivista: 1 – 89 / keskiarvo 21 3 suljettua: 1 – 37 / keskiarvo 13
Suomi, 19 kaatopaikkaa / 1986-1989 (Assmuth ym. 1990)	aktiivisia ja suljettuja: med 0,4 / keskiarvo 7,1 / max 100
Ruotsi, 26 kaatopaikkaa / 2003 (Harstad 2006)	26 aktiivista: <LOD – 39 / med <LOD / keskiarvo 5,1
Ruotsi, 1 kaatopaikka / 2008 (Source Partnership 2008)	1 aktiivinen: 0,5

## Tulosten tarkastelua

DEHP:ta käytetään edelleen laajasti Suomessa pääkäyttökohteiden ollessa PVC-muovi ja kumi. DEHP:tä löytyy yleisesti yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä sekä kaatopaikan suotovedestä, joten sitä päätyy vesiympäristöön sekä kaatopaikoilta että yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta. Pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ovat pääsääntöisesti määritysrajan yläpuolella. Tämän kartoituksen tulosten perusteella pitoisuudet puhdistamojen lietteessä sekä kaatopaikkojen suotovedessä ovat alentuneet 1990-luvun lopun ja 2000-luvun suomalaisiin selvityksiin verrattuna, mutta pitoisuudet puhdistamojen puhdistetussa jätevedessä ovat pääosin pysyneet samalla tasolla. Tosin vanhempien selvitysten analytiikkaan voi liittyä epävarmuuksia, joiden johdosta tulosten vertailu on vaikeaa.

### 3.1.2

## Butyylibentsyyliiftalaatti (BBP)

### Taustatietoa

Butyylibentsyyliiftalaattia (BBP) käytetään Suomessa muun muassa liuottimena ja pehmittimenä lakoissa, kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa sekä maaleissa ja liimoissa. Lisäksi sitä voi esiintyä kosmetiikassa. BBP:n vuosittainen käyttömäärä on vaihdellut 2000-luvulla 100 ja 600 tonnin välillä (Mannio ym. 2011, KETU-rekisteri). Lisätietoja mm. BBP:n käytöstä ja päästöistä Suomessa sekä fysikaalis-kemiallisesta käyttäytymisestä löytyy VESPA-mietinnöstä (YM 2005) sekä BBP-kemikaalitietokortista (SYKE 2002a).

Pintavesiin päätyessään BBP sitoutuu pääasiallisesti veden kiintoainekseen ja sedimenttiin. Syvemmällä sedimentin anaerobisessa osassa sen hajoaminen on hidasta (EU-RAR 2007, OSPAR 2006). BBP on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja se kertyy jossain määrin eliöihin ja hajoaa biologisesti nopeasti. Aineen epäillään olevan lisääntymiselle myrkyllistä.

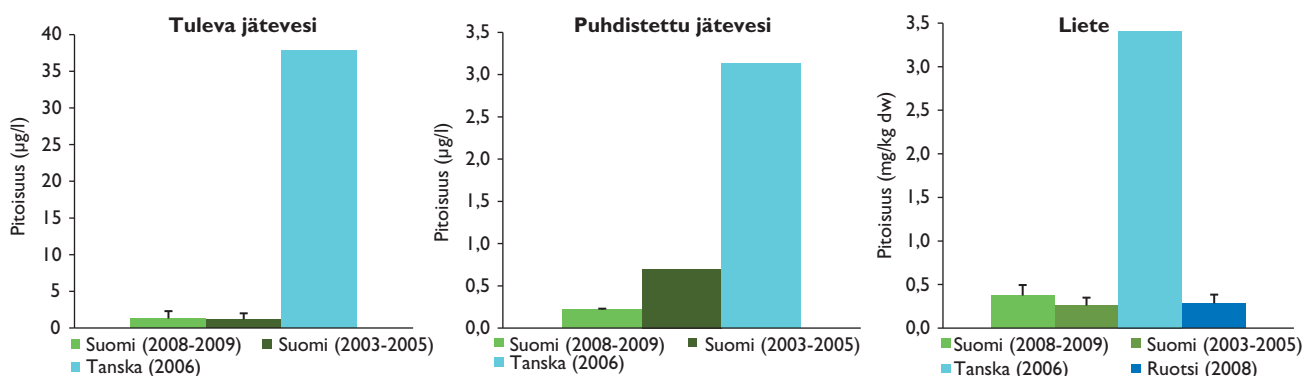
Aine on luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle haitalliseksi aineeksi eli sen päästöjä ja huuhtoumia on asteittain vähennettävä.

### Tulokset

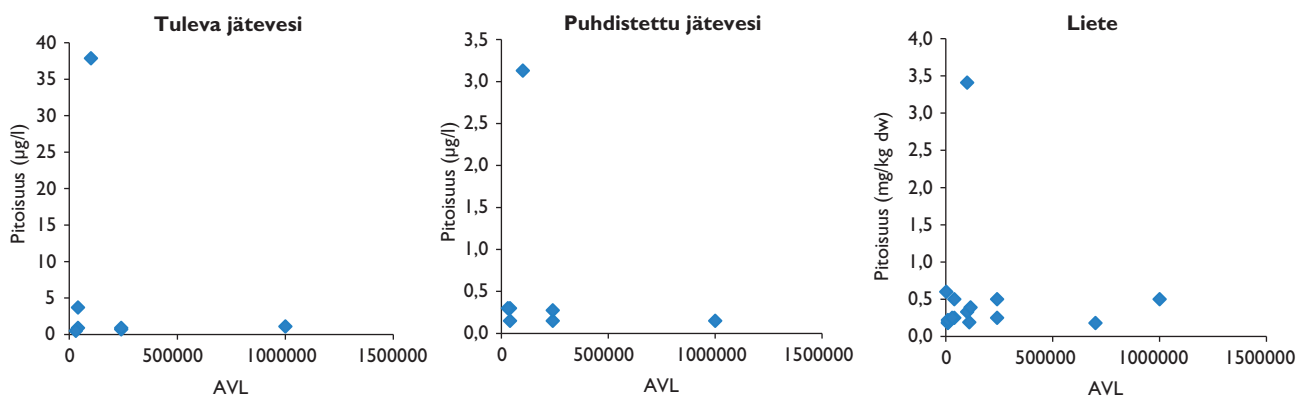
BBP:tä tutkittiin neljällä yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Aineen pitoisuus puhdistamattomassa jätevedessä vaihteli välillä 0,5 – 3,7 µg/l (mediaani 1,0 µg/l, kuva 3), mutta sitä ei pääsääntöisesti löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<0,3 µg/l, kuva 3). Ainetta ei havaittu puhdistamolietteestä (<0,5 / 1 mg/kg k.a., kuva 3). Puhdistamon koolla (asukasvastineluku) ei näytä olevan korrelaatiota BBP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä (Kuva 4). Mallinnustulosten perusteella on arvioitu, että BBP hajoaa suurelta osin jätevedenpuhdistamoilla (57%) ja lisäksi sitoutuu puhdistamolietteeseen (34%). Arvion mukaan noin 9 % BBP-kuormituksesta pääsee puhdistamoiden kautta pintavesiin (EU-RAR 2007)

BBP:n pitoisuus tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä oli pääsääntöisesti samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa ja Ruotsissa aikaisemmin 1990-luvun lopulla ja 2000-luvulla mitatut pitoisuudet, mutta selkeästi pienempiä kuin vuonna 2006 Tanskassa mitatut pitoisuudet (Kuva 3, Marttinen ym. 2003, Aaltonen 2011). VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011, 9 puhdistamo, näytteenotto v. 2010) ainetta ei havaittu puhdistetusta jätevedestä (<0,05 µg/l) kuten ei myöskään Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa (<0,05 µg/l) lukuun ottamatta yhtä näytettä (0,4 µg/l).

Tässä kartoituksessa puhdistamolietteestä mitattuja BBP-pitoisuuksia on vaikea verrata aikaisempaan Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin (<0,05 - 0,35 mg/kg, keskiarvo 0,25 mg/kg k.a., 6 puhdistamo, Mannio ym. 2011), koska analyysimenetelmän määrittäysraja oli huomattavasti korkeampi. Ainetta olisi siis voinut löytyä myös tässä kartoituksessa jos olisi käytetty yhtä hyvää määrittäysmenetelmää. Voi kuitenkin todeta, että lietteestä mitatut pitoisuudet ovat nykyisin pääosin samaa tasoa kuin Ruotsissa (ainetta havaittu vain yhdellä puhdistamalla pitoisuutena 0.39 mg/kg k.a., muilla 7 puhdistamalla pääosin <0,66 mg/kg k.a., Haglund & Olofsson 2008), mutta alhaisempia kuin Tanskassa (Kuva 3, huom! mittausdataa vain yhdeltä tanskalaiselta puhdistamolalta).



Kuva 3. BBP-pitoisuus yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä puhdistamolietteessä. Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamo. Suomi 2003-2005, 6 puhdistamo (Mannio ym. 2011). Ruotsi 2008; 8 puhdistamo (Haglund & Olofsson 2008); Tanska 2006; 1 puhdistamo (Roslev 2007).



Kuva 4. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys BBP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä

Ainetta ei pääsääntöisesti ole löytynytkaatopaikan suotovedestä 2000-luvulla. BBP:tä ei ole löytynyt suotovedestä suomalaisessa 1990-luvun lopun selvityksessä (Taulukko 4). Tosin vanhempien selvitysten analytiikkaan voi liittyä epävarmuuksia, joiden johdosta tulosten suora vertailu on vaikeaa.

Taulukko 4. BBP- pitoisuus kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä.

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	1 aktiivinen: ei havaittu (<0,3) & 0,6
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	2 aktiivista: ei havaittu (<0,1)
Suomi, 11 kaatopaikkaa / 1998-1999 (Marttinen ym. 2003)	8 aktiivista: ei havaittu (<1) 3 suljettua: <1-1

### Tulosten tarkastelua

BBP:a käytetään edelleen laajasti Suomessa muun muassa liuottimena ja pehmittimenä lakoissa, kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa sekä maaleissa ja liimoissa. BBP:tä löytyy yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä ja mahdollisesti puhdistamolietteestä sekä satunnaisesti kaatopaikan suotovedestä. Pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ja kaatopaikkojen suotovedessä ovat määritysrajan tuntumassa. Tämän kartoituksen tulosten perusteella pitoisuudet puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä ovat samaa suuruusluokkaa aikaisempiin suomalaisiin 1990-luvun lopun ja 2000-luvun selvityksiin verrattuna, mutta johtopäätösten tekoa vaikeuttaa mitatun pitoisuustiedon vähyys ja mahdolliset vanhempien selvitysten analytiikkaan liittyvät epävarmuudet. BBP:tä päätyy vesiympäristöön sekä kaatopaikoilta että yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

#### 3.1.3

### Dibutyyliftalaatti (DBP)

#### Taustatietoa

Dibutyyliftalaattia (DBP) käytetään Suomessa muun muassa maaleissa, liimoissa, liuottimena ja pehmittimenä lakoissa sekä kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa. Lisäksi sitä saattaa esiintyä kosmetiikassa ja pesuaineissa. DBP:n vuosittainen käyttömäärä on ollut 2000 luvulla 200-300 tonnin luokkaa, lukuun ottamatta vuotta 2007, jolloin kemikaalien tuoterekisteriin ilmoitettiin määräksi 3700 tonnia. (Mannio ym. 2011, KETU-rekisteri). Maalien valmistus on kansallisessa riskinarviointityössä (YM 2005) tunnistettu DBP:n riskikäyttökohteeksi vesiympäristön kannalta. Lisätietoja mm. DBP:n käytöstä ja päästöistä Suomessa sekä fysikaalis-kemiallisesta käyttäytymisestä löytyy VESPA-mietinnöstä (YM 2005) sekä BBP-kemikaalitietokortista (SYKE 2002b).

Pintavesiin päätyessään DBP sitoutuu pääosin vedessä olevaan kiintoainekseen ja sedimenttiin. Syvemmissä sedimenttikerroksissa se hajoaa anaerobisesti erittäin hitaasti (EU-RAR 2003, OSPAR 2006). Vesiliöille DBP on erittäin myrkyllistä. Se ei kerry merkittävästi eliöihin ja hajoaa biologisesti nopeasti. Aine on luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle haitalliseksi aineeksi eli sen päästöjä ja huuhtoumia on asteittain vähennettävä.

#### Tulokset

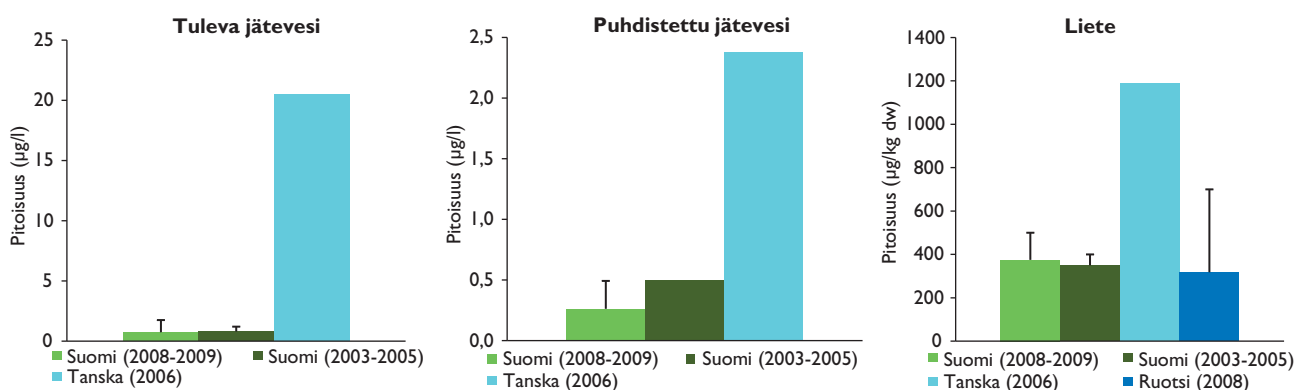
DBP:tä tutkittiin neljällä yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Aineen pitoisuus puhdistamattomassa jätevedessä vaihteli välillä <0,3 – 2,9 µg/l (mediaani 0,3 µg/l, kuva 5) ja puhdistetussa jätevedessä välillä <0,3 – 0,8 µg/l (mediaani <0,3 µg/l, kuva 5). Ainetta ei havaittu puhdistamolietteestä (<0,5 / 1 mg/kg k.a., Kuva 5). Mallinnustulosten perusteella on arvioitu, että aine hajoaa suurelta osin jätevedenpuhdistamoilla (58%) ja lisäksi sitoutuu puhdistamolietteeseen (33%). Arvion mukaan noin 9 % DBP-kuormituksesta pääsee puhdistamoiden kautta pintavesiin (EU-RAR 2003)

Puhdistamon koolla (asukasvastineluku) ei näytä olevan yhteyttä DBP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä mutta lietteessä pitoisuus näyttäisi olevan suurempi pienemmillä puhdistamoilla kuin suuremmilla puhdistamoilla (Kuva 6). Suuremmilta puhdistamoilta pitoisuus-mittauksia on kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin pienemmiltä puhdistamoilta, mikä heikentää johtopäätösten tekemistä.

DBP:n pitoisuus tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä oli samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa ja Ruotsissa 1990-luvun lopulla ja 2000-luvulla mitatut pitoisuudet, mutta pienempiä kuin 2000-luvun lopulla Tanskassa ja Suomessa mitatut pitoisuudet (Kuva 5, Marttinen ym. 2003, Aaltonen 2011, Toivikko 2011). VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011, 9 puhdistamoa, näytteenotto v. 2010) ainetta havaittiin vain yhden puhdistamon puhdistetusta jätevedestä (0,13 µg/l, muissa alle määrittärajän 0,05 µg/l) kuten ei myöskään Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa (<0,05 µg/l) lukuun ottamatta yhtä puhdistamoa (0,2-0,6 µg/l).

Tässä tutkimuksessa puhdistamolietteestä mitattuja DBP-pitoisuuksia on vaikea verrata aikaisempaan Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin (<0,05 – 0,41 mg/kg, keskiarvo 0,34 mg/kg k.a., 6 puhdistamoa, Mannio ym. 2011), koska analyysimenetelmän määrittärajä oli huomattavasti korkeampi. Ainetta olisi siis voinut löytyä myös tässä kartoituksessa jos olisi käytetty yhtä hyvää määrittämenetelmää. Voi kuitenkin todeta, että lietteestä mitatut pitoisuudet ovat nykyisin pääosin samaa tasoa kuin Ruotsissa (ainetta havaittu vain yhdeltä puhdistamolalta pitoisuutena 0.7 mg/kg k.a., muilla 7 puhdistamolalla pääosin <0,66 mg/kg k.a., Haglund & Olofsson 2008), mutta alhaisempia kuin Tanskassa (Kuva 3, huom! mittausdataa vain yhdeltä tanskalaiselta puhdistamolalta).

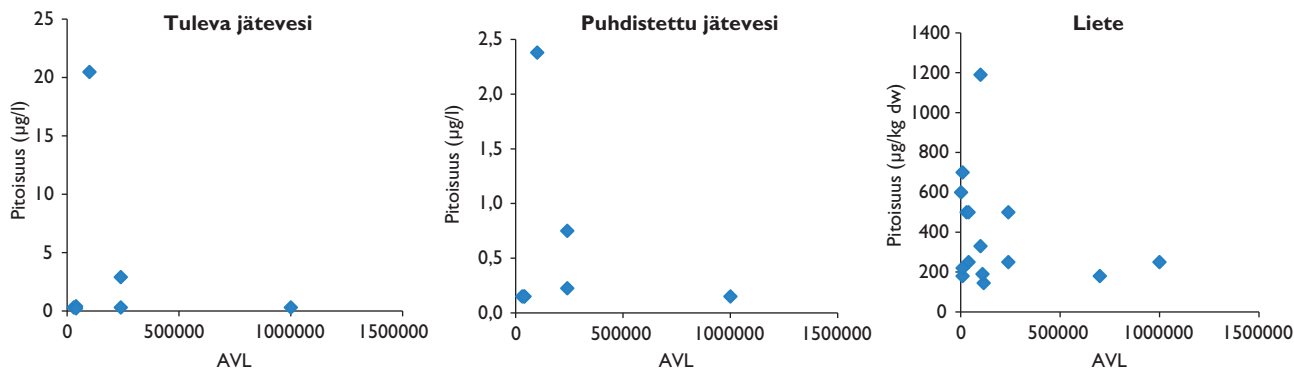
DBP:tä ei ole löytynyt kaatopaikan suotovedestä 2000-luvulla. Suotovedessä DBP:n pitoisuus oli alhaisempi kuin suomalaisessa 1990-luvun lopun selvityksessä, mutta samaa suuruusluokkaa kuin suomalaisessa 1980-luvun lopun selvityksessä (Taulukko 5). Tosin vanhempien selvitysten analytiikkaan voi liittyä epävarmuuksia, joiden johdosta tulosten vertailu on vaikeaa.



Kuva 5. DBP-pitoisuus puhdistamoiden keskiarvoina ja pitoisuuksien maksimi-arvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä.

Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamoa. Suomi 2003-2005, 6 puhdistamoa (Mannio ym. 2011). Ruotsi 2008; 8 puhdistamoa (Haglund & Olofsson 2008); Tanska 2006; 1 puhdistamoa (Roslev 2007).





Kuva 6. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys DBP-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.

Taulukko 5. DBP-pitoisuus kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	1 aktiivinen: ei havaittu (<0,3)
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	2 aktiivista: ei havaittu (<1)
Suomi, 11 kaatopaikkaa / 1998-1999 (Marttinen ym. 2003)	8 aktiivista: <1-17 / keskiarvo 7,8 3 suljettua: <1-17
Suomi, 19 kaatopaikkaa / 1986-1989 (Assmuth ym. 1990)	18 kunnallista: med 0,2 / keskiarvo 0,45 / max 2,0 1 teollisuuden: 0,1

## Tulosten tarkastelua

DBP:tä käytetään Suomessa edelleen laajalti muun muassa maaleissa, liimoissa, liuottimena ja pehmittimenä lakoissa sekä kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa DBP:tä löytyy yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä ja mahdollisesti puhdistamolietteestä mutta ei kaatopaikan suotovedestä. Pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ovat määräysrajan tuntumassa. Tämän kartoituksen tulosten perusteella pitoisuudet puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä ovat samaa suuruusluokkaa aikaisempaan suomalaisen selvitykseen verrattuna, mutta johtopäätösten tekoa vaikeuttaa mitatun pitoisuustiedon vähyys ja vanhempien selvitysten analytiikkaan liittyvät mahdolliset epävarmuudet. Ainetta päätyy vesiympäristöön yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

### 3.2

## Fenoliset yhdisteet

### 3.2.1

#### Nonyylifenoli (NP) ja nonyyllifenolietoksylaatit (NPE)

##### Taustatietoa

Nonyylifenolipolyetoksylaatteja käytetään maailmanlaajuisesti pintakäsittelyaineina kaupallisissa ja kodinhoitotuotteissa kuten pesuaineissa, kosmetiikkatuotteissa, vesipohjaisissa maaleissa, musteissa ja tekstiileissä (Gatidou ym.. 2007). NPE-yhdisteet muodostavat 80 % kaikista käytetyistä alkyylifenolietoksylaateista (APE). Niitä



tuotetaan vuosittain maailmanlaajuisesti noin 500 000 tonnia, joista 60 % päätyy vesiympäristöön. Valtaosa APE-yhdisteistä joutuu ympäristöön teollisuus- ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden kautta (Ying ym. 2002, Haimi & Mannio 2008)

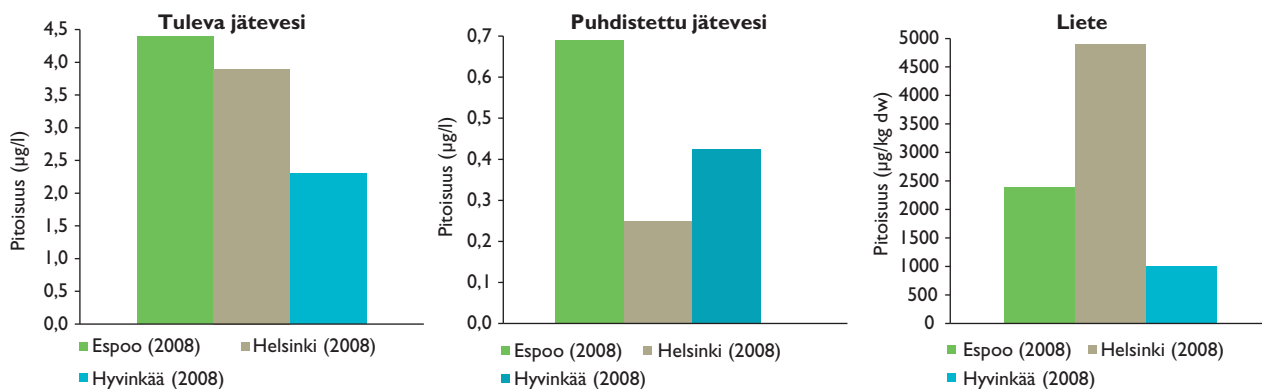
Nonyylifenoleja ja -etoksylaatteja käytetään nykyisin Suomessa pääasiassa maaleissa, mutta jossain määrin myös puhdistus- ja pesuaineissa. Vuosina 2005 – 2008 nonyylifenolietoksylaattien valmistus/maahantuontimäärä on ollut Suomessa noin 200-300 tonnia vuodessa ja nonyylifenolien noin 5-10 tonnia. Vuonna 2006 pääkäyttökohde oli maalien valmistus. Rajoitettuja kemikaaleja koskevien vienti-ilmoitusten perusteella alle 50 tonnia aineesta viedään maalituotteissa Suomen ulkopuolelle. Maahantuodut tuotteet (esim. tekstiilit) voivat sisältää nonyylifenolisia yhdisteitä (Seppänen 2010, Mannio ym. 2011, Mehtonen 2012a, KETU-rekisteri). Maalien valmistus ja lentokoneiden jäänesto (joissa molemmissa käyttö on vielä sallittu) on kansallisessa riskinarviointityössä (YM 2005) tunnistettu NP:n ja NPE:n riskikäyttökohteiksi vesiympäristön kannalta. Lisätietoja mm. NP:n ja NPE:n käytöstä ja päästöistä Suomessa sekä mm. fysikaalis-kemiallisesta käyttäytymisestä löytyy VESPA-mietinnöstä (YM 2005) sekä NP:n ja NPE:n kemikaalitietokorteista (SYKE 2002c ja d). Tarkempia tietoja aineiden esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Mehtonen 2012a).

Erilaiset nonyylifenolietoksylaatit hajoavat jätevedenkäsittelyssä ja ympäristössä lyhytketjuisiksi mono- ja dietoksylaateiksi (NP1E & NP2E), nonyylifenoliksi (NP) ja vastaaviksi hapoiksi. NP puolestaan on lipofiilisempi, toksisempi ja hitaammin biohajoava yhdiste kuin pitkäketjuiset etoksylaatit. Ympäristössä nonyylifenolit sitoutuvat kiintoainekseen ja sedimenttiin. Nonyylifenolien ja sen etoksylaattien on todettu vaikuttavan hormonin tavoin nisäkkäillä ja kaloilla. NP- ja NPE-yhdisteet estävät estrogeenista aktiivisuutta. Tämä vaikutus voimistuu NPE-yhdisteiden hiiliketjun lyhentyessä, ja NP:lla vaikutus on voimakkain. 4-nonyylifenoli on ryhmään 3 kuuluva lisääntymiselle vaarallinen aine, joka saattaa heikentää hedelmällisyyttä ja olla vaarallista sikiölle. Se on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja kertyy eliöihin sekä hajoaa biologisesti hitaasti vedessä (Haimi & Mannio 2008, Mannio ym. 2011). Aine on luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle vaaralliseksi aineeksi eli sen päästöt ja huuhtoumat on joko kerralla tai asteittain lopetettava.

## Tulokset

Nonyylifenolia (NPT, nonyylifenolin tekninen seos CAS 84852-15-3; nonyylifenoli-isomeerejä, jotka sisältävät suoraketjuisia ja eri tavalla haaroittuneita hiilivetyketjuja) löytyi jokaisesta tulevasta jätevesinäytteestä (2,3 – 4,7 µg/l) ja kaatopaikan suotovedestä (1,7 µg/l) (Kuva 7). Puhdistetussa jätevedessä pitoisuudet olivat alle määritysrajan (0,35 µg/l) mutta yli toteamisrajan (0,1 µg/l). Kahden jätevedenpuhdistamon lietteestä löytyi nonyylifenoleja 2,4 – 4,9 mg/kg k.a. ja myös kaatopaikan lietteestä hieman alle määritysrajan (1,0 mg/kg k.a.) olevia pitoisuuksia. 4-n-nonyylifenolia (NP4, CAS 104-40-5, nonyylifenoli-isomeeri, jossa fenolin hiileen nro 4 on liittynyt suoraketjuinen hiilivetyketju) ei löytynyt mistään näytteestä (Kuva 7, Taulukko 6).

Tässä selvityksessä mitatut nonyylifenolin (NPT + NP4) pitoisuudet kunnallisen puhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä olivat samaa suuruusluokkaa kuin suomalaisessa 2000-luvun puolivälin selvityksessä (Mannio ym. 2011, 10 puhdistamoa; <0,2-0,7, keskiarvo 0,4 µg/l NP4; <2-13, keskiarvo 5,5 mg/kg k.a. NP4) ja 2000-luvun lopun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1-3 puhdistamoa; <0,1-1,2, keskiarvo 0,3-0,4 µg/l 4-nonyylifenolia; 9 & 12 mg/kg k.a. 4-nonyylifenolia). Erona on kuitenkin se, että tässä selvityksessä löydettiin nonyylifenolin



Kuva 7. NP –pitoisuus puhdistamoiden keskiarvona ja pitoisuuksien maksimiarvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä tässä tutkimuksessa.

teknistä seosta. VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011) 4-n-nonyylifenolia ei havaittu yhdeksän puhdistamon puhdistetusta jätevedestä (<0,01 µg/l) kuten ei myöskään Aaltosen (2011) kartoituksessa (<0,01 µg/l, 3 puhdistamoa), jossa tosin löydettiin iso-nonyylifenolia (<0,1-0,8 µg/l, tunnetaan myös nimellä 3-nonyylifenoli, CAS 139-84-4; nonyylifenoli-isomeeri, jossa fenolin hiileen nro 3 on liittynyt suora-ketjuinen hiilivetyketju).

Nonyylifenolimonoetoksyalaattia (NP1E) löytyi tulevista jätevesistä (0,29 – 0,62 µg/l), mutta puhdistetuissa jätevesissä pitoisuudet olivat lähellä toteamisrajaa (0,05 µg/l) tai sen alle. Jätevedenpuhdistamon lietteissä nonyylifenolimonoetoksyalaatin pitoisuudet olivat alle määräysrajan (0,15 mg/kg k.a.). Kaatopaikan suotovedestä ja lietteistä nonyylifenolimonoetoksyalaattia ei löytynyt.

Nonyylifenolidietoksyalaattia (NP2E) löytyi tulevista jätevesistä 1,0 – 1,7 µg/l ja puhdistetuista jätevesistä lähellä määräysrajaa olevia pitoisuuksia (0,06 -0,22 µg/l). Kaatopaikan suotovedessä nonyylifenolidietoksyalaatin pitoisuus oli hieman yli toteamisrajan (0,02 µg/l). Yhdestä jätevedenpuhdistamon lietteestä nonyylifenolidietoksyalaattia löytyi 0,61 mg/kg k.a., kahden muun puhdistamon ja kaatopaikan lietteissä pitoisuus oli alle määräysrajan (0,12 – 0,26 mg/kg k.a., Taulukko 6).

Tässä selvityksessä mitatut nonyylifenolietoksyalaattien (NP1E ja NP2E) pitoisuudet kunnallisen puhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä olivat pääosin (lukuun ottamatta NP1E lietteessä) samaa suuruusluokkaa kuin suomalaisessa 2000-luvun lopun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1-3 puhdistamoa; <0,05-0,12, keskiarvo 0,07-0,09 µg/l NP1E; 2,4 & 3,4 mg/kg k.a. NP1E; <0,02-0,1, keskiarvo 0,04-0,05 µg/l NP2E; 0,2 & 0,4 mg/kg k.a. NP2E). Aaltosen (2011) kartoituksessa löydettiin puhdistetusta jätevedestä iso-nonyylifenolimonoetoksyalaatteja (<0,1-1,6 µg/l, 3 puhdistamoa), mutta pääsääntöisesti ei iso-nonyylifenolidi-, tri-, tetra-, penta-, ja heksaetoksyalaatteja (<0,1 µg/l).

Nonyylifenoleja ja -etoksyalaatteja on suomalaisissa selvityksistä löydetty yleisesti puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä (Vikman ym. 2006, VVY 2008, Kajaste ym. 2008, Mannio ym. 2011) mutta ei kaikissa (Toivikko 2011). Tarkempi vertailu näiden selvitysten tuloksiin ei ole mahdollista, koska tulokset ovat raportoitu ”nonyylifenolien ja nonyylifenolietoksyalaattien summana” tai ”nonyylifenolietoksyalaatteina”.

Nonyylifenolien ja nonyylifenolietoksyalaattien pitoisuudet suomalaisessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä sekä kaatopaikan suotovedessä ovat pääosin samaa tasoa kuin Itämeren muissa maissa 2000-luvulla (Taulukko 6, Mehtonen 2009, Nakari ym. 2011). On huomattava, että aineita on löy-

detty Suomessa myös teollisuusjätevedestä ja teollisuusalueen hulevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

Määritetyn nollanäytteen pitoisuudet eri yhdisteille olivat kaikki menetelmän määrittämissä rajan alapuolella. Fenolisille yhdisteille tehtiin rinnakkaismääritykset tulevasta ja lähtevästä vedestä sekä lietteestä. Vesinäytteiden rinnakkaisnäytteiden tulokset olivat vesinäytteille erinomaiset. Lietenäytteiden tulokset olivat bisfenoli A:ta lukuun ottamatta kaikki alle määrittämissä rajojen. Bisfenoli A:n rinnakkaisnäytteiden tuloksetkin olivat samaa suuruusluokkaa vaikka niiden ero oli 34 %.

Taulukko 6. NP- ja NPE- pitoisuuksia aktiivisten kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	<0,1 4-n-nonyylifenoli / 1,7 nonyyylifenolin tekninen seos / <0,05 NP1E / 0,06 NP2E
Suomi, 1 kaatopaikka / 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012))	1,4 & 1,7 4-nonyylifenoli / <0,05 & 0,21 NP1E / 0,07 & 0,08 NP2E
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Koskinen 2012)	3,2 iso-nonyylifenolit NP (4-nonyylifenoli) / <0,2 iso-NP1E / <0,5 iso-NP2E
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	<0,05 4-n-nonyylifenoli / 0,7 & 0,9 iso-nonyylifenolit (4-nonyylifenoli) / <0,5 iso-NP1E / <0,5 iso-NP2E
Ruotsi, 8 kaatopaikkaa / 2003 (Harstad 2006)	<MR-17 / med 2,6 / keskiarvo 4,1 4-nonyylifenoli / <MR-15 / med 5,4 / keskiarvo 5,3 4-NP1E

## Tulosten tarkastelua

Nonyylifenoleja ja etenkin sen etoksyylilähteitä käytetään edelleen laajasti Suomessa pääkäyttökohteiden ollessa maalit sekä puhdistus- ja pesuaineet. Nonyylifenoleja (NP) sekä nonyyylifenolimono- ja dietoksyylilähteitä (NP1E & NP2E) löytyy yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä sekä lietteestä ja kaatopaikkojen suotovedestä. NP-, NP1E- ja NP2E-pitoisuudet puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä ja NP1E- ja NP2E-pitoisuudet kaatopaikkojen suotovedessä ovat määrittämissä rajan tuntumassa. Nonyylifenolin pitoisuudet puhdistetussa yhdyskuntajätevedestä ja suotovedessä ovat korkeampia kuin nonyyylifenolimono- ja dietoksyylilähteiden. Nonyylifenoleja (NP) ja nonyyylifenolietoksyylilähteitä (NP1E & NP2E) päätyy vesiympäristöön kaatopaikoilta ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

Vertailu muiden selvitysten tuloksiin ei ole useinkaan mahdollista, koska tulokset ovat raportoitu aineryhmä-tasolla (mm. ”nonyylifenolien ja nonyyylifenolietoksyylilähteiden summa” tai ”nonyylifenolietoksyylilähteiden summa”) tai muuten eri tavalla (nonyylifenolin tekninen seos, 4-n-nonyylifenoli, 4-nonyylifenoli, iso-nonyylifenoli) johtuen erilaisista analyttisistä määrittämissä menetelmistä.

### 3.2.2

## Oktyylifenoli (OP) ja oktyylifenolietoksyylilähteet (OPE)

### Taustatietoa

Oktyylifenolietoksyylilähteet (OPE) ovat pinta-aktiivisia aineita, joita käytetään Suomessa pääosin pesuaineissa, maaleissa ja valokuvauskemikaaleissa. Oktyylifenolioksyylilähteitä käytettiin 2000-luvun alussa noin 40 tonnia vuodessa, mutta käyttömäärä on laskenut noin 1-4 tonniin vuosina 2005-2008. Oktyylifenoleita (OP) käytetään vain hyvin vähäisessä määrin Suomessa (KETU-rekisteri). Tarkempia tietoja aineiden esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa

löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Mehtonen 2012b).

Oktyylifenolit muistattavat rakenteeltaan, käyttökohteiltaan ja ympäristökäyttämismiseltään nonyylifenoleja. Nonyylifenolin tavoin oktyylifenoli muistuttaa rakenteeltaan joitain hormoneja (estradioli, androgeeni) ja voi häiritä eliöiden lisääntymistä (EU-RAR 2002). Se on erittäin myrkyllistä vesieliöille, kertyy eliöihin ja sen biologinen hajoaminen on hidasta vedessä. Aine on luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle haitalliseksi aineeksi eli sen päästöjä ja huuhtoumia on asteittain vähennettävä.

## Tulokset

Oktyylifenolia (OP) ei löydetty kolmen yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä (<0,35 µg/l) ja lietteestä (<0,6 mg/kg k.a.) eikä kaatopaikan laskeutusaltaan pohjalietteestä (<0,6 mg/kg k.a.). Kaatopaikan käsittelemättömästä suotovedestä löytyi oktyylifenolia hieman yli menetelmän toteamisrajan (0,11 µg/l, Taulukko 7). VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011, näytteenotto v. 2010 9 puhdistamolta) oktyylifenolia havaittiin kahden puhdistamon puhdistetusta jätevedestä pitoisuuksien ollessa 0,02-0,03 µg/l (määritysraja 0,01 µg/l).

Para-tert-oktyylifenolia (PTOF) löytyi lähes jokaisesta jätevesinäytteestä (0,40 – 0,59 µg/l) ja kaatopaikan suotovedestä (0,58 µg/l). Yhdessä jätevedenpuhdistamon lietteessä PTOF pitoisuus oli 1 mg/kg k.a. ja kaatopaikan lietteessä pitoisuus oli 0,61 µg/kg k.a.

Tässä selvityksessä mitatut oktyylifenolin (OP + PTOF) pitoisuudet kunnallisen puhdistamon puhdistetussa jätevedessä ovat samaa suuruusluokkaa kuin suomalaisessa 2000-luvun puolivälin selvityksessä (Mannio ym. 2011, 10 puhdistamo; <0,2-0,5, keskiarvo 0,35 µg/l 4-tert-oktyylifenoli; <2-2,7, keskiarvo 2,4 mg/kg k.a. 4-tert-oktyylifenoli) ja 2000-luvun lopun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1-3 puhdistamo; <0,05-0,24, keskiarvo 0,09-0,11 µg/l oktyylifenolia; 0,5 & 1,3 mg/kg k.a. oktyylifenolia). Erona on kuitenkin se, että tässä selvityksessä (tämä raportti) ei löydetty 4-tert-oktyylifenolia vaan para-tert-oktyylifenolia. Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa on löydetty puhdistetusta jätevedestä 4-tert-oktyylifenolia (<0,01-0,16 µg/l).

Oktyylifenolimonoetoksylaattia (OP1E) löytyi lähes jokaisesta jätevesinäytteestä yli menetelmän toteamisrajan (0,02 µg/l), kaikissa tulevissa jätevesissä pitoisuudet olivat hieman yli määritysrajan (0,07 µg/l).

Oktyylifenolidietoksylaattia (OP2E) löytyi vain yhdestä tulevasta jätevedestä yli määritysrajan (0,07 µg/l), kahdelta muulta paikalta yli toteamisrajan (0,02 µg/l). Puhdistetuissa jätevesissä ei havaittu OP2E:a (<0,02 µg/l). Lietenäytteissä ei löytynyt OP1E ja OP2E yhdisteitä (<0,05 mg/kg k.a.).

Tässä selvityksessä mitatut oktyylifenolidietoksylaattien (OP1E ja OP2E) pitoisuudet kunnallisen puhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä olivat pääosin samaa suuruusluokkaa kuin toisessa suomalaisessa 2000-luvun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1-3 puhdistamo; <0,02-0,02 µg/l OP1E; 0,05 & 0,2 mg/kg k.a. OP1E; <0,02 µg/l OP2E; <0,05 mg/kg k.a. OP2E). Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa löydettiin puhdistetusta jätevedestä 4-t-oktyylifenolimonoetoksylaatteja (<0,01-0,2 µg/l), mutta pääsääntöisesti ei 4-tert-oktyylifenolidi-, tri-, tetra-, penta-, ja heksaetoksylaatteja (<0,01 µg/l).

Oktyylifenoleja ja -etoksylaatteja on suomalaisissa selvityksistä löydetty yleisesti puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä (VVY 2008, Kajaste ym. 2008, Toivikko 2011). Tarkempi vertailu näiden selvitysten tuloksiin ei ole mahdollista, koska tulokset ovat raportoitu oktyylifenolien ja oktyylifenolidietoksylaattien summana.

Oktyylifenolien ja oktyylifenolietoksyylaattien pitoisuudet suomalaisessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä sekä kaatopaikan suotovedessä ovat pääosin samaa tasoa kuin Itämeren muissa maissa 1990-luvun lopulla ja 2000-luvulla (Taulukko 7, Mehtonen 2009, Nakari ym. 2011). On huomattava, että aineita on löydetty Suomessa myös teollisuusjätevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

Taulukko 7. OP- ja OPE- pitoisuuksia aktiivisten kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä.

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	0,11 OP / 0,58 PTOF / 0,04 OPIE / 0,09 OP2E
Suomi, 1 kaatopaikka / 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012)	<0,05 & 0,26 OP / 0,04 & 0,07 OPIE / <0,02 OP2E
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Koskinen 2012)	0,29 4-tert-OP
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	<0,1 4-tert-OP

## Tulosten tarkastelua

Oktyylifenoleja käytetään enää vain hyvin vähän Suomessa, mutta oktyylifenolietoksyylaatteja käytetään vielä jossain määrin. Oktyylifenoleja ja oktyylifenolimonoetoksyylaatteja löytyy puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä, puhdistamolietteestä sekä kaatopaikan suotovedestä. Oktyylifenolidietoksyylaatteja esiintyy kaatopaikan suotovedessä mutta ei puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä eikä puhdistamolietteessä. Oktyylifenolin pitoisuudet puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä ja kaatopaikan suotovedessä ovat korkeampia kuin oktyylifenolietoksyylaattien. OP- ja OP1E-pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ja kaatopaikan suotovedessä sekä OP2E-pitoisuudet kaatopaikan suotovedessä ovat määrittysrajan tuntumassa.

Vertailu muiden selvitysten tuloksiin ei ole useinkaan mahdollista, koska tulokset ovat raportoitu aineryhmä-tasolla (mm. "oktyylifenolien ja oktyylifenolietoksyylaattien summa" tai "oktyylifenolietoksyylaattien summa") tai tulokset on esitetty erilaisina isomeereinä (4-tert-oktyylifenoli, para-tert-oktyylifenoli) johtuen mahdollisesti erilaisista analyttisistä määrittysmenetelmistä. Oktyylifenoleja sekä oktyylifenolietoksyylaatteja päätyy vesiympäristöön sekä kaatopaikoilta että yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

### 3.2.3

## Bisfenoli A (BPA)

### Taustatietoa

Bisfenoli A on fenolinen yhdiste, jota käytetään Suomessa pääasiassa lämpöherkän paperin pinnoituksessa. Lämpöherkkää paperia käytetään pääosin (75 %) kauppakui-teissa ja fax-paperissa, mutta jossain määrin myös pääsy-, bussi- ja arvontalipuissa. Bisfenoli A:ta sisältävien kemikaalituotteiden vuosittainen käyttömäärä (tuotteiden valmistus + maahantuonti) Suomessa on ollut 2000-luvulla luokkaa 100-650 tonnia, lukuun ottamatta vuotta 2009, jolloin käyttömäärä oli melkein 1 100 tonnia. Myös markkinoilla myynnissä olevien ainetta sisältävien kemikaalituotteiden määrä on jonkin verran noussut 2000-luvun alusta (n. 70 tuotetta) 2000-luvun lopulle (90-100 tuotetta, KETU-rekisteri). Bisfenoli A:ta käytettiin EU-alueella noin 685 000 tonnia vuodessa 1990-luvun lopulla. Aineen pääkäyttökohteet ovat olleet polykarbonaatin

tuotanto (71 % kokonaiskäytöstä) ja epoksihartsien tuotanto (25 % kokonaiskäytöstä, EU-RAR 2003).

Nonyylifenolin ja oktyylifenolin tavoin bisfenoli A voi häiritä eliöiden hormonijärjestelmää. Se on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja hajoaa hitaasti maaperässä, mutta ei kuitenkaan kerry vesieliöihin (EU-RAR 2003, Hansen & Lassen 2008).

## Tulokset

Bisfenoli A:ta (BPA) löytyy kolmen yhdyskuntajätevedenpuhdistamon tulevasta (2,5 – 9,0 µg/l) ja puhdistetusta jätevedestä lähellä menetelmän määritysrajaa olevia tuloksia (0,25 – 0,54 µg/l, Kuva 8). BPA-reduktio puhdistamolla oli samaa suuruusluokkaa kuin mallinnuslaskelmissa (6 % sitoutuu puhdistamolietteeseen, 82 % hajoaa, ei haihdu ja 12 % pääsee vesistöön, EU-RAR 2003).

Yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden ja puhdistetun jäteveden sekä lietteen pitoisuudet ovat keskimäärin suurempia kuin muissa pohjoismaissa (Kuva 8). Tässä selvityksessä mitatut bisfenoli A:n pitoisuudet kunnallisen puhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä ovat samaa suuruusluokkaa kuin toisessa suomalaisessa 2000-luvun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1-3 puhdistamoa; 0,1-0,7 µg/l, <0,3 mg/kg k.a.). Puhdistamon koolla (asukasvastineluku) ei näytä olevan yhteyttä bisfenoli A -pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä (Kuva 9).

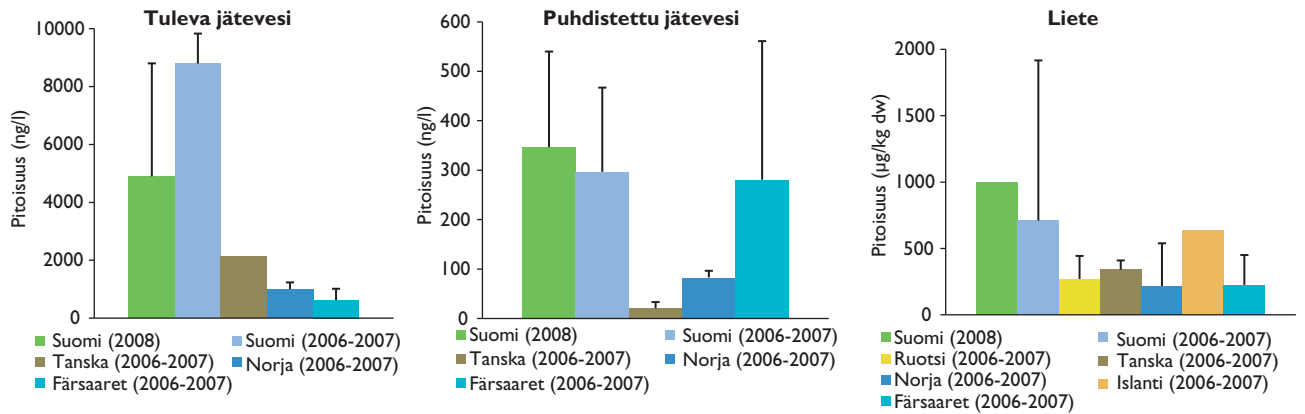
Kaatopaikan käsittelemättömästä suotovedestä löytyi bisfenoli A:ta 130 µg/l, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin muissa suomalaisissa 2000-luvun selvityksissä (Taulukko 8). Yhden yhdyskuntajätevedenpuhdistamon lietteestä (1,7 mg/kg k.a.) ja kaatopaikan laskeutusaltaan pohjalietteestä (4,9 – 10 mg/kg k.a.) löytyi bisfenolia A:ta (Taulukko 8).

Bisfenoli A:n pitoisuudet suomalaisessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä ovat pääosin samaa tasoa kuin Itämeren muissa maissa 2000-luvulla, mutta kaatopaikan suotovedessä pitoisuudet ovat keskimäärin suurempia Suomessa (Taulukko 8, Nakari ym. 2011). On huomattava, että aineita on löydetty Suomessa myös teollisuusjätevedestä ja teollisuusalueen hulevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

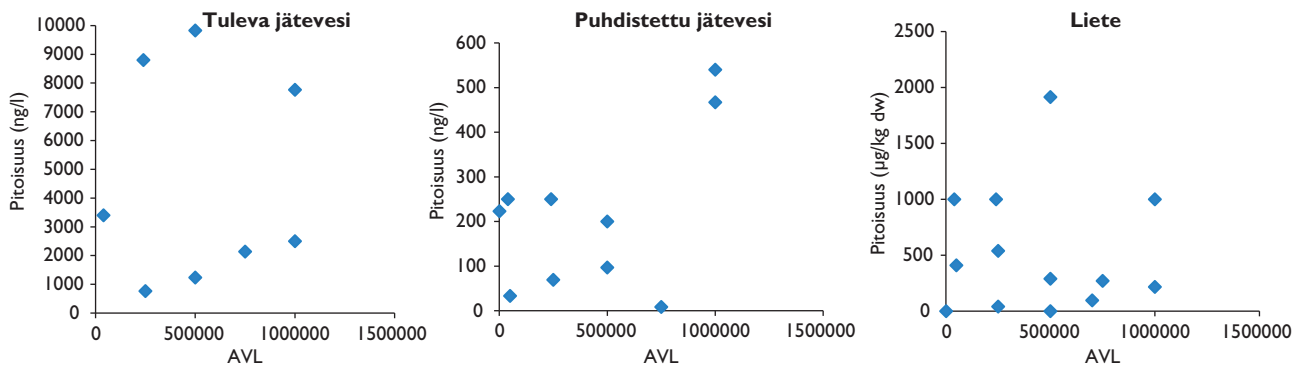
Taulukko 8. BPA- pitoisuus aktiivisten kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömissä suotovesissä.

Alue / näytteenottoaika	Suotovesi (µg/l)
Suomi, 1 kaatopaikka/ 2008-2009 (tämä tutkimus)	130
Suomi, 1 kaatopaikka / 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012)	86 & 302
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	<0,05 & 21
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Koskinen 2012)	32
Suomi, 1 kaatopaikka / 2010 (Kettunen & Laaksonen 2011)	32
Ruotsi, 1 kaatopaikka / 2008 (Source Partnership 2008)	87





Kuva 8. BPA-pitoisuus puhdistamoiden keskiarvona ja pitoisuuden maksimiarvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä. Suomi 2008 = tämä tutkimus; 3 puhdistamaa. Suomi 2006-2007; 3 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008). Tanska 2006-2007; 2 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008). Norja 2006-2007; 2 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008). Färösaaret 2006-2007; 2 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008). Ruotsi 2006-2007 2 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008). Islanti 2006-2007; 3 puhdistamaa (Hansen & Lassen 2008)



Kuva 9. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys BPA-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.

## Tulosten tarkastelua

Bisfenoli A:ta käytetään Suomessa suuressa määrin ja pääasiassa lämpöherkän paperin pinnoituksessa. Sitä löytyy yleisesti yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä sekä kaatopaikan suotovedestä ja jossain määrin myös puhdistamolietteestä. Bisfenoli A:ta päätyy vesiympäristöön kaatopaikoilta ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

## Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)

### Taustatietoa

Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) ovat usein tasomaisia bentseenirenkaista koostuvia yhdisteitä. PAH-yhdisteitä syntyy epätäydellisen palamisen yhteydessä. Monet PAH-yhdisteet ovat osoittaneet mutageenistä ja karsinogeenista aktiivisuutta sekä ovat erittäin pysyviä aineita. On huomattava, että PAH-yhdisteet voivat olla myrkyllisiä eri tavalla.

PAH-ilmapäästöjä voi syntyä polttoaineiden palaessa, metallien sulatuksessa, metsäpaloissa ja yleensä polttotapahtumissa. PAH-yhdisteitä on myös ajoneuvojen pakokaasuissa. PAH-yhdisteet ovat niukkaliukoisia veteen ja vedessä ne sitoutuvat orgaaniseen ainekseen. Teollisuuden palamisprosesseissa syntyvistä PAH-yhdisteistä osa jää hiukkaserottimeen, mutta rikinpoiston jätevesien kiintoaineessa ja kattiloiden pesuvesien mukana PAH-yhdisteitä voi joutua jätevesiin (SYKE 2005). Myös joitakin PAH-yhdisteitä sisältäviä tuotteita kuten kreosootia käytetään Suomessa. PAH-yhdisteiden päästölähteistä ja ilmapäästöistä löytyy tarkempaa tietoa aikaisemmista kansallisista päästöselvityksistä (Koskinen ym. 2005, EU-RAR 2008, SYKE 2012).

EU:n vesipuitedirektiivin prioriteettiainelistalla on kahdeksan PAH-tyyppistä yhdistettä: bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)-fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, antraseeni, fluoranteeni ja naftaleeni. Bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)-fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni ja antraseeni ovat luokiteltu vaarallisten aineiden asetuksessa (VNa 868/2010) vesiympäristölle vaarallisiksi aineiksi eli niiden päästöt ja huuhtoumat on joko kerralla tai asteittain lopetettava.

Fluoranteeni ja naftaleeni ovat luokiteltu vesiympäristölle haitallisiksi aineiksi eli niiden päästöjä ja huuhtoumia on asteittain vähennettävä.

Neljä PAH-yhdistettä (bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)-fluoranteeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni) kuuluu pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevassa Tukholman sopimuksessa ja Euroopan talouskomission, UNECE:n kaukokulkeutumisopimuksen POP-pöytäkirjassa listattuihin POP-yhdisteisiin.

Usein PAH-yhdisteistä analysoidaan kuitenkin 16 ns. EPA PAH:ia, jotka US EPA on määrittänyt ja joiden arvioidaan aiheuttavan tai voivan aiheuttaa syöpää ihmisissä tai muissa eläimissä.

### Tulokset

#### *Vesipuitedirektiivissä indikoidut PAH-yhdisteet:*

Bentso(a)pyreeniä havaittiin tulevasta jätevedestä vuoden 2009 näytteistä (1-6 ng/l, 3 puhdistamo), mutta ei vuoden 2008 näytteistä (<1 ng/l, 3 puhdistamo). Ainetta ei löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<1 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Bentso(b)fluoranteenia, bentso(k)-fluoranteenia, bentso(g,h,i)peryleeniä ja indeno(1,2,3-cd)pyreeniä ei havaittu tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Antraseeniä ei pääsääntöisesti havaittu tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.). Laskennallisen mallin mukaan, olettaen, että hajoamista ei juuri tapahdu, noin puolet antraseenista sitoutuu jätevedenpuhdistamolla lietteeseen ja vain noin 1 % haihtuu (Mannio ym. 2011).



Fluoranteenia havaittiin kolmen puhdistamon tulevasta jätevedestä kummallakin näytteenotokerralla (10-30 ng/l) sekä kahden puhdistamon lietteestä tasolla 140-260 µg/kg k.a. Ainetta ei löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l).

Naftaleenia havaittiin tulevasta jätevedestä kummallakin näytteenotokerralla (20-100 ng/l, 4 puhdistamoa). Ainetta ei pääsääntöisesti löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l, paitsi yhdessä näytteessä 20 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Tutkimuskohteena olleiden neljän suomalaisen yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevan ja puhdistetun jäteveden PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin Ruotsissa 2007-2008 mitatut pitoisuudet (Pettersson & Wahlberg 2010). Bentso(ghi)peryleenin ja fluoranteenin pitoisuudet tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä olivat samaa suuruusluokkaa kun taas naftaleenin pitoisuus tulevassa jätevedessä oli pienempi kuin vuoden 2007 VVY:n selvityksessä (VVY 2008). VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011, näytteenotto v. 2010) vesipuitteedirektiivissä indikoituja PAH-yhdisteitä ei havaittu yhdeksän puhdistamon puhdistetusta jätevedestä.

Antraseenin ja fluoranteenin pitoisuus puhdistamolietteessä oli samaa suuruusluokkaa mutta naftaleenin pienempi kuin Suomessa 1990-luvun lopulla (Marttinen ym. 2003, 3 puhdistamoa; antraseeni <50-90 µg/kg k.a., naftaleeni 180-330 µg/kg k.a., fluoranteeni <50-330 µg/kg k.a.).

Tässä tutkimuksessa ei pystytty kvantifioimaan PAH-yhdisteiden reduktiota yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla, mutta VVY:n selvityksessä (VVY 2008) havaittiin, että PAH-yhdisteiden reduktiot jätevedenpuhdistamoilla vaihtelivat välillä 50 % - 98 %. Mallintamalla arvioituna suurin osa (noin 90 %) bentso(a)pyreenistä, bentso(b)fluoranteenista ja bentso(k)fluoranteenista, bentso(ghi)peryleenistä ja indeno(1,2,3-cd)-pyreenistä sitoutuu jätevedenpuhdistamolla jätevesilietteeseen (Mannio ym. 2011).

#### **Muut PAH-yhdisteet:**

Asenaftaaleenia havaittiin tulevasta jätevedestä vuoden 2009 näytteistä (<10-60 ng/l, havaittu kahdessa puhdistamosta kolmesta) ja vuoden 2008 näytteistä (<10-20 ng/l, havaittu yhdessä puhdistamosta kolmesta). Ainetta ei löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Bentso(a)antraseenia, dibentso(ah)antraseenia ja kryseeniä ei havaittu tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Fenantreenia havaittiin tulevasta jätevedestä kaikista näytteistä (20-50 ng/l, 4 puhdistamoa). Ainetta ei pääosin löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10-10 ng/l), mutta löytyi 3 lietenäytteestä (200-390 µg/kg k.a., kolme muuta näytettä <100 µg/kg k.a.).

Fluoreenia havaittiin tulevasta jätevedestä neljästä näytteestä (10-20 ng/l, 4 puhdistamoa; yhteensä 6 näytettä). Ainetta ei löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l) eikä lietteestä (<100 µg/kg k.a.).

Pyreeniä havaittiin tulevasta jätevedestä neljästä näytteestä (10-20 ng/l, 4 puhdistamoa; yhteensä 6 näytettä) sekä lietteestä neljästä näytteestä (120-220 µg/kg k.a.). Ainetta ei löytynyt puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l).

Määritetyn nollanäytteen pitoisuudet eri yhdisteille olivat kaikki menetelmän määritysrajan alapuolella. PAH-yhdisteille tehtiin rinnakkaismäärittäisiä tulevasta ja lähtevästä (2 kpl) vedestä, suotovedestä ja lietteestä (2 kpl). Valittujen rinnakkaisnäytteiden pitoisuuksien erot eri yhdisteille olivat pienet kaikissa tutkituissa vesissä ja lietteessä.

Asenaftteenin, fenantreenin, fluoreenin ja pyreenin pitoisuus puhdistamolietteessä oli samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa 1990-luvun lopulla (Marttinen ym. 2003, 3 puhdistamo; asenaftteeni  $\leq 50$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., fenantreeni  $< 50\text{-}350$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., fluoreeni  $< 50\text{-}90$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., pyreeni  $< 50\text{-}390$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a.).

Tässä tutkimuksessa puhdistamolietteestä mitattuja PAH-pitoisuuksia on vaikea verrata vuonna 2003-2005 Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin (Mannio ym. 2011), koska analyysimenetelmän määrittäjäraja oli huomattavasti korkeampi kuin vuosien 2003-2005 kartoituksessa (Taulukko 9). Taulukon 9 aineita olisi siis voinut löytyä myös tässä tutkimuksessa jos olisi käytetty yhtä hyvää määrittäjämenetelmää.

Taulukko 9. PAH-yhdisteiden pitoisuuksia yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen lietteessä. (\* = Vpd:n prioriteettiaine)

PAH-yhdiste	Suomi, 4 puhdistamo / 2008-2009 (tämä tutkimus) $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a.	Suomi, 10 puhdistamo / 2003-2005 (Mannio ym. 2011) $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a.	Ruotsi, 2 puhdistamo / 2007-2008 (Pettersson & Wahlberg 2010) $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a.
Bentso(a)pyreeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	13-320, keskiarvo 68	$< 30 - 60$
Benzo(b & k)fluoranteeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	B(b)f 18-310, keskiarvo 74 B(k)f 5-160, keskiarvo 32	$< 30 - 120$
Benso(g,h,i)peryleeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	17-210, keskiarvo 59	Ei havaittu ( $< 30$ )
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	8-180, keskiarvo 41	$< 30 - 30$
Antraseeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	$< 5 - 60$ , keskiarvo 29	Ei havaittu ( $< 30$ )
Fluoranteeni*	$< 100 - 260$	61-810, keskiarvo 227	30-180, keskiarvo 90
Naftaleeni*	Ei havaittu ( $< 100$ )	-	30-100, keskiarvo 70
Asenaftteeni	Ei havaittu ( $< 100$ )	$< 10 - 310$ , keskiarvo 80	-
Bentso(a)antraseeni	Ei havaittu ( $< 100$ )	19-380, keskiarvo 87	-
Dibentso(ah)antraseeni	Ei havaittu ( $< 100$ )	$< 5 - 82$ , keskiarvo 17	-
Fenantreeni	$< 100\text{-}390$	58-1100, keskiarvo 385	30-210, keskiarvo 100
Fluoreeni	Ei havaittu ( $< 100$ )	34-550, keskiarvo 124	-
Kryseeni	Ei havaittu ( $< 100$ )	58-810, keskiarvo 210	-
Pyreeni	120-220	92-750, keskiarvo 241	30-180, keskiarvo 100

Kaikkia vesipuitteidirektiivissä indikoituja PAH-yhdisteitä (bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)-fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, antraseeni, fluoranteeni & naftaleeni) löytyi kaatopaikan suotovedestä. Pitoisuudet ovat 2000-luvulla olleet määrittäjärajan läheisyydessä (10 ng/l) lukuun ottamatta lähes aina löytyneitä fluoranteenia ( $< 10\text{-}250$  ng/l) ja naftaleenia (20-830 ng/l) (Taulukko 10 ja 11, Kettunen & Laaksonen 2011, Koskinen 2012, Pulkkinen 2012). Naftaleeni-pitoisuus suotovedessä on voinut pienentyä 1980-luvun lopulta. (Taulukko 11).

Myös muita PAH-yhdisteitä (asenaftteeni, bentso(a)antraseeni, fenantreeni, fluoreeni, kryseeni ja pyreeni) löytyi kaatopaikan suotovedestä. Vain dibentso(ah)antraseeniä ei löytynyt suotovedestä. Fluoreenia, asenaftteenia ja fenantreenia löytyi suurimpina pitoisuuksina (Taulukko 10, Kettunen & Laaksonen 2011, Koskinen 2012, Pulkkinen 2012). Asenaftteenin, fenantreenin, fluoreenin ja pyreenin pitoisuudet suotovedessä eivät ole muuttuneet 1990-luvun loppuun verrattuna (Taulukko 10).

Taulukko 10. PAH-yhdisteiden pitoisuus suomalaisten kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömässä suotovedessä.

\* = Vpd:n prioriteettiaine

PAH-yhdiste	I kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus) ng/l	II kaatopaikkaa / 1998-1999 (Marttinen ym. 2003) ng/l	2 kaatopaikkaa / 2008 & 2011 (Koskinen 2012) ng/l	2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010) ng/l
Bentso(a)pyreeni*	12 & 15	-	10	<10
Benzo(b&k)fluoranteeni*	B(b)f 20- 30 B(k)f ≤10	-	B(b)f <5 B(k)f <5	<10
Benso(g,h,i)peryleeni & *	<10 & 20	-	2	<10
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni*	<10 & 20	-	2	<10
Antraseeni*	≤10	8 aktiivista: <50, paitsi yhdessä 100 3 suljettua: <50	19	<10
Fluoranteeni*	80 & 250	-	16	<10 & 20
Asenaftteeni	20 & 320	8 aktiivista: <50- 400 / med 90 3 suljettua: <50	30 & 220	<10 & 70
Bentso(a)antraseeni	<10 & 30	-	<5	<10
Dibentso(ah)antraseeni	ei havaittu (<10)	-	<1	<10
Fenantreeni	130 & 230	8 aktiivista: <50-170/ med <50 3 suljettua: <50	50 & 130	<10 & 40
Fluoreeni	80 & 340	8 aktiivista: <50-260 / med 60 3 suljettua: <50	40 & 220	10 & 110
Kryseeni	20 & 60	-	<5	<10
Pyreeni	<10 & 90	8 aktiivista: <50-100 / med <50 3 suljettua: <50	12 & 40	<10 & 20

Taulukko 11. Naftaleenipitoisuus kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömässä suotovedessä.

Alue/ näytteenottoaika	Suotovesi (ng/l)
Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus)	190 & 830
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2010 (Virolainen 2010)	2 aktiivista: 20 & 130
Suomi, 2 kaatopaikkaa / 2008 & 2011 (Koskinen 2012)	2 aktiivista: 320 & 740
Suomi, 1 kaatopaikka / 2011 (Pulkkinen 2012)	1 aktiivinen: 230
Suomi, 1 kaatopaikka / 2010 (Kettunen & Laaksonen 2011)	1 aktiivinen: 130
Suomi, 11 kaatopaikkaa / 1998-1999 (Marttinen ym. 2003)	8 aktiivista: <1000- 2700 / keskiarvo 1300 3 suljettua: ei havaittu
Suomi, 8 kaatopaikkaa / 1986-1989 (Assmuth ym. 1990)	med <1000 / keskiarvo 2700 / max 9000

## Tulosten tarkastelua

PAH-yhdisteitä syntyy epätäydellisen palamisen yhteydessä. Myös joitakin PAH-yhdisteitä sisältäviä tuotteita kuten kreosoottia käytetään Suomessa. Vesipuitteidirektiivissä indikoituja PAH-yhdisteitä (bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)-fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, antraseeni, fluoranteeni & naftaleeni) ei pääsääntöisesti löydy yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetusta jätevedestä eikä lietteestä lukuun ottamatta fluoranteenia, jota löytyi lietteestä. Kaikkia vesipuitteidirektiivin PAH-yhdisteitä löytyy kaatopaikan suotovedestä naftaleeni- ja fluoranteeni-pitoisuuksien ollessa suurimpia. Naftaleeni-pitoisuus suotovedessä on voinut pienentyä 1980-luvun lopulta lähtien.

Tutkituista muista PAH-yhdisteistä (asenaftteeni, bentso(a)antraseeni, dibentso(ah)antraseeni, fenantreeni, fluoreeni, kryseeni ja pyreeni) vain fenantreenia löytyy puhdistetusta jätevedestä kun taas kaikkia 7 yhdistettä löytyy lietteestä. Asenaftteenia, bentso(a)antraseenia, fenantreenia, fluoreenia, kryseenia ja pyreenia löytyy mutta dibentso(ah)antraseenia ei löydy kaatopaikan suotovedestä. Fluoreenia, asenafttee-

nia ja fenantreenia löytyy suurimpina pitoisuuksina. Asenaftenin, fenantreenin, fluoreenin ja pyreenin pitoisuudet suotovedessä eivät ole muuttuneet 1990-luvun loppuun verrattuna.

Mitään tutkittua PAH-yhdistettä, fenantreenia lukuun ottamatta, ei päädy vesiympäristöön puhdistetun yhdyskuntajäteveden kautta. Kaikkia PAH-yhdisteitä, lukuun ottamatta dibentso(ah)antraseenia, päätyy vesiympäristöön kaatopaikoilta.

### 3.4

## Orgaaniset tinayhdisteet

### Taustatietoa

Tributyylitinaa (TBT) ja trifenyylitinaa (TPhT) ryhdyttiin käyttämään laivojen ja veneiden eliöiden kiinnittymistä estävissä pohjamaaleissa eli antifouling-maaleissa tehoaineina 1960-luvulla. Niiden antifouling-käyttö yleistyi 1970- ja 1980-luvuilla, vähentyi 1990-luvulla käyttörajoitusten johdosta ja kiellettiin vuonna 2003. Vuoden 2007 loppuun mennessä vanhat TBT-pitoiset maalipinnoitteet on pitänyt joko poistaa tai maalata yli (YM 2007). Maalien lisäksi TBT:tä ja jossakin määrin myös TPhT:tä on käytetty mm. massa- ja paperiteollisuuden liman- ja homeentorjuntaan, puutavaran suojaukseen, kalankasvattamoilla verkkokassien desinfiointiin sekä maataloudessa kasvinsuojeluaineena. On arvioitu, että TBTO:ta on käytetty suurin piirtein 95 %:sti antifouling-maalien valmistukseen, kun taas loput 5 % on käytetty puunsuojakemikaalina. Ympäristövaikutuksiltaan merkittävimmät TBT-päästöt ovat peräisin antifouling-maaleista (BUA 2003, YM 2007).

Dibutyylitinaa (DBT), joka on TBT:n hajoamistuote, on käytetty vuosina 2007-2009 Suomessa 5-16 tonnia vuodessa (75-104 kemikaalituotetta, KETU-rekisteri) ja vuonna 2006 jopa 106 tonnia vuodessa. Muovituotteiden valmistus on ollut merkittävin DBT:n käyttökohde, mutta käyttöä on ollut myös mm. liimoissa, maaleissa ja saumausmassoissa (60 kemikaalituotetta, KETU-rekisteri, YM 2007). Sen sijaan monobutyylitinaa (MBT), joka on DBT:n hajoamistuote, on käytetty 2000-luvun lopulla Suomessa vain muovituotteiden valmistuksessa ja siinäkin käyttö on ollut vähäistä (1 kemikaalituote, vuodet 2006-2009, KETU-rekisteri).

Tarkempia tietoja TBT:n esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Mehtonen & Munne 2012).

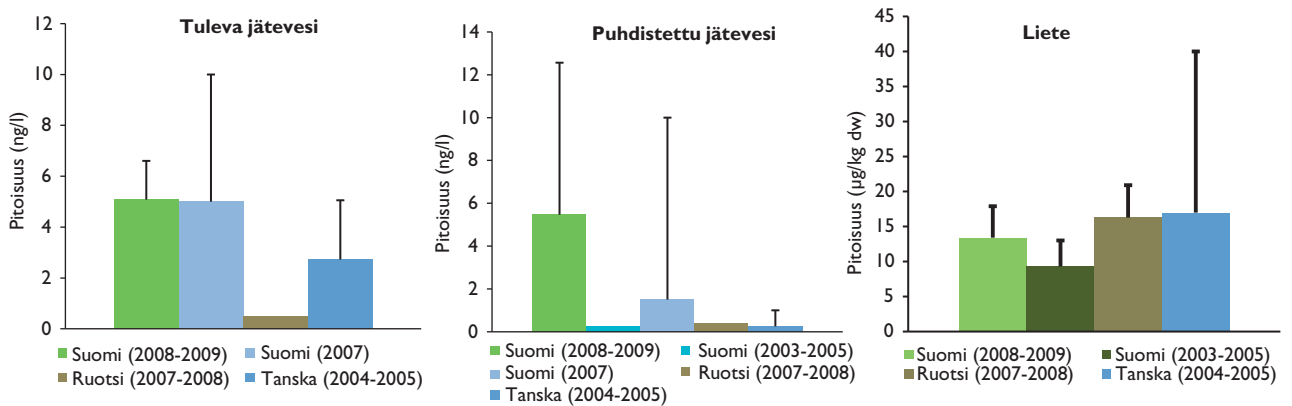
Myrkyllisimpiä orgaanisista tinayhdisteistä ovat trisubstituoidut tinayhdisteet, kuten TBT ja TPhT, jotka ovat useimmille vesieliöille erittäin myrkyllisiä. TBT vaikuttaa tiettyjen meressä ja makeissa vesissä elävien nilviäislajien endokriinisiin järjestelmiin jo hyvin pienillä pitoisuuksilla (1 ng/l ylöspäin, YM 2007). TBT ja TPhT ovat potentiaalisia PBT- ja vPvB-yhdisteitä kun taas DBT ja DOT ovat potentiaalisia PBT-yhdisteitä mutta eivät vPvB-yhdisteitä (RPA 2005).

### Tulokset

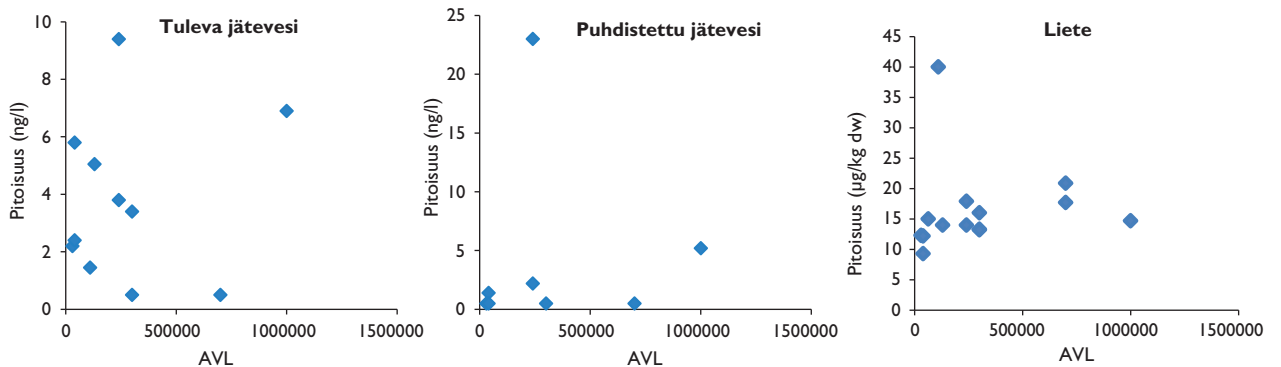
TBT:tä havaittiin tulevasta jätevedestä kaikista näytteistä (2-9 ng TBT/l, mediaani 5 ng TBT/l, keskiarvo 5 ng TBT/l, 4 puhdistamo), puhdistetusta jätevedestä (<1-23 ng TBT/l, mediaani 2 ng TBT/l, keskiarvo 5 ng TBT/l) sekä lietteestä (9-18 µg TBT/kg k.a., keskiarvo 13 µg TBT/kg k.a., Kuva 10). Suomenojan kevään 2009 näytteessä oli TBT-pitoisuus puhdistetussa jätevedessä korkeampi kuin tulevassa jätevedessä. Myös Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa TBT:tä havaittiin joillakin

näytteenottokerroilla tulevassa jätevedessä (<1-2 ng TBT/l), mutta ei puhdistetussa jätevedessä (<1 ng TBT/l). VVY:n uusimmassa selvityksessä (Toivikko 2011, näytteenotto v. 2010) ainetta ei havaittu ollenkaan yhdeksän puhdistamon puhdistetusta jätevedestä (<1 ng TBT/l) eikä 2000-luvun lopun laajassa suomalaisessa selvityksessä (<1 ng TBT/l) lukuun ottamatta yhtä näytettä (1 ng TBT/l, 3 puhdistamo, Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012). Lietepitoisuus on samaa tasoa kuin kahdessa muussa 2000-luvun suomalaisessa selvityksessä (8 & 9 µg TBT/kg k.a., 1 puhdistamo, Nakari ym. 2012, Kuva 10).

Puhdistamon koolla (asukasvastineluvulla) sekä tulevan ja puhdistetun jäteveden sekä lietteen TBT-pitoisuuden välillä ei vaikuta olevan yhteyttä (Kuva 11). Tämä ja lisäksi se, että pitoisuudet eivät vaihtelee juurikaan neljässä tutkitussa suomalaisessa puhdistamossa, viittaa siihen, että ainekuormitus on tasaista, esimerkiksi kuluttajatuotteista aiheutuvaa kuormitusta. Aineen nykyisistä käyttökielloista johtuen voi jätevedenpuhdistamoille päätyvän TBT-kuormituksen olettaa johtuvan lähinnä kuluttajatuotteista, jotka on tuotu maahan EU:n ulkopuolelta tai sitten DBT:n melko laajasta käytöstä (TBT:tä epäpuhtautena DBT:ssä).



Kuva 10. TBT –pitoisuus (esitetty kationina, paitsi Tanskan tulokset tinana) puhdistamoiden keskiarvoina ja pitoisuuden maksimi-arvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä. Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamo. Suomi 2007, 15 puhdistamo (VVY 2008). Suomi 2003-2005, 5 puhdistamo (Mannio ym. 2011) Ruotsi 2007-2008; 2 puhdistamo (Pettersson & Wahlberg 2010); Tanska 2004-2005; 7 puhdistamo (Strand ym. 2007).



Kuva 11. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys TBT-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.

TBT-pitoisuuksien vertailu muihin suomalaisiin, pohjoismaisiin sekä muiden Itämeren maiden vertailuselvityksiin ei ole yksiselitteistä. Tässä selvityksessä saadut pitoisuudet vaikuttaisivat olevan puhdistetussa jätevedessä samaa tasoa tai korkeampia, mutta lietteessä samaa tasoa (Kuva 10, Mehtonen 2009, Aaltonen 2011, Nakari ym. 2011, Toivikko 2011). Kuvien 10, 12 ja 14 tulokset ovat esitetty kationina, lukuun ottamatta Tanskan tuloksia, jotka ovat esitetty tinana. Tanskan tulokset ovat vertailukelpoisia muihin tuloksiin nähden, jos ne kerrotaan TBT:n osalta 2,44:lla, DBT:n osalta 1,96:lla ja MBT:n osalta 1,48:lla, TPhT:n osalta 2,95:llä ja DOT:lla 2,91:llä.

DBT:tä havaittiin kaikista näytteistä tulevasta jätevedestä (53-155 ng DBT/l, mediaani 102 ng DBT/l, keskiarvo 103 ng DBT/l, 4 puhdistamoa), puhdistetusta jätevedestä (3-43 ng DBT/l, mediaani 5,7 ng DBT/l, keskiarvo 16 ng DBT/l) sekä lietteestä (345-616 µg DBT/kg k.a., keskiarvo 433 µg DBT/kg k.a., Kuva 12). Puhdistustehokkuus oli 70-97 % (5 näytettä, Suomenojan kevään 2009 näytteitä ei huomioitu). Myös Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa havaittiin DBT:tä kaikilla näytteenottokerroilla puhdistamolle tulevassa jätevedessä (3-399 ng DBT/l) ja lähes aina puhdistetusta jätevedestä (<1-35 ng DBT/l). 2000-luvun lopun laajassa suomalaisessa selvityksessä ainetta havaittiin melko yleisesti puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 3 puhdistamoa; <1-10 ng DBT/l, puhdistamojen keskiarvot 3-6 ng DBT/l, 490 & 600 µg DBT/kg k.a.). Suomalaisessa 2000-luvun puolivälin selvityksessä ainetta havaittiin yleisesti puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä (Mannio ym. 2011, 5 puhdistamoa; 2-6 ng DBT/l, keskiarvo 3 ng DBT/l, 217-592 µg DBT/kg k.a., keskiarvo 400 µg DBT/kg k.a.). DBT-pitoisuudet ovat pääosin samaa luokkaa tai korkeampia kuin suomalaisissa, pohjoismaisissa ja muiden Itämeren maiden vertailuselvityksissä (Kuva 10, Aaltonen 2011, Huhtala ym. 2011, Mannio ym. 2011, Nakari ym. 2011, Nakari ym. 2012).

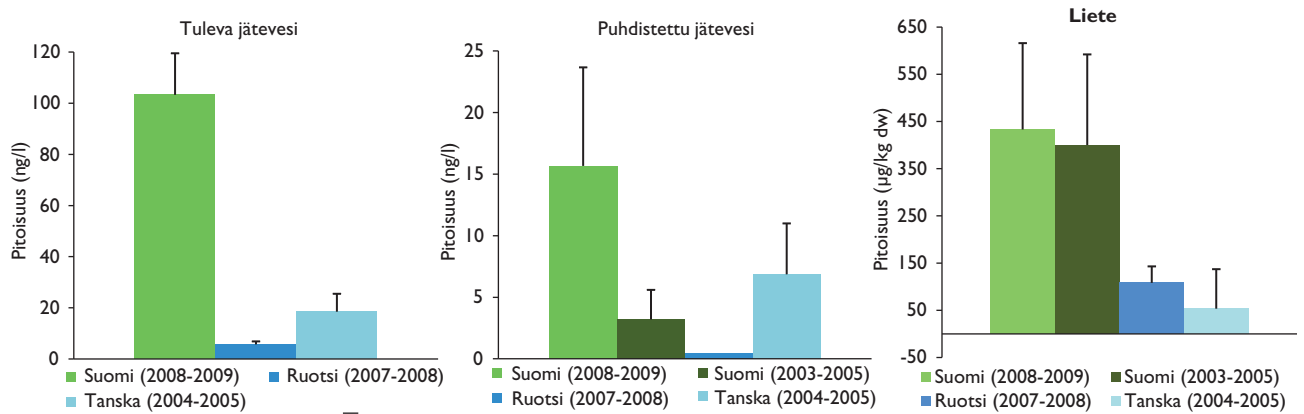
On huomattava, että ainetta on löydetty Suomessa myös teollisuusjätevedestä ja teollisuusalueen hulevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

Puhdistamon koolla (asukasvastineluvulla) sekä tulevan ja puhdistetun jäteveden sekä lietteen DBT-pitoisuuden välillä ei vaikuta olevan yhteyttä (Kuva 13). DBT-pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä sekä niiden pitoisuusvaihtelut neljän tutkitun suomalaisen puhdistamon välillä ovat huomattavasti korkeampia kuin TBT:llä. Tämä voi viitata siihen, että merkittävä osuus kuormituksesta tulee aineen teollisesta käytöstä, mikä onkin merkittävää Suomessa. TBT:n hajoaminen DBT:ksi puhdistamoprosessissa ei liene merkittävä DBT:n päästölähde, koska TBT-pitoisuudet ovat merkittävästi pienempiä kuin DBT:n.

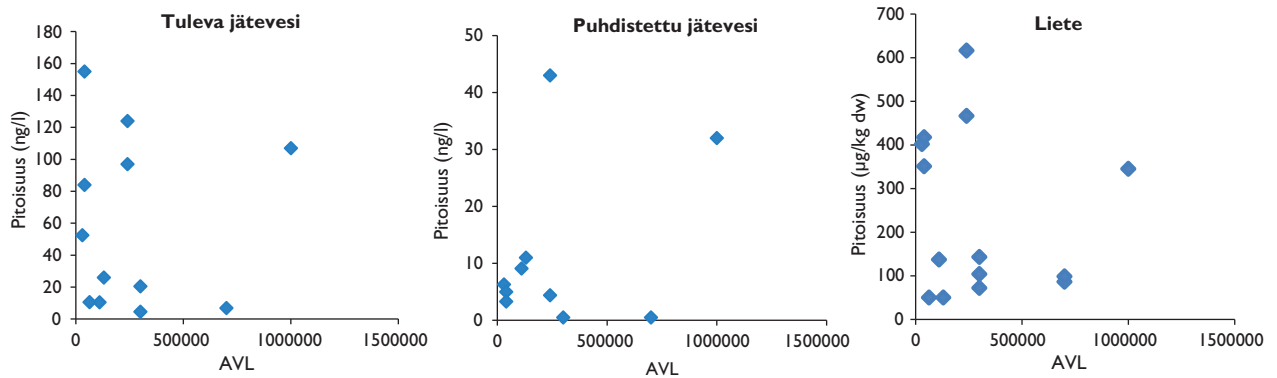
MBT:tä havaittiin kaikista näytteistä (4 puhdistamoa) tulevasta jätevedestä (119-184 ng MBT/l, mediaani 153 ng MBT/l, keskiarvo 149 ng MBT/l, 4 puhdistamoa), puhdistetusta jätevedestä (5-198 ng MBT/l, mediaani 12 ng MBT/l, keskiarvo 46 ng MBT/l, 4 puhdistamoa) sekä lietteestä (458-941 µg MBT/kg k.a., keskiarvo 675 µg MBT/kg k.a., 4 puhdistamoa, Kuva 14). Suomenojan kevään 2009 näytteessä oli MBT-pitoisuus puhdistetussa jätevedessä korkeampi kuin tulevassa jätevedessä. Puhdistustehokkuus oli 65-97% (5 näytettä, Suomenojan kevään 2009 näytteitä ei huomioitu).

Myös Aaltosen (2011) kolmen puhdistamon kartoituksessa havaittiin MBT:tä kaikilla näytteenottokerroilla puhdistamolle tulevassa jätevedessä (4-116 ng MBT/l) ja lähes aina puhdistetusta jätevedestä (<1-15 ng MBT/l). 2000-luvun lopun laajassa suomalaisessa selvityksessä ainetta havaittiin melko yleisesti puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012; 3 puhdistamoa <1-17, puhdistamojen keskiarvot 1-7 ng MBT/l, 1 puhdistamo 700 & 740 µg MBT/kg k.a.). Suomalaisessa 2000-luvun puolivälin selvityksessä ainetta havaittiin yleisesti puhdistetusta jätevedestä ja lietteestä (Mannio ym. 2011, 5 puhdistamoa; 4-20, keskiarvo 11 ng MBT/l,





Kuva 12. DBT –pitoisuus (esitetty kationina, paitsi Tanskan tulokset tinana) puhdistamoiden keskiarvona ja pitoisuuden maksimi-arvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä. Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamoa. Suomi 2003-2005, 5 puhdistamoa (Mannio ym. 2011). Ruotsi 2007-2008; 2 puhdistamoa (Pettersson & Wahlberg 2010); Tanska 2004-2005; 7 puhdistamoa (Strand ym. 2007).

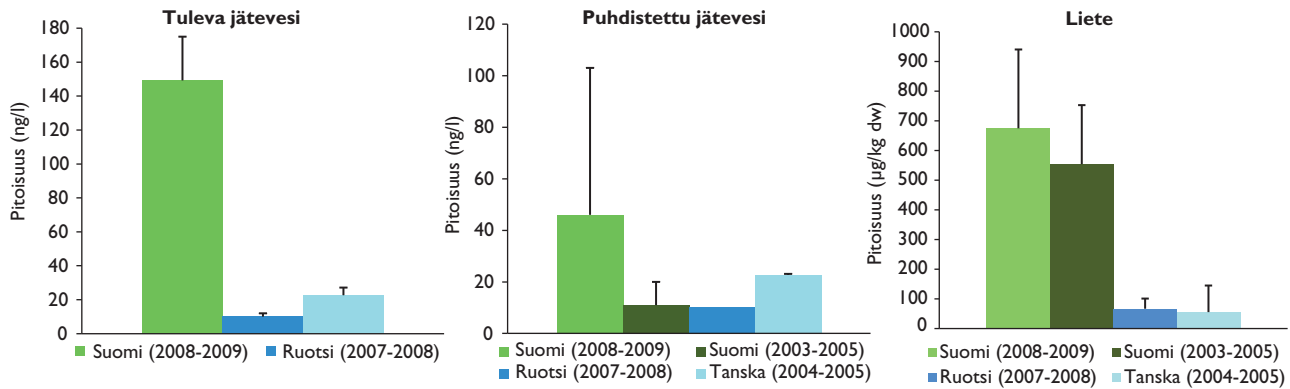


Kuva 13. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys DBT-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.

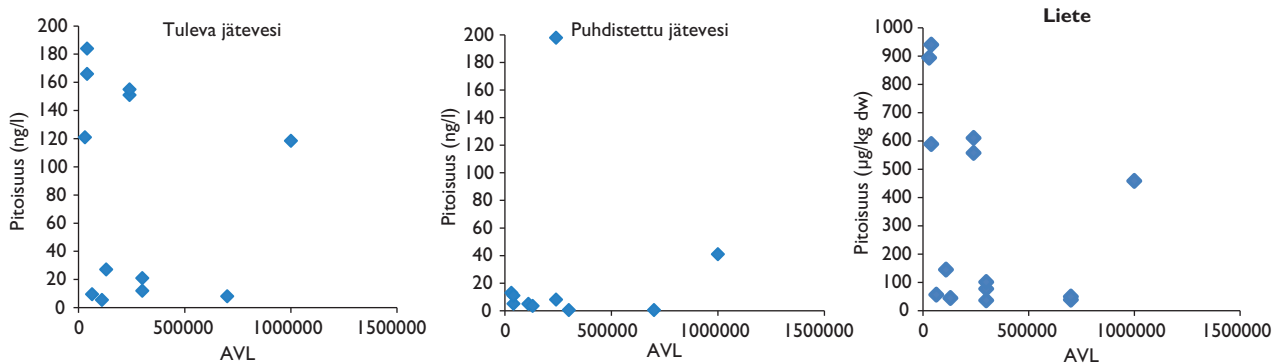
436-753, keskiarvo 554 µg MBT/kg k.a.). MBT-pitoisuudet ovat pääosin samaa luokkaa tai korkeampia kuin suomalaisissa, pohjoismaisissa ja muiden Itämeren maiden vertailuselvityksissä (Kuva 14, Aaltonen 2011, Huhtala ym. 2011, Mannio ym. 2011, Nakari ym. 2011, Nakari ym. 2012).

MBT:tä on löydetty Suomessa myös teollisuusjätevedestä ja teollisuusalueen huilvedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

Puhdistamon koolla (asukasvastineluvulla) sekä tulevan ja puhdistetun jäteveden sekä lietteen MBT-pitoisuuden välillä ei vaikuta olevan yhteyttä (Kuva 15). MBT-pitoisuudet puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä sekä niiden pitoisuusvaihtelut neljän tutkitun suomalaisen puhdistamon välillä ovat huomattavasti korkeampia kuin TBT:llä, jonka kuormituksesta suuri osa lienee peräisin kuluttajatuotteista. MBT:n teollinen käyttö on vähäistä Suomessa, mutta DBT:n hajoaminen MBT:ksi puhdistamoprosessissa voi olla merkittävä MBT:n päästölähde, koska teollisuudessa käytettyä DBT:tä esiintyy merkittävästi tulevassa jätevedessä ja lietteessä. MBT:n kuluttajakäytöstä ei ole tarkkaa tietoa, joten sen osuutta puhdistamolle päätyvästä kuormituksesta on vaikea arvioida.



Kuva 14. MBT –pitoisuus (esitetty kationina, paitsi Tanskan tulokset tinana) puhdistamoiden keskiarvona ja pitoisuuden maksimiarvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä. Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamoa. Suomi 2003-2005, 5 puhdistamoa (Mannio ym. 2011). Ruotsi 2008; 2 puhdistamoa (Pettersson & Wahlberg 2010); Tanska 2004-2005; 7 puhdistamoa (Strand ym. 2007).



Kuva 15. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys MBT-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä

TPhT löytyi aina tulevasta (0,05-0,5 ng TPhT/l) sekä melko yleisesti lietteestä (<0,7-1,6 µg TPhT/kg k.a. 4 puhdistamoa), mutta pääosin ei puhdistetusta jätevedestä (<0,03 ng TPhT/l lukuun ottamatta yhtä näytettä jolloin 0,05 ng TPhT/l). DOT löytyi melko yleisesti tulevasta jätevedestä (<1-30 ng DOT/l) sekä aina lietteestä (21-49 µg DOT /kg k.a., keskiarvo 38 µg DOT /kg k.a.) mutta ei puhdistetusta jätevedestä (<1 ng DOT/l). MPhT ja DPhT ei löytynyt tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä eikä lietteestä (Taulukko 12). TPhT:tä ja DOT:ta ei pääsääntöisesti löydy suomalaisesta puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä, mutta voi löytyä lietteestä. MPhT:tä ja DPhT:tä ei löydy puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä ja puhdistamolietteestä. Pitoisuudet ovat pääosin samaa luokkaa kuin ruotsalaisissa ja muiden Itämeren maiden vertailuselvityksissä (Taulukko 12, Nakari ym. 2011).

TBT:tä, DBT:tä ja MBT:tä on löytynyt joidenkin mutta ei kaikkien suomalaisten kaatopaikkojen suotovedestä. Tutkituista organotina-yhdisteistä MBT:tä on löytynyt yleensä suurimpina pitoisuuksina (Taulukko 13, Koskinen 2012, Virolainen 2010). Suotoveden TBT, DBT ja MBT-pitoisuudet 2000-luvulla Suomessa ovat samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisissa selvityksessä mitatut pitoisuudet (Taulukko 13).

TPhT:tä ja DOT:tä ei pääsääntöisesti ole löytynyt ja DPhT:tä ja MPhT:tä ei ole löytynyt lainkaan kaatopaikan suotovedestä (Taulukko 13, Koskinen 2012, Virolainen 2010).



Taulukko 12. MPhT-, DPhT-, TPhT- ja DOT-pitoisuuksia yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen jätevedessä ja lietteessä.

Jätevedenpuhdistamo	Tuleva jätevesi ng kationia /l	Puhdistettu jätevesi ng kationia /l	Liete µg kationia /kg kuiva-ainetta
Suomi, 4 puhdistamoa, 2008-2009 (tämä tutkimus)	<0,5 MPhT <0,05 DPhT 0,05-0,5 TPhT <1,0-30 DOT	<0,5 MPhT <0,05 DPhT <0,03-0,05 TPhT <1,0 DOT	<6 MPhT <0,4-0,7DPhT <0,7-1,6 TPhT 21-49 DOT
Suomi, 1-3 puhdistamoa, 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012)	-	<1 TPhT <1 DOT	<1 & <5 TPhT 160-250 DOT
Suomi, 3 puhdistamoa, 2009-2010 (Aaltonen 2011)	<1 TPhT <1-36 DOT	<1 TPhT <1 DOT	-
Suomi, 6 puhdistamoa 2007 (VVY 2008)	<1 TPhT	<1-1,0 TPhT	-
Suomi, 6 puhdistamoa 2003-2005 (Mannio ym. 2011)	-	<0,9 MPhT <0,6 DPhT <0,3 TPhT	<0,6-2,1 MPhT <0,5 DPhT <0,04-1
Ruotsi, 2 puhdistamoa, 2007-2008 (Pettersson & Wahlberg 2010)	<1 TPhT	<1 TPhT	<1 TPhT
Ruotsi, 8 puhdistamoa, 2007-2008 (Haglund & Olofsson 2008)	-	-	<0,8MPhT <1,0DPhT <2,3 TPhT
Tanska, 7 puhdistamoa 2004-2005 (Strand ym. 2007)	<3 TPhT	<3 TPhT	<15 TPhT

Taulukko 13. Organotina- pitoisuuksia aktiivisten kunnallisten kaatopaikkojen käsittelemättömässä suotovedessä.

Tinayhdiste	Suomi, 1 kaatopaikka / 2008-2009 (tämä tutkimus) ng kationia/l	Suomi, 1 kaatopaikka / 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012) ng kationia/l	Ruotsi, 12-17 kaatopaikka / 2003 (Harstad 2006) ng kationia/l
TBT	34 & 53	<1 & 12	max 60 / keskiarvo 10
DBT	21 & 37	<1 & 12	max 600 / med 3 / keskiarvo 40
MBT	63 & 113	<1 & 84	max 40 / med 10 / keskiarvo 20
TPhT	<0,03 & 0,05	<1 & <5	-
DPhT	<0,05	-	-
MPhT	<0,5	-	-
DOT	<1,0 & 2,7	<1 & <10	-

Tinayhdisteille tehtiin kaksi nollanäytettä ja tulokset olivat pääsääntöisesti määritysrajan alapuolella. Kuitenkin toisessa näytteessä esiintyi MBT:tä ja toisessa näytteessä TBT:tä määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia. Rinnakkaismäärityksiä tehtiin tulevasta (2 kpl) ja lähtevästä (2 kpl) vedestä, suotovedestä ja lietteestä (2 kpl). Kaikki rinnakkais tulokset olivat hyviä ja reilusti mittausepävarmuuden rajoissa.

### Tulosten tarkastelua

Tributyylitinaa (TBT) ja trifenyylitinaa (TPhT) ei nykyisin enää käytetä ja MBT:tä käytetään hyvin vähän Suomessa. Sen sijaan DBT:tä käytetään edelleen merkittävästi Suomessa suurimman käyttökohteen ollessa muovituotteiden valmistus. TBT:tä esiintyy yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen puhdistetussa jätevedessä ja lietteestä. Jätevedenpuhdistamoille päätyvän TBT-kuormituksen voidaan olettaa johtuvan lähinnä kuluttajatuotteista, jotka on tuotu maahan EU:n ulkopuolelta tai sitten DBT:n melko laajasta käytöstä (TBT epäpuhtautena DBT:ssä). Myös kunnalliselle puhdistamolle johdettava kaatopaikan suotovesi on osasy TBT:n esiintymiselle puhdistamolle

tulevassa jätevedessä, koska TBT:tä löytyy kaatopaikan suotovedestä suhteellisen korkeina pitoisuuksina.

DBT:tä ja MBT:tä löytyy yleisesti jätevedenpuhdistamojen tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä sekä lietteestä. DBT:n hajoaminen MBT:ksi puhdistamoprosessissa lienee merkittävä MBT:n lähde. TPhT:tä ja DOT:ta ei pääsääntöisesti löydy suomalaisesta puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä, mutta voi löytyä lietteestä. MPhT:tä ja DPhT:tä ei löydy puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä ja puhdistamolietteestä. DBT:tä ja MBT:tä, on löytynyt joidenkin suomalaisten kaatopaikan suotovedestä MBT- pitoisuuksien ollessa suurimpia. TPhT:tä ja DOT:tä ei pääsääntöisesti löydy ja DPhT:tä ja MPhT:tä ei löydy lainkaan kaatopaikan suotovedestä.

TBT:tä, DBT:tä ja MBT:tä päättyy vesiympäristöön kaatopaikoilta ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta.

### 3.5

## Dioksiinit, furaanit ja PCB

### Taustatietoa

Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja polyklooratut dibentsofuraanit (PCDD/PCDF) ovat tasomaisia kolmirenkaisia yhdisteitä, joilla on hyvin samankaltainen rakenne ja ominaisuudet. PCDD/PCDF-yhdisteet voivat sisältää 1 - 8 klooriatomia, jolloin dioksiineilla voi olla 75 ja furaaneilla 135 eri isomeeriä (kongeneereja). Polykloorattuja dioksiineja ja furaaneja ei valmisteta teollisiin tarkoituksiin, vaan niitä syntyy tahattomasti orgaanisten aineiden ja kloorin reagoitessa tietyissä olosuhteissa poltto- ja teollisuusprosesseissa. Dioksiineja voi myös esiintyä epäpuhtauksina muissa kemikaaleissa esim. PCB-yhdisteissä, kloorifenoleissa ja fenoksihapoissa.

Suurin osa Suomen dioksiini- ja furaanipäästöistä ilmaan aiheutuu energiantuotannosta, teollisuusprosesseista sekä liikenteestä (Koskinen ym. 2005, Seppälä ym. 2012).

Polykloorattuja bifenyylejä (PCB) on olemassa 209 kongeneeria, joista kaupallisissa tuotteissa on ollut käytössä 103 kongeneeria. PCB-yhdisteitä on käytetty muun muassa muuntajissa, kondensaattoreissa ja elementtitalojen saumausmassoissa, mutta myös lämmönvaihto- ja hydraulijärjestelmissä, palonsuoja-aineena, maaleissa ja lakoissa. Sen haittoihin kiinnitettiin huomiota jo 1970-luvulla, jolloin käyttöä alettiin vähentää.

PCB-yhdisteitä on käytetty elementtitalojen saumausmassoissa yleisesti vuodesta 1957 vuoteen 1979, joten näitä massoja on yhä käytössä ja ne poistuvat vähitellen jätteenkäsittelyyn korjaustöiden yhteydessä ja viimeistään kun talot puretaan. PCB:tä saattaa olla tästä käytöstä levinnyt myös rakennuksia ympäröivään maaperään ja kaatopaikoille. Suomen ympäristökeskuksen tekemän viimeisimmän PCB-laitteistojen inventaariokyselyn perusteella Suomessa on todennäköisesti ainoastaan satunnaisesti yksittäisiä sähkölaitteita tai niiden osia, jotka sisältävät PCB:tä.

PCB-yhdisteitä vapautuu ympäristöön erilaisten poltto- ja kaasutustekniikoiden käytön seurauksena; suurin yksittäinen päästölähde ilmaan on jätteiden poltto. Suurimmat PCB -päästön lähteet ovat erilaisten jätteiden poltto, krematoriot sekä jäteveden käsittely. Energiantuotannon, teollisuusprosessien (erityisesti rauta ja terästeollisuus) ja liikenteen osuus PCB:n ilmapäästöistä on pienempi mutta kuitenkin merkittävä. Laskeumasta peräisin olevaa PCB:tä kulkeutuu hulevesien kautta jätevedenpuhdistamoille. Lisäksi yhdisteitä voi päästä ympäristöön vanhoista muuntajista ja kondensaattoreista.

Homeenesto- ja säilöntäaineina ulkomailla valmistetuissa tekstiileissä saattaa esiintyä PCB-yhdisteitä. Tätä kautta joutuu jätteeksi päätyvien tekstiilien mukana kaatopaikoille PCB:tä (Koskinen ym. 2005, Seppälä ym. 2012).

Suomessa on arvioitu systemaattisesti dioksiinien ja furaanien sekä PCB-yhdisteiden ilmapäästöjä (SYKE 2012), mutta ei päästöjä vesiin ja maahan. Tietoa dioksiinien ja furaanien sekä PCB-yhdisteiden esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Verta & Mehtonen 2012).

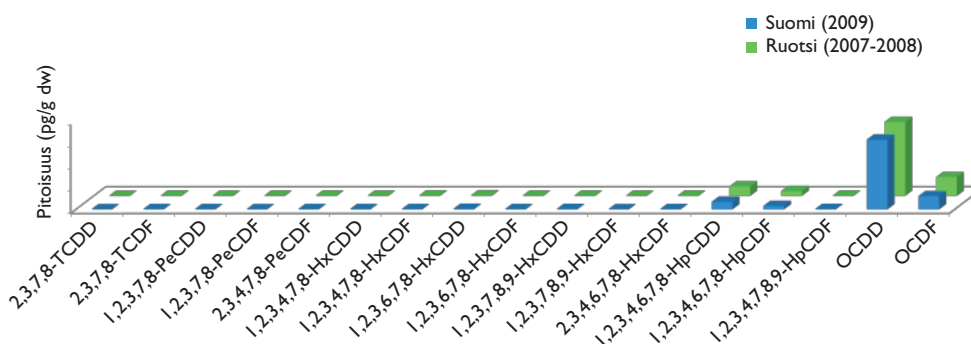
Dioksiinit, furaanit ja PCB-yhdisteet kuuluvat pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevassa Tukholman sopimuksessa ja Euroopan talouskomission, UNECE:n kaukokulkeutumissopimuksen POP-pöytäkirjassa listattuihin POP-yhdisteisiin.

## Tulokset

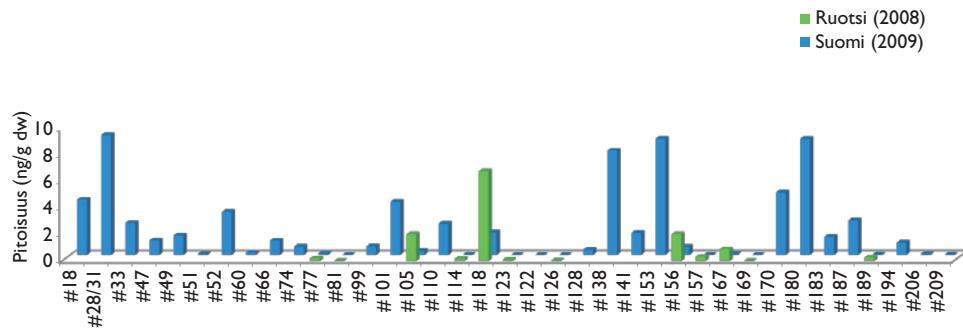
Dioksiini- ja furaanipitoisuus puhdistamolietteessä vaihteli kolmella tutkitulla puhdistamolla vähän (17 kongeneerin summapitoisuus 0.8-1.0 µg/kg; 3.0-3.7 ng I-TEQ/kg k.a.). Lähes kaikkia tutkittuja dioksiini- ja furaanikongeneereja (16/17 kongeneerista) havaittiin lietteestä (Kuva 16). Oktaklooridibentso-p-dioksiinia (OCDD) löytyi selkeästi eniten (73-74% summapitoisuudesta, mutta lisäksi havaittiin merkittävästi oktaklooridibentsofuraania (OCDF, 13-15% summapitoisuudesta) sekä heptaklooridibentsodioksiinia (1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 8% summapitoisuudesta).

Dioksiinien ja furaanien kokonaispitoisuus ja eri kongeneerien keskinäiset pitoisuussuhteet Suomessa ovat lähes täysin yhtenevät ruotsalaisen selvityksen kanssa (Haglund & Olofsson 2008, Kuva 16). Tässä tutkimuksessa mitatut dioksiini- ja furaanipitoisuudet puhdistamolietteessä olivat samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa vuonna 2010 (1 puhdistamo, Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012), mutta selvästi pienempiä kuin Suomessa vuonna 2005 (4.3-55, keskiarvo 19 ng I-TEQ/kg k.a., 4 puhdistamoa, Vikman ym. 2006) ja vuonna 1990 (8 puhdistamoa, Aalto 1992).

PCB-pitoisuus puhdistamolietteessä vaihteli kolmella tutkitulla puhdistamolla huomattavasti (39 PCB-yhdisteen summapitoisuus 30-107 µg/kg; ΣPCB7 (28+52+101+118+138+153+180)-summapitoisuus 25-64, keskiarvo 37 µg/kg k.a.), mutta yhdisteiden prosentuaalinen pitoisuusjakauma oli hyvin samanlainen. Lähes



Kuva 16. Dioksiinipitoisuudet puhdistamolietteessä (puhdistamoiden keskiarvona). Suomi 2009 = tämä tutkimus; 3 puhdistamoa. Ruotsi 2007-2008; 9 puhdistamoa (Pettersson & Wahlberg 2010, Haglund & Olofsson 2008).



Kuva 17. PCB-pitoisuus puhdistamolietteessä. Suomi 2009 = tämä tutkimus; 3 puhdistamoa. Ruotsi 2007-2008; 9 puhdistamoa (Pettersson & Wahlberg 2010, Haglund & Olofsson 2008).

kaikkia tutkittuja PCB-yhdisteitä (37 /39 yhdisteestä) havaittiin lietteestä (Kuva 17). Eniten löytyi PCB-153 (12-15% summapitoisuudesta), PCB-138 (11-14% summapitoisuudesta), PCB-180 (12-13% summapitoisuudesta) sekä PCB-28/31 (10-13% summapitoisuudesta).

PCB-yhdisteiden pitoisuuksia ja eri PCB-yhdisteiden keskinäisiä pitoisuussuhteita Suomessa ja Ruotsissa on vaikea vertailla, koska selvityksissä on mitattu eri yhdisteitä (Kuva 17, Haglund & Olofsson 2008, Pettersson & Wahlberg 2010), mutta ainakin  $\Sigma$ PCB7 -pitoisuus on samaa suuruusluokkaa kuin Ruotsissa (70-80  $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., Pettersson & Wahlberg 2010). Tässä tutkimuksessa  $\Sigma$ PCB7-pitoisuudet puhdistamolietteessä olivat samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa vuonna 2010 (52  $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., 1 puhdistamo, Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012) ja vuonna 2005 (30-80, keskiarvo 58  $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., 4 puhdistamoa, Vikman ym. 2006), mutta selvästi pienempiä kuin Suomessa vuonna 1990 (38-643, keskiarvo 379, mediaani 370  $\mu\text{g}/\text{kg}$  k.a., 14 puhdistamoa, Aalto 1992).

On huomattava, että dioksiineja, furaaneja ja PCB-yhdisteitä on Suomessa löydetty puhdistamolietteen lisäksi puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä, kaatopaikan suotovedestä, teollisuusjätevedestä sekä teollisuusalueen hulevedestä (Virolainen 2010, Kettunen & Laaksonen 2011, Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

Rinnakkaismäärittysten hajonta eri yhdisteillä oli hyvin pientä ja tuloksista lasketut summaparametrit antoivat lähes samat tulokset.

### Tulosten tarkastelua

Dioksiineja ja furaaneja syntyy tahattomasti orgaanisten aineiden ja kloorin reagoitessa tietyissä olosuhteissa poltto- ja teollisuusprosesseissa. Dioksiini- ja furaanipitoisuus puhdistamolietteessä vaihtelee hyvin vähän. Lähes kaikkia tutkittuja dioksiini- ja furaanikongeneereja (16/17 kongeneerista) löytyy lietteestä. Oktaklooridibentso-p-dioksiinia (OCDD:tä) löytyy selkeästi eniten (73-74% summapitoisuudesta, mutta lisäksi esiintyy merkittävästi oktaklooridibentsofuraania (OCDF, 13-15% summapitoisuudesta) sekä heptaklooridibentsodioksiinia (1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 8% summapitoisuudesta). Dioksiineja ja furaaneja löytyy myös puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä ja kaatopaikkojen suotovedestä Suomessa.

PCB-yhdisteitä ei enää käytetä, mutta niiden pääasiallisena käyttökohteena ovat olleet kondensaattorit ja muuntajat, mutta myös esimerkiksi elementtitalojen saumaussmassat. PCB-pitoisuus puhdistamolietteessä vaihtelee huomattavasti, mutta yhdisteiden prosentuaalinen pitoisuusjakauma on hyvin samanlainen. Lähes kaikkia tutkittuja PCB-yhdisteitä (37 /39 yhdisteestä) esiintyy lietteessä. Eniten löytyy PCB-153 (12-15% summapitoisuudesta), PCB-138 (11-14% summapitoisuudesta), PCB-

180 (12-13% summapitoisuudesta) sekä PCB-28/31 (10-13% summapitoisuudesta). PCB-yhdisteitä löytyy Suomessa myös puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä ja kaatopaikkojen suotovedestä.

Dioksiini-, furaani- ja PCB7-pitoisuudet puhdistamolietteessä ovat selvästi laskeutuneet 1990-luvun alkuun verrattuna. Eri selvitysten dioksiini-, furaani- ja PCB-pitoisuuksia on kuitenkin joskus vaikea keskenään vertailla, koska niissä on mitattu eri kongeneerejä tai tulokset on ilmoitettu eri tavalla (ainepitoisuuksina tai erilaisina TEQ-arvoina). Dioksiineja, furaaneja ja PCB-yhdisteitä päätyy vesiympäristöön puhdistetun yhdyskuntajäteveden ja kaatopaikkojen suotoveden kautta.

### 3.6

## Perfluoratut alkyylilyhdisteet (PFAS)

### Taustatietoa

Perfluoratut alkyylilyhdisteet (PFAS) ovat orgaanisia fluoriyhdisteitä, joissa hiileen sitoutuneet vedyt on korvattu fluorilla ja joissa on lisäksi vähintään yksi funktionaalinen ryhmä. PFAS-yhdisteitä ovat muun muassa perfluoratut sulfonihapot (PFSA) ja perfluoratut karboksyylihapot (PFCA), joista kahdeksan hiiltä sisältävät perfluorioktaanisulfonaatti (PFOS) ja perfluorioktaanihappo (PFOA) ovat tunnetuimmat. PFAS-yhdisteet voivat esiintyä ympäristössä esimerkiksi happoina, metallisuoloina, sulfonamideina tai niiden johdannaisina. Hiili-fluorisidoksen vahvuuden ansiosta PFAS-yhdisteet ovat erittäin pysyviä, eikä niille tunneta hajoamismekanismeja luonnossa.

Polyfluoratut hiilivedyt eroavat PFAS-yhdisteistä siten, että niissä hiiliketju on vain osittain fluorattu. Näitä ovat mm. fluoritelomeerit, joiden funktionaalisena ryhmänä voi olla esimerkiksi hydroksyyli-ryhmä (OH), aldehydiryhmä (CHO) tai karboksyyli-ryhmä (COOH). Eräiden fluoritelomeeriyhdisteiden tiedetään hajoavan fysikaalis-kemiallisesti ja biologisesti PFCA-yhdisteiksi. Fluoritelomeerialkoholit (FTOH) ovat haihtuvia ja siten potentiaalisesti kaukokulkeutuvia. (Ahrens ym. 2010; Dinglasan ym. 2004; Ellis ym. 2004; Korkki 2006; Young ym. 2007)

PFOS:a ja sen kaltaisia yhdisteitä on käytetty Suomessa KETU-rekisterin mukaan noin 150-200 kg vuonna 2004. Niiden käyttöä rajoitettiin EU:ssa vuonna 2008, poikkeuksena tietyt teollisuusprosessit (mm. metallien pintakäsittely, puolijohteiden valmistus) ja lentokoneiden hydraulineesteet (2006/122/EY). PFOS:a sisältäviä sammutusvaahdoita sai käyttää 27.6.2011 saakka. Aiemmin merkittävimpiä käyttökohteita olivat juuri sammutusvaahdot sekä tekstiilin, nahkan ja paperin pintakäsittelyaineet (Korkki 2006). PFOA:a ja sen suoloja käytetään mm. fluoripolymeerien tuotannossa apuaineena (Poulsen & Jensen 2005). PFOS-yhdisteitä tulee luultavasti edelleen maahan tuotteiden mukana.

Teollisuusprosesseista ja tuotteista vapautuvat PFAS-yhdisteet voivat päätyä joko viemäriverkoston kautta jätevedenpuhdistamoille tai käytöstä poistetun tuotteen mukana jätteenä kaatopaikoille. Puhdistamoilta ja kaatopaikoilta yhdisteet voivat edelleen kulkeutua vesistöihin (Haimi ja Mannio 2008). PFAS-yhdisteet ovat vesiliukoisia ja pidättyminen puhdistamolietteeseen vaihtelee hiiliketjun pituuden ja funktionaalisen ryhmän perusteella (Schultz ym.. 2006).

Tietoa PFOS:n ja PFOA:n esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Mehtonen 2012c).

Osan PFAS-yhdisteistä on todettu olevan maksatoksisia ja häiritsevän hormoni-toimintaa. Ne ovat ympäristössä laajalle levinneitä ja biokertyviä yhdisteitä, jotka pidättyvät veren proteiineihin ja sisäelimiin. PFOA:n epäillään olevan lisäksi karsinogeeninen yhdiste. (Korkki 2006, Woldegiorgis ym.. 2006)

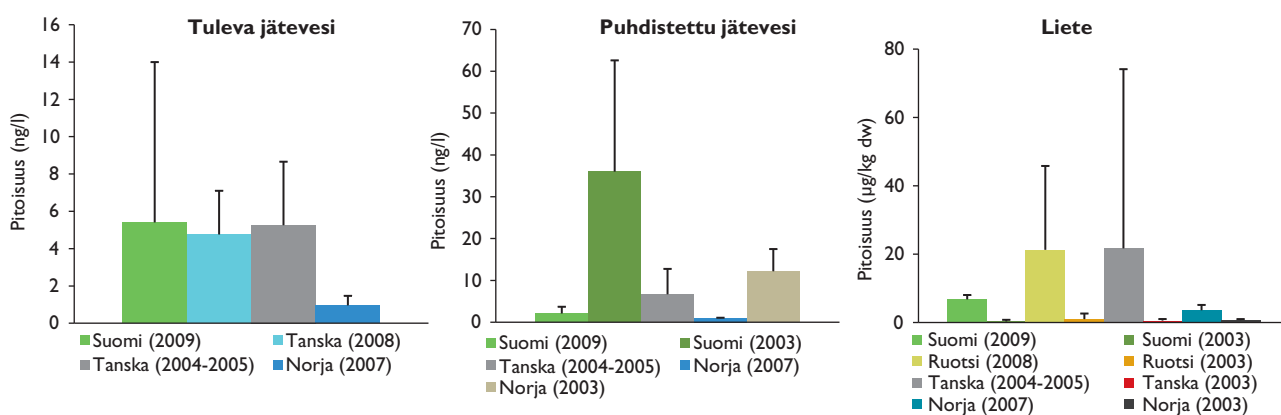
## Tulokset

Kolmen puhdistamon tulevasta ja puhdistetusta jätevedestä sekä lietteestä määritettiin neljä PFAS-yhdistettä: PFOA, PFOS, perfluoriheksaanihappo (PFHxA) ja perfluoridekaanihappo (PFDA). PFAS-yhdisteitä löytyi jokaisesta tutkitusta näytteestä. Jätevedenpuhdistamoista kahdella PFHxA:n ja PFOA:n pitoisuudet olivat pienemmät tulevassa kuin puhdistetussa jätevedessä (PFHxA 1,1-1,9 ng/l / 2,2-3,0 ng/l (tuleva/puhdistettu), PFOA 0,6-2,0 ng/l / 3,2-4,4 ng/l). Näillä puhdistamoilla PFDA:n pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle määrittämissä. Kolmannen puhdistamon näytteissä PFCA-yhdisteiden pitoisuudet olivat merkittävästi pienemmät puhdistetunjäteveden näytteissä (23-44 ng/l / 5,0-7,6 ng/l), lukuun ottamatta PFDA:ta, jonka pitoisuus oli suurempi puhdistetussajätevedessä (1,0 ng/l / 2,8 ng/l). PFOS:n pitoisuudet olivat kaikkien puhdistamoiden näytteissä pienemmät puhdistetussajätevedessä (1,0-14 ng/l / <0,5-4,0 ng/l, Kuvat 18 & 20, Taulukko 14). PFAS-yhdisteiden pitoisuuksien ja asukasvastineluvun välillä ei havaittu yhteyttä (Kuvat 19 & 21).

Kaatopaikan suotovedessä PFAS-pitoisuudet vaihtelivat välillä 2,5-21 ng/l (Kuva 22). Puhdistamolietteissä PFHxA:n pitoisuudet olivat välillä 0,3-0,5 µg/kg, PFOA:n 1,2-2,1 µg/kg, PFDA:n 2,6-6,8 µg/kg ja PFOS:n 6,1-8,1 µg/kg kuiva-ainetta (Kuvat 18 & 20, Taulukko 14).

Määritetyn nollanäytteen pitoisuudet eri yhdisteille olivat kaikki menetelmän määrittämissä alapuolella tai yhdistettä ei havaittu. Rinnakkaisnäytteitä tehtiin tulevasta ja lähtevästä jätevedestä. Näytteenoton ja analytiikan toistettavuus oli hyvä rinnakaistulosten perusteella.

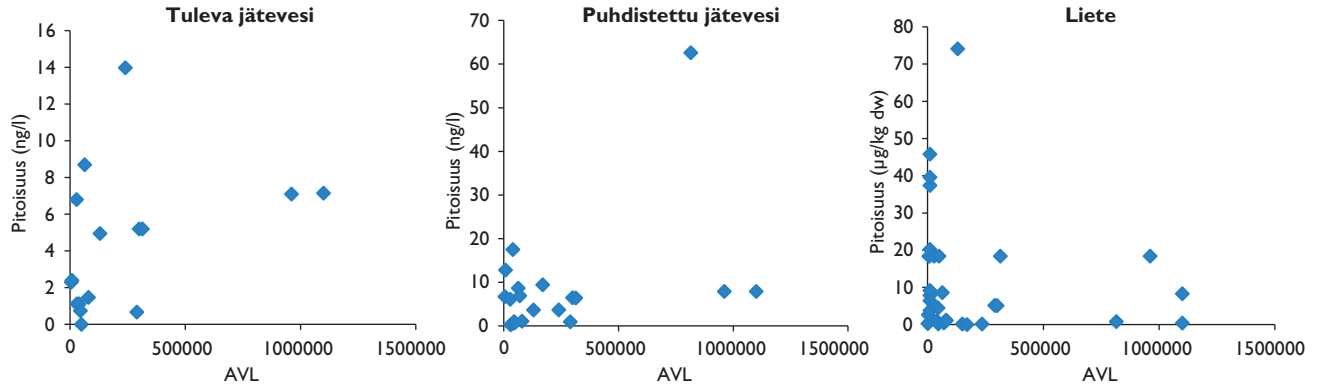
Puhdistetun jäteveden PFAS-pitoisuudet olivat vuoden 2009 näytteissä pienemmät kuin Suomesta vuonna 2003 (Kuvat 18 ja 20, taulukko 14) sekä PFOS:n ja PFOA:n



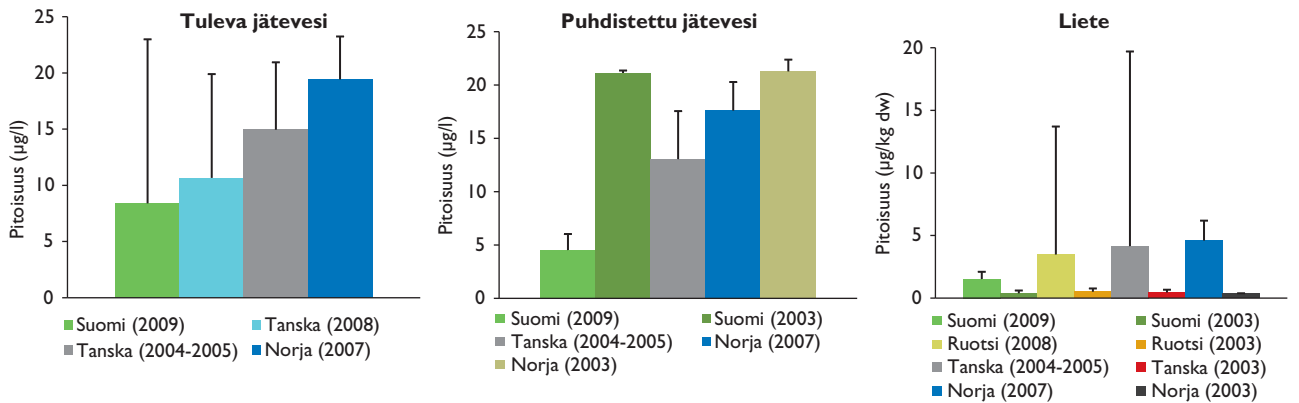
Kuva 18. PFOS:n pitoisuus puhdistamoiden keskiarvona ja pitoisuuden maksimi-arvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä.

Suomi 2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamoa. Suomi 2003; 3 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Tanska 2004-2005; 7 puhdistamoa (Strand ym. 2007). Tanska 2003; 3 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Norja 2007; 3 puhdistamoa (Green ym. 2008). Norja 2003; 2 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Ruotsi 2008; 8 puhdistamoa (Haglund & Olofsson 2008). Ruotsi 2003; 2 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004).



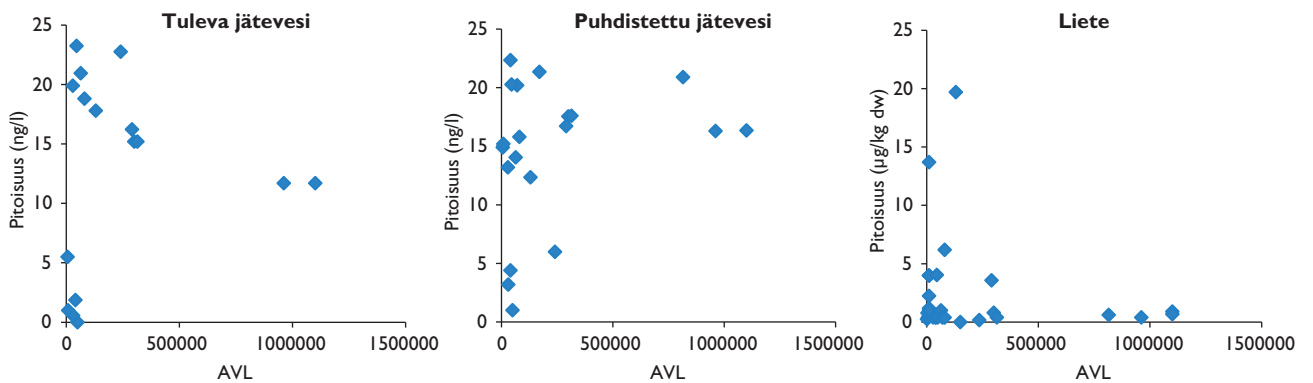


Kuva 19. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys PFOS-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.



Kuva 20. PFOA:n pitoisuus puhdistamoiden keskiarvoja ja pitoisuuden maksimi-arvo yhdyskuntajätevedenpuhdistamolle tulevassa jätevedessä, puhdistetussa jätevedessä ja puhdistamolietteessä..

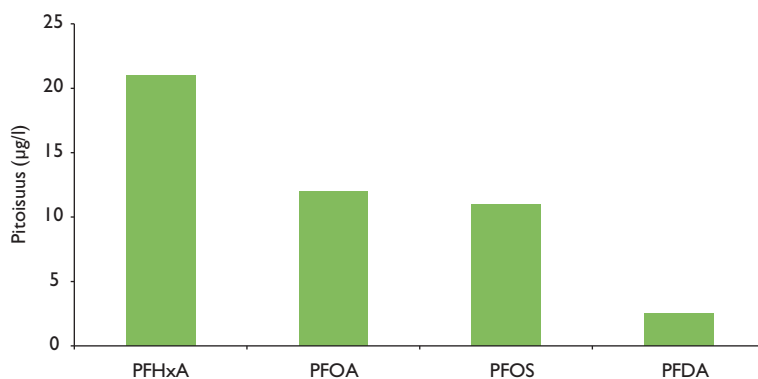
Suomi 2009 = tämä tutkimus; 3 puhdistamoa. Suomi 2003; 3 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Tanska 2004-2005; 7 puhdistamoa (Strand ym. 2007). Tanska 2003; 3 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Norja 2007; 3 puhdistamoa (Green ym. 2008). Norja 2003; 2 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004). Ruotsi 2008; 8 puhdistamoa (Haglund & Olofsson 2008). Ruotsi 2003; 2 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004).



Kuva 21. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys PFOA-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.

Taulukko 14. Muiden perfluorattujen yhdisteiden pitoisuuksia yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen jätevedessä ja lietteessä. ka = keskiarvo

Jätevedenpuhdistamo	Tuleva jätevesi (ng/l)	Puhdistettu jätevesi (ng/l)	Liete (µg/kg k.a.)
Suomi, 3 puhdistamoa 2009 (tämä tutkimus)	PFHxA 1,8-44 PFDA < 0,5	PFHxA 2,2-7,4 PFDA < 0,5 -3,0	PFHxA 0,3-0,5 / ka 0,4 PFDA 2,5-6,7 / ka 5,0
Suomi, 3 puhdistamoa 2009-2010 (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012)	-	PFHxA 2,5-9,5 / ka 3,4-6,2 PFDA 0,1-1,4 / ka 0,5-1,0	PFHxA 0,4 & 0,7 PFDA 0,7 & 1,0
Suomi 2003; 3 puhdistamoa (Kallenborn ym. 2004)	-	PFOSA <LOQ-0,5 / ka 0,5 PFBS 2,9-3,0 / ka 2,9 PFHxS 3,7-4,0 / ka 3,9 PFHxA 8,1-12 / ka 10 PFNA 2,5-7,1 / ka 4,8	PFOSA <LOQ PFHxS <LOQ-0,09 / ka 0,07 PFHxA <LOQ-1,2 / ka 1,0 PFNA <LOQ-0,17 / ka 0,13
Ruotsi, 8 puhdistamoa 2008 (Haglund & Olofsson 2008)	-	-	PFHxA <0,4 – 3,6 / ka 1,2 PFDA 1,2- 26 / ka 5,6 PFHxS <0,15-0,19 / ka 0,12 PFNA 0,3-12 / ka 2,0 PFOSA <0,2-0,3 / ka 0,1
Norja 2007; 3 puhdistamoa (Green ym.. 2008)	PFOSA ei havaittu (<0,6) PFBS ei havaittu (<0,5) PFHxS ei havaittu (<0,4) PFHxA ei havaittu (<6) PFDA ei havaittu (<13)	PFOSA ei havaittu (<0,5) PFBS ei havaittu (<0,4) PFHxS ei havaittu (0,4) PFHxA ei havaittu (<6) PFDA ei havaittu (<14)	PFOSA ei havaittu (<0,3) PFBS ei havaittu (<0,4) PFHxS ei havaittu (<0,1) PFHxA ei havaittu (<2) PFDA ei havaittu (<1,5)
Tanska 2004-2005 (Strand ym. 2007)	PFDA <1,6 PFHxS <0,2-33 PFOSA <0,3-1,0 PFNA <0,8-8,4	PFDA <1,6 – 3,6 PFHxS <0,2-2,7 PFOSA <0,3-2,1 PFNA <0,8-3,0	PFDA 1,2-32 PFHxS 0,4-11 PFOSA <0,9-3,6 PFNA 0,4-8,0



Kuva 22. PFAS-pitoisuuksia Ämmässuon kaatopaikan suotovedessä v. 2008-2009.

osalta pienemmät kuin vuonna 2010 kerätyissä näytteissä (Taulukko 14, Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 3 puhdistamoa; 4-640 ng PFOS/l, keskiarvo 10-144 ng PFOS/l & 7-15 ng PFOA/l, keskiarvo 8-12 ng PFOA/l)

PFAS:ien pitoisuudet riippuvat puhdistettavan jäteveden määrästä ja laadusta, joten ne vaihtelevat eri puhdistamoiden välillä. Lisäksi pitoisuudet saattavat vaihdella hyvinkin voimakkaasti näytteenottoajankohdasta riippuen, etenkin kun puhdistamolla käsitellään teollisuusjätevettä. (Huhtala ym. 2011)

Vuonna 2009 lietteistä mitatut PFAS-pitoisuudet ovat samansuuntaisia kuin Tanskassa vuosina 2004-2005 saadut tulokset (Kuvat 18 ja 20, taulukko 14). Norjassa vuonna 2007 mitatuissa jätevesinäytteissä PFOS:n pitoisuus on samalla tasolla kuin Suomen vuoden 2009 näytteissä, mutta muiden yhdisteiden määrittämisrajat ovat niin korkeat, ettei tuloksia voi verrata. Yleisesti ottaen eri maista eri vuosina mitatut PFAS-pitoisuudet ovat samansuuntaisia, lukuun ottamatta Suomen vuoden 2003 näytteiden PFOS-pitoisuuksia.



Vuoden 2009 lietenäytteistä mitattiin suurempia PFAS-pitoisuuksia kuin Suomessa vuonna 2003 kerätyistä näytteistä. Trendi näyttäisi olevan kasvava myös muissa Pohjoismaissa. Tämä saattaa johtua siitä, että kyseisiä aineita tai niiden prekursoreita joutuu puhdistamoille enemmän. Toisaalta myös yhdisteiden analytiikka on kehittynyt, joten määrittämissä ja mittauksien luotettavuus ovat parantuneet. Johtopäätösten tekemiseksi tulisi mittauksia tehdä useammista näytteistä pidemmällä aikavälillä.

PFOS:in ja PFOA:n pitoisuudet 2000-luvun lopulla suomalaisessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon puhdistetussa jätevedessä ja lietteessä sekä kaatopaikan suotovedessä ovat pääosin samaa tasoa kuin Itämeren muissa maissa 2000-luvulla (Mehtonen 2009, Nakari ym. 2011). PFOS:in pitoisuudet suomalaisessa puhdistetussa jätevedessä ovat kuitenkin ajoittain korkeita (Kuva 18, Nakari ym. 2011). PFAS-yhdisteitä on Suomessa löydetty myös teollisuusjätevedestä sekä teollisuusalueen hulevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).

### Tulosten tarkastelua

PFAS-yhdisteitä (mm. PFHxA, PFOA, PFDA ja PFOS) löytyy yleisesti puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä ja puhdistamolietteestä sekä kaatopaikkojen suotovedestä, joten niitä päätyy vesiympäristöön sekä kaatopaikkojen suotoveden että puhdistetun yhdyskuntajäteveden mukana. Suurimmat pitoisuudet löytyvät kaatopaikan suotovedestä. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet Suomen vuoden 2009 yhdyskuntajäteveden puhdistamon näytteissä ovat samaa suuruusluokkaa kuin muissa Pohjoismaissa mitatut pitoisuudet. Suomen vuoden 2003 puhdistetun jäteveden näytteissä pitoisuudet olivat huomattavasti suuremmat, kun taas lietenäytteissä pienemmät. Tästä ei kuitenkaan voi vetää johtopäätöksiä, sillä mittauksia ei ole tehty riittävästi.

3.7

## Bromatut palonestoaineet

### Taustatietoa

Polybromatut difenyylietterit (PBDE) ja heksabromisyklododekaani (HBCD) ovat orgaanisia bromiyhdisteitä, joita on käytetty laajasti erilaisissa tuotteissa, kuten kestomuoveissa, elektroniikkakomponenteissa, verhoilukankaissa ja rakennusmateriaaleissa alentamaan tuotteiden syttymisherkkyttä.

PBDE-yhdisteet ovat rakenteellisesti samankaltaisia kuin tunnetut haitta-aineet polyklooratut bifenyylit (PCB) ja klooratut dioksiinit (PCDD). Molekyylit koostuu kahdesta happisillalla yhdistyneestä halogenoidusta aromaattisesta renkaasta. PBDE-yhdisteiden luokittelu perustuu bromausasteeseen. PBDE-yhdisteitä on yhteensä 209 samankaltaista ainetta eli kongeneeria, joiden nimeäminen vastaa PCB-yhdisteitä. Eri kongeneereja esiintyy vaihtelevasti käytetyissä teknisissä seoksissa (pentaBDE, oktaBDE ja dekaBDE).

Yleisesti maailmalla käytettyjen teknisten seosten kauppanimiä ovat mm. pentaBDE seokset DE-60F, DE-61, DE-62 ja DE-71; oktaBDE seos DE-79 sekä dekaBDE seokset DE 83R ja Saytex 102E. Kaupalliset PBDE-tuotteet eivät ole yksittäisiä yhdisteitä vaan useiden yhdisteiden seoksia.

Polybromattuja difenyyliettereitä on lisätty additiivisesti tuotteisiin, jolloin yhdiste ei sitoudu polymeeriin ja voi vapautua ympäristöön. PBDE-yhdisteitä voi päästä ympäristöön kemikaalin valmistuksen aikana, kemikaaleja tuotteisiin lisättäessä, vapautumalla tuotteen elinkaaren aikana ja lopulta kierrätysprosesseista, jätteenpolton yhteydessä tai kaatopaikalta.

Teknisten seosten (penta- ja oktaBDE) käyttö on EU-alueella ollut kiellettyä vuodesta 2004 alkaen. Yleisin näytteistä löytyvä kongeneeri on dekaBDE (BDE209), jonka on todettu hajoavan helposti alhaisemmille bromausasteille.

Heksabromisyklododekaani on bromattu alifaattinen syklinen yhdiste. Tekninen seos koostuu pääosin kolmesta isomeeristä ( $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ -HBCD), joiden osuudet ovat 70-95 %  $\gamma$ -HBCD, 3-30 %  $\alpha$ -HBCD ja  $\beta$ -HBCD riippuen tuotteen valmistajasta ja valmistustavasta. HBCD on käytetty niin ikään additiivisena palonestoaineena, jolloin yhdiste ei sitoudu polymeeriin ja voi vapautua ympäristöön.

HBCD:n ensisijainen sovellus on suulakepuristetut (XPS) ja paisutetut (EPS) polystyreenituotteet, joita käytetään lämmöneristeinä. Muita käyttökohteita ovat pehmustetut huonekalut, autojen sisätilojen tekstiilit ja pehmusteet, pakkausmateriaalit, elektroniikka- ja sähkölaitteet. Isomeerispesifinen analysointi on tärkeää, koska eri isomeereilla on todettu olevan erilaisia biologisia vaikutuksia. Syyskuussa 2008 Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) päätti lisätä HBCD:n erityistä huolta aiheuttavien aineiden listalle (SVHC, substance of very high concern). Sen käyttö tulee luvanvaraiseksi 2015. Lokakuussa 2010 Tukholman sopimuksen uusien aineiden arviointikomitea päätti HBCD:n täyttävän POP-yhdisteen kriteerit. Bromattujen palonestoaineiden on todettu olevan pysyviä, biokertyviä orgaanisia haitta-aineita, joilla on havaittu olevan toksisia sekä hormonitoimintaa häiritseviä ominaisuuksia. Sekä PBDE- että HBCD-yhdisteet ovat kaukokulkeutuvia ja esiintyvät laajalti ympäristössä.

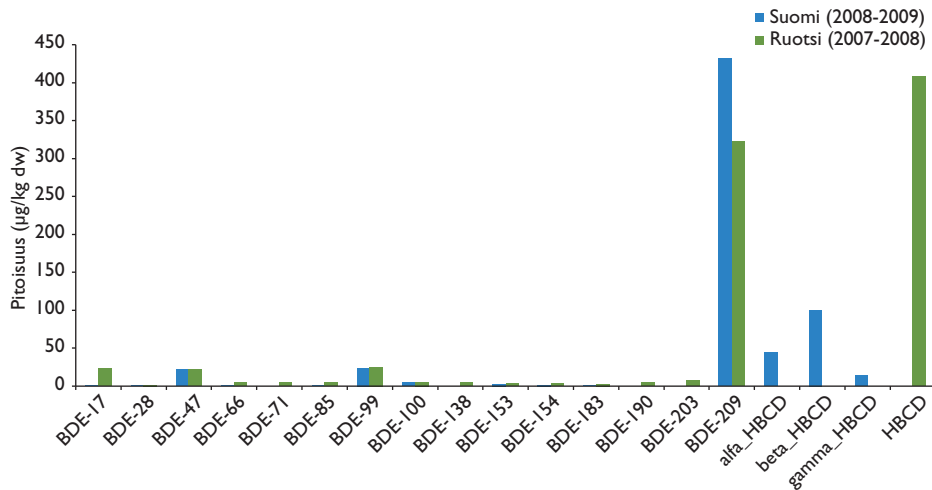
Tietoa PBDE-yhdisteiden ja HBCD:n esiintymisestä jätevedenpuhdistamoilla, kaatopaikkojen suotovedessä ja hulevedessä sekä ylipäättään päästöistä ilmaan, veteen ja maahan sekä kulkeutumisesta Suomessa löytyy vuonna 2012 loppuneen COHIBA-projektin loppuraporteista (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, Mehtonen 2012d, Mehtonen ym. 2012).

## Tulokset

Jokaisesta tutkitusta lietenäytteestä löytyi kaikkia määritettyjä (17, 28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183 ja 209) PBDE-yhdisteitä ( $\Sigma$ PBDE 294 – 638  $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ ). Eri kongeneerien pitoisuudet vaihtelivat kuitenkin suuresti keskenään. Yleisimmät yhdisteet olivat BDE-47, -99, -100 ja -209 (BDE47 19-27  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , BDE99 21-33  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , BDE100 3-6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ja BDE209 234-407  $\mu\text{g}/\text{kg}$  kuiva-ainetta). BDE209 oli vallitseva kongeneeri kaikissa näytteissä edustaen noin 87 % kokonaispitoisuudesta (Kuva 23). Tässä selvityksessä mitatut PBDE-pitoisuudet puhdistamolietteessä ovat pienempiä tai samaa suuruusluokkaa ja isomeerikoostumus samanlainen kuin 2000-luvun puolivälin suomalaisessa selvityksessä (Mannio ym. 2011, 4 puhdistamo) ja toisessa 2000-luvun lopun suomalaisessa selvityksessä (Schlabach ym. 2011, 1 puhdistamo; Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1 puhdistamo).

Kaatopaikan suotovedessä todettiin niin ikään kaikkia tutkittuja yhdisteitä. Kyseisessä näytteessä vallitsevat kongeneerit olivat BDE47 ja BDE99 (5 ja 6 ng/l). Määritettyjen yhdisteiden summa oli 21 ng/l (Kuva 25). Mitatut pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa ja isomeerikoostumus on melko samantyyppinen kuin toisessa 2000-luvun lopun suomalaisessa selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1 puhdistamo). Penta- ja dekaBDE:tä (lähinnä BDE47, BDE99 & BDE209) löytyy yleisesti ja vähemmässä määrin oktaBDE:tä (BDE183) suomalaisten kaatopaikkojen suotovesistä (Virolainen 2010, Kettunen & Laaksonen 2011, Koskinen 2012, Oksman 2012, Pulkkinen 2012).

HBCD-yhdisteet määritettiin vain vuoden 2009 näytteenottokerran näytteistä. Myös niitä esiintyi kaikissa kolmessa tutkitussa puhdistamolietteessä. Eri puhdistamoiden tulosten ja isomeerisuhteiden välillä oli eroja ( $\alpha$ -HBCD 16-82  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,  $\beta$ -HBCD 59-183  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ja  $\gamma$ -HBCD 6-27  $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ , summa-HBCD 159-221  $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ ). Tulokset ovat suuruusluokaltaan yhtenevät.



Kuva 23. PBDE-yhdisteiden ja HBCD:n pitoisuuksia puhdistamolietteessä (puhdistamojen keskiarvojen keskiarvoja). Suomi 2008-2009 = tämä tutkimus; 4 puhdistamoa. Ruotsi 2007-2008; 9 puhdistamoa (Pettersson & Wahlberg 2010, Haglund & Olofsson 2008).

Mitatut HBCD-pitoisuudet puhdistamolietteessä ovat suurempia ja isomeerikoostumus erilainen kuin toisessa 2000-luvun lopun selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1 puhdistamo;  $\alpha$ -HBCD 5,4 & 9,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,  $\beta$ -HBCD <0,5 & 14  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ja  $\gamma$ -HBCD 29 & 117  $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ , summa-HBCD 49 & 127  $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ ).

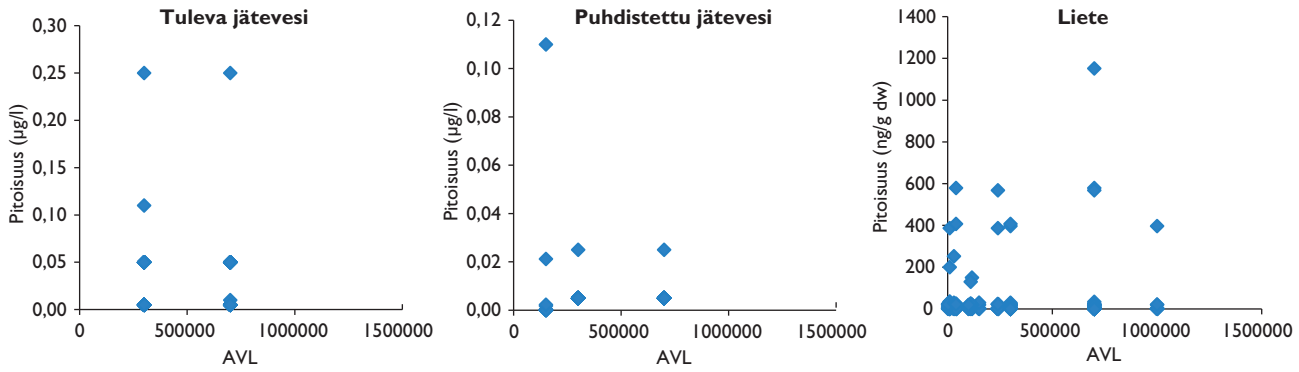
Kaatopaikan suotovedestä HBCD-yhdisteitä ei löydetty (Kuva 25), mutta niitä löydettiin toisessa suomalaisessa selvityksessä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012, 1 puhdistamo; summa-HBCD <0,01 & 3,0 ng/l).

Rinnakkaismääritykset tehtiin kolmesta lietenäytteestä. Eri yhdisteiden rinnakaistulokset olivat hyvät, ottaen huomioon lietteen epähomogeenisuuden, lukuun ottamatta Suomenojan näytteiden HBCD-yhdisteitä.

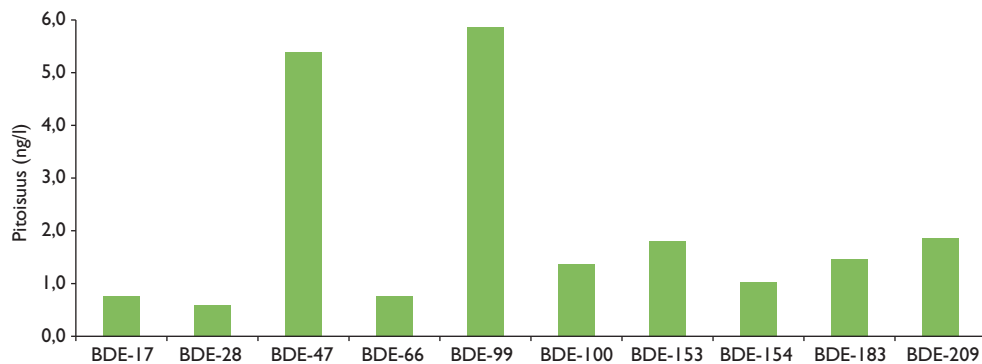
Ruotsalaisessa selvityksessä (Pettersson & Wahlberg 2010) löydettiin kaikkia BDE-kongeneereja (17, 28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183 ja 209) kahden yhdyskuntajätevedenpuhdistamon lietteestä. Suurimpina pitoisuuksina näytteissä esiintyi BDE209 (220-580  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ), BDE 99 (3(?) -37  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ) ja BDE 47 (max 32  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ) (Kuva 23, Pettersson & Wahlberg 2010). Tutkittuja PBDE-yhdisteitä ei kuitenkaan löydetty tulevasta jätevedestä (<100 ng/l paitsi BDE 209 <500 ng/l v. 2007 & <10 ng/l v. 2008) eikä puhdistetusta jätevedestä (<10 ng/l paitsi BDE 209 <50 ng/l v. 2007 & 2008).

Vastaavan tyyppinen kongeneerien esiintyminen puhdistamolietteessä havaittiin toisessa ruotsalaisessa tutkimuksessa (Kuva 23, Haglund & Olofsson 2008), jossa kahdeksalla tutkitulla puhdistamolla suurimpina pitoisuuksina esiintyivät BDE 209 (122-557  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ), BDE 99 (15-35  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ) ja BDE 47 (16-34  $\mu\text{g}/\text{kg ka}$ ). Myös muut tutkitut kongeneerit havaittiin (BDE 28, 100, 153, 154 & 183), vaikkakin selvästi pienempinä pitoisuuksina.

HBCD- ja PBDE-pitoisuudet 2000-luvun lopulla suomalaisessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon lietteessä sekä kaatopaikan suotovedessä ovat pääosin samaa tasoa kuin Itämeren muissa maissa 2000-luvun lopulla (Nakari ym. 2011). HBCD- ja PBDE-yhdisteitä on Suomessa löydetty myös puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä, teollisuusjätevedestä sekä teollisuusalueen hulevedestä. Penta- ja dekaBDE:tä (lähinnä BDE47, BDE99 & BDE209) löytyy yleisesti kun taas oktaBDE:tä (BDE183) ei pääsääntöisesti löydy suomalaisesta puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä (Huhtala ym. 2011, Nakari ym. 2012).



Kuva 24. Asukasvastineluvun (AVL) yhteys PBDE- ja HBCD-pitoisuuksiin tulevassa ja puhdistetussa jätevedessä sekä lietteessä.



Kuva 25. PBDE-pitoisuuksia Ämmäsuon kaatopaikan suotovedessä vuonna 2009. HBCD ei havaittu suotovedestä (<0,2 ng/l).

### Tulosten tarkastelua

PBDE (penta-, okta- ja dekaBDE) - ja HBCD-yhdisteitä löytyy yleisesti puhdistamolietteestä. Kongeneeri BDE209 on vallitseva lietenäytteissä edustaen noin 87 % kokonaispitoisuudesta. Suuruudeltaan määritetyt pitoisuudet ovat samalla tasolla kuin Suomessa ja Ruotsissa puhdistamolietteistä aikaisemmin määritetyt pitoisuudet. DekabDE:n yleisyys selittyy sillä, että sen käyttö on vielä sallittua tietyissä käyttökohteissa, kun taas pentaBDE- ja oktaBDE-seosten käyttö kiellettiin EU:ssa vuonna 2004.

Penta- ja dekaBDE:tä sekä HBCD-yhdisteitä löytyy lisäksi kaatopaikkojen suotovedestä ja puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä kun taas oktaBDE:tä löytyy suotovedestä mutta ei puhdistetusta yhdyskuntajätevedestä. BDE209, BDE47 ja BDE99 ovat vallitsevat kongeneerit puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä, puhdistamolietteessä ja kaatopaikkojen suotovedessä.

Penta- ja dekaBDE:tä sekä HBCD-yhdisteitä päätyy vesiympäristöön puhdistetun yhdyskuntajäteveden ja kaatopaikkojen suotoveden kautta kun taas oktaBDE:tä vain kaatopaikkojen suotoveden kautta.

## 4 Yhteenveto

Useita tutkittuja aineita päätyy vesiympäristöön puhdistetun yhdyskuntajäteveden kautta, mutta vielä useampia aineita päätyy vesiympäristöön kaatopaikkojen suotoveden kautta. Myös käsittelemätön puhdistamoliete sisältää lukuisia haitallisia aineita (Taulukko 15).

Taulukko 15. Puhdistetussa yhdyskuntajätevedessä, puhdistamolietteessä ja kaatopaikkojen suotovedessä esiintyviä haitallisia aineita. Yhdisteiden nimet on esitetty liitteessä I.

Aineryhmä	Puhdistettu yhdyskuntajätevesi	Puhdistamoliete	Kaatopaikan suotovesi
Ftalaatit	DEHP, BBP, DBP	DEHP, BBP, DBP	DEHP, BBP
Fenoliset yhdisteet	NP, NP1E, NP2E, OP, OPEI, BPA	NP, NP1E, NP2E, OP, OPIE, BPA	NP, NP1E, NP2E, OP, OPIE, OP2E, BPA
PAH-yhdisteet	PHN	ANP, ANTR, BAA, BAP, BBF, BGHIP, BKF, CHRY, FLUO, FLURE, IP, NAFTA, PHN, PYR,	ANP, ANTR, BAA, BAP, BBF, BGHIP, BKF, CHRY, FLUO, FLURE, IP, NAFTA, PHN, PYR
Organotinayhdisteet	TBT, DBT, MBT	TBT, DBT, MBT, TPhT, DOT	TBT, DBT, MBT
Dioksiinit, furaanit & PCB	dioksiinit, furaanit & PCB*	dioksiinit, furaanit & PCB*	dioksiinit, furaanit & PCB*
PFAS-yhdisteet	mm. PFHxA, PFOA, PFDA, PFOS	mm. PFHxA, PFOA, PFDA, PFOS	mm. PFHxA, PFOA, PFDA, PFOS
Bromatut palon-suoja-aineet	penta- ja dekaBDE, HBCD*	penta-, okta- ja dekaBDE, HBCD*	penta-, okta- ja dekaBDE, HBCD*

\* Löydetyt isomeerit/kongeneerit on esitetty kappaleissa 3.5 ja 3.7

Johtopäätöksien tekemistä aineiden esiintymisestä heikentää kuitenkin suomalaisen mitatun pitoisuustiedon vähäisyys ja huono vertailukelpoisuus johtuen mm. erilaisista analyysimenetelmistä ja määritysrajoista, mitatuista isomeereistä/kongeneereistä tai siitä, että tulokset on raportoitu liian yleisellä tasolla (esim. aineryhmä-tasolla) tai muuten eri tavalla (mm. erilaiset TEQ-arvot). Myös olemassa olevan tiedon kuten erillisselvitysten pitoisuustietojen saatavuus on ongelma, koska ympäristöhallinnon VAHTI-järjestelmään tai muuhun tietojärjestelmään ei tällä hetkellä pysty lisäämään päästöjä koskevien erillisselvitysten pitoisuustuloksia.

Tämän selvityksen tulosten perusteella ei voi arvioida ympäristölaatu normin (EQS) ylittymistä pintavedessä. On muistettava, että POP-tyyppisille aineille (pysyviä, eliöstöön kertyviä ja myrkyllisiä) ja vaarallisten aineiden asetuksen (asetus 1022/2006, täydennetty 868/2010) mukaisille vaarallisille aineille (pysyviä, eliöstöön kertyviä ja/tai myrkyllisiä tai antavat vastaavaa aiheutta huoleen) kuten mm. eräille PAH-yhdisteille, PFOS:ille, dioksiineille, furaaneille, PCB-yhdisteille, HBCD:lle, eräille PBDE-yhdisteille, nonyyliifenolille ja TBT:lle arvioitujen ainekohtaisten haitattomien pitoisuustasojen ja ympäristölaatu normien alittuminen on vain välitavoite. Näiden

aineiden riskinhallinnassa pyritään ympäristöpitoisuuksien osalta nollassoon ja niiden päästöt ympäristöön on lopetettava. Vastaavasti vaarallisten aineiden asetuksen mukaisten haitallisten aineiden (mm. dibutyyliftalaatti, DEHP, oktyylifenoli) pintaveden ympäristölaatu normien alittumisen lisäksi niiden päästöjä vesiympäristöön on vähennettävä.

Tämä selvitys on edistänyt kansallisen kemikaaliohjelman (YM 2006) toimenpiteitä 4.2.4 (tärkeimpien POP-yhdisteiden päästölähteiden ja päästöjen selvittäminen), 4.2.6 (yhdyskuntajäteveden mukana tulevien sekä lietteen sisältämien haitallisten aineiden seurannan tarpeen selvittäminen) ja 4.2.7 (päästöjen selvittäminen kaatopaikoilta). Seuraava vaihe toimenpiteiden toteuttamisessa on päästömäärien arviointi koko Suomen tasolla yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta ja kaatopaikoilta riittävän ja edustavan pitoisuustiedon perusteella. Perimmäisenä tavoitteena on saada koko Suomen kattavia kokonaisvaltaisia ja ajantasaisia ainekohtaisia päästöarvioita, joiden perusteella tiedetään riittävällä varmuudella päästölähteet, joihin tulee kohdistaa toimenpiteet ja joissa päästöjä voidaan vähentää kustannustehokkaasti.

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

AVL	Asukasvastineluku (tarkoittaa 1 sellaista vuorokausikuormitusta, jonka seitsemän vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus (BOD7 ) on 70 g happea (O2 ))
COHIBA	Control of hazardous substances in the Baltic Sea region - projekti
dw	Kuivapaino
EPER	Euroopan päästöreisteri, European Pollutant Emission Register
US EPA	US Environmental Protection Agency
E-PRTR-asetus	Euroopan päästö- ja siirtorekisteriä koskeva asetus (PRTR = Päästöreisteri, Pollutant Release and Transfer Register)
EQS	Ympäristölaatumnormi, Environmental quality standard
EU-RAR	EU:n riskinarviointiraportti, EU Risk Assessment Report
GC	Kaasukromatografi
GC-MS	Kaasukromatografi-massaspektrometri
HBCD	Heksabromisyklododekaani
HCB	Heksaklooribentseeni
HELCOM	Itämeren suojelukomissio; Helsinki Commission; Baltic Marine Environment Protection Commission
HPLC	Korkean erotuskyvyn nestekromatografi, High Performance Liquid Chromatography
k.a.	Kuiva-aine
KETU	Kemikaalituoterekisteri, www.ketu.fi
LC-MS	Nestekromatografi-massaspektrometri
MR	Määrittäjä
OSPAR	Koillis-Atlantin merellisen ympäristön suojelua koskeva yleissopimus
PAH	Polyaromaattiset hiilivedyt
PBDE	Polybromatut difenyylietterit
PBT	Persistent, Bioaccumulative and Toxic; pysyvä, biokertyvä ja myrkyllinen
vPvB	very persistent and very bioaccumulative; hyvin pysyvä ja hyvin biokertyvä
PCB	Polyklooratut bifenyylit
PCDD/PCDF	Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja polyklooratut dibentsofuraanit
PFAS	Perfluoratut alkylyyhdisteet (perfluorinated alkylated substances)
POP	Pysyvät orgaaniset yhdisteet (persistent organic pollutants)
REACH	Euroopan unionin kemikaalilainsäädäntö (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
SFA	Ainevirta-analyysi
STM	Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö
TEQ	Toksisuusekvivalentti
UNECE	YK:n alainen Euroopan talouskomissio (United Nations Economic Commission for Europe)
UNEP	YK:n ympäristöohjelma (United Nations Environment Programme)
UPLC-MS/MS	Erittäin korkean suorituskyvyn nestekromatografi-tandemmassaspektrometri
VAHTI	Ympäristöhallinnon valvonta- ja kuormitustietojärjestelmä, operatiivinen osa
VNa	Valtioneuvoston asetus
VPD	Vesipuidedirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista



## KIRJALLISUUTTA

- Aalto, J. 1992. Selvitys yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolietteiden haitallisista orgaanisista yhdisteistä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 358. 159 s.
- Aaltonen, E.-K. 2011. Haitallisten aineiden kartoitus Kokkolan, Pietarsaaren ja Vaasan jätevedenpuhdistamoilla vuosina 2009 ja 2010. Pohjanmaan vesi ja ympäristö ry. 13 s. + liitteet.
- Ahrens, L., Gerwinski, W., Theobald, N., Ebinghaus, R. 2010 Sources of polyfluoroalkyl compounds in the North Sea, Baltic Sea and Norwegian Sea: Evidence from their spatial distribution in surface water, *Marine Pollution Bulletin* 60 (2): 255-260
- Assmuth, T., Poutanen, H., Strandberg, T., Melanen, M., Penttilä, S. & Kalevi, K. 1990. Kaatopaikkojen ongelmajätteiden ympäristövaikutukset – Riskikaatopaikkatutkimuksen pääraportti. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A: 67. 211 s.
- Braaten, B., Berge, J., Berglund, L. & Bakken, T. 1996. Occurrence of phthalates and organotins in sediments and water in Norway. NIVA Report SNO 3552-96. 45 s.
- Brooke, D., Footitt, A. & Nwaogu, T.A. 2004. Environmental Risk Evaluation Report: Perfluorooctanesulphonate (PFOS). UK Environment Agency. 96 p.
- BUA. 2003. Tributyltin oxide. BUA Report 238 – supplementary report to BUA report 36. German Chemical Society. 108 s.
- Dinglasan, M.J.A., Ye, Y., Edwards, E.A. & Mabury, S.A. 2004. Fluorotelomer Alcohol Biodegradation Yields Poly- and Perfluorinated Acids. *Environmental Science and Technology* 38: 2857-2864.
- Ellis, D.A., Martin, J.V., de Silva, A.O., Mabury, S.A., Hurley, M.D., Andersen, M.P.S. & Wallington, T.J. 2004. Degradation of Fluorotelomer Alcohols: A likely Atmospheric Source of Perfluorinated Carboxylic Acids. *Environmental Science and Technology* 38: 3316-3321.
- EU-RAR 2001. European Union Risk Assessment Report on bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Consolidated Final Report: September 2001. Saatavilla internetissä: European chemical Substances Information System (ESIS): <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>.
- EU-RAR 2002. European Union Risk Assessment Report on 4-nonylphenol (branched) and nonylphenol. Final report, 2002. Saatavilla internetissä: European chemical Substances Information System (ESIS): <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>.
- EU-RAR 2003. European Union Risk Assessment Report on Dibutyl phthalate. Final report 2003 with addendum 2004. Saatavilla internetissä: European chemical Substances Information System (ESIS): <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>.
- EU-RAR. 2007. European Union Risk Assessment Report on Benzyl butyl phthalate. Final report 2007. Saatavilla internetissä: European chemical Substances Information System (ESIS): <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>.
- EU-RAR 2008. European Union Risk Assessment Report on Coal-tar pitch, high temperature. Final Version: May 2008. Saatavilla internetissä: European chemical Substances Information System (ESIS): <http://ecb.jrc.it/existing-chemicals>.
- Fausner, P., Sørensen, P. B., Carlsen, L. & Vikelsøe, J. 2001. Phthalates, nonylphenols and LAS in Roskilde wastewater treatment plant. Ministry of Environment and Energy National
- Fjeld E., Schlabach M., Berge J.A., Green N., Eggen T., Snilsberg P., Vogelsang C., Rognerud S., Kjellberg G., Enge E.K., Dye C.A., Gundersen H. 2005. Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter 2004. Bromerte flammehemmere, perfluoralkylstoffer, irgarol, diuron, BHT og dicofol. SFT Statens forurensningstilsyn, TA-2096/2005, 97 + 6 s.
- Fromme, H., Küchler, T., Otto, T., Pilz, K., Müller, J. & Wenzel A. 2002. Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment. *Water Research* 36(6): 1429-1438.
- Gatidou G., Thomaidis N.S., Stasinakis A.S., Lekkas T.D. 2007. Simultaneous determination of endocrine disrupting compounds nonylphenol, nonylphenol ethoxylates, triclosan and bisphenol A in wastewater and sewage sludge by gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.*, 1138, 32-41.
- Green, N., Schlabach, M., Bakke, T., Brevik, E.M., Dye, C., Herzke, D., Huber, S., Plosz, B., Remberger, M., Schøyen, M., Uggerud, H.T., Vogelsang, C. 2008. Screening of selected metals and new organic contaminants 2007. Phosphorus flame retardants, polyfluorinated organic compounds, nitro-PAHs, silver, platinum and sucralose in air, wastewater treatment facilities, and recipients. SFT – Norwegian Pollution Control Authority, TA 2367/2008, 104 s.
- Haglund, P. & Olofsson, U. 2006. Miljöövervakning av slam. Redovisning av resultat från 2004 och 2005 års provtagningar. Umeå Universitet 28 s.
- Haglund, P. & Olofsson, U. 2008. Miljöövervakning av slam. Redovisning av resultat från 2008 års provtagning (inclusive en sammanfattning av åren 2005-2008). Umeå Universitet 26 s.
- Haimi, H. & Mannio, J. (2008). Haitallisten aineiden näytteenotto ja esiintyminen jätevedenpuhdistamoilla. Kirjallisuusselvitys. Haitallisten aineiden ja riskien tutkimusohjelma. Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=89397&lan=fi>
- Hansen A.B. & Lassen P. 2008. Screening of phenolic substances in the Nordic environments. *TemaNord* 2008:530. 145 p. Nordic Council of Ministers.
- Harstad, K. 2006. Handling and assessment of leachates from municipal solid waste landfills in the Nordic countries. *TemaNord* 2006:594. 173 p. Nordic Council of Ministers.
- Huhtala, S., Munne, P., Nakari, T., Nuutinen, J., Perkola, N., Sainio, P., Schultz, E. & Schultz, L. 2011. WP3 Innovative approaches to chemical controls of hazardous substances – National report of Finland. COHIBA project WP3. netissä: [www.cohiba-project.net/identification/results/en\\_GB/results/](http://www.cohiba-project.net/identification/results/en_GB/results/)



- Kajaste, I., Muurinen, J., Räsänen, M., Vahtera, E. & Pääkkönen, J-P. 2009. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2008 – jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 7/2009. s. 66-74.
- Kallenborn, R., Berger, U. & Järnberg, U. 2004. Perfluorinated alkylated substances (PFAS) in the Nordic environment. TemaNord 2004:552. 107 p. Nordic Council of Ministers.
- Kapanen, A., Maunuksela, L. & Itävaara, M. 2008. Quality of composted, sewage sludge based soil improvers targeted for landscaping. Compost and digestate: Sustainability, benefits and impacts for the environment and plant production. Proceedings of the international congress CODIS 2008. <http://www.ramiran.net/doc08/fuchs-et-al-proceedings-codis-2008.pdf#page=237>
- Kettunen, R. & Laaksonen, T. 2011. Rosk'n Roll – Lausunto Munkkaan jätekeskuksen suotovesien laadusta. Ramboll. 9 s. + liitteet.
- Korkki K. 2006. Perfluorattujen alkyyliaineiden (PFAS) aiheuttamat ympäristöriskit Suomessa. Suomen ympäristö 14/2006, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 79 s.
- Koskinen P., Silvo K., Mehtonen J., Ruoppa M., Hyytiä H., Silander S., Sokka L. 2005. Esiselvitys tiettyjen haitallisten orgaanisten aineiden päästöistä. Suomen ympäristö 810, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 84 s
- Koskinen, S. Sähköpostitse 14.5.2012 välitetty tiedonanto. Kiertokapula Oy.
- Mannio, J. Mehtonen, J., Londesborough, S., Grönroos, M., Paloheimo, A., Köngäs, P., Kalevi, K., Erkomaa, K., Huhtala, S., Kiviranta, H., Mäntykoski, K., Nuutinen, J., Paukku, R., Piha, H., Rantakokko, P., Sainio, P. & Welling, L. 2011. Vesiympäristölle haitallisten teollisuus- ja kuluttaja-aineiden kartointu vesiympäristössä (VESKA1). Suomen ympäristö 3/2011. 97 s.
- Marttinen, S., Kettunen, R. & Rintala, J. 2003. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. The Science of the Total Environment 301: 1-12.
- Marttinen, S. 2004. Potential of Municipal Sewage Treatment Plants to Remove Bis(2-ethylhexyl)phthalate. University of Jyväskylä. Jyväskylä Studies in Biological and environmental Science. 51 s.
- Mehtonen, J. 2009. Hazardous substances of specific concern to the Baltic Sea – Final report of the HAZARDOUS project. Baltic Sea Environment Proceedings No. 119. 95 s. Helsinki Commission.
- Mehtonen, J. Substance Flow Analysis (SFA) for nonylphenol (NP) and nonylphenol ethoxylates (NPE) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012a; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Mehtonen, J. Substance Flow Analysis (SFA) for octylphenol (OP) and octylphenol ethoxylates (OPE) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012b; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Mehtonen, J. Substance Flow Analysis (SFA) for perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012c; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Mehtonen, J., Substance Flow Analysis (SFA) for polybrominated diphenylethers (PBDE) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012d; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Mehtonen, J. & Munne P., Substance Flow Analysis (SFA) for tributyltin (TBT) and triphenyltin (TPhT) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Mehtonen, J., Seppälä T., Verta, M. Substance Flow Analysis (SFA) for hexabromocyclododecane (HBCD) in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P. 2012; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Nakari, T., Schultz, E., Sainio, P., Munne, P., Kaj, L., Madsen, K. B., Manusadžianas, L., Mielzynska, D., Parkman, H., Pocheviciute, D., Pöllmäe, A., Strake, S., Volkov, E. & Zielonka, U. 2011. Innovative Approaches to Chemical Controls of Hazardous Substances – COHIBA WP3 Final Report. 116 s. Finnish Environment Institute. [www.cohiba-project.net/publications](http://www.cohiba-project.net/publications)
- Nakari, T., Schultz, E., Munne, P., Sainio, P. & Perkola, N. 2012. Haitallisten aineiden pitoisuudet puhdistetuissa jätevesissä ja jätevesien toksisuus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2012. 44 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=409494&lan=fi>
- Nilsson, H., Kärman, A., Westberg, H., Rotander, A., Van Bavel, B. ja Lindström, G. 2010. A Time Trend Study of Significantly Elevated Perfluorocarboxylate Levels in Humans after Using Fluorinated Ski Wax. Environmental Science and Technology 2010: 44, 2150-2155.
- Ojanen, P. 2005. Kemiallisen metsäteollisuuden prioriteetti- ja haitallisten aineiden päästöjen kartoitus ja seuranta. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 376. 60 s. ISBN 952-11-1938-1.
- Oksman, H. Sähköpostitse 21.5.2012 välitetty tiedonanto. Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy.
- OSPAR 2006. OSPAR background document on phthalates. Update, 2006. OSPAR Commission. Hazardous Substances Series 270/2006. 81 s. ISBN 1-905859-04-X. [http://www.ospar.org/documents/database/publications/P00270\\_BD%20on%20phthalates%20\\_2006%20version\\_.pdf](http://www.ospar.org/documents/database/publications/P00270_BD%20on%20phthalates%20_2006%20version_.pdf)

- Pettersson, M. & Wahlberg, C. 2010. Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport nr 2010-02.
- Poulsen, P.B & Jensen, A.A. 2005. More environmentally friendly alternatives to PFOS –compounds and PFOA. Danish Ministry of the Environment. Environmental Protection Agency. Environmental Project No. 1013.
- Pulkkinen, L. Sähköpostitse 18.4.2012 välitetty tiedonanto. Jätekuukko Oy.
- Roslev P., Vorkamp K., Aarup J., Frederiksen K., Nielsen P.H. 2007. Degradation of phthalate esters in an activated sludge treatment plant. *Wat. Res.*, 41, 969-976.
- RPA 2005. Risk assessment studies on targeted consumer applications of certain organotin compounds. Final report – September 2005. Risk & Policy analysts Limited - prepared for the EC. 128 p.
- Seppälä, T., Häkkinen, E., Munne, P., Vikström, L., Pyy, O., Jouttijärvi, T., Mehtonen, J., Johansson, M. 2012. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan Tukholman yleissopimuksen velvoitteiden kansallinen täytäntöönpano suunnitelma (NIP). Kansallinen tahattomasti tuotettujen POP-yhdisteiden päästöjen vähentämissuunnitelma (NAP). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 23/2012. 70 s
- Seppänen, A. Vain viisi viatonta; tutkimus t-paidat. *Kuluttaja 6/2010*: 10-15. In Finnish. Kuluttajavirasto (Finnish Consumer agency).
- Sinclair E., Kannan K. 2006. Mass loading and fate of perfluoroalkyl surfactants in wastewater treatment plants. *Environ. Sci. Technol.* 40, 1408-1414.
- Schlabach, M., Remberger, M., Brorström-Lundén, E., Norström, K., Kaj, L., Andersson, H., Herzke, D., Borgen, A. & Harju, M. 2011. Brominated Flame Retardants (BFR) in the Nordic Environment. *TemaNord 2011:528*. 86 p. Nordic Council of Ministers.
- Schultz, M., Higgins, C., Huset, C., Luthy, R. Barofsky, D. and Field, J. 2006 Fluorochemical Mass Flows in a Municipal Wastewater Treatment Facility *Environ. Sci. Technol.* 40 (23): 7350–7357
- Source Partnership. 2008. The Source Handbook – Summary of measuring results and examples of activities. 18 p. The Source Partnership project.
- STM 2005. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus vaarallisten aineiden luettelosta 509/2005. Saatavilla internetissä: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050509>.
- Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F. & Larsen, M.M. 2007. PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. 49 p. DMU (NERI) Rapport 608. Danmarks Miljøundersøgelser.
- SYKE 2002a. Butyylibentsyylifalaatti – tietokortti. Kemikaalit ympäristöluvassa –hanke. 8 s. Suomen ympäristökeskus.
- SYKE 2002b. Dibutyylifalaatti – tietokortti. Kemikaalit ympäristöluvassa –hanke. 10 s. Suomen ympäristökeskus.
- SYKE 2002c. Nonyylifenolit – tietokortti. Kemikaalit ympäristöluvassa –hanke. 10 s. Suomen ympäristökeskus.
- SYKE 2002d. Nonyylifenolietoksyalaatit – tietokortti. Kemikaalit ympäristöluvassa –hanke. 8 s. Suomen ympäristökeskus.
- SYKE 2005. Päästötietojen tuottamismenetelmät – energiantuotanto. Ympäristöhallinto – Energian tuottajat. Suomen ympäristö. Päivitetty 6.10.2005. 103 s. Saatavilla internetissä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=186377&lan=FI>.
- SYKE 2012. Air pollutant emissions in Finland 1980–2010. Informative inventory report to the Secretariat of the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – Part I & II. 15th March 2010. Finnish Environment Institute.
- Toivikko, S. 2011. HAVAVESI-raportti. Vesi- ja viemärilaitos. 5 s. + liitteet.
- Verta, M. & Mehtonen, J. Substance Flow Analysis (SFA) for Dioxins, furans and dioxin-like PCBs in Finland. Julkaisussa Mehtonen J., Verta, M., Munne P., 2012; COHIBA WP4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea; Summary report Finland. 409 s. [http://www.cohiba-project.net/publications/en\\_GB/publications/](http://www.cohiba-project.net/publications/en_GB/publications/)
- Vikelsøe, J., Fauser, P., Sørensen, P. B. & Carlsen, L. 2001. Phthalates and nonylphenols in Roskilde Fjord - a field study and mathematical modelling of transport and fate in water and sediment. NERI technical report No. 339. 106 s.
- Vikman, M., Kapanen, A. & Itävaara, M. 2006. Orgaaniset haitta-aineet jätevesiliitteissä. *Vesitalous 3/2006*: 7-10.
- Virolainen, M. 2010. Vesiympäristölle vaaralliset ja haitalliset aineet sekä E-PRTR-raportointi. Itä-Uudenmaan Jätehuolto Oy. 8 s. + liitteet.
- Voulvoulis N., Lester J.N. 2006. Fate of organotins in sewage sludge during anaerobic digestion. *Sci. Tot. Environ.*, 371, 373-382.
- VVY 2008. Haitallisten aineiden esiintyminen suomalaisissa yhdyskuntajätevesissä – E-PRTR –selvityksen tulokset. Vesi- ja viemäri- ja jätehuoltoyhdistyksen monistesarja Nro 24. 83 s. + liitteet.
- Woldegiorgis A., Andersson J., Remberger M., Kaj L., Ekheden Y., Blom L., Brorström-Lundén E., Borgen A., Dye C., Schlabach M. 2006. Results from the Swedish National Screening Programme 2005. Sub-report 3: Perfluorinated Alkylated substances (PFAS). IVL Report B1698.
- Ying G.-G., Williams B., Kookona R. 2002. Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates – a review. *Environ. Int.*, 28, 215-226.
- YM 2005. Vesiympäristölle haitalliset ja vaaralliset aineet pintavesissä. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön moniste 159. Ympäristöministeriön työryhmän mietintö. 202 s. Saatavilla internetissä: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=310706&lan=fi>.

- YM 2006. Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 49/2006. 100 s.
- YM 2007. Orgaaniset tinayhdisteet Suomen vesialueilla. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön raportteja 11/2007. Ympäristöministeriön työryhmän mietintö. 85 s. ISBN 978-952-11-2663-5. Saatavilla internetissä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=66393&lan=FI>.
- YM. Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma - Väliarviointi ja tarkistus 2012. Ympäristöministeriö. Luonnos Suomen ympäristö - sarjaan.
- Young, C., Furdai, V.I., Franklin, J., Koerner, R.M., Muir, D.C.G, Mabury, S.A. 2007. Perfluorinated Acids in Arctic Snow: New Evidence for Atmospheric Formation. *Environmental Science and Technology* 2007: 41, 3455-3461.



## Liite I. Tutkittujen yhdisteiden lyhenteet

<b>FTALAAITIT</b>	
BBP-1092	Butyylibentsyyliftalaatti
DBP-1093	Dibutyyliftalaatti
DEHP-1094	Di-(2-etyyliheksyyli)ftalaatti
<b>NONYYLI- JA OKTYYLIFENOLIT</b>	
BPA	Bisfenoli A
NP1E	Nonyylifenoli-monoetoksyalaatti
NP2E	Nonyylifenoli-dietoksyalaatti
NP4	4-n-nonyylifenoli
NPT	Nonyylifenoli, tekninen seos
OP	Oktyylifenoli
OP1E	Oktyylifenoli-monoetoksyalaatti
OP2E	Oktyylifenoli-dietoksyalaatti
PTOF	para-tert-oktyyli-fenoli
<b>PAH-YHDISTEET</b>	
ANP	Asenafteeni
ANTR	Antraseeni
BAA	Bentso(a)antraseeni
BAP	Bentso(a)pyreeni
BBF	Bentso(b)fluoranteeni
BGHIP	Bentso(g,h,i)peryleeni
BKF	Bentso(k)fluoranteeni
CHRY	Kryseeni
DBAHA	Dibentso(a,h)antraseeni
FLUO	Fluoranteeni
FLURE	Fluoreeni
IP	Indeno(1,2,3-cd)pyreeni
NAFTA	Naftaleeni
PHN	Fenantreeni
PYR	Pyreeni
<b>TINAT</b>	
MBT	Monobutyylitina
DBT	Dibutyylitina
TBT	Tributyylitina
MPhT	Monofenyylitina
DPhT	Difenyylitina
TPhT	Trifenyylitina
DOT	Dioktyylitina

<b>PFC -YHDISTEET</b>	
PFHxA	Perfluoroheksaanihappo
PFOA	Perfluoro-oktaaniaanihappo
PFOS	Perfluoro-oktaanisulfonaatti
PFDA	Perfluorodekaanihappo
<b>DIOKSIINIT JA FURAAINIT</b>	
2378-TCDF	Tetraklooridibentsofuraani
2378-TCDD	Tetraklooridibentsodioksiini
12378-PeCDF	Pentaklooridibentsofuraani
23478-PeCDF	Pentaklooridibentsofuraani
1,2,3,7,8-PeCDD	Pentaklooridibentsodioksiini
1,2,3,4,7,8-HxCDF	Heksaklooridibentsofuraani
1,2,3,6,7,8-HxCDF	Heksaklooridibentsofuraani
2,3,4,6,7,8-HxCDF	Heksaklooridibentsofuraani
1,2,3,7,8,9-HxCDF	Heksaklooridibentsofuraani
1,2,3,4,7,8-HxCDD	Heksaklooridibentsodioksiini
1,2,3,6,7,8-HxCDD	Heksaklooridibentsodioksiini
1,2,3,7,8,9-HxCDD	Heksaklooridibentsodioksiini
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	Heptaklooridibentsofuraani
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	Heptaklooridibentsofuraani
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	Heptaklooridibentsodioksiini
OCDF	Oktaklooridibentsofuraani
OCDD	Oktaklooridibentso-p-dioksiini
<b>PCB<sub>t</sub></b>	
NON-ORTO PCB (co-PCB)	
PCB 81	3,4,4',5-tetraklooribifenylyli
PCB 77	3,3',4,4'-tetraklooribifenylyli
PCB 126	3,3',4,4',5-pentaklooribifenylyli
PCB 169	3,3',4,4',5,5'-heksaklooribifenylyli
<b>MUUT PCB:T</b>	
PCB 18	2,2',5-triklooribifenylyli
PCB 28/31	2,4,4'-triklooribifenylyli
	2,4',5-triklooribifenylyli
PCB 33	2',3,4-triklooribifenylyli
PCB 47	2,2',4,4'-tetraklooribifenylyli
PCB 49	2,2',4,5'-tetraklooribifenylyli
PCB 51	2,2',4,6'-tetraklooribifenylyli
PCB 52	2,2',5,5'-tetraklooribifenylyli
PCB 60	2,3,4,4'-tetraklooribifenylyli
PCB 66	2,3',4,4'-tetraklooribifenylyli

PCB 74	2,4,4',5-tetraklooribifenylyli
PCB 99	2,2',4,4',5-pentaklooribifenylyli
PCB 101	2,2',4,5,5'-pentaklooribifenylyli
PCB 105	2,3,3',4,4'-pentaklooribifenylyli
PCB 110	2,3,3',4',6-pentaklooribifenylyli
PCB 114	2,3,4,4',5-pentaklooribifenylyli
PCB 118	2,3',4,4',5-pentaklooribifenylyli
PCB 122	2',3,3',4,5-pentaklooribifenylyli
PCB 123	2',3,4,4',5-pentaklooribifenylyli
PCB 128	2,2',3,3',4,4'-heksaklooribifenylyli
PCB 138	2,2',3,4,4',5'-heksaklooribifenylyli
PCB 141	2,2',3,4,5,5'-heksaklooribifenylyli
PCB 153	2,2',4,4',5,5'-heksaklooribifenylyli
PCB 156	2,3,3',4,4',5-heksaklooribifenylyli
PCB 157	2,3,3',4,4',5'-heksaklooribifenylyli
PCB 167	2,3',4,4',5,5'-heksaklooribifenylyli
PCB 170	2,2',3,3',4,4',5-heptaklooribifenylyli
PCB 180	2,2',3,4,4',5,5'-heptaklooribifenylyli
PCB 183	2,2',3,4,4',5',6-heptaklooribifenylyli
PCB 187	2,2',3,4',5,5',6-heptaklooribifenylyli
PCB 189	2,3,3',4,4',5,5'-heptaklooribifenylyli
PCB 194	2,2',3,3',4,4',5,5'-oktaklooribifenylyli
PCB 206	2,2',3,3',4,4',5,5,6 -Nonaklooribifenylyli
PCB 209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6- Dekaklooribifenylyli
<b>BROMATUT</b>	
BDE-17	2,2',4-Tribromidifenylylieetteri
BDE-28	2,4,4'-Tribromidifenylylieetteri
BDE-47	2,2',4,4'-Tetrabromidifenylylieetteri
BDE-66	2,3',4,4'-Tetrabromidifenylylieetteri
BDE-100	2,2',4,4',6-Pentabromidifenylylieetteri
BDE-99	2,2',4,4',5-Pentabromidifenylylieetteri
BDE-85	2,2',3,4,4'-Pentabromidifenylylieetteri
BDE-154	2,2',4,4',5,6'-Heksabromidifenylylieetteri
BDE-153	2,2',4,4',5,5'-Heksabromidifenylylieetteri
BDE-183	2,2',3,4,4',5',6-Heptabromidifenylylieetteri
BDE- 203	2,2',3,4,4',5,5',6-Oktabromidifenylylieetteri
BDE-209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Dekabromidifenylylieetteri
alfa_HBCD	alfa-heksabromisyklododekaani
beta_HBCD	beta-heksabromisyklododekaani
gamma_HBCD	gamma-heksabromisyklododekaani

## Liite 2. Tulokset yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta

FTALAAIT						
			BBP	DBP	DEHP	
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/l	µg/l	µg/l	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, t.	1,1	0,3	3,2	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, t.	0,7	<0,3	2,3	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, l.	<0,3	<0,3	<1	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, t.	0,7	2,9	3,3	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l.	<0,3	0,7	<1	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l. rinn	<0,3	0,8	1,1	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Astianolla	0,7	3,5	3	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, t.	1,1	0,3	3,1	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, l.	<0,3	<0,3	1,1	
			BBP	DBP	DEHP	Kuiva-aine
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	%
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete	<1000	<500	18000	14,9
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete	<1000	<500	24000	27,9
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete, rinn	<1000	<500	23000	27,5
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Liete	<1000	<500	11000	29,7
			BBP	DBP	DEHP	
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/l	µg/l	µg/l	
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi, t.	3,7	0,4	12	
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi, l.	0,3	<0,3	<1	
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi, t.	0,5	0,3	4,5	
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi, l.	0,3	<0,3	<1	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, t.	0,9	0,3	8	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, l.	0,4	0,3	<1	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, l.	<0,3	<0,3	<1	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Astianolla	<0,3	<0,3	4,3	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Kenttänolla	<0,3	<0,3	<1	
			BBP	DBP	DEHP	
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	<500	<1000	5000	
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	<500	<1000	8600	
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete, rinn	<500	<1000	8700	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	<500	<1000	16000	

Kenttänolla: Laboratoriosta mukaan otettua tislattua vettä pulloitettu 'kentällä' (varsinaisen näytteenottoaikan vierellä)

Astianolla 2008: Otettu samalla kokoomanäytteenottimella kuin Suomenojan tuleva jätevesi. Pitkä näytteenottoletku vaihdettu ennen näytteenottoa uuteen letkuun ja näytteenä oli labrasta saatu puhdas vesi. Näyte otettiin samanlaiseen pulloon kuin muutkin kokoomanäytteet Suomenojalla

Astianolla 2009: Otettu samalla kokoomanäytteenottimella kuin Suomenojan lähtevä jätevesi. Pitkä näytteenottoletku vaihdettu ennen näytteenottoa uuteen letkuun ja näytteenä oli labrasta saatu puhdas vesi. Näyte otettiin samanlaiseen pulloon kuin muutkin kokoomanäytteet Suomenojalla. Näytteenottaja oli epähuomiossa käyttänyt keräilyastian teollisuusjätevesille tarkoitettua astiaa.



TINAT										
			MBT	DBT	TBT	MPhT	DPhT	TPhT	DOT	
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, t.	118	109	5,1	<0.5	<0.05	0,23	32	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, t. rinn	119	105	8,7	<0.5	<0.05	0,26	27	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, l.	41	34	2,9	<0.5	<0.05	<0.03	<1.0	
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, l. rinn	41	30	7,5	<0.5	<0.05	<0.03	<1.0	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, t.	151	124	9,4	<0.5	<0.05	0,54	22	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l.	8,1	4,4	2,2	<0.5	<0.05	<0.03	<1.0	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, t.	184	155	5,8	<0.5	<0.05	0,11	18	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, l.	5,1	5	1,4	<0.5	<0.05	0,05	<1.0	
Suomenoja, Espoo	22.10.2008	Astianolla	9,3	0,8	<1.0	<0.5	<0.05	<0.03	<1.0	
Tina-pitoisuudet on ilmoitettu kationien pitoisuuksina (ng cat/L)										
			MBT	DBT	TBT	MPhT	DPhT	TPhT	DOT	Kuiva-aine
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Puhdistamo	pvm	Näyte								%
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete	589	351	12,2	nd	nd	0,57	49,4	15,4
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete	535	456	18,1	nd	nd	0,99	35,3	28,3
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete rinn	580	477	17,7	nd	nd	1,04	62,9	28,3
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Liete	458	345	14,7	nd	0,70	1,55	45,9	30,3
Tinapitoisuudet on ilmoitettu kationien pitoisuuksina kuivapainoa kohti (µg cat/kg dw)										
Havaintoraja, LOD			0,5	0,8	0,7	5	0,4	0,2	1,5	
Määrittäysraja, LOQ			1,5	2,5	2,0	15	1,0	0,4	5	
			MBT	DBT	TBT	MPhT	DPhT	TPhT	DOT	
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi t.	166	84	2,4	<0,50	<0,05	0,08	<1,0	
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi l.	11	3,3	<1,0	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi t.	125	52	2,1	<0,50	<0,05	0,05	<1,0	
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi t. rinn	117	53	2,3	<0,50	<0,05	0,05	<1,0	
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi l.	14	5,5	<1,0	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi l. rinn	12	7,1	<1,0	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi t.	155	97	3,8	<0,50	<0,05	0,17	<1,0	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi l.	198	43	23	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Kenttänolla	5,70	<0,60	<1,0	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Astianolla	1 250	303	39	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0	
Tinapitoisuudet on ilmoitettu kationien pitoisuuksina (ng cat/L)										
			MBT	DBT	TBT	MPhT	DPhT	TPhT	DOT	Kuiva-aine
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Puhdistamo	pvm	Näyte								%
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	liete	934	404	9,3	nd	nd	nd	32,4	15,5
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	liete, rinn	947	431	nd	nd	nd	nd	25,0	15,5
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	liete	894	402	12,3	nd	nd	nd	35,9	15,1
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	liete	610	616	14	nd	nd	nd	20,7	31,3
Tina-pitoisuudet on ilmoitettu kationien pitoisuuksina kuivapainoa kohti (µg cat/kg dw)										
Havaintoraja, LOD			4	5	9	6	0,4	0,7	3	
Määrittäysraja, LOQ			12	15	25	16	1,0	2,0	8	

PFC						
			PFHxA	PFOA	PFOS	PFDA
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
Astianolla	2009		< 0.5	< 0.5	1,3	< 0.5
Kenttänolla	2009		< 0.5	< 0.5	nd	< 0.5
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	T. rinn	1,9	2,0	1,2	< 0.5
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	T.	1,8	1,8	1,0	< 0.5
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	L.	3,0	4,4	0,5	< 0.5
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	T.	1,1	0,6	1,1	< 0.5
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	L.	2,2	3,2	< 0.5	< 0.5
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	T.	44	23	14	1,0
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	L.	7,4	5,0	3,3	2,6
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	L. rinn	7,6	7,0	4,0	3,0
			PFHxA	PFOA	PFOS	PFDA
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,35	2,1	6,2	5,7
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,28	1,3	8,1	6,8
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	0,46	1,2	6,1	2,6
	Ka		0,36	1,5	6,8	5,0
	Mediaani		0,35	1,3	6,2	5,7

NON-ORTO PCB (co-PCB)						
			PCB 81	PCB 77	PCB 126	PCB 169
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	2,81	70,4	3,41	0,917
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	3,16	77,2	3,47	1,10
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	4,67	122	3,84	1,07
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	4,72	123	3,77	1,09
			Summa	pg I-TEQ/g	pg WHO-TEQ/g	Kuiva-aine
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	%
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	77,5	0,39	0,36	15,6
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	84,9	0,40	0,37	15,1
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	132	0,46	0,41	31,6
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	132	0,45	0,40	31,9

NONYYLI- JA OKTYYLIFENOLIT												
			BPA	NPIE	NP2E	NP4	NPT	OP	OPIE	OP2E	PTOF	
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, t.	3,41	0,45	1,72	nd	2,34	nd	0,11	0,02	0,48	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, l.	0,32	nd	0,06	nd	0,60	nd	0,04	nd	0,40	
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, l. rinn	0,25	0,05	0,06	nd	0,29	nd	0,04	nd	0,40	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, t.	9,01	0,29	1,02	nd	4,15	nd	0,15	0,04	0,50	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, t. rinn	8,60	0,16	1,08	nd	4,72	nd	0,16	0,04	0,59	
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l.	0,39	0,05	0,22	nd	0,69	nd	0,04	nd	0,40	
Suomenoja, Espoo	22.10.2008	Astianolla ?	0,93	0,07	0,11	nd	0,37	nd	nd	nd	0,05	
Viikki, Helsinki	22.10.2008	Jätevesi, t.	2,51	0,62	1,68	nd	3,90	nd	0,25	0,14	nd	
Viikki, Helsinki	22.10.2008	Jätevesi, l.	0,54	nd	0,07	nd	0,27	nd	0,05	nd	0,44	
Toteamisraja µg/l	LOD		0,10	0,05	0,02	0,10	0,10	0,10	0,02	0,02	0,05	
Määrittäysraja µg/l	LOQ		0,35	0,17	0,07	0,35	0,35	0,35	0,07	0,07	0,17	
			BPA	NPIE	NP2E	NP4	NPT	OP	OPIE	OP2E	PTOF	Kuiva-aine
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	%
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete	nd	300	610	nd	220	nd	nd	nd	nd	14,7
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete	1700	180	120	nd	2400	nd	nd	nd	250	22,5
Viikki, Helsinki	22.10.2008	Liete	nd	430	260	nd	4900	nd	nd	nd	1000	28,9
Toteamisraja µg/kg	LOD		300	150	100	100	250	150	50	50	150	
Määrittäysraja µg/kg	LOQ		1000	600	400	300	1000	600	200	300	600	

DIOKSIINIT												
			2378-TCDF	2378-TCDD	12378-PeCDF	23478-PeCDF	12378 PeCDD	123478-HxCDF	123678-HxCDF	234678 HxCDF	123789-HxCDF	
PCDD /PCDF												
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,522	<0,084	0,160	0,759	0,486	0,504	0,750	0,834	<0,191	
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	1,60	<0,172	0,302	1,01	0,617	0,753	1,10	1,20	<0,431	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	0,650	0,103	0,214	0,835	0,454	0,640	1,02	0,905	<0,123	
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	0,665	0,139	0,224	0,875	0,609	0,715	1,16	1,00	<0,107	
			123478-HxCDD	123678-HxCDD	123789-HxCDD	1234678-HpCDF	1234789-HpCDF	1234678-HpCDD	OCDF	OCDD		
PCDD /PCDF												
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,288	2,72	1,71	26,3	1,80	59,5	114	560		
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,554	2,89	1,58	27,1	2,00	62,5	108	577		
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	0,242	2,93	1,11	34,5	1,73	77,0	134	762		
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	0,549	3,26	1,63	36,5	2,74	83,3	136	749		
			Summa	I-TEQ (UB)	WHO-TEQ (UB)	WHO-TEQ (LB)	Kuiva-aine					
PCDD /PCDF												
Puhdistamo	pvm	Näyte	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	ng/kg dw	%					
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	<770	2,97	2,60	2,50	15,6					
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	<788	3,61	3,30	3,09	15,1					
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	<1020	3,55	2,97	2,96	31,6					
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	<1020	3,91	3,42	3,41	31,9					

PAH-YHDISTEET 2008																	
Jätevesi																	
			ANP	ANTR	BAA	BAP	BBF	BGHIP	BKF	CHRY	DBAHA	FLUO	FLURE	IP	NAFTA	PHN	PYR
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, t.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	0,02	0,03	<0.01
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Jätevesi, l.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, t.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	0,01	<0.01	0,03	0,05	<0.01
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Jätevesi, l.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Astianolla	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,04	0,02
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, t.	0,02	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	0,08	0,04	0,02
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Jätevesi, l.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Liete																	
			ANP	ANTR	BAA	BAP	BBF	BGHIP	BKF	CHRY							
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw							
Puhdistamo	pvm	Näyte															
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete, rinn	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
			DBAHA	FLUO	FLURE	IP	NAFTA	PHN	PYR	Kuiva-aine							
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	%							
Puhdistamo	pvm	Näyte															
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete	<100	<100	<100	<100	<0.1	<100	120	14,3							
Kalteva, Hyvinkää	22.10.2008	Liete, rinn	<100	<100	<100	<100	<0.1	<100	140	14,3							
Suomenoja, Espoo	21.10.2008	Liete	<100	180	<100	<100	<0.1	200	140	27,3							
Viikinmäki, Helsinki	21.10.2008	Liete	<100	260	<100	<100	<0.1	390	220	28,7							

PAH-YHDISTEET 2009																	
Jätevesi																	
			ANP	ANTR	BAA	BAP	BBF	BGHIP	BKF	CHRY	DBAHA	FLUO	FLURE	IP	NAFTA	PHN	PYR
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Puhdistamo	pvm	Näyte															
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi, t.	<0,01	<0,01	<0,01	0,002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	0,03	0,03	0,01
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi, l.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Jätevesi, l. rinn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi, t.	0,06	<0,01	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,1	0,02	0,01
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Jätevesi, l.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, t.	0,03	<0,01	<0,01	0,004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,02
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, t. rinn	0,03	0,01	<0,01	0,006	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,01	<0,01	0,05	0,05	0,02
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Jätevesi, l.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Astianolla	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Kenttänolla	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Liete																	
			ANP	ANTR	BAA	BAP	BBF	BGHIP	BKF	CHRY							
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw							
Puhdistamo	pvm	Näyte															
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Liete, rinn	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100							
			DBAHA	FLUO	FLURE	IP	NAFTA	PHN	PYR								
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw								
Puhdistamo	pvm	Näyte															
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	<100	<100	<100	<100	<0,1	<100	<100								
Kalvea, Hyvinkää	25.3.2009	Liete, rinn	<100	<100	<100	<100	<0,1	<100	<100								
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	<100	<100	<100	<100	<0,1	<100	<100								
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	<100	140	<100	<100	<0,1	200	130								

MUUT PCB:T													
			PCB 18	PCB 28/31	PCB 33	PCB 51	PCB 52	PCB 49	PCB 47	PCB 74	PCB 66	PCB 60	PCB 101
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Puhdistamo	pvm	Näyte											
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	1,61	3,72	0,342	0,044	1,99	0,792	0,686	0,371	0,569	0,091	2,42
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,912	3,54	0,329	0,039	1,26	0,550	0,706	0,340	0,563	0,098	1,84
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	6,18	10,3	3,26	0,108	4,69	2,18	1,35	0,900	1,58	0,260	5,77
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	8,04	18,7	5,72	0,092	5,04	2,36	1,60	0,914	1,58	0,255	6,01
			PCB 99	PCB 110	PCB 123	PCB 118	PCB 114	PCB 122	PCB 105	PCB 153	PCB 141	PCB 138	PCB 167
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Puhdistamo	pvm	Näyte											
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,370	1,41	<0,001	1,17	<0,004	<0,001	0,178	5,49	0,800	4,91	0,034
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,253	1,02	<0,001	0,902	<0,005	<0,002	0,130	4,67	0,638	4,15	0,025
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	0,990	3,41	<0,001	2,36	0,009	<0,002	0,446	12,1	2,47	10,6	0,107
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	0,981	3,65	<0,002	2,44	0,009	<0,002	0,434	12,9	2,74	11,9	0,115
			PCB 128	PCB 156	PCB 157	PCB 187	PCB 183	PCB 180	PCB 170	PCB 189	PCB 194	PCB 206	PCB 209
			µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Puhdistamo	pvm	Näyte											
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,215	0,367	0,010	1,35	0,638	5,11	2,96	0,016	0,340	0,033	0,031
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,127	0,257	0,008	1,11	0,503	3,92	1,94	0,012	0,227	<0,011	0,033
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	0,610	0,906	0,018	3,63	1,99	12,1	6,78	0,047	1,48	0,075	0,020
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	0,617	0,947	0,020	4,32	2,35	14,0	7,22	0,050	1,65	0,085	0,023
Kaikki PCB:t yhteensä			Summa µg/kg dw	pg I-TEQ/g	pg WHO-TE- Q/g (UB)	pg WHO-TE- Q/g (LB)	Kuiva-aine %						
Puhdistamo	pvm	Näyte											
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	38,2	1,06	0,68	0,68	15,6						
Kirkkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	30,2	0,87	0,61	0,60	15,1						
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	96,9	2,01	1,16	1,16	31,6						
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	117	2,09	1,18	1,18	31,9						

<b>BROMATUT</b>									
<b>Vuosi 2008</b>									
			BDE-17	BDE-28	BDE-47	BDE-66	BDE-100	BDE-99	BDE-85
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Viikinmäki, Helsinki	2008	Liete	0,18	0,38	19,0	0,66	4,01	20,7	0,60
Viikinmäki, Helsinki	2008	Liete	0,19	0,27	20,0	0,65	4,23	21,8	0,64
Kalteva, Hyvinkää	2008	Liete	0,75	0,39	22,4	0,64	3,98	25,4	0,55
Suomenoja, Espoo	2008	Liete	0,91	0,38	22,4	0,56	4,01	23,5	0,52
			BDE-154	BDE-153	BDE-183	BDE-209	alfa_HBCD	beta_HBCD	gamma_HBCD
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Viikinmäki, Helsinki	2008	Liete	1,30	2,37	0,48	397			
Viikinmäki, Helsinki	2008	Liete	1,42	2,52	0,75	346			
Kalteva, Hyvinkää	2008	Liete	1,47	2,39	0,46	579			
Suomenoja, Espoo	2008	Liete	1,47	2,59	0,55	568			
<b>Vuosi 2009</b>									
			BDE-17	BDE-28	BDE-47	BDE-66	BDE-100	BDE-99	BDE-85
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	0,19	0,41	21,8	0,68	4,72	26,4	0,75
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete, rinn	0,22	0,49	26,8	0,81	5,92	32,9	1,01
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	0,73	0,36	18,5	0,54	3,47	22,4	0,50
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	1,37	0,34	21,4	0,45	3,73	21,4	0,44
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	1,62	0,39	23,8	0,62	4,12	24,2	0,48
			BDE-154	BDE-153	BDE-183	BDE-209	alfa_HBCD	beta_HBCD	gamma_HBCD
Puhdistamo	pvm	Näyte	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw	µg/kg dw
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete	1,65	2,89	0,41	234	78,0	74,0	16,0
Kirkonkylä, Nurmijärvi	24.3.2009	Liete, rinn	1,94	3,56	0,44	270	86,6	44,8	17,7
Kalteva, Hyvinkää	25.3.2009	Liete	1,18	2,31	0,34	407	66,1	128	27,3
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete	1,26	2,45	0,52	375	4,8	93,0	2,3
Suomenoja, Espoo	24.3.2009	Liete, rinn	1,56	2,80	0,61	399	26,5	273	9,8

## Liite 3. Tulokset kaatopaikalta

FTALAAITIT										
			BBP	DBP	DEHP					
			µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw					
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi	0,6	<0.3	1,5					
Ämmässuo	22.10.2008	Kenttänolla	<0.3	0,4	<1					
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete	<1000	<500	5100					
Ämmässuo	23.3.2009	Suotovesi	<0,3	<0,3	1,3					
Ämmässuo	23.3.2009	Suotovesi	<0,3	<0,3	1					
Ämmässuo	23.3.2009	laskeutusaltaan liete	nd	nd	nd					

TINAT										
				MBT	DBT	TBT	MPhT	DPhT	TPhT	DOT
				ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww	ng/l tai µg/kg ww
Ämmässuo	22.10.2008	kenttänolla		<1.7	<0.6	2,3	<0.5	<0.05	<0.03	<1.0
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi		64	22	33	<0.5	<0.05	0,04	3,2
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi		61	19	34	<0.5	<0.05	0,06	2,1
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete	24,8	42,8	26,9	31,7	<5	<0,4	0,76	5,9
Ämmässuo	23.3.2009	Suotovesi		113	37	53	<0,50	<0,05	<0,03	<1,0
Tina-pitoisuudet on ilmoitettu kationien pitoisuuksina (ng cat/L) ja tuorepainoa kohti (µg cat/kg fw)										
PFC										
				PFHxA	PFOA	PFOS	PFDA			
				ng/l	ng/l	ng/l	ng/l			
Ämmässuo	23.3.2009	suotovesi		21,3	12,44	11,14	2,46			



NONYYLI- JA OKTYYLIFENOLIT										
				BPA	NPIE	NP2E	NP4	NPT	OP	
			kuiva-aine %	µg/l tai µg/kg	µg/l tai µg/kg	µg/l tai µg/kg	µg/l tai µg/kg	µg/l tai µg/kg	µg/l tai µg/kg	
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi		130	nd	0,06	nd	1,7	0,11	
Ämmässuo	22.10.2008	Kenttänolla		nd	nd	nd	nd	nd	nd	
		Toteamisraja µg/l	LOD	0,10	0,05	0,02	0,10	0,10	0,10	
		Määrittäysraja µg/l	LOQ	0,35	0,17	0,07	0,35	0,35	0,35	
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete	32,1	10000	nd	150	nd	840	280	
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete rinn.	25,3	4900	nd	120	nd	770	350	
		Toteamisraja µg/kg	LOD	300	150	100	100	250	150	
		Määrittäysraja µg/kg	LOQ	1000	600	400	300	1000	600	
PBDE										
				BDE-17	BDE-28	BDE-47	BDE-66	BDE-100	BDE-99	BDE-85
				µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/ kg dw	µg/l tai µg/ kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw
Ämmässuo	23.3.2009	suotovesi		0,77	0,58	5,39	0,77	1,36	5,87	nd.
										(dl. 0.2 ng/l)
Ämmässuo	2008	laskeutusaltaan liete		0,17	0,20	4,27	0,27	0,97	5,11	0,20
				BDE-154	BDE-153	BDE-183	BDE-209	alfa-HBCD	beta-HBCD	gamma-HBCD
				µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw
Ämmässuo	23.3.2009	suotovesi		1,03	1,81	1,47	1,87	nd	nd	nd
								(dl. 0.2 ng/l)	(dl. 0.2 ng/l)	(dl. 0.2 ng/l)
Ämmässuo	2008	laskeutusaltaan liete		0,41	1,20	0,49	26	14,3	31,1	5,15

PAH-YHDISTEET											
				ANP	ANTR	BAA	BAP	BBF	BGHIP	BKF	
				µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi		0,1	0,01	<0,01	0,013	0,03	0,01	0,01	
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi rinn		0,02	0,01	0,01	0,015	0,03	0,02	0,01	
Ämmässuo	22.10.2008	Kenttänolla		<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete	26,8	150	450	860	960	510	850	600	
Ämmässuo	23.3.2009	Suotovesi		0,32	<0,01	0,03	0,012	0,02	<0,01	<0,01	
Ämmässuo	23.3.2009	laskeutusaltaan liete		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
				CHRY	DBAHA	FLUO	FLURE	IP	NAFTA	PHN	PYR
				µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw	µg/l tai µg/kg dw
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi		0,02	<0,01	0,08	0,08	0,01	0,19	0,21	0,07
Ämmässuo	22.10.2008	Suotovesi rinn		0,02	<0,01	0,1	0,09	0,02	0,25	0,23	0,09
Ämmässuo	22.10.2008	Kenttänolla		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ämmässuo	22.10.2008	laskeutusaltaan liete	1000	200	4400	490	550	0,17	3500	3900	
Ämmässuo	23.3.2009	Suotovesi		0,06	<0,01	0,25	0,34	<0,01	0,83	0,13	<0,01
Ämmässuo	23.3.2009	laskeutusaltaan liete		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	

## KUVAILELEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus			Julkaisu-aika Joulukuu 2012
Tekijä(t)	Jukka Mehtonen, Jaakko Mannio, Kirsti Kalevi, Sami Huhtala, Jari Nuutinen, Noora Perkola, Pirjo Sainio, Jenna Pihlajamäki, Ville Kasurinen, Jani Koponen, Raija Paukku ja Panu Rantakokko			
Julkaisun nimi	<b>Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla ja kaatopaikoilla</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2012			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana vain internetistä: <a href="http://www.syke.fi/julkaisut">www.syke.fi/julkaisut</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>			
Tiivistelmä	<p>Kemikaalien riskinhallinnan tavoitteena on tunnistaa markkinoilla olevista tuhansista kemikaaleista ennakolta sellaiset aineet, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristössä, sekä varmistaa, että niiden käyttö on riskitöntä. Haitallisten aineiden riskinhallinnan ongelmana ovat puutteelliset tiedot aineiden ominaisuuksista, käytöstä, päästöistä sekä esiintymisestä ympäristössä. Kansallisen vaarallisia kemikaaleja koskevan ohjelman yhtenä tavoitteena on parantaa tätä tietopohjaa.</p> <p>Kartoituksella saatiin tietoa yhdyskuntajäteveden ja -lietteen sekä kaatopaikkojen suotoveden sisältämistä kemikaaleista. Kartoitus painottui POP-yhdisteisiin ja vaarallisten aineiden asetuksen mukaisiin haitallisiin ja vaarallisiin aineisiin. Useita tutkittuja aineita päätyy vesiympäristöön puhdistetun yhdyskuntajäteveden kautta, mutta vielä useampia aineita kaatopaikkojen suotoveden kautta. Lisäksi monia aineita löytyy puhdistamolietteestä. Johtopäätösten tekemistä vaikeuttaa suomalaisen mitatun pitoisuustiedon vähäisyys ja huono vertailukelpoisuus johtuen mm. erilaisista analyysimenetelmistä ja määrittämisrajoista, mitatuista isomeereistä tai siitä, että tulokset on raportoitu liian yleisellä tasolla.</p> <p>Vaarallisten aineiden riskinhallinnassa pyritään pintaveden ympäristölaatu normien alittumisen lisäksi siihen, että niiden päästöt ympäristöön loppuvat ja niitä ei löydetä ympäristöstä. Vastaavasti haitallisten aineiden riskinhallinnassa tavoitteena on pintaveden ympäristölaatu normien alittumisen lisäksi se, että niiden päästöt vesiympäristöön vähentyvät.</p> <p>Tämä selvitys on edistänyt kansallisen kemikaaliohjelman altistumiseen liittyviä toimenpiteitä. Seuraava vaihe toimenpiteiden toteuttamisessa on päästömäärien arviointi koko Suomen tasolla yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta ja kaatopaikoilta.</p>			
Asiasanat	jätevesi, suotovesi, puhdistamoliete, päästöt, POP-yhdisteet, vaaralliset aineet, haitalliset aineet, kansallinen kemikaaliohjelma			
Rahoittaja/toimeksiantaja				
	ISBN	ISBN 978-952-11-4117-1 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (verkkokj.)
	Sivuja 74	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis. alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki			
Painopaikka ja -aika				

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral			Datum December 2012
Författare	Jukka Mehtonen, Jaakko Mannio, Kirsti Kalevi, Sami Huhtala, Jari Nuutinen, Noora Perkola, Pirjo Sainio, Jenna Pihlajamäki, Ville Kasurinen, Jani Koponen, Raija Paukku och Panu Rantakokko			
Publikationens titel	<b>Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla ja kaatopaikoilla</b> (Förekomsten av skadliga organiska föreningar vid reningsverk för kommunalt avloppsvatten och på avstjälningsplatser)			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljöcentrals rapporter 29/2012			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: <a href="http://www.syke.fi/publikationer">www.syke.fi/publikationer</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>			
Sammandrag	<p>Målet med riskförvaltningen av kemikalier är att bland de tusentals kemikalier som finns på marknaden på förhand identifiera sådana ämnen som kan vara skadliga för miljön, samt att säkerställa en riskfri användning av dessa ämnen. Problemet med riskförvaltningen av skadliga ämnen är otillräcklig information om ämnens egenskaper, utsläpp samt förekomst i miljön. Ett av målen inom det nationella programmet för farliga kemikalier är att förbättra denna kunskapsbas.</p> <p>Genom kartläggningen samlade man in information om kemikalier i kommunalt avloppsvatten och slammet samt i vatten som filtreras från avstjälningsplatser. Kartläggningen fokuserade på POP-föreningar samt skadliga och farliga ämnen enligt förordningen om farliga ämnen. Flera av de undersökta ämnena hamnar i vattenmiljön via det renade kommunala avloppsvattnet, och ännu flera ämnen via det vatten som filtreras från avstjälningsplatser. Dessutom innehåller slammet från reningsverk ett flertal ämnen. Slutsatserna försvåras av att det saknas omfattande finländska mätningar av halter samt att jämförbarheten är dålig bl.a. på grund av olika analysmetoder och detektionsgränser, uppmätta isomerer eller av att resultaten har rapporterats på en alltför allmän nivå.</p> <p>Vid riskhanteringen av farliga ämnen strävar man, förutom att underskrida miljökvalitetsnormerna för ytvattnet, efter att utsläppen av farliga ämnen i miljön upphör och att dessa ämnen inte längre ska finnas i miljön. På motsvarande sätt är målet för riskhanteringen av skadliga ämnen, förutom att underskrida miljökvalitetsnormerna för ytvattnet, att minska utsläppen av dessa ämnen i vattenmiljön.</p> <p>Denna utredning har främjat åtgärder som rör exponering inom det nationella kemikalieprogrammet. Nästa skede i verkställandet av åtgärderna är att utvärdera utsläppsmängderna från reningsverk för kommunalt avloppsvatten och avstjälningsplatser i hela Finland.</p>			
Nyckelord	avloppsvatten, vatten som filtreras från avstjälningsplatser, slam från reningsverk, utsläpp, POP-föreningar, farliga ämnen, skadliga ämnen, det nationella kemikalieprogrammet			
Finansiär/ uppdragsgivare				
	ISBN	ISBN 978-952-11-4117-1 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (online)
	Sidantal 74	Språk finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution				
Förläggare	Finlands miljöcentral, PB 140, 00251 Helsingfors			
Tryckeri/tryckningsort -år				

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute			<i>Date</i> December 2012
<i>Author(s)</i>	Jukka Mehtonen, Jaakko Mannio, Kirsti Kalevi, Sami Huhtala, Jari Nuutinen, Noora Perkola, Pirjo Sainio, Jenna Pihlajamäki, Ville Kasurinen, Jani Koponen, Raija Paukku and Panu Rantakokko			
<i>Title of publication</i>	<b>Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla ja kaatopaikoilla</b> (Levels of harmful organic compounds in domestic wastewater and landfill sites)			
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Finnish Environment Institute 29/2012			
<i>Theme of publication</i>				
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available only on the internet: <a href="http://www.syke.fi/publications">www.syke.fi/publications</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>			
<i>Abstract</i>	<p>The objective of managing chemical risks is to sift through the thousands of chemicals available on the market to identify in advance the substances that may be harmful to the environment and to ensure that they can be used risk-free. The problem with managing risks associated with harmful substances is that there is not enough information about the properties and use of these substances or about their levels in the environment. One of the aims of Finland's National Programme on Dangerous Chemicals is to improve this knowledge base.</p> <p>The survey was aimed at compiling information on the chemicals contained in domestic wastewater and sewage sludge as well as in leachate from landfill sites. The survey focused on persistent organic pollutants and the harmful and dangerous substances listed in the Finnish Government Decree on Substances Dangerous and Harmful to the Aquatic Environment. Many of the surveyed chemicals drain into aquatic environments dissolved or suspended in treated domestic wastewater but an even high number of chemicals are dissolved or suspended in leachate from landfill sites. Many substances are also found in sewage sludge. Conclusions are difficult to draw due to the scarcity of measuring data on the levels of harmful substances in Finland and the data's poor comparability as a result of inconsistent analytical techniques and limits of detection, the isomers measured and the findings not having been reported in enough detail.</p> <p>The objective in managing risks associated with dangerous substances is to ensure compliance with environmental quality criteria for surface waters on one hand and to stop further contamination and prevent these chemicals from occurring in the environment on the other. With regard to harmful substances, the aim is to ensure compliance with environmental quality criteria for surface waters and to reduce discharges into aquatic environments.</p> <p>The survey has contributed to the actions outlined in the National Programme on Dangerous Chemicals with regard to exposure. The next stage in the action plan is to evaluate the levels of emissions from domestic wastewater and landfill sites across the country</p>			
<i>Keywords</i>	wastewater, leachate, sewage sludge, emissions, persistent organic pollutants, dangerous substances, harmful substances, National Programme on Dangerous Chemicals			
<i>Financier/ commissioner</i>				
	ISBN	ISBN 978-952-11-4117-1 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (online)
	<i>No. of pages</i> 74	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute, P. O. Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland			
<i>Printing place and year</i>				



ISBN 978-952-11-4117-1 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkosivut)