

Julkaisu 73/2015



Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä

Niina Vieno



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

Julkaisu 73/2015

Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä

11.5.2015

Laatijat: Niina Vieno

Kannen valokuvat: Shutterstock-kuvapalvelu

Julkaisu 73/2015

Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä

Niina Vieno



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry



Julkaisun nimi	Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteisissä		
Tekijät	Niina Vieno		
Sarja	Julkaisu 73/2015	ISBN 978-952-7019-4 (pdf) ISSN 0357-6671	95+26 sivua
<p>Tässä julkaisussa esitellään <i>Haitta-aineet lietteissä –täydentävä tutkimus mallinnukselle</i> tuloksia. Hanketta koordinoi Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry ja sen toteutuksesta vastasi Envieno Ky. Hankkeessa tehtiin yhteistyötä Valonian Putsareilta pelloille –hankkeen kanssa. Hanketta rahoittivat hankeosapuolien lisäksi Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto ja Maa- ja vesitekniikan tuki ry sekä hankkeeseen osallistuneet puhdistamot.</p> <p>Hankkeen tavoitteena oli mittauksin selvittää haitta-aineiden pitoisuuksia lietteissä. Näytteitä otettiin jätevedenpuhdistamoiden käsittelemättömistä lietteistä ja mädätetyistä lietteistä sekä kompostoiduista lopputuotteista. Viidennes suomalaisista asuu kiinteistöissä, joissa on oma jätevedenkäsittely- tai -keräysjärjestelmä. Hankkeessa mitattiin haitta-aineiden pitoisuuksia myös näissä sako- ja umpikaivolietteisissä ennen ja jälkeen kalkkistabiloinnin.</p> <p>Haitta-aineiden pitoisuuksille lietteissä ei juuri ole lainsäädännössä asetettu raja-arvoja. Kompostimassojen ja mädätteen end of waste –kriteereissä on kuitenkin PAH16-yhdisteille ehdotettu raja-arvoksi 6 mg/kg k.a. Tässä hankkeessa tämä raja-arvo ylittyi kahdessa näytteessä. Korkein mitattu PAH16-yhdisteiden summapitoisuus oli 8,3 mg/kg k.a. Kyseessä oli raakaliete, joka edelleen kompostoidaan ennen jatkokäyttöä.</p> <p>Tutkituista 138 aineesta lähes 70 havaittiin jossain lietenäytteessä. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin 4-nonyylifenolimonoetoksilaatille (4-NP₁EO), dietyyliheksyyliiftalaatille (DEHP), bisfenoli-A:lle (BPA), kofeiinille sekä antibiooteille. Aineiden pitoisuudet yleensä laskivat mädätyksen aikana joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Jatkokäsittely kompostoimalla laskee pitoisuuksia edelleen. Kompostoiduissa lopputuotteissa ainoastaan perfluorattujen (PFC) aineiden pitoisuudet olivat moninkertaiset mädätettyihin lietteisiin verrattuna. Lisäksi kompostoiduissa näytteissä mitattiin useampia eri PFC-aineita kuin muissa näytteissä. Osasyynä saattaa olla pitempiketjuisten PFC-aineiden biologinen hajoaminen hankkeessa analysoiduiksi lyhyempiketjuisiksi aineiksi.</p> <p>Sako- ja umpikaivolietteisissä erityisesti lääkeaineiden pitoisuudet olivat selvästi kunnallisten puhdistamojen jätevesien pitoisuuksia suurempia. Korkein mitattu pitoisuus oli tulehduskipulääke parasetamolin 1,6 mg/l, joka on 10-20 -kertainen kunnallisilla puhdistamoilla mitattuihin käsittelemättömän jäteveden pitoisuuksiin verrattuna. Kalkkistabilointi ei juuri vaikuttanut aineiden pitoisuuksiin.</p> <p>Mikään käsittelymenetelmä ei yksinään ollut riittävä poistamaan kaikkia orgaanisia haitta-aineita lietteistä. Koska suurin osa tutkituista aineista hajoaa helpommin hapellisissa kuin hapettomissa olosuhteissa, oli kompostointi mädätystä tehokkaampi menetelmä haitta-aineiden vähentämiseen. Kemialliset käsittelyt kalkilla tai hapolla eivät juurikaan hajottaneet haitallisia aineita. Yhdistelemällä erilaisia käsittelymenetelmiä puhdistuskokonaisuudeksi päästään lietteenkäsittelyssä hyviin tuloksiin haitta-aineiden poistossa.</p>			
Asiasanat	haitta-aine, jätevedenpuhdistamo, liete, puhdistamoliete, hajaliete, sakokaivo, umpikaivo, mädätys, kompostointi, kalkkistabilointi		

Sisällysluettelo

Alkusanat	7
1 Johdanto	8
2 Tutkimuksen tavoitteet	10
3 Tutkitut aineet	10
4 Näytteenotto	11
4.1 Kuvaus jätevedenpuhdistamoista	12
4.1.1 Riihimäki	12
4.1.2 Hyvinkää, Kalteva	12
4.1.3 Nurmijärvi Klaukkala	13
4.1.4 Rinnekoti-Säätiö	13
4.1.5 Turun Seudun puhdistamo Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo	13
4.1.6 HSY, Viikinmäen jätevedenpuhdistamo	14
4.1.7 HSY, Suomenojan jätevedenpuhdistamo	14
5 Näytteiden analysointi	15
6 Lietteen haitta-ainepitoisuuksien arviointi mallintamalla	15
7 Tulokset ja tulosten tarkastelu	17
7.1 Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)	17
7.1.1 Yleistä	17
7.1.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla	18
7.1.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset	19
7.1.4 Hajalietteiden mittaustulokset	22
7.1.5 Tulosten tarkastelu	23
7.2 Alkyylifenolit ja alkyylifenolietoksilaatit	25
7.2.1 Yleistä	25
7.2.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla	26
7.2.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset	27
7.2.4 Hajalietteiden mittaustulokset	30
7.2.5 Tulosten tarkastelu	32
7.3 Ftalaatit	34
7.3.1 Yleistä	34
7.3.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla	35
7.3.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset	36
7.3.4 Hajalietteiden mittaustulokset	38
7.3.5 Tulosten tarkastelu	39
7.4 Perfluoratut yhdisteet	40
7.4.1 Yleistä	40
7.4.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamoilla	41
7.4.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset	42
7.4.4 Hajalietteiden mittaustulokset	44
7.4.5 Tulosten tarkastelu	45
7.5 Palonestoaineet	47
7.5.1 Yleistä	47
7.5.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla	47

7.5.3	Puhdistamolietteiden mittaustulokset	48
7.5.4	Hajalietteiden mittaustulokset	50
7.5.5	Tulosten tarkastelu	50
7.6	Triklosaani	52
7.6.1	Yleistä	52
7.6.2	Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla.....	52
7.6.3	Puhdistamolietteiden mittaustulokset	53
7.6.4	Hajalietteiden mittaustulokset	54
7.6.5	Tulosten tarkastelu	55
7.7	Bisfenoli-A.....	57
7.7.1	Yleistä	57
7.7.2	Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla.....	57
7.7.3	Puhdistamolietteiden mittaustulokset	58
7.7.4	Hajalietteiden mittaustulokset	59
7.7.5	Tulosten tarkastelu	60
7.8	Lääkeaineet	61
7.8.1	Yleistä	61
7.8.2	Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla.....	63
7.8.3	Puhdistamolietteiden mittaustulokset	65
7.8.4	Hajalietteiden mittaustulokset	69
7.8.5	Tulosten tarkastelu	71
7.9	Hormonit	75
7.9.1	Yleistä	75
7.9.2	Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla.....	75
7.9.3	Puhdistamolietteiden mittaustulokset	76
7.9.4	Hajalietteiden mittaustulokset	78
7.9.5	Tulosten tarkastelu	79
8	Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset.....	81
8.1	Mallinnuksen tarkkuus lietteen haitta-ainepitoisuuksien arvioimisessa	81
8.2	Haitta-aineiden esiintyminen puhdistamolietteissä	83
8.3	Haitta-aineiden esiintyminen hajalietteissä	85
8.4	Lietteen käsittelyn vaikutus haitta-aineisiin.....	86
	Lähteet.....	91
	Liite 1. Tutkitut aineet ja niiden analyysien määrittämissärajat	97
	Liite 2. Näytteenotto-ohjeet.....	100
	Liite 3. Näytekohtaiset analyysitulokset	103
	PAH-yhdisteet	103
	Alkyyylifenolit ja niiden etoksilaatit.....	105
	Ftalaatit	107
	Perfluoratut yhdisteet.....	109
	Palonestoaineet	111
	Triklosaani	112
	Bisfenoli-A	113
	Lääkeaineet	114
	Hormonit.....	118
	Muut aineet	119

Alkusanat

Tässä julkaisussa esitellään *Haitta-aineet lietteissä –täydentävä tutkimus mallinnukselle* tuloksia. Hanketta koordinoi Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry ja sen toteutuksesta vastasi Envieno Ky. Hankkeessa tehtiin yhteistyötä Valonian Putsareilta pelloille – hankkeen kanssa. Hanketta rahoittivat hankeosapuolien lisäksi Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto ja Maa- ja vesitekniikan tuki ry sekä hankkeeseen osallistuneet puhdistamot.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Kirsti Lahti ja Jari Männynsalo (Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys), Jussi Heikkinen (Valonia) sekä Niina Vieno (Envieno ky).

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

Turussa 14.4.2015

Niina Vieno
Envieno Ky

1 Johdanto

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla syntyy Suomessa vuosittain lietettä kuiva-aineeksi laskeutuneena 150 000–160 000 tonnia (Säylä ja Vilpas 2012). Tähän lietteeseen on jätevedestä puhdistusprosessin aikana sitoutunut iso joukko erilaisia orgaanisia yhdisteitä. Olofsson (2012) mukaan noin 100 000:sta EU:n alueella rekisteröidystä kemikaalista on päivittäisessä käytössä 30 000. Osa näistä päätyy jäteveeseen ja puhdistamolle, jossa ne voivat hajota, sitoutua lietteeseen, haihtua tai päätyä ympäristöön käsitellyn jäteveden mukana. Harrison ym. (2006) raportoivat kirjallisuudesta tuloksia 516 orgaanisen aineen pitoisuuksista lietteissä. Heidän listauksestaan tosin puuttuivat kokonaan ainakin perfluoratut yhdisteet ja palonestoaine HBCD, joten lista lienee nykyään tätäkin laajempi.

Aineen pitoisuudet lietteessä korreloivat usein sen pitoisuuteen jätevedessä. Lisäksi asiaan vaikuttavat:

- 1) aineen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet (molekyylipaino, happamuus, hydrofobisuus, vesiliukoisuus, biohajoamispotentiaali),
- 2) lietteen ominaisuudet (pH, orgaanisen aineen määrä, kationien pitoisuus), ja
- 3) jätevedenpuhdistamon parametrit, kuten lieteikä, prosessitekniikka ja viipymä eri prosessivaiheissa (Stasinakis 2012).

Puhdistamoilla erotetaan lietettä yleensä selkeyttämällä esikäsittelyvaiheessa sekä biologisessa prosessivaiheessa. Esiselkeytyksessä erotettua lietettä kutsutaan raakalietteeksi ja jälkiselkeytyksessä erotettua lietettä ylijäämalietteeksi tai biolietteeksi. Puhdistamolietteiden käsittelyn tarkoitus on saattaa liete stabiiliin tilaan ja minimoida sen aiheuttamat terveyshaitat. Myös lietteen määrää pyritään pienentämään, jotta sen kuljetuskustannukset pienenisivät. Yleensä tämä tarkoittaa veden poistamista lietteestä erilaisilla kuivaus- ja tiivistysmenetelmillä.

Lietteen stabilointi toteutetaan Suomessa yleensä mädättämällä ja/tai kompostoimalla. Mädätyksessä orgaaninen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa mikrobien vaikutuksesta stabiiliksi lietteeksi, metaaniksi ja rejektivedeksi (Kangas ym. 2011). Kompostoinnissa mikro-organismit hajottavat orgaanista ainesta hapellisissa olosuhteissa tuottaen lämpöä, hiilidioksidia ja ammoniakkia. Mädätyksessä ja kompostoinnissa lietteen määrä pienenee orgaanisen aineen hajotessa. Mädätyksessä hajonnut kiintoaine on esimerkiksi usein 20–50 % syötetyn lietteen kiintoainemäärästä (Kangas ym. 2011). Liete voidaan stabiloida myös kemiallisesti esimerkiksi kalkilla tai ammoniakilla. Kalkkistabiloinnissa lietteen pH nostetaan > 12 vähintään kahden tunnin ajaksi. Ammoniakkikäsittelyssä lietteeseen lisätään ureaa tai ammoniakkia niin, että sen pH kohoaa yli 9:n. Lietettä voidaan myös pastöroida, jolloin sen lämpötila nostetaan yli 70 °C:seen, kuivata termisesti tai hapettaa esimerkiksi Fenton-menetelmällä. Orgaaniset haitta-aineet voivat näiden käsittelymenetelmien aikana hajota kemiallisesti tai biologisesti. Hajomattomat yhdisteet voivat kertyä lietteeseen ja pitoisuudet voivat käsittelyjen jälkeen olla jopa alkuperäistä korkeampia. Tämä johtuu siitä, että lietteen stabiloinnin aikana kiintoaine hajoaa ja lietteen määrä pienenee (Kangas ym. 2011). Jos haitta-aine ei hajoa samassa suhteessa, sen pitoisuus kasvaa, vaikka kuorma pysyy samana.

Asianmukaisesti käsiteltyä puhdistamolietettä voidaan käyttää maanviljelykseen, viherrakentamiseen, hyödyntää raaka- tai apuaineena, maa- ja vesirakennusmateriaalina tai energiana. Ympäristöön loppusijoitettavasta lietteestä haitta-aineet voivat huuhtoutua vesistöihin pintavalunnan mukana, liueta sadeveteen ja kulkeutua pohjaveteen, päätyä viljelykasveihin ja/tai aiheuttaa haitallisia vaikutuksia maaperän eliöstölle.

Vuonna 2011 ainoastaan 2,7 % puhdistamolietteistä on Suomessa käytetty maanviljelyssä (VVY 2015). Puhdistamolietteen maatalouskäyttöä ohjaa lannoitevalmistelaki (539/2006) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetukset ja sen muutokset lannoitevalmisteista. Lainsäädännössä ei ole annettu raja-arvoja orgaanisille haitta-aineille puhdistamolietteissä. Tällä hetkellä ainoastaan PAH-yhdisteille on ehdotettu raja-arvoa kompostimassojen ja mädätteiden end of waste –kriteereistä sääätävässä direktiivissä (JRC 2014). Ehdotettu raja-arvo on 6 mg/kg kuiva-aineessa laskettuna PAH16-yhdisteiden summana. End of waste –kriteereissä jätteille määritellään kriteerit, joiden täytyttyä jäte voi saada tuotestatuksen. Raja-arvoa PAH-yhdisteille ollaan tällä hetkellä liittämässä myös osaksi Euroopan puhdistamolietteitä koskevaa lainsäädäntöä. Tämän lainsäädännön voimaantullessa ei lannoitteita, joiden PAH16-summa ylittää raja-arvon saa enää levittää pelloille.

Kaikkia asumajätevesiä ei Suomessa puhdisteta kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla. Vuoden 2010 lopussa taajamissa asui noin 4,5 miljoonaa asukasta kokonaisväestön ollessa vajaa 5,4 miljoonaa (Säylä ja Vilpas 2012). Taajamaväestön osuus oli siten 83 % väestöstä. Loput suomalaisista asuvat haja-asutusalueella, jossa vesihuolto on järjestettävä toisella tapaa. Monilla on käytössään kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelymenetelmät. Saostussäiliöt eli sakokaivot ovat olleet perinteisesti Suomen käytetyimpiä haja-asutuksen jätevedenkäsittelymenetelmiä. Tätä nykyä ne kelpaavat ainoastaan esikäsittelymenetelmiksi ja sakokaivovedet vaativat aina jatkokäsittelyä. Näitä voivat olla esimerkiksi maapuhdistamot tai tehdasvalmisteiset pienpuhdistamot. Haja-asutusalueilla käytetään myös umpisäiliöitä eli umpikaivoja vaikka ne eivät olekaan jätevedenkäsittelymenetelmiä. Niihin kerätään kiinteistön kaikki jätevedet tai vain WC-vedet ja niiden täyttyessä säiliö tyhjenetään ja jätevesi kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Orgaanisten haitta-aineiden poistumismekanismit ovat näissä haja-asutuksen jätevesien käsittelymenetelmissä samat kuin kunnallisilla puhdistamoilla.

2 Tutkimuksen tavoitteet

Vuonna 2013 toteutettiin laaja näytteenottokampanja haitallisten aineiden pitoisuuksien mittaamiseksi suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla (Vieno 2014). Tutkimuksessa kävi ilmi, että monet aineet poistuvat tehokkaasti puhdistamolla, mutta niistä osa sitoutui kirjallisuustietojen sekä mallinnuksen mukaan puhdistamolietteeseen. Suomessa puhdistamolietteiden haitta-ainepitoisuuksia on tutkittu varsin vähän ja siksi tässä hankkeessa pyrittiin mittauksin lisäämään tietämystä erilaisten aineiden esiintymisestä lietteissä. Tavoitteena oli myös varmentaa mallinnuksella määritetyt lietteiden haitta-ainepitoisuudet.

Hajalietteiden orgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksista ei löydetty aiempia mittaustuloksia Suomesta. Tässä hankkeessa määritettiin siksi myös sako- ja umpikaivolietteiden haitta-aineiden pitoisuuksia.

Näytteitä otettiin lisäksi eri tavoilla käsitellyistä lietteistä, jotta saatiin lisätietoa käsittelymenetelmien vaikutuksista haitallisiin aineisiin. Käsittelymenetelmät olivat puhdistamolietteiden osalta mädätys, kompostointi ja kemiallinen hapotus. Hajalietteilteille tehtiin kalkkistabilointikoikeita.

3 Tutkitut aineet

Aineet valittiin seuraavin perustein:

- 1) ainetta on aikaisemmissa tutkimuksissa löydetty jätevedenpuhdistamoiden vesistä ja mallinnuksen ja/tai mittausten mukaan se sitoutuu merkittävässä määrin lietteeseen, ja/tai
- 2) aine on ympäristössä haitallinen tai potentiaalisesti haitallinen, ja/tai
- 3) aine on EU:n tai Suomen ympäristölainsäädännön alainen.

Tutkitut aineet on tarkemmin listattu liitteessä 1. Aineiden käyttötarkoituksesta ja ominaisuuksista on kerrottu tarkemmin tulosten yhteydessä kappaleessa 7. Valitut aineet voitiin jao-tella seuraaviin aineryhmiin:

- PAH-yhdisteet
- Alkylifenolit ja niiden etoksilaatit
- Ftalaatit
- Perfluoratut yhdisteet
- Palonestoaineet
- Triklosaani
- Bisfenoli-A
- Lääkeaineet
- Hormonit

Kustannussyistä hajalietteilteistä analysoitiin vain PAH-yhdisteet, alkylifenolit ja niiden etoksilaatit, triklosaani, bisfenoli-A, lääkeaineet ja hormonit.

4 Näytteenotto

Lietenäytteet kerättiin syys-lokakuussa 2014. Näytteitä kerättiin seitsemältä jätevedenpuhdistamolta (ks. kappale 4.1), Metsäpirtin kompostituotteista, sako- ja umpikaivolietteistä sekä kemiallisesti hapotetusta lietteestä taulukon 4.1 mukaisesti. Jokaisesta näytteenottopisteestä kerättiin yksi kokoomanäyte liitteen 2 ohjeiden mukaisesti.

Taulukko 4.1. Tutkimuksessa kerätyt näytteet.

	Käsitlemätön liete	Mädätetty liete	Kompostoitu liete	Kalkkistabiloitu liete	Kemiallisesti hapotettu liete
Riihimäki		X			
Hyvinkää, Kalteva	X				
Nurmijärvi, Klaukkala	X	X			
Rinnekoti-Säätiö	X				
Turun Seudun Puhdistamo	X				
HSY, Viikinmäki	X	X			
HSY, Suomenoja	X	X			
Metsäpirtti			X*		
Sakokaivo	X			X	
Umpikaivo	X			X	
Hapotettu liete					X

* näyte otettiin kolmesta kompostoidusta tuotteesta: maanparannuskomposti, nurmikkomulta ja puutarhakomposti

Suomenojan puhdistamon osalta on huomioitava, että käsitlemätön liete on sakeuttamaton lietettä. Ennen mädätystä liete sakeutetaan, jolloin sen kuiva-ainepitoisuus on 5 – 6 – kertainen sakeuttamoon menevään verrattuna. Näytteenoton aikana Riihimäen puhdistamolla tehtiin muutostöitä ja Hyvinkään Kaltevan puhdistamolla oli juuri otettu käyttöön uudet lingot lietteen kuivauksessa.

Kompostoiduista näytteistä on huomioitava, että niihin on kompostoinnissa lisätty erilaisia apuaineita, kuten turvetta. Lisäksi multatuotteiden valmistuksessa valmiiseen kompostimasaan on lisätty esimerkiksi hiekkaa, turvetta ja biotiittia.

Sakokaivo- ja umpikaivolietteitä kerättiin molempia 20 kiinteistöltä, joiden kanssa oli etukäteen sovittu heidän osallistumisestaan hankkeeseen. Lietteet sekoitettiin ja kokoomanäytteestä otettiin näyte ennen kalkkistabilointikoetta. Valonian henkilökunta suoritti kalkkistabiloin-

nin. Hajalietteisiin lisättiin sammutettua kalkkia niin, että sen pH nousi > 12 ja pysyi tällä alueella 2 tunnin ajan. Tämän jälkeen hajalietteistä otettiin uusi näyte. Hankkeeseen osallistuneille kiinteistöille lähetettiin myös taustakartoituskysely, jolla kartoitettiin lääkkeiden, kosmetiikan ja siivouskemikaalien käyttöä kiinteistöissä.

Mädätetyn lietteen kemiallisesta hapotuksesta (hydrolysointi) vastasi kyseistä tekniikkaa harjoittava yritys. Käsittelyn jälkeen otettiin näyte, joka lähetettiin laboratorioihin analysoitavaksi. Mädätetty liete oli peräisin HSY:n Metsäpirtiltä.

4.1 Kuvaus jätevedenpuhdistamoista

Lietenäytteitä kerättiin seitsemältä jätevedenpuhdistamolta. Tässä luvussa on kerrottu puhdistamoiden prosessien perustiedot ja puhdistamoiden asukasvastineluku (AVL).

4.1.1 Riihimäki

Riihimäen puhdistamo on mekaanis-kemiallis-biologisesti toimiva rinnakkaissaostuslaitos, jonka asukasvastineluku on 94 000. Ammoniumtyypen hapetus nitraatiksi ja nitraatin pelkistäminen typpikaasuksi tapahtuu kolmessa aktiivilieteyksikössä. Fosforin kemiallisessa saostuksessa käytetään ferrosulfaattia, jota syötetään hiekanerotukseen ja jälkiselkeyttämöihin menevään lietevirtaan. Rinnakkaissaostuksen täydentämiseksi ja lietteen laskeutumisen tehostamiseksi ilmastusaltaista jälkiselkeyttämöihin menevään lietevirtaan syötetään myös polymeeriä. Jälkiselkeytyksestä jätevesi johdetaan hiekkasuodatuksen kautta Vantaanjokeen.

Ylijäämalietteenpoisto tehdään aktiivilietealtaista. Se johdetaan kahden tiivistämön kautta mädätykseen ja sen jälkeen kuivattavaksi lingoille. Vuonna 2014 kuivattua lietettä muodostui 3 495 m³ (kuiva-ainepitoisuus keskimäärin 25,5 %).

4.1.2 Hyvinkää, Kalteva

Kaltevan puhdistamo on mekaanis-kemiallis-biologisesti toimiva rinnakkaissaostuslaitos (AVL 39 000). Ammoniumtyypen hapetus nitraatiksi ja nitraatin pelkistäminen typpikaasuksi tapahtuu kahdessa aktiivilieteyksikössä. Fosforin kemiallisessa saostuksessa käytetään ferrosulfaattia, jota syötetään aktiivilietealtaisiin ja jälkiselkeyttämöiden lietevirtaan. Rinnakkaissaostuksen täydentämiseksi ja lietteen laskeutumisen tehostamiseksi ilmastusaltaasta jälkiselkeyttämöihin menevään lietevirtaan syötetään polymeeriä. Aktiivilieteyksiköihin lisätään myös kalkkia ylläpitämään nitrifikaation heikentämää puskurikykyä eli alkaliteettiä ja estämään pH:n liiallinen pieneneminen. Puhdistamolla käsitelty jätevesi johdetaan jälkiselkeytyksestä Vantaanjokeen.

Ylijäämälietteenpoisto tehdään aktiivilietealtaista. Se johdetaan kahden tiivistämön kautta kuivattavaksi lingoille. Vuonna 2014 kuivattua lietettä muodostui 6 488 tn (kuiva-ainepitoisuus keskimäärin 16,2 %).

4.1.3 Nurmijärvi Klaukkala

Nurmijärven Klaukkalan jätevedenpuhdistamolle johdetaan käsiteltäviksi Klaukkalan, Rajamäen ja Röykän taajamien ja niiden välisen haja-asutuksen jätevesiä sekä Altia Oyj:n tehdasalueen jätevedet. Puhdistamo on kokonaistypenpoistoon suunniteltu 3-linjainen mekaanis-kemiallis-biologisesti toimiva rinnakkaissaostuslaitos, jonka AVL on 38 000. Fosforin saostamiseksi prosessiin syötetään ferrosulfaattia (välppien jälkeen) ja lietteen laskeutumisen parantamiseksi jälkiselkeytykseen menevään lietevirtaan polymeeria. Rajamäki-Röykkä-Klaukkala siirtolinjaan hajuhaittojen ehkäisemiseksi syötettävä ferrinitraattisulfaatti vähentää rautakemikaalin tarvetta puhdistamolla. Puhdistamolla käsitelty jätevesi johdetaan jälkiselkeytyksestä Luhtajokeen joka laskee Vantaanjokeen.

Ylijäämälietteenpoisto tehdään aktiivilietealtaista. Ylijäämäliete johdetaan ensin syviin lietetasuihin esiselkeytyksen alkuun ja siitä linkotiivistyksen kautta mädättämöön. Mädätetty liete kuivataan lingoilla. Vuonna 2014 kuivattua lietettä muodostui 2 171 tn (kuiva-ainepitoisuus keskimäärin 24,9 %).

4.1.4 Rinnekoti-Säätiö

Rinnekoti-Säätiön puhdistamo on mekaanis-biologis-kemiallinen rinnakkaissaostuslaitos (pitkäilmastus), jossa käsitellään säätiön kiinteistöillä muodostuvat jätevedet. Laitoksen AVL on 2 500. Fosforin saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia, joka syötetään tulokanavaan. Alkaliteetin ylläpitoon syötetään kalkkia manuaalisesti palautuslietteen ruuvipumpulle.

Puhdistamolle tulevan jäteveden esikäsittelynä on välppäys. Aktiivilietevaihe koostuu kahdesta peräkkäin sijaitsevasta neliön muotoisesta altaasta, joista ensimmäinen toimii denitrifikaatioaltaana ja jälkimmäinen ilmastusaltaana. Aktiivilietealtaasta liete virtaa jälkiselkeytykseen ja edelleen kolmeen vanhaan ns. loppuselkeytysaltaaseen. Käsitelty jätevesi johdetaan lammikon kautta Lakistonjokeen, joka laskee Lepsämänjoen kautta Vantaanjokeen.

Ylijäämälietteenpoisto tapahtuu jälkiselkeytyksestä lietteen välisäiliöön, josta laskeutunutta jätevesilietettä (kuiva-ainepitoisuus 1-2 %) pumpataan kuivaukseen katetuille lavoille. Vuonna 2013 kuivattua lietettä muodostui 115 m³ (kuiva-ainepitoisuus n. 15 %).

4.1.5 Turun Seudun puhdistamo Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo

Puhdistamo on biologis-kemiallinen aktiivilietelaitos, jota on tehostettu hiekkasuodattimissa tapahtuvalla jäteveden jälkisuodatuksella (AVL 330 000). Fosfori saostetaan rinnakkaissaos-

tuksella ferrosulfaattilla, joka syötetään prosessin alkuun karkeavälppäyksen jälkeen. Ferrosulfaattia annostellaan myös hiekkasuodattimille suodatuksen tehostamiseksi. Puhdistamon tehostettu kokonaistypenpoisto perustuu denitrifikaatio-nitrifikaatio -ajotapaan ilmastuksessa. Kiintoaineen karkaamisen estämiseksi syötetään jälkiselkeytykseen menevään veteen polymeeriä. Ilmastukseen menevään veteen syötetään tarvittaessa kalkkia alkaliteetin ja pH:n nostamiseksi. Ilmastukseen menevälle jätevedelle on myös lisähiililähteen annostelumahdollisuus. Puhdistettu jätevesi johdetaan Turun Linnanaukon satama-altaaseen. (TSP 2013)

Puhdistamolla syntyvä ylijäämäliete ja esiselkeytyksessä syntyvä raakaliete laskeutetaan esiselkeytysaltaiden lietetaskuissa. Sakeutettu raakasekaliete kuivataan lingoilla (3 kpl) polymeerilisyäyksen jälkeen. Kuivattua lietettä syntyi vuoden aikana noin 49 800 tonnia eli noin 49 800 m³. Kuivattu liete kuljetettiin vuonna 2013 lietteen jatkokäsittelystä ja hyödyntämisestä vastaavalle Biovakka Suomi Oy:n Topinojan biokaasulaitokselle. Mädätyksen jälkeen liete linko-kuivattiin. Biokaasulaitoksella mädätteen kuivauksesta muodostuvat rejektivedet johdettiin takaisin Kakolanmäen puhdistamolle (TSP 2013).

4.1.6 HSY, Viikinmäen jätevedenpuhdistamo

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on aktiivilietelaitos, jossa jäteveden puhdistuksen vaiheina ovat mekaaninen, kemiallinen ja biologinen puhdistus (AVL 1 800 000). Ravinteista fosforin poisto toteutetaan kemiallisesti rinnakkaissaostusperiaatteella. Fosforin saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia, jota annostellaan sekä hiekanerotusaltaaseen prosessin alussa että kaasunpoistoaltaaseen ennen jälkiselkeytystä. Biologinen typen poisto toteutetaan kaksivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa typpeä poistetaan aktiivilieteprosessissa denitrifikaatio-nitrifikaatioperiaatteella ja toisessa vaiheessa biologisissa denitrifikaatiosuodattimissa. Nitraatin pelkistämiseksi biologisissa suodattimissa käytetään metanolia ja nitrifikaatioprosessin alkaliteettitasoa ylläpitämiseksi prosessia tuetaan ajoittain kalkin syötöllä. (HSY 2014)

Puhdistamolla syntyvä raaka- ja ylijäämäliete mädätetään biokaasuksi hapettomissa olosuhteissa. Kuivattua yhdyskuntajätevesilietettä muodostui vuonna 2014 yhteensä 64 386 tonnia (kuiva-ainepitoisuus 29 %). Liete jatkokäsittelään Metsäpirtin kompostointikentällä.

4.1.7 HSY, Suomenojan jätevedenpuhdistamo

Suomenojan jätevedenpuhdistamo on aktiivilietelaitos, jossa fosforinpoisto toteutetaan kemiallisesti rinnakkaissaostusmenetelmällä (AVL 370 000). Fosforin saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia, joka syötetään prosessin alkuun karkeavälppien jälkeisten ruuvipumppujen imualtaaseen. Typenpoisto tapahtuu biologisesti aktiivilieteprosessissa esidenitrifikaatio-nitrifikaatioperiaatteella. Denitrifikaatioprosessia tehostetaan lisäämällä metanolia lisähiililähteenä aktiivilieteprosessin alkuosaan. Nitrifikaation vaatiman alkaliteettitasoa ylläpitämiseen Suomenojalla käytetään soodaa.

Puhdistamalla syntyvä raaka- ja ylijäämäliete mädätetään biokaasuksi hapettomissa olosuhteissa. Kuivattua yhdyskuntajätevesilietettä muodostui vuonna 2014 yhteensä ja Suomenojalla yhteensä 22 000 tonnia (kuiva-ainepitoisuus 29 %). Liette jatkokäsittellään Metsäpirtin kompostointikentällä.

5 Näytteiden analysointi

Analyysilaboratoriot kilpailutettiin hankkeen alussa. Hankinnan kokonaisarvo alitti hankintalain 15§:n mukaisen tavara- ja palveluhankinnoista määrätyn kynnysarvon 30 000 € eikä siihen tämän vuoksi tarvinnut soveltaa julkisia hankintanormeja. Hankinnan kilpailutus suoritettiin kuitenkin hyviä hankintatapoja noudattaen. Tarjouspyyntö lähetetään neljälle (4) Suomessa toimivalle analyysilaboratoriolle, joilta jokaiselta saatiin tarjous. Tarjoukset pisteytettiin hinnan (maksimipisteet 60) ja laadun (maksimipisteet 40) perusteella. Laatusuoritukset oli edelleen jaettu analytiikan laajuuteen (maksimipisteet 20), analyysin määritysrajaan (maksimipisteet 14 pistettä) ja alihankkijoiden käyttämiseen (maksimipisteet 6 pistettä). Korkeimman pistemäärän saanut tarjoaja valittiin. PAH-yhdisteiden osalta analyysilaboratorioksi valikoitui ALS Finland Oy ja muiden analyysien osalta Ramboll Analytics Oy. Näytteiden analyysimenetelmät on esitetty taulukossa 5.1 ja toteutuneet määritysrajat liitteessä 1.

Taulukko 5.1. Tutkimuksessa käytetyt laboratoriot, näytteiden analyysimenetelmät ja mittausepävarmuudet.

Aineryhmä	Analyysimenetelmä (liete)	Mittausepävarmuus (liete)	Analyysilaboratorio
PAH-yhdisteet	GC-MSD	-	ALS Finland Oy
Alkyylifenolit ja niiden etoksilaatit	Sis. menetelmä UPLC/MS/MS	40 %	Ramboll Analytics Oy
Ftalaatit	Sis. menetelmä GC/MS	40 %	Ramboll Analytics Oy
PFC-aineet	Mod. ISO 25101:2009 ja CEN/TS 15968:2010	40 %	Ramboll Analytics Oy
Palonestoaineet	Sis. menetelmä UPLC/MS/MS	40 %	Ramboll Analytics Oy
Triklosaani	Sis. menetelmä GC/MS	40 %	Ramboll Analytics Oy
Bisfenoli-A	Sis. menetelmä GC/MS	40 %	Ramboll Analytics Oy
Lääkeaineet	Mod. EPA Method 1694 ja EPA Method 1698	40 %	Ramboll Analytics Oy
Hormonit	Mod. EPA Method 1694 ja EPA Method 1698	40 %	Ramboll Analytics Oy

6 Lietteen haitta-ainepitoisuuksien arviointi mallintamalla

Lietteen haitta-ainepitoisuuksien arvioinnissa käytettiin hyväksi TOXCHEM-mallinnusohjelmaa (Hydromantis Environmental Software Solutions Inc.). Ohjelmalla rakennettiin malli, joka kuvaasi tyypillistä aktiivilietelaitosta, jota oli tehostettu biologisella typenpoistolla. Biologisen puhdistuksen lisäksi prosessimalli sisälsi välppäyksen, hiekanerotuksen sekä lietteen esi- ja jälkisel-

keytyksen. Mallinnuksella saatiin selville se osa puhdistamolle tulevasta kuormasta, mikä sitoutuu lietteeseen. Aineen pitoisuus lietteessä laskettiin kaavalla:

$$\frac{\text{Aineen kuorma puhdistamolle (mg/vuosi)} \times \text{Lietteeseen sitoutuva osuus (\%)}}{150\,000\,000 \text{ kg}}$$

Laskuissa on arvioitu, että Suomessa syntyy lietettä kuiva-aineeksi muutettuna 150 000 tonnia vuodessa (Säylä ja Vilpas 2012). Kaikille tutkittaville aineille mallinnusta ei voitu suorittaa, koska riittäviä lähtötietoja lietteeseen sitoutumisesta tai biohajoamisesta ei ollut saatavilla. Aineen kuorma puhdistamolle saatiin selville julkaisusta Vieno (2014) tai laskennallisesti joko pitoisuusmittauksista tai aineiden käyttömäärätilastoista. Lääkeaineille käyttömäärät laskettiin Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimean julkaisemien lääkeaineiden kulutustietojen perusteella. Laskuissa otettiin huomioon myös aineen metaboloituminen lääkkeitä nauttineiden elimistössä ja vain muuttumattomassa muodossa jäteveteen erittyvä lääkeainemäärä otettiin huomioon. Niiden aineiden laskennallinen pitoisuus käsittelemättömässä puhdistamolietteessä, joille mallinnus voitiin tehdä ja joille pystyttiin riittävällä tarkkuudella arvioimaan aineen kuorma puhdistamolle, on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. Joidenkin tutkittujen aineiden käyttömääristä ja lietteeseen sitoutumisesta lasketut käsittelemättömän lietteen pitoisuudet yksiköissä mg/kg kuiva-ainetta kohti.

Aine	Käyttömäärä Suomessa (kg/vuosi)	Erittyy muuttumattomana (%)	Kuorma jätevedenpuhdistamolle (kg/vuosi)	Sitoutuu lietteeseen (%)	Laskennallinen pitoisuus lietteessä (mg/kg)
DEHP	-	-	2475	84 %	13,9
DBP	-	-	110	73 %	0,54
BBP	-	-	72	82 %	0,39
PFOS	-	-	11	19 %	0,014
PFOA	-	-	2,4	30%	0,005
HBCD	-	-	5,6	100 %	0,037
NP+NP _x EO	-	-	2393	65 %	10,4
OP+OP _x EO	-	-	238	76 %	1,2
Triklosaani	-	-	25	88 %	0,15
Bisfenoli-A	-	-	1730	33 %	3,8
Siprofloksasiini	1230	33 %	406	92 %	2,5
Tetrasykliini	1607	60 %	964	84 %	5,4
Doksisykliini	557	40 %	223	6,5 %	0,1
Ofloksasiini	24	80 %	19	90 %	0,11
Norfloksasiini	111	22 %	24	90 %	0,15
Sulfametoksatsoli	317	15 %	48	13,5 %	0,04
Trimetopriimi	1373	60 %	824	13,5 %	0,74
Parasetamoli	174488	2 %	3490	6 %	1,4
Naprokseeni	5971	10 %	567	11,5 %	0,46
Ibuprofeeni	-	-	8000	0,5 %	0,24
Diklofenaakki	-	-	895	4 %	0,27
Ketoprofeeni	405	10 %	40	9 %	0,02
Fluoksetiini	173	35 %	61	73 %	0,3
Metoprololi	5079	3 %	152	12 %	0,12
Propranololi	635	1 %	6	24,5 %	0,01
Atenololi	418	93 %	389	4,3 %	0,11
Sotaloli	206	75 %	155	5 %	0,05
Gemfibrotsiili	95	2 %	2	62 %	0,008
Entakaponi	99	100 %	99	85 %	0,56

Karbamatsepiini	-	-	165	4 %	0,05
Betsafibraatti	83	50 %	42	3 %	0,008
Estradioli (E2)	-	-	29	54 %	0,10
Etinyliestradioli (EE2)	-	-	0,55	36 %	0,001

7 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kaikki mittaustulokset on esitetty liitteessä 3. Tutkittujen aineiden lisäksi näytteistä mitattiin myös joidenkin muiden aineiden kuten kloorifenoleiden pitoisuuksia. Myös nämä tulokset on esitetty liitteessä 3 vaikkei niitä ole tässä kappaleessa käsitelty. Aineet eivät olleet valittujen tutkimusaineiden listalla, mutta ne pystyttiin analysoimaan laboratorioissa samoilla menetelmillä. Tässä kappaleessa on esitelty tutkitut aineryhmät sekä niiden mittaustulokset. Lisäksi tuloksia on vertailtu kirjallisuustutkimuksiin.

7.1 Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)

7.1.1 Yleistä

Polyaromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä on satoja erilaisia. Tässä tutkimuksessa olivat mukana ns. PAH16-aineet eli ne aineet, jotka Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviranomainen (EPA) on arvioinut olevan ympäristölle ja ihmisille haitallisimpia. PAH16-aineita ovat:

- naftaleeni
- asenaftyleeni
- asenafteeni
- fluoreeni
- fenantreeni
- antraseeni
- fluoranteeni
- pyreeni
- bentso(a)antraseeni
- kryseeni
- bentso(b)fluoranteeni
- bentso(k)fluoranteeni
- bentso(a)pyreeni
- dibentso(ah)antraseeni
- bentso(ghi)peryleeni
- indeno(123cd)pyreeni

PAH-yhdisteitä syntyy pääosin epätäydellisen palamisen tuloksena. Lähteitä ympäristössä ovat muun muassa biomassan poltto, energiantuotanto, ajoneuvojen pakokaasut, metsäpalot sekä

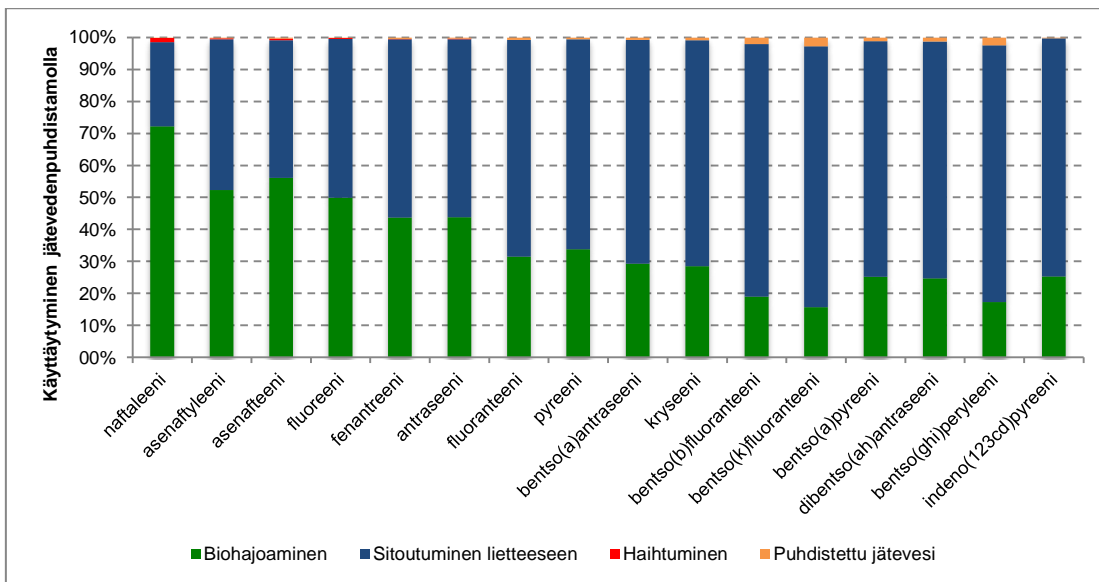
teollisuuden päästöt. Kunnallisille jätevedenpuhdistamoille aineet päätyvät ensisijaisesti teollisuuden jätevesien, hulevesien ja kaatopaikkavesien mukana. Ihmiset altistuvat PAH-yhdisteille erityisesti tupakansavun hengittämisen kautta sekä erityisesti savustettua tai hiiltynyttä ruokaa syödessään (Oikkola 2013). Talousveden PAH-pitoisuudet ovat yleensä hyvin matalia vaikka esimerkiksi vesijohtojen bitumipinnoitteissa voi PAH-yhdisteitä esiintyä (Keinänen-Toivola ym. 2007). Ihmisten elimistössä PAH-yhdisteet metaboloituvat, joten virtsaan ja ulosteeseen erittyy pääosin yhdisteiden aineenvaihdunnan tuotteita (EC 2002).

Monet PAH-yhdisteet on luokiteltu syöpää ja perimämuutoksia aiheuttaviksi. EU:n prioriteettiaineiksi on PAH-yhdisteistä listattu fluoranteeni ja naftaleeni. Vaarallisiksi prioriteettiaineiksi on yksilöity antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni ja indeno(1,2,3-cd)pyreeni (2013/39/EU). Aineille on säädöksessä määrätty myös vesistöjä koskevat ympäristölaatu­normit.

Euroopan komission Joint Research Centre (JRC) on vuoden 2014 alussa julkaistussa kompositimassojen ja mädätteiden end of waste –kriteereitä koskevassa teknisessä raportissaan ehdottanut näille ainevirroille PAH16-yhdisteiden raja-arvoa (JRC 2014). Ehdotettu raja-arvo on 6 mg/kg kuiva-aineessa laskettuna PAH16-yhdisteiden summana. End of waste –kriteereissä jätteille määritellään kriteerit, joiden täytyttyä jäte voi saada tuotestatuksen. Raja-arvoa PAH-yhdisteille ollaan tällä hetkellä liittämässä myös osaksi Euroopan puhdistamolietteitä koskevaa lainsäädäntöä. Tämän lainsäädännön voimaantullessa ei lannoitteita, joiden PAH16-summa ylittää raja-arvon saa enää levittää pelloille.

7.1.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

PAH-yhdisteiden on todettu sitoutuvan jätevedenpuhdistamoilla pääosin lietteeseen (Rogers 1996). TOXCHEM-mallinnuksen mukaan jätevedenpuhdistamolla PAH-yhdisteet sekä biohajoavat että sitoutuvat puhdistamolietteeseen (kuva 7.1.1). Yhdisteiden haihtuminen on erittäin vähäistä. Mallinnuksen mukaan vain pieni osa aineista päätyy puhdistettuun jäteveteen, kun taas lietteeseen sitoutuu 26 – 82 % puhdistamolle tulevasta PAH16-kuormasta. PAH-yhdisteen sitoutuminen lietteeseen kasvaa sen molekyylikoon kasvaessa ja vesiliukoisuuden pienentyessä. Pienimolekyylisimmät PAH-yhdisteet myös hajoavat biologisesti ja biohajoamisen osuus poistumismenetelmänä vähenee molekyylikoon kasvaessa.



Kuva 7.1.1. Mallinnettu PAH-yhdisteiden käyttäytyminen jättevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos). Yhdisteiden vesiliukoisuus pienenee oikealle mentäessä.

7.1.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

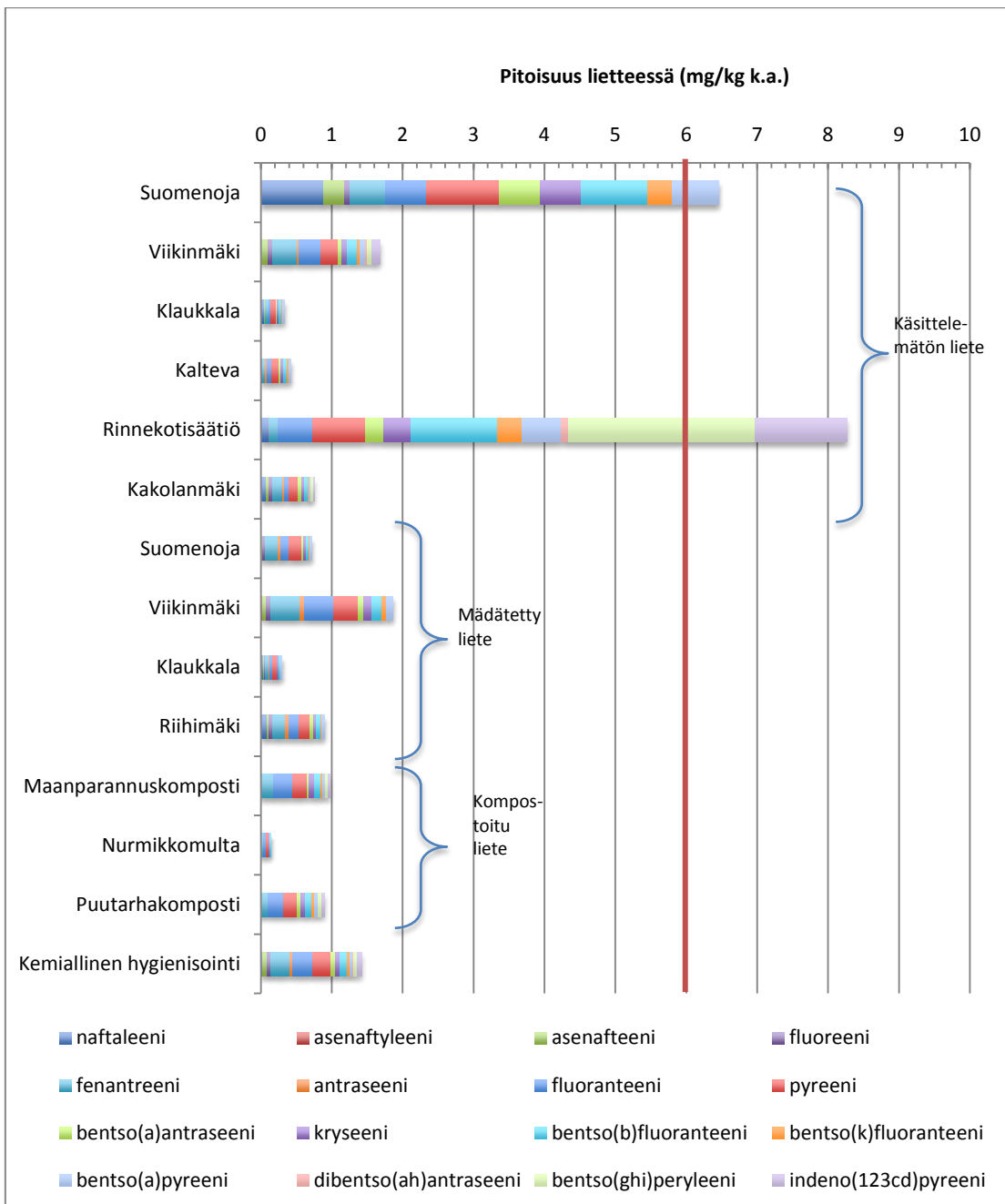
Puhdistamolietteiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.1.1 ja kuvassa 7.1.2. Käsittelemättömässä lietteessä korkein keskimääräinen (0,55 mg/kg k.a.) ja yksittäinen pitoisuus (2,63 mg/kg k.a.) mitattiin bentso(ghi)peryleenille. PAH-yhdisteen molekyylimassan todettiin korreloivan jonkin verran yhdisteen pitoisuuden kanssa käsittelemättömässä lietteessä (kuva 7.1.3). Pienimolekyyliset ja alhaisen oktanoli-vesi –suhteen omaavien yhdisteiden pitoisuudet lietteissä olivat keskimäärin alhaisimmat. Suurimolekyylisimpien PAH-yhdisteiden pitoisuudet kuitenkin pienentyivät selvästi lietteen mädätyksen ja kompostoinnin aikana. Määdätetyssä, kompostoidussa ja kemiallisesti hygienisoidussa lietteessä mitattiin eniten fluoranteeniä, pyreeniä ja fenantreeniä.

PAH16-yhdisteiden summa oli käsittelemättömässä lietteessä keskimäärin 2,99 mg/kg k.a. Kahdessa käsittelemättömän lietteen näytteessä PAH16-summa ylitti end-of-waste –kriteerin mukaisen raja-arvon 6 mg/kg k.a. Ylityksiä ei kuitenkaan enää esiintynyt määdätetyssä, kompostoidussa tai kemiallisesti hygienisoidussa lietteessä. Keskimäärin PAH-yhdisteiden pitoisuudet pienenevät määdätyksessä 68 % ja kompostoinnissa 60 %.

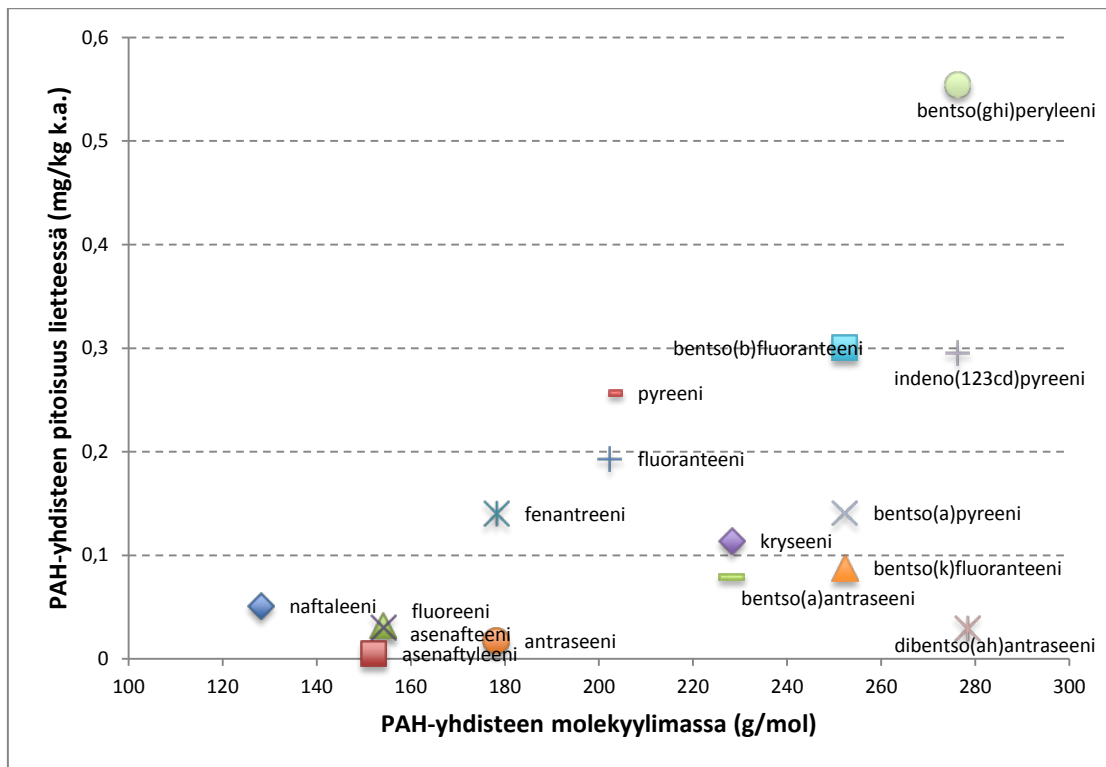
Taulukko 7.1.1. PAH-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määritysrajan olleet tulokset on huomioitu määritysrajan puolikkaana. Lisäksi on esitetty PAH16-aineiden summaparametrin tulokset. Summaa laskettaessa alle määritysrajan olleet tulokset on huomioitu nollana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Määdätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
naftaleeni	0,051	0,035	<0,01	0,03
asenaftyleeni	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01
asenafteeni	0,032	0,027	<0,01	0,054
fluoreeni	0,03	0,047	<0,01	0,063

fenantreeni		0,140	0,204	0,109	0,258
antraseeni		0,017	0,042	<0,01	0,048
fluoranteeni		0,193	0,179	0,172	0,276
pyreeni		0,257	0,183	0,149	0,265
bentso(a)antraseeni		0,079	0,043	0,026	0,056
kryseeni		0,114	0,052	0,049	0,068
bentso(b)fluoranteeni		0,30	0,069	0,066	0,101
bentso(k)fluoranteeni		0,088	0,026	0,025	0,035
bentso(a)pyreeni		0,141	0,042	0,032	0,049
dibentso(ah)antraseeni		0,029	<0,019	<0,01	0,011
bentso(ghi)peryleeni		0,55	<0,087	0,026	0,05
indeno(123cd)pyreeni		0,30	<0,077	0,025	0,056
PAH16-	Min	0,34	0,30	<0,16	-
summa	Max	8,27	1,86	0,98	-
	Keskiarvo	2,99	0,95	0,65	1,42



Kuva 7.1.2. PAH-yhdisteiden pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

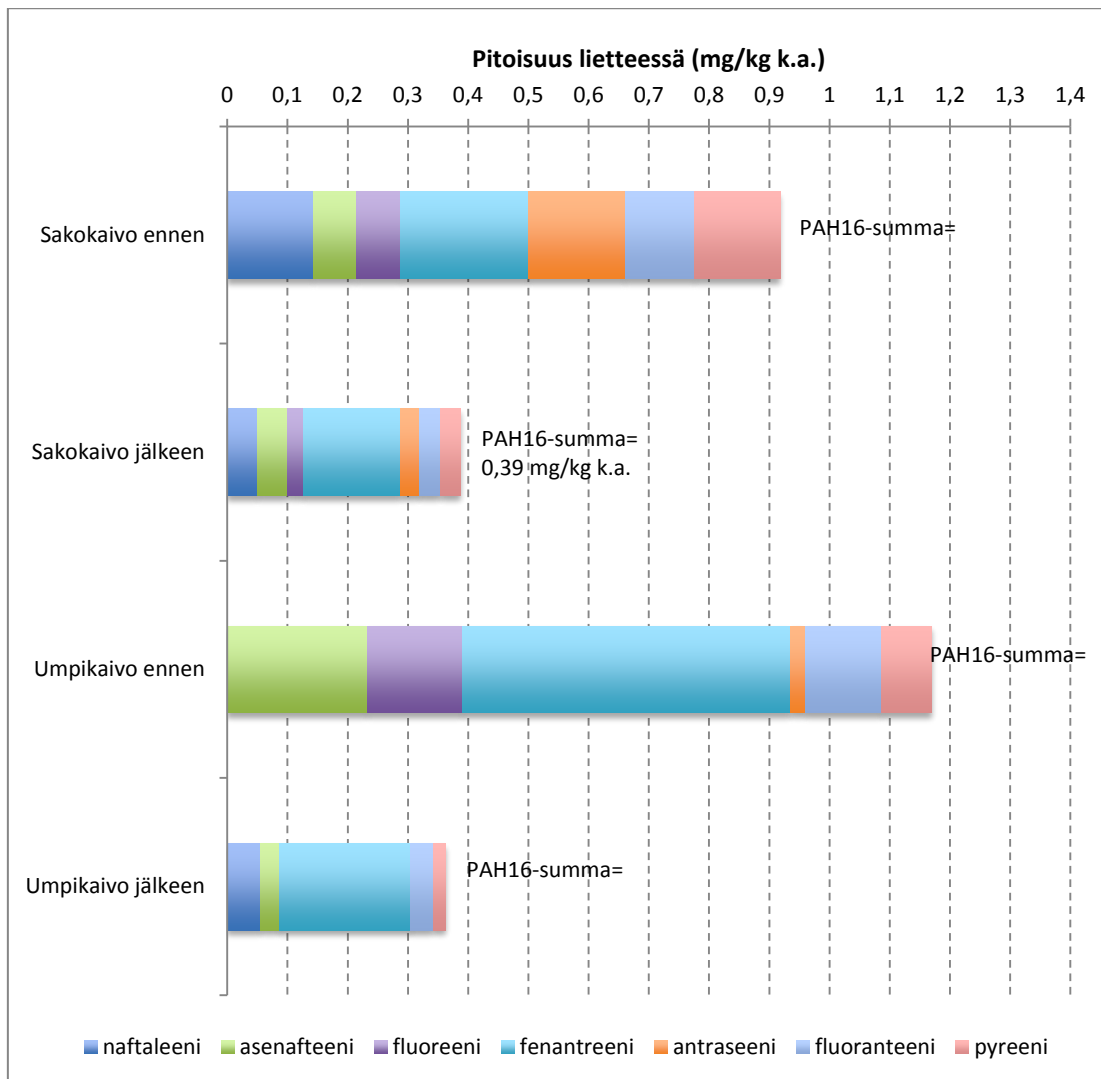


Kuva 7.1.3. PAH-yhdisteiden pitoisuus käsittelemättömässä lietteessä suhteessa yhdisteen molekyyli-massaan.

7.1.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Sako- ja umpikaivolietteissä esiintyi vain pienimolekyylisimpiä PAH-yhdisteitä (kuva 7.1.4). Puhdistamolietteissä korkeimmissa pitoisuuksissa esiintyneiden yhdisteiden pitoisuudet olivat hajalietteissä alle määritysrajojen. Sekä sako- että umpikaivolietteissä korkein pitoisuus mitattiin fenantreenille (sakokaivo: 0,213 mg/kg k.a., umpikaivo: 0,545 mg/kg k.a.). Myös kalkkistabiloiduissa vesissä fenantreenin pitoisuus oli korkein (sakaivo: 0,162 mg/kg k.a., umpikaivo: 0,218 mg/kg k.a.).

PAH16-yhdisteiden summa oli sakokaivolietteissä 0,92 ja umpikaivolietteissä 1,17 mg/kg k.a. Summa alitti siis selvästi lietteelle asetetun end-of-waste -kriteerin mukaisen raja-arvon 6 mg/kg k.a. PAH-yhdisteiden pitoisuudet pienentyivät 58 – 69 % kalkkistabiloinnin aikana.



Kuva 7.1.4. Käsittlemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet. Vain ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät määritysrajan on esitetty kuvassa.

7.1.5 Tulosten tarkastelu

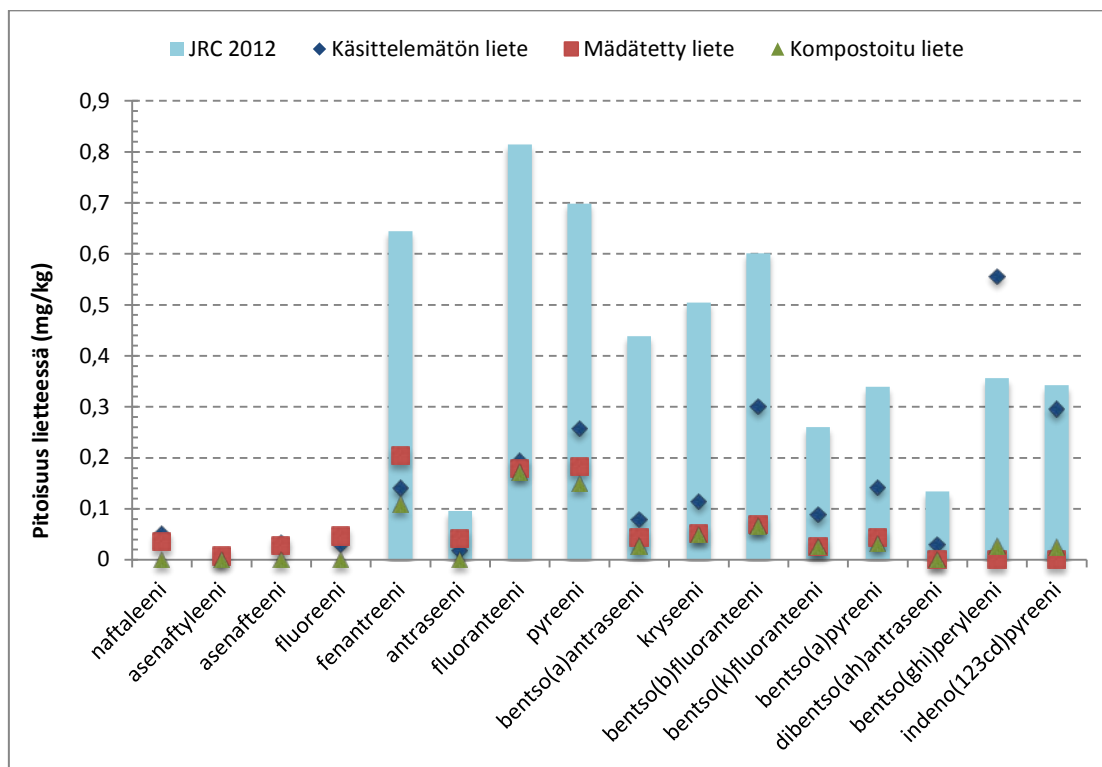
Puhdistamolietteet

Suomesta on varsin vähän saatavilla tietoa PAH-yhdisteiden pitoisuuksista lietteissä. Mehtonen ym. (2012) raportoi suurimman osan mittaustuloksia olleen alle määritysrajojen 0,1 mg/kg. Muutamasta näytteestä löytyi fluoreenia, fenantreenia ja pyreeniä < 0,4 mg/kg k.a.

Biokaasulaitosten mädätysjäännöksistä on mitattu PAH16-yhdisteiden pitoisuuksia (Marttinen ym. 2014). Summapitoisuudet vaihtelivat välillä 0,1–20,6 mg/kg k.a. ollen keskimäärin 5,87 mg/kg k.a. Tässä hankkeessa mädätetyn lietteen PAH-yhdisteiden summapitoisuudet olivat keskimäärin 0,95 mg/kg k.a. vaihdellen välillä 0,3–1,86 mg/kg k.a.

Euroopanlaajuisesti PAH-yhdisteiden pitoisuuksia lietteissä on mitattu komission tutkimuskeskuksen JRC:n toimesta (Tavazzi ym. 2012). PAH-yhdisteitä mitattiin 32:sta EU-maista kerätystä

lietenäytteestä. Näytteet kerättiin käsittelemättömistä ja käsitellyistä lietteistä. Tässä tutkimuksessa mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat kautta linjan keskimäärin selvästi yhteiseurooppalaisen tutkimuksen pitoisuuksia alhaisempia. Ainoastaan bentso(ghi)peryleenin keskimääräinen pitoisuus oli käsittelemättömässä lietteessä keskimäärin eurooppalaista tasoa korkeampi. Mädätetyssä ja kompostoidussa lietteessä pitoisuudet olivat selvästi alemmat.



Kuva 7.1.5. Tässä hankkeessa mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet verrattuna yhteiseurooppalaisen tutkimuksen tuloksiin (n= 32, ilmoitettu tulos on mittausten keskiarvo). Naftaleenia asenaftyleeniä, asenafteeniä ja fluoreeniä ei yhteiseurooppalaisessa tutkimuksessa mitattu.

Käsittelemättömissä puhdistamolietteisissä esiintyi suurimmassa pitoisuudessa ne aineet, jotka TOXCHEM-mallinnuksella todettiin sitoutuvan suurimmassa määrin lietteeseen. Mädätys ja kompostointi pienensivät eniten juuri suurimolekyylisten PAH-yhdisteiden pitoisuuksia lietteessä. Aiemmissa tutkimuksissa PAH-yhdisteiden on todettu hajoavan anaerobisesti (Campbell 2013, Davidsson ym. 2014). Samoin kuin tässä tutkimuksessa, Davidsson ym. (2014) mukaan mädätys pienensi erityisesti suurimolekyylisten PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. He mittasivat indeno(1,2,3-cd)pyreenin + dibenzo(a,h)antraseenin (summaparametri) sekä benzo(g,h,i)peryleenin pitoisuuksien pienentyneen noin 60 % mädätyksen aikana. PAH-yhdisteiden summaparametrin pitoisuus ei kuitenkaan juuri muuttunut. Mädätyksen lämpötilalla (35 tai 55 °C) tai kestolla (7–15 h) ei ollut vaikutusta poistumaan. Toisin kuin mädätyksessä, PAH-yhdisteet eivät poistuneet pätörintiprosessin aikana, jolloin lietteen lämpötila nostettiin 70 °C:seen tunnin ajaksi (Davidsson ym. 2014).

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Hajalietteiden PAH-pitoisuuksista ei löydetty aiempia tutkimustuloksia Suomesta. Myöskään kirjallisuudesta ei löydetty tuloksia hajalietteiden PAH-yhdisteiden pitoisuuksista tai kalkkista-biloinnin vaikutuksesta aineiden pitoisuuksiin.

7.2 Alkyylifenolit ja alkyylifenolietoksilaatit

7.2.1 Yleistä

Alkyylifenolien ja alkyylifenolietoksilaattien kaupalliset muodot ovat usein monimutkaisia seoksia erilaisia isomeerejä ja oligomeerejä. Yleisimmät alkyylifenolit ovat nonyylifenoli ja oktyylifenoli. Tässä tutkimuksessa mitattiin seitsemää ryhmään kuuluvaa ainetta:

- 4-n-nonyylifenoli
- 4-nonyylifenoli, isomeerien seos
- 4-nonyylifenolimonoetoksilaatti, isomeerien seos
- 4-nonyylifenolidietoksilaatti, isomeerien seos
- 4-tert-oktyylifenoli
- 4-tert-oktyylifenolimonoetoksilaatti
- 4-tert-oktyylifenolidietoksilaatti

4-n-nonyylifenolissa fenolin hiileen nro 4 on liittynyt suoraketjuinen hiilivetyketju. 4-nonyylifenoli taas on useiden isomeerien seos. Nonyylifenolimono- ja dietoksilaatit mitattiin ainoastaan isomeerien seoksena.

Alkyylifenolit ja niiden etoksilaatit ovat pinta-aktiivisia aineita, joita käytetään esimerkiksi pesuaineissa ja erilaisten kemianteollisuuden tuotteiden valmistuksessa. Aineiden haitallisuuden vuoksi käyttö kotitalouksien pesuaineissa on kielletty. Nonyylifenolin ja sen etoksilaattien sekä oktyylifenolietoksilaattien pääasiallinen käyttökohde on tekstiilien valmistuksessa. Suurin kuormitus puhdistamoille johtuukin näillä aineilla käsiteltyjen tekstiilien pesusta ja pesuveden johtamisesta viemäriin. EU:ssa nonyylifenolin ja sen etoksilaattien käyttö hyvin rajattuja kohteita lukuun ottamatta on ollut kielletty jo yli kymmenen vuoden ajan (EU-direktiivi 2003/53/EC). Aineiden käyttö on kuitenkin sallittu muualla maailmassa, joista tuodut tekstiilit voivat sisältää myös nonyylifenolia ja sen etoksilaatteja. Alkyylifenoleita ja niiden etoksilaatteja käytetään myös lentokoneiden jäänestoaineissa. Lentokenttien hulevedet ovat siis potentiaalinen aineiden lähde ympäristöön ja jätevedenpuhdistamoille.

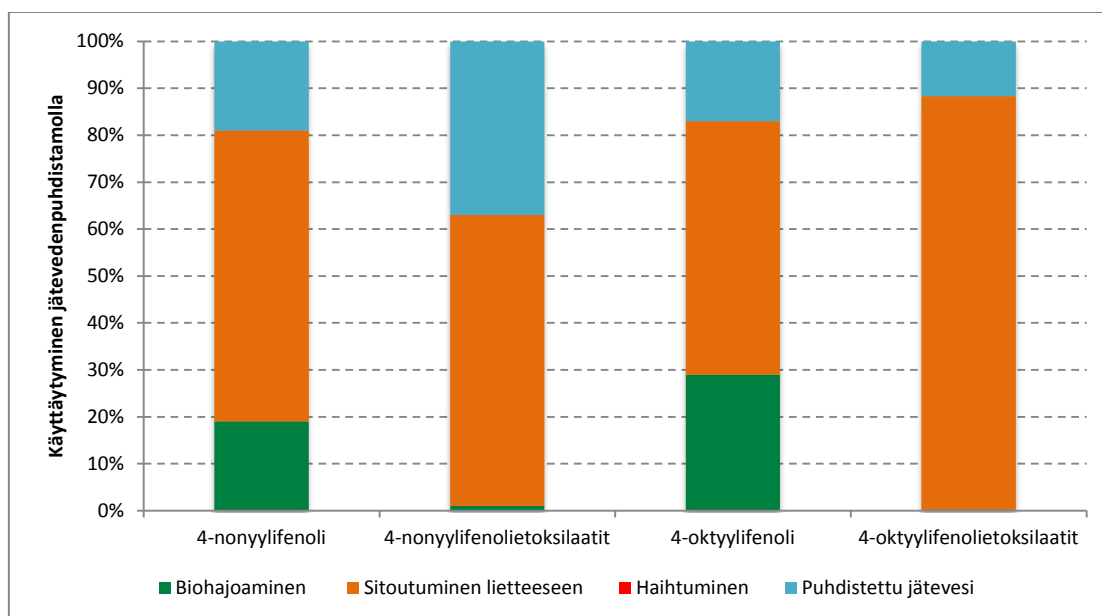
Alkyylifenolit ja niiden etoksilaatit ovat estrogeenin kaltaisia aineita ja niiden on todettu häiritsevät eliöiden hormonitoimintaa (EEA 2012). Ryhmän aineista potentiaalisimpia hormonihäiritä aiheuttavia aineita ovat nonyyli- ja oktyylifenoli. Etoksilaatit ovat selvästi vähemmän potentiaalisia hormonihäiritsijöitä (ECHA 2013). Aineiden haitallisten ympäristövaikutusten vuok-

si oktyylifenoli on listattu EU:n prioriteettiaineeksi ja nonyyylifenoli on yksilöity vaaralliseksi prioriteettiaineeksi (2013/39/EU).

7.2.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

TOXCHEM-mallinnuksen ja kirjallisuustietojen mukaan sekä nonyyli- että oktyylifenolien on arvioitu jätevedenpuhdistamolla biohajoavan niukasti (Vieno 2014, Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2013, Ahlgren 2012). Pääosin pitoisuuksien alentumisen puhdistuksen aikana on arvioitu johtuvan sitoutumisesta lietteeseen. Erityisen voimakkaasti alkyylifenolien on todettu sitoutuvan raakalietteeseen (Stasinakis ym. 2013). Esimerkiksi nonyyylifenolista 40 % on todettu sitoutuvan raakalietteeseen ja vain 5 % ylijäämälietteeseen (Stasinakis ym. 2013). Myös alkyylifenolien mono- ja dietoksilaatit sitoutuvat osin lietteeseen ja osin biohajoavat (Vieno 2014, ECHA 2013, Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2013).

TOXCHEM-mallinnuksen mukaan jätevedenpuhdistamolla alkyylifenolit ja niiden mono- ja dietoksilaatit sitoutuvat pääosin puhdistamolietteeseen (kuva 7.2.1). Yhdisteiden haihtuminen on erittäin vähäistä. Kirjallisuuden mukaan etoksilaattien on havaittu puhdistamoilla biohajoavan mallinnuksen osoittamaa määrää enemmän, jopa > 60 % (Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2013). TOXCHEM-mallinnus saattaa siis yliarvioida aineiden sitoutumista lietteeseen. Huomioitavaa on, että puhdistamolla etoksilaatit voivat hajota nonyyli- tai oktyylifenoliksi tai pidemmän etoksilaattiketjun omaavat aineet voivat hajota mono- ja dietoksilaateiksi. Tämäkin osaltaan vaikeuttaa aineiden poistumisen mallintamista. Myös pitempiketjuisten etoksilaattien määrä jätevedessä sekä puhdistusprosessi ja sen ajotapa vaikuttavat etoksilaattien määrään ja hajoamiseen.



Kuva 7.2.1. Mallinnettu nonyyli- ja oktyylifenolien sekä niiden mono- ja dietoksilaattien käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

7.2.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Nonyylifenolit ja nonyylifenolietoksilaatit

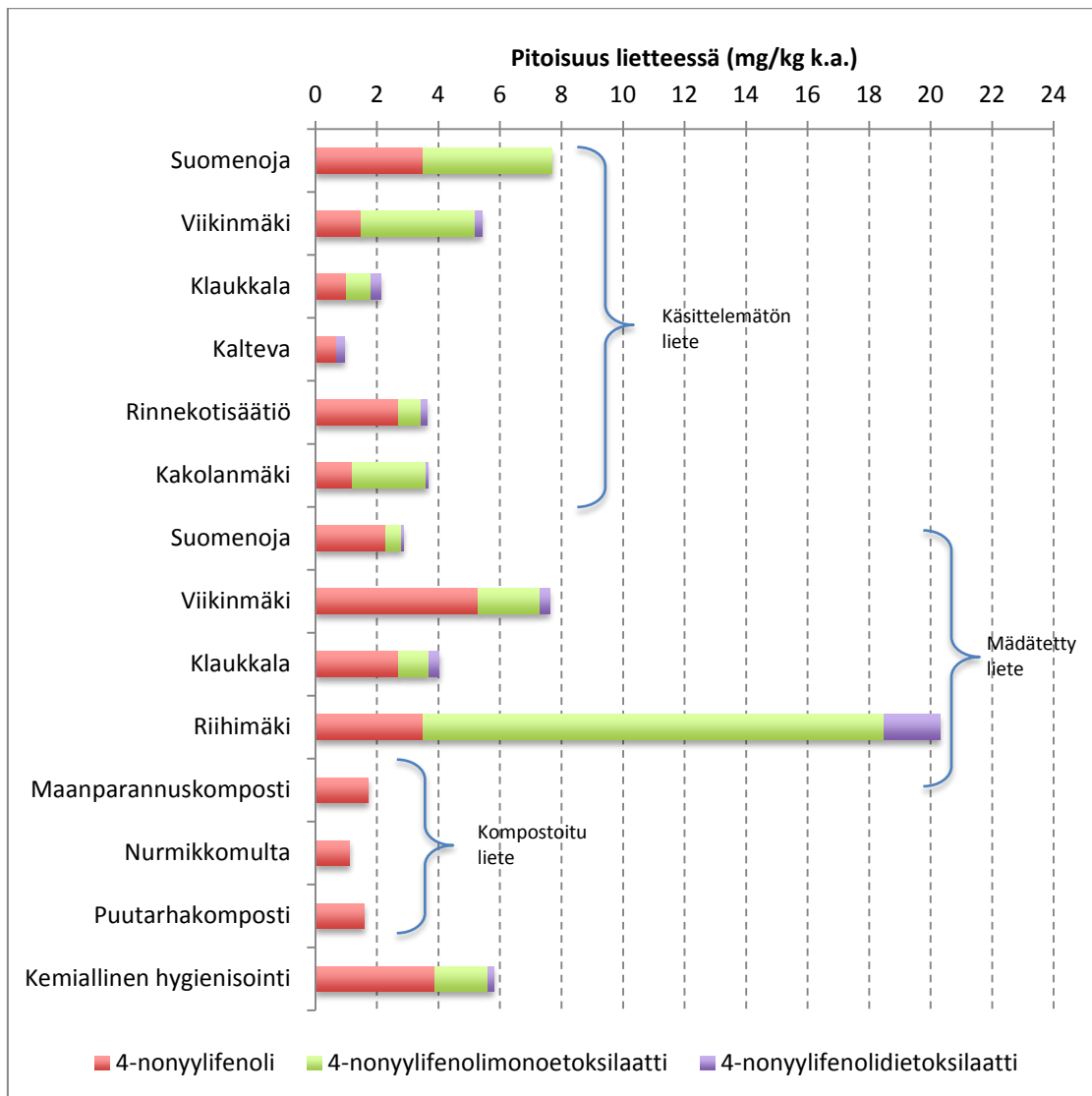
Puhdistamolietteiden nonyylifenolin ja nonyylifenolietoksilaattien pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.2.1 ja kuvassa 7.2.2. Kaikissa tutkituissa lietenäytteissä 4-n-nonyylifenolin pitoisuudet olivat alle määritysrajan. Kyseessä on yhdiste, jonka fenolin hiileen nro 4 on liittynyt suoraketjuinen hiilivetyketju. 4-nonyylifenolia (useiden isomeerien seos) taas löytyi jokaisesta analysoidusta puhdistamolietenäytteestä. Myös mono- ja dietoksilaatit on mitattu isomeerien seoksina.

Käsitlemättömässä ja mädätetyssä lietteessä esiintyi keskimäärin korkeimmassa pitoisuudessa 4-nonyylifenolimonoetoksilaattia. Kompostoiduissa näytteissä kuitenkin löytyi ainoastaan 4-nonyylifenolia. Kemiallisesti hygienisoitu lietteessä 4-nonyylifenolin pitoisuus oli aineryhmän korkein, mutta myös mono- ja dietoksilaattien pitoisuudet ylittivät määritysrajan. Kaikkien kolmen aineen pitoisuudet olivat mädätetyissä lietteissä 2-3 kertaa käsitlemättömiä lietteitä korkeammat. Kompostoiduissa näytteissä taas pitoisuudet olivat keskimäärin näytejoukon alhaisimmat.

Taulukko 7.2.1. Nonyylifenolien ja -etoksilaattien keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsitlemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määritysrajan olleet tulokset on huomioitu määritysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsitlemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
4-n-nonyylifenoli	<0,5	<0,5	<0,1	<0,05
4-nonyylifenoli *	1,77	3,45	1,47	3,9
4-nonyylifenolimonoetoksilaatti*	2,02	4,63	<0,5	1,7
4-nonyylifenolidi-etoksilaatti*	0,22	0,63	<0,1	0,2

* isomeerien seos



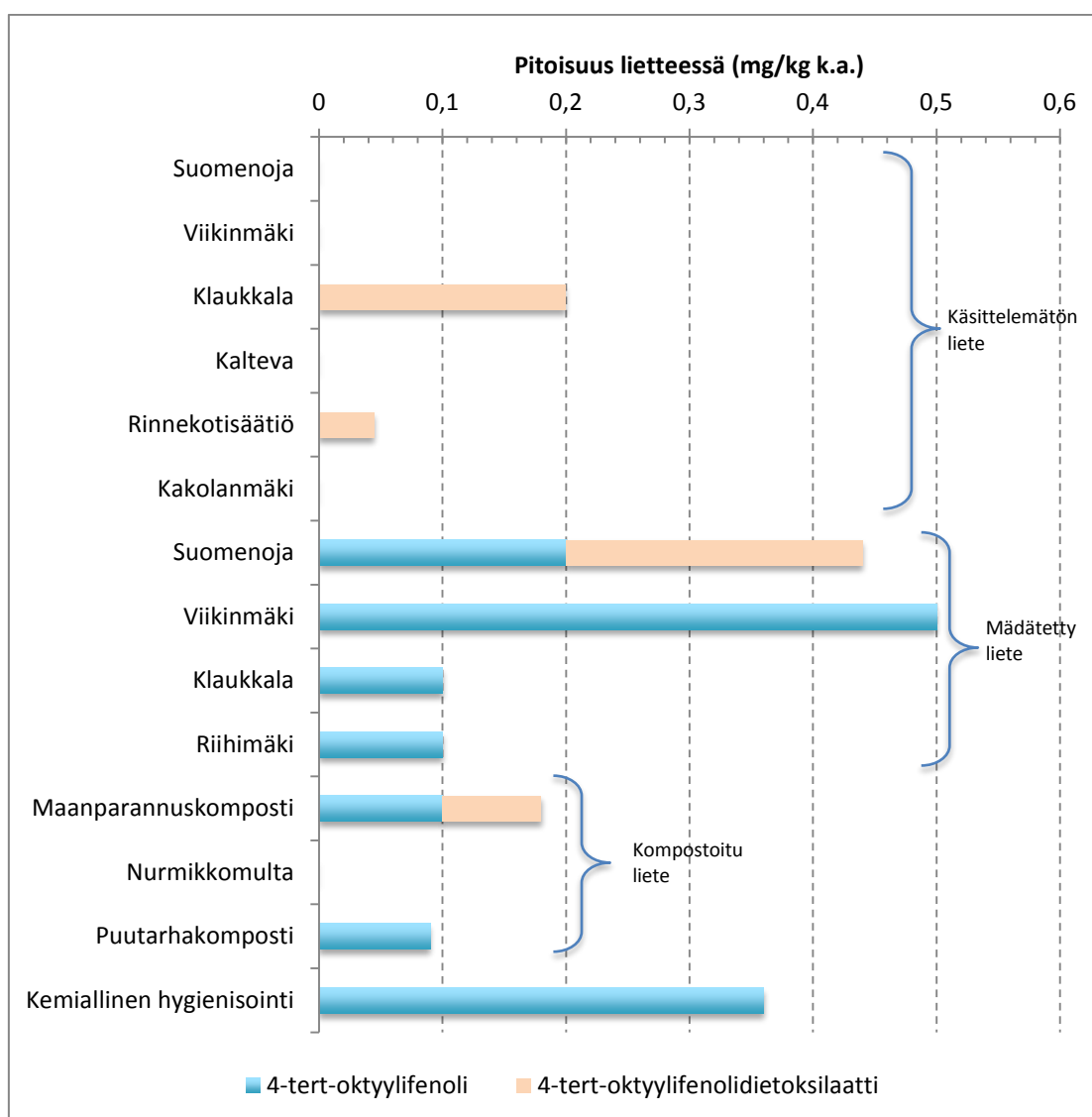
Kuva 7.2.2. Nonyylifenolin ja nonyyylifenolietoksilaattien pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

Oktyylifenolit ja oktyylifenolietoksilaattit

Puhdistamolietteiden oktyylifenoli ja oktyylifenolietoksilaattien pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.2.2 ja kuvassa 7.2.3. Oktyylifenolimonoetoksilaatin pitoisuus oli kaikissa näytteissä alle määräysrajan. Käsittelemättömistä lietteistä löytyi ainoastaan 4-tert-oktyylifenolidietoksilaattia. Mädätetyissä, kompostoiduissa ja kemiallisesti hygienisoiduista lietteistä taas löytyi pääosin 4-tert-oktyylifenolia. Pitoisuudet olivat kuitenkin muutamia näytteitä lukuun ottamatta lähellä määräysrajaa.

Taulukko 7.2.2. Oktyylifenolien ja –etoksilaattien keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on huomioitu määrittäysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
4-tert-oktyylifenoli	<0,25	0,23	0,06	0,36
4-tert-oktyylifenolimono-etoksilaatti	<1	<1	<1	<1
4-tert-oktyylifenolidi-etoksilaatti	0,05	<0,05	<0,05	<0,05



Kuva 7.2.3. Oktyylifenolien ja oktyylifenolietoksilaattien pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

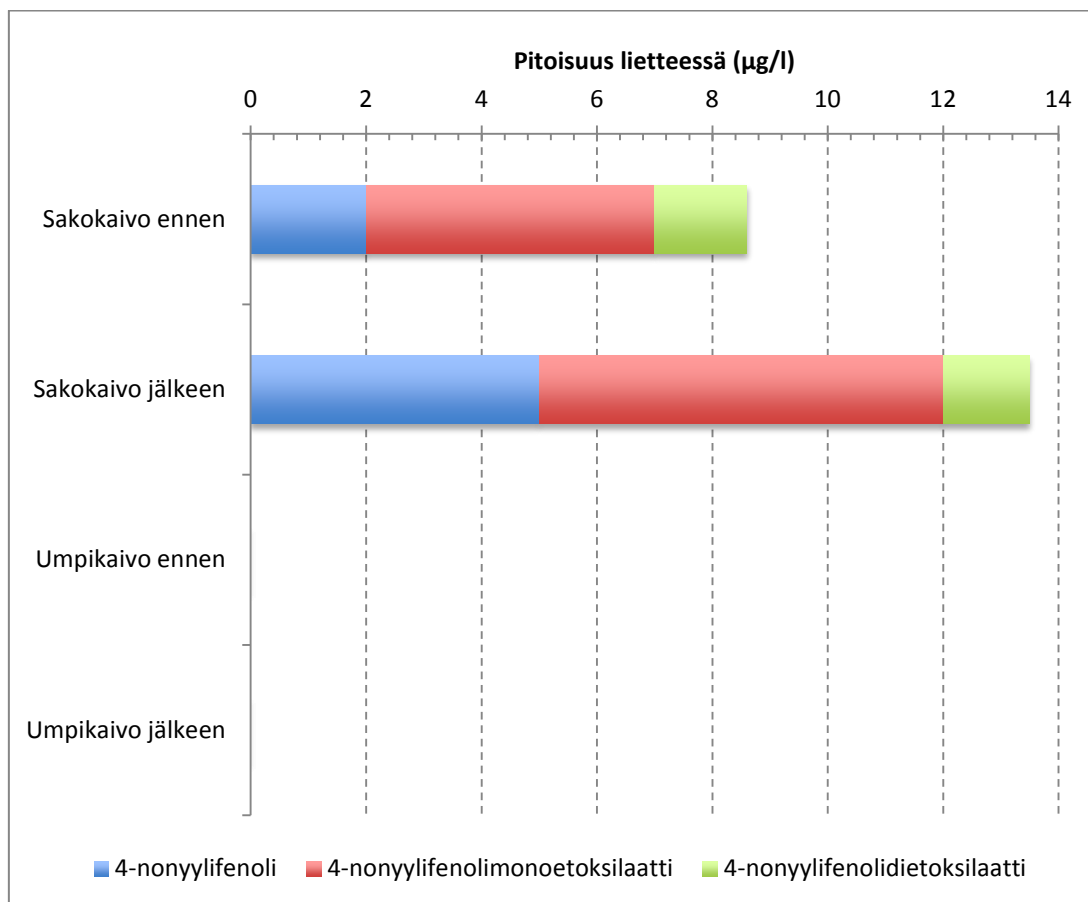
7.2.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Nonyylifenolit ja nonyylifenolietoksilaatit

Hajalietteiden nonyylifenolien – ja etoksilaattien pitoisuudet on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.2.4. yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivoista koottujen näytteiden 4-nonyylifenolin ja sen etoksilaattien pitoisuudet olivat alle määritysrajojen. Sakokaivovesistä kuitenkin löydettiin kaikkia isomeerien seoksena mitattuja ryhmän aineita. 4-n-nonyylifenolin pitoisuus oli kaikissa näytteissä alle määritysrajan. Korkein pitoisuus mitattiin 4-nonyylifenolimonooetoksilaatille.

Kalkkistabiloinnin jälkeisessä näytteessä 4-nonyylifenolin ja 4-nonyylifenolimonooetoksilaatin pitoisuudet olivat selvästi alkuperäistä korkeammat. 4-nonyylifenolin pitoisuus kasvoi kalkkistabiloinnissa 2,5-kertaiseksi ja 4-nonyylifenolimonooetoksilaatin 1,4-kertaiseksi. Dietoksilaatin pitoisuus pysyi lähes muuttumattomana. 4-nonyylifenolin osuus aineiden kokonaispitoisuudesta oli ennen käsittelyä 23 % ja käsittelyn jälkeen 37 %. Etoksilaattien suhteelliset osuudet taas olivat käsittelyn jälkeen alkuperäistä matalammat.

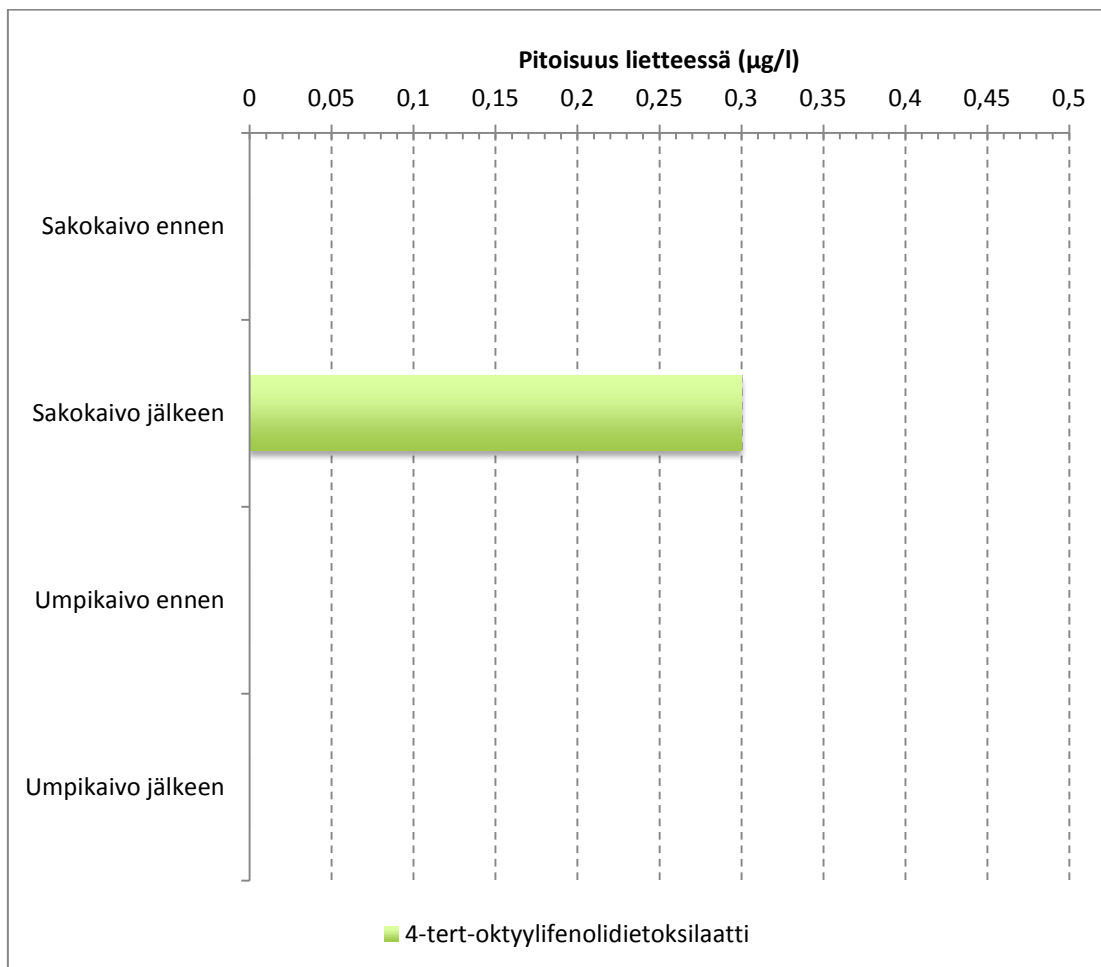


Kuva 7.2.4. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden nonyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuudet. Vain ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät määritysrajan on esitetty kuvassa.

Oktyylifenolit ja oktyylifenolietoksilaatit

Hajalietteiden oktyylifenolin –ja etoksilaattien pitoisuudet on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.2.5 yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysoimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivoista koottujen näytteiden 4-tert-oktyylifenolin ja sen etoksilaattien pitoisuudet olivat alle määritysrajojen. Myös käsittelemättömän sakokaivo-lietteen ainepitoisuudet olivat kaikki alle määritysrajojen. Kalkkistabiloidusta näytteestä mitattiin kuitenkin määritysrajan ylittävä pitoisuus 4-tert-oktyylifenolidietoksilaattia.



Kuva 7.2.5. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden oktyylifenolin ja –etoksilaattien pitoisuudet. Vain ne yhdisteet, joiden pitoisuudet ylittivät määritysrajan on esitetty kuvassa.

7.2.5 Tulosten tarkastelu

Puhdistamolietteet

Aiempiä Suomessa mitattuja nonyyli- ja oktyylifenolien sekä niiden etoksilaattien pitoisuuksia lietteissä on kattavasti koottu julkaisuun Kasurinen ym. (2014). Korkeimmillaan nonyylifenolien ja sen etoksilaattien pitoisuus lietteessä on yltenyt aiemmissa mittauksissa pitoisuuteen 15 mg/kg k.a. Tässä tutkimuksessa yhden mädätetyn lietenäytteen nonyylifenolien summapitoisuus kohosi n. 20 mg/kg k.a., mutta pääosin summapitoisuudet olivat < 5 mg/kg k.a. Korkein summapitoisuus oli kuitenkin selvästi alempi kuin Marttinen ym. (2014) raportoima korkein biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen summapitoisuus 54 mg/kg k.a.

Kasurinen ym. (2014) arvioi keskimääräisen nonyylifenolin pitoisuuden lietteissä olleen aiemmissa tutkimuksissa 5,7 mg/kg k.a ja nonyylifenolietoksilaattien 1,3 mg/kg k.a. Tässä tutkimuksessa 4-nonylifenolin teknisen seoksen keskimääräiset pitoisuudet olivat alle tämän arvion. Toisaalta taas nonyylifenolietoksilaattien ja erityisesti monoetoksilaatin pitoisuudet olivat aiempia tuloksia selvästi korkeampia.

Oktyylifenolien ja oktyylifenolietoksilaattien pitoisuudet lietteissä ovat aiemmissa Suomessa tehdyissä tutkimuksissa olleet usein alle määrittämissä rajojen. Kasurinen ym. (2014) arvioivat oktyylifenolin keskimääräiseksi pitoisuudeksi lietteissä Suomessa 0,9 mg/kg ja oktyylifenolietoksilaattien 0,1 mg/kg. Myös tässä tutkimuksessa pitoisuudet lietteissä olivat usein alle määrittämissä rajojen, jotka olivat kuitenkin varsin korkeat erityisesti oktyylifenolimonoetoksilaatin osalta. Korkein mitattu oktyylifenolin pitoisuus lietteessä oli 0,5 mg/kg k.a. eli jonkin verran aiempaa arvioita alempi.

Mädätetyissä lietteissä mitattiin keskimäärin selvästi korkeampia nonyylifenolin ja sen etoksilaattien pitoisuuksia kuin käsittelemättömässä lietteessä. Aiemmissa tutkimuksissa on myös todettu aineiden pitoisuuksien lisääntyvän mädätyksen aikana (Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2012, Citulski ja Farahbakhsh 2010). Tämän on esitetty johtuvan pitempiketjuisten etoksilaattien hajoamisesta mono- ja dietoksilaateiksi ja toisaalta etoksilaattien hajoamisesta nonyylifenoliksi (Stasinakis ym. 2012). On arvioitu, että nonyylifenoli hajoaa hapettomissa oloissa erittäin hitaasti, jolloin sen määrä lisääntyy ja se kertyy lietteeseen. On kuitenkin muistettava, että verrattaessa pitoisuuksia ei huomioida mädätyksessä tapahtuvaa kiintoaineen hajoamista ja täten lietteen kokonaismäärän pienentymistä. Pitoisuuden nousu voi siis johtua lietemassan pienentymisestä. Mädätys korkeammassa lämpötilassa saattaa parantaa nonyylifenolin poistumista. Paterakis ym. (2009) mukaan nonyylifenolin hajoaminen oli nopeampaa termofiilissä (T= 55 °C) kuin mesofiilissä (35 °C) mädätyksessä. Oktyylifenolien osalta kirjallisuustutkimuksia ei löydetty, mutta voidaan olettaa mädätyksen aikana tapahtuvan samoja ilmiöitä kuin nonyylifenoleille. Oktyylifenolin esiintyminen mädätetyissä mutta ei käsittelemättömissä lietteissä johtunee siis etoksilaattien hajoamisesta oktyylifenoliksi ja oktyylifenolin hitaasta hajoamisesta hapettomissa olosuhteissa.

Tässä tutkimuksessa todettiin kompostoidun lietteen sisältävän selvästi muita lietenäytteitä pienempiä pitoisuuksia nonyyli- ja oktyylifenolia. Etoksilaattien keskimääräiset pitoisuudet

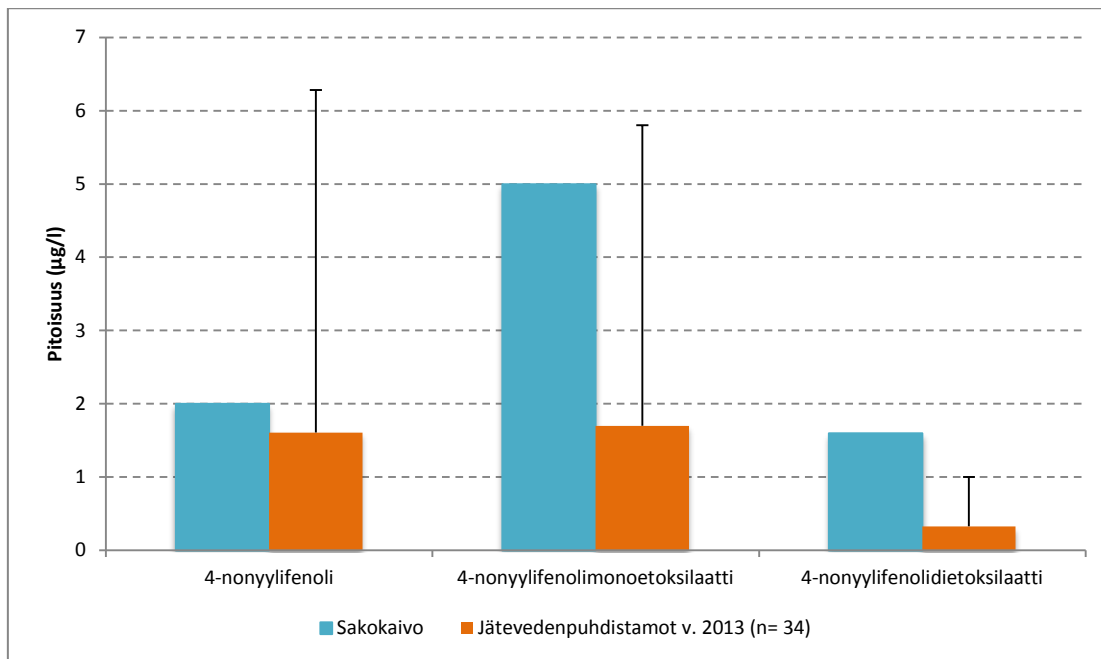
olivat alle määritysrajojen. Tulos on yhtenevä aiempien tutkimusten kanssa (Citulski ja Farahbakhsh 2010, La Guardia ym. 2004). La Guardia ym. (2004) mukaan alkyylifenolit ja niiden etoksilaatit ovat biohajoavia hapellisissa olosuhteissa ja kompostoinnissa viipymä on riittävän pitkä aineiden hajoattamiseksi. On todettu, että kompostoinnin lämpötilan nostaminen tai viipymän pidentäminen lisää aineiden poistumista (Citulski ja Farahbakhsh 2010).

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta alkyylifenolien ja niiden etoksilaattien pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Hajalietteiden alkyylifenolien ja –etoksilaattien pitoisuuksista ei löydetty aiempia tutkimustuloksia Suomesta. USA:ssa on mitattu 4-nonyylifenolin sakokaivopitoisuuksien olleen välillä 1000 – 1500 µg/l ja 4-tert-oktyylifenolin välillä 35 – 42 µg/l (Rudel ym. 1998). Nonyylifenolimono- ja dietoksilaattien pitoisuudet olivat välillä 440–580 ja 79–100 µg/l. Oktyylifenolimono- ja dietoksilaattien pitoisuudet olivat välillä 8-9,8 µg/l ja alle määritysrajan 0,016 µg/l. Pitoisuudet ovat selvästi tässä tutkimuksessa mitattuja pitoisuuksia korkeampia. Conn ym. (2006) mukaan 4-nonyylifenolin pitoisuus oli asuinalueiden sakokaivoissa keskimäärin 4,4 µg/l ja etoksilaattien pitoisuus keskimäärin 4,3 µg/l. Oktyylifenolin pitoisuus oli keskimäärin alle määritysrajan (0,76 µg/l) ja korkein mitattu pitoisuus oli 1,6 µg/l. Etoksilaattien pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle määritysrajojen. Alankomaissa on mitattu harmaiden jätevesien sisältävän 0,8 – 38 µg/l nonyyylifenolia (Hernández Leal ym. 2010). Tässä tutkimuksessa mitatut pitoisuudet ovat samalla tasolla Conn ym. (2006) ja Hernández Leal ym. (2010) raportoimien kanssa, mutta vain murto-osat Rudel ym. (1998) mittaamista arvoista. Syynä saattaa olla aineiden käytön lasku 1990-luvun loppupuolelta, sillä esimerkiksi nonyyylifenolille on vuonna 2003 asetettu laajoja käyttökieltoja.

Suomen jätevedenpuhdistamoilta on vuonna 2013 mitattu alkyylifenolien ja niiden etoksilaattien pitoisuuksia (Vieno 2014). Näitä tuloksia verrattiin sakokaivosta mitattuun pitoisuuteen (kuva 7.2.6). Sakokaivonäytteissä mitatut pitoisuudet olivat keskimääräisiä jätevedenpuhdistamoilta mitattuja arvoja suuremmat. Kotitaloudet ja erityisesti tekstiilien peseminen lieneekin yksi tärkeimmistä nonyyylifenolien ja –etoksilaattien lähteistä myös kunnallisella puhdistamolla.



Kuva 7.2.6. Sakokaivossa mitatut nonyyliifenolin ja sen etoksilaattien pitoisuudet sekä jätevedenpuhdistamoiden tulevista jätevesistä mitatut keskimääräiset arvot vuonna 2013 (julkaisusta Vieno 2014). Jakauma kertoo mitatun maksimiarvon. Minimiarvot olivat alle määrittäysrajojen.

Hajalietteiden alkyylifenolien pitoisuudet kohosivat kalkkistabiloinnin aikana. Oktyylifenolia ei esimerkiksi löydetty kuin kalkkistabiloidusta sakokaivovedestä. Nonyylifenolien on todettu kalkkistabiloinnissa irtoavan lietteestä (Citulski ja Farahbakhsh 2010). Kalkkistabiloinnin vaatimassa korkeassa pH-arvossa (> 12) nonyyliifenoli on negatiivisesti varautunut. Koska myös liete on negatiivisesti varautunut, irtoaa nonyyliifenoli lietteestä ja liukenee vesifaasiin. Tässä tutkimuksessa sakokaivoliete kuitenkin analysoitiin kokonaisuudessaan (vesi+kiinteä aine), joten on epäselvää, johtuuko pitoisuuden nouseminen sittenkään tästä ilmiöstä.

7.3 Ftalaatit

7.3.1 Yleistä

Ftalaatteja käytetään laajasti muovien ja kumituotteiden valmistuksessa pehmentiminä sekä maalien ja lakkojen valmistuksessa, mutta myös esimerkiksi lääketablettien päällystämiseen sekä kosmetiikan ainesosina. Tässä tutkimuksessa mitattiin yhtätoista ryhmään kuuluvaa ainetta:

- di-2-etyyliheksyyliftalaatti (DEHP)
- dimetyyliftalaatti (DMB)
- dietyyliftalaatti (DEP)
- di-isobutylyliftalaatti (DiBP)
- dibutylyliftalaatti (DBP)
- dipentylyliftalaatti (DNPP)
- diheksyyliftalaatti (DNHP)

- bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)
- di(n)oktyyliftalaatti (DOP)
- di(iso)nonyyliftalaatti (DINP)
- di-(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)

Näistä ftalaateista EU on kieltänyt DEHP:n, DBP:n ja BBP:n käytön lasten leluissa ja lastenhoitotuotteissa. Lisäksi DINP:n, DIDP:n ja DOP:n käyttö on kielletty leluissa, jotka lapset voivat laittaa suuhunsa.

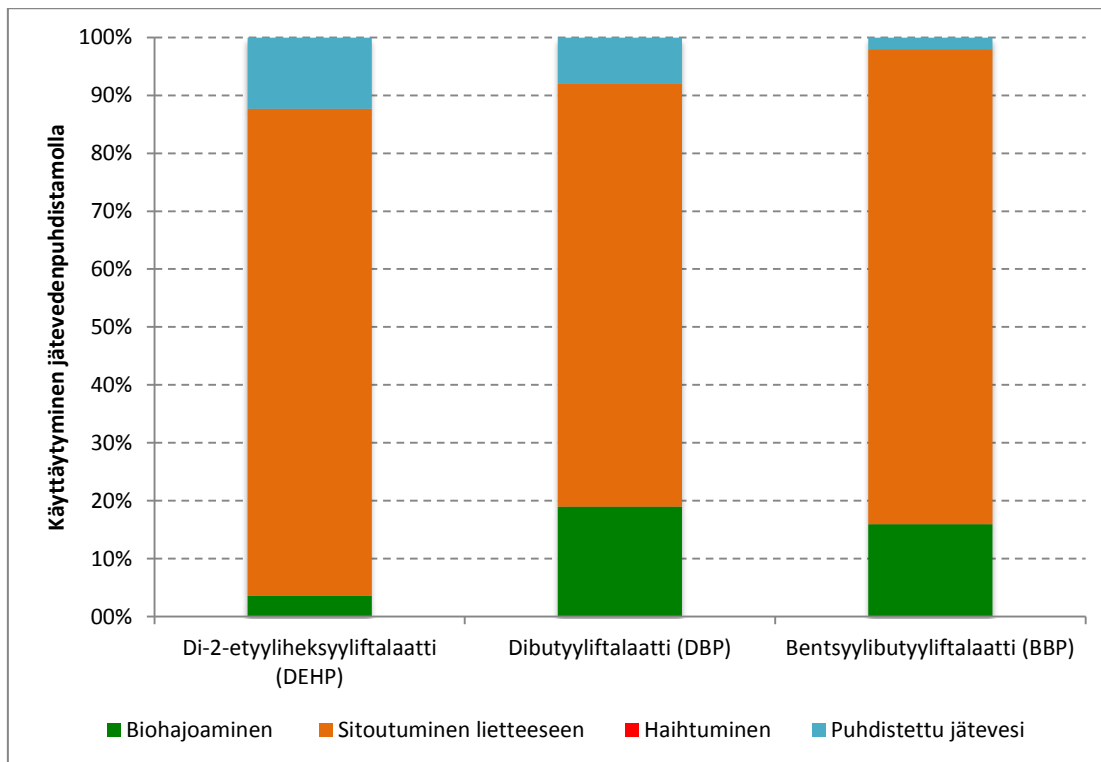
Jätevedeen ftalaatteja päätyy esimerkiksi kosmetiikan mukana, irtoamalla aineita sisältävistä tuotteista sekä erilaisten muovi-, kumi- ja maalituotteiden valmistuksen yhteydessä. Myös ihmisten virtsa ja uloste voivat sisältää pieniä määriä ftalaatteja, sillä näitä aineita voi esiintyä ruoka-aineiden epäpuhtautena.

Aiemmin mainitut lasten leluissa ja lastenhoitotuotteissa kielletyt ftalaatit on todettu olevan ihmisille haitallisimpia. DEHP on teratogeeninen ja lisääntymiskykyyn vaikuttava aine (EU 1998). Ympäristötoksisuutta akuutein ja kroonisin testein mitattuna DBP, DIBP ja BBP ovat eliöille haitallisimpia (Staples ym. 1997). Uusimmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että DEHP häiritsee ympäristössä mm. kalojen normaalia hormonitoimintaa ja lienee tästä syystä yksi haitallisimmista ftalaateista ympäristöön joutuessaan (Golshan ym. 2015, Maradonna ym. 2013, EEA 2012). DEHP on listattu Euroopan Unionissa vaaralliseksi prioriteettiaineeksi (2013/39/EU). DBP ja BBP ovat kansallisessa menettelyssä määritettyjä vesiympäristölle haitallisia aineita (Valtioneuvoston asetukset 1022/2006 ja 868/2010).

7.3.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

Jätevedenpuhdistamolla ftalaatit voivat biohajota tai sitoutua lietteeseen. Lietteeseen sitoutuminen kasvaa ftalaatin molekyylikoon kasvaessa ja vesiliukoisuuden pienentyessä (Fauser ym. 2001). Pienimolekyylisimmät ja vesiliukoisimmat ftalaatit kuten DMP ja DEP sitoutuvat lietteeseen vähiten, mutta biohajoavat helpoiten (Dargnat ym. 2009). Luo ym. (2014) on esimerkiksi raportoinut DMP:n poistuvan jätevedenpuhdistamolla 85 – 94 %. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan DEHP:n, DBP:n ja BBP:n käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla on kuvan 7.3.1 mukaista. Muille ftalaateille ei löydetty riittävästi tietoa niiden käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamolla, jotta mallinnusta oltaisiin voitu tehdä. DEHP, DBP ja BBP sitoutuvat mallinnuksen mukaan pääosin lietteeseen ja biohajoavat vain vähän.

Marttinen (2004) mukaan Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamolla DEHP:n todettiin biohajoavan 29 % eli siis enemmän kuin mallinnuksessa on arvioitu. Raakalietteeseen DEHP:tä todettiin sitoutuvan 35 % ja ylijäämalietteeseen 30 %. Marttinen (2004) mukaan DEHP on biohajoava, mutta sen voimakas sitoutuminen lietteeseen heikentää sen biosaatavuutta ja täten biohajoamisen määrää puhdistamolla.



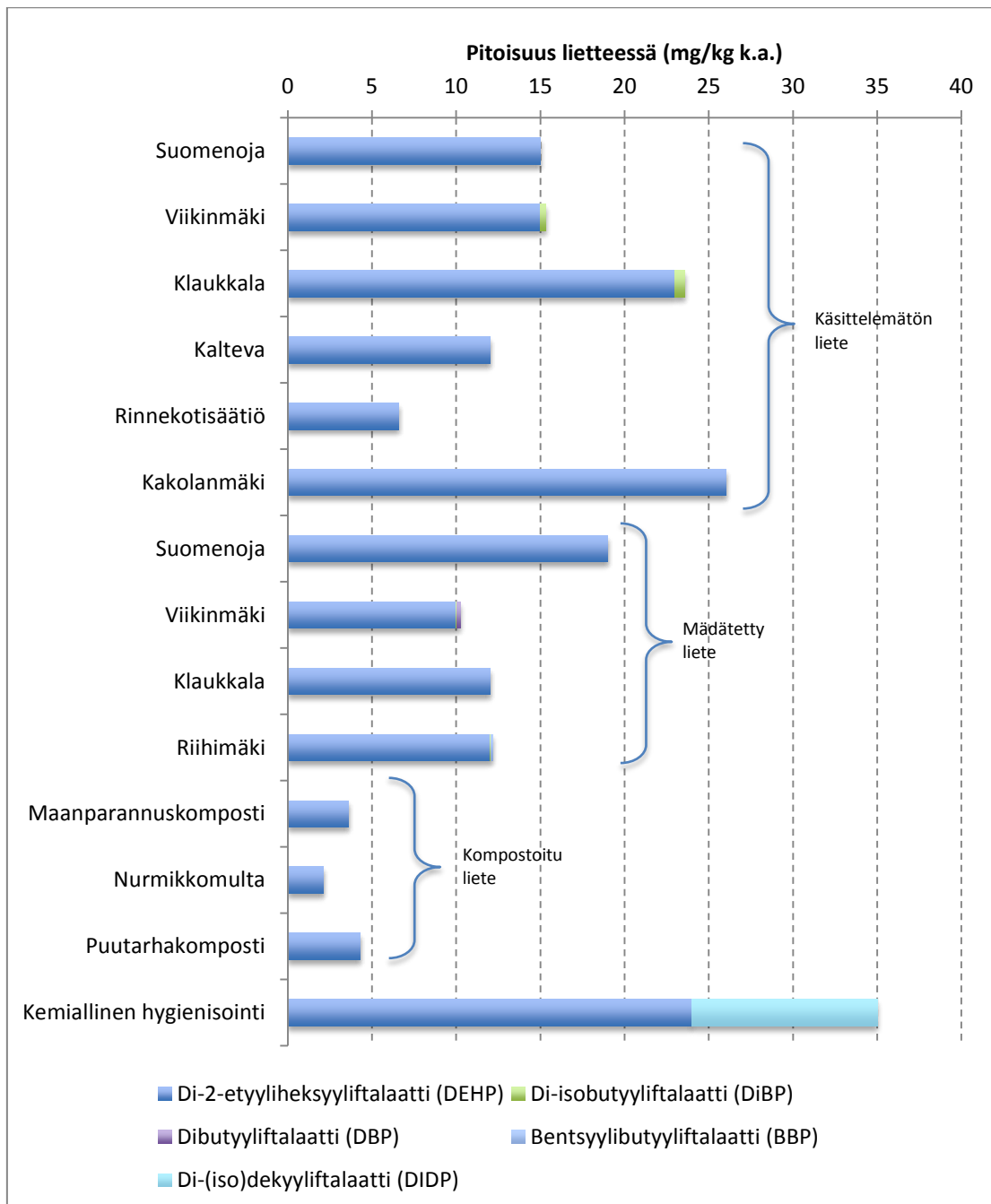
Kuva 7.3.1. Mallinnettu ftalaattien DEHP, DBP ja BBP käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

7.3.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden ftalaattipitoisuudet on esitetty taulukossa 7.3.1 ja kuvassa 7.3.2. Puhdistamolietenäytteistä löytyi pääasiassa di-2-etyyliheksyyliftalaattia (DEHP). Neljää muuta ftalaattia löytyi yksittäisistä näytteistä, mutta pitoisuudet olivat selvästi DEHP:tä alhaisemmat. DEHP-pitoisuus oli keskimäärin mädätetyissä lietteissä jonkin verran käsittelemättömiä lietteitä alhaisempi. Kompostoiduissa lietteissä DEHP:n ja muiden ftalaattien pitoisuudet olivat selvästi näyteryhmän alhaisimmat.

Taulukko 7.3.1. Ftalaattien keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on huomioitu määrittäysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
Di-2-etyyliheksyyliiftalaatti (DEHP)	16,27	13,25	3,33	24
Dimetyyliiftalaatti (DMB)	<1	<0,1	<0,1	<0,1
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	0,27	0,07	<0,1	<0,1
Dibutyyliftalaatti (DBP)	<1	<0,2	<0,1	<0,1
Dipentyyliftalaatti (DNPP)	<1	<0,1	<0,1	<0,1
Diheksyyliiftalaatti (DNHP)	<1	<0,1	<0,1	<0,1
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	<1	<0,1	<0,1	<0,1
Di(n)oktyyliftalaatti (DOP)	<1	<0,5	<0,1	<0,1
Di(iso)nonyyliftalaatti (DINP)	<35	<50	<5	<30
Do-(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)	<10	<10	<5	11



Kuva 7.3.2. Ftalaattien pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

7.3.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Ftalaatteja ei analysoitu hajalietteistä.

7.3.5 Tulosten tarkastelu

DEHP oli selvästi yleisin mitatuista ftalaateista, sillä sitä löytyi määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia kaikista näytteistä. Muita ftalaatteja löytyi ainoastaan hajanaisesti. DiBP:tä löydettiin neljästä näytteestä ja DBP:tä, BBP:tä ja DIDP:tä yhdestä näytteestä. DiBP:lle ja DIDP:lle ei löydetty aiempia lietemittausten tuloksia Suomesta. DBP:n ja BBP:n pitoisuudet olivat selvästi alle aiempia mittaustuloksia. DBP:n keskimääräiset pitoisuudet ovat olleet 0,3 – 0,7 mg/kg k.a. ja BBP:n 0,2 – 0,4 mg/kg k.a. (Mehtonen ym. 2012, Mannio ym. 2011). Tässä tutkimuksessa yksittäiset pitoisuudet olivat 0,2 mg/kg k.a. (DBP) ja 0,1 mg/kg k.a. (BBP).

Kasurinen ym. (2014) mukaan DEHP:n pitoisuudet lietteissä ovat laskeneet selvästi vuodesta 1998, jolloin ainetta mitattiin lietteessä pitoisuudessa 179 mg/kg k.a. Kirjoittajat arvioivat DEHP:n keskimääräiseksi pitoisuudeksi lietteissä Suomessa 14 mg/kg k.a. Arvio on samalla tasolla tässä tutkimuksessa mitattujen keskimääräisten pitoisuuksien kanssa. Marttinen ym. (2014) raportoivat selvästi korkeampia pitoisuuksia biokaasulaitosten mädätysjännöksistä. Korkein mitattu DEHP-pitoisuus oli 107 mg/kg k.a. ja keskimääräinenkin 35,1 mg/kg k.a.

Aiempien tutkimusten mukaan ftalaattien hajoaminen mädätyksessä riippuu sivuketjun pituudesta (Stasinakis 2012). DMP, DEP, DBP, BBP hajoavat nopeiten kun taas DOP ja DEHP ovat hitaammin hajoavia. DEHP:n on todettu poistuvan mädätyksen aikana 23 – 61 % (Stasinakis ym. 2012, Marttinen 2004). Mädätyksen rejektivedessä DEHP:n on todettu esiintyvän sitoutuneena kiintoaineeseen (Marttinen 2004). Mitä vähemmän rejektissä on kiintoainetta sitä vähemmän DEHP:tä myös päätyy takaisin puhdistamolalle, jossa rejektivedet yleensä Suomessa käsitellään.

Tässä tutkimuksessa todettiin DEHP:n pitoisuuksien olleen kompostoiduissa näytteissä selvästi mädätettyjä alhaisempi. DEHP:n on todettu hajoavan kompostoinnin aikana (Citulski ja Farahbakhsh 2010, Marttinen 2004). Marttinen (2004) mukaan DEHP poistui nopeammin kompostoitessa raakalietettä kuin mädätettyä lietettä. Enimmillään DEHP poistui 48 % kompostoitessa raakalietettä 85 päivää. On muistettava, että verrattaessa pitoisuuksia ei huomioida kompostoinnissa tapahtuvaa orgaanisen aineen hajoamista ja täten lietteen kokonaismäärän pienentymistä. Marttinen (2004) mukaan myös kompostin uutevedestä löytyi DEHP:tä vaikkakin veden mukana poistui vain alle 1 % DEHP:n kokonaismäärästä. Tämä asia on kuitenkin isoja määriä kompostoitessa otettava huomioon.

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta ftalaattien pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

7.4 Perfluoratut yhdisteet

7.4.1 Yleistä

Perfluoratut yhdisteet ovat vettä ja rasvaa hylkiviä aineita ja niitä käytetään tai on käytetty näiden ominaisuuksiensa vuoksi pintakäsittelyaineina. Käyttökohteita ovat esimerkiksi vaatteet, matot, paperi, kartonki, suksivoiteet, sammutusvaahdot sekä kromin pinnoitus. Kaupallisia nimiä ovat esimerkiksi ScotchGard™ ja Teflon™.

Tämä aineryhmä sisältää suuren joukon aineita, joista tässä tutkimuksessa mitattiin neljätoista:

- Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)
- Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBS)
- Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS)
- Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)
- Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)
- Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)
- Perfluorobutaanihappo (PFBA)
- Perfluoropentaanihappo (PFPeA)
- Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)
- Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)
- Perfluorononaanihappo (PFNA)
- Perfluorodekaanihappo (PFDA)
- Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)
- Perfluorododekaanihappo (PFDoA)

Perfluorattujen sulfonaattien rakennekaava on muotoa $C_nF_{2n+1}SO_3H$ ja perfluorattujen karboksyylihappojen muotoa $C_nF_{2n+1}COOH$. Merkittävimpiä perfluorattuja yhdisteitä ovat perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS) ja perfluoro-oktaanihappo (PFOA). Lyhyempiketjuisten perfluorattujen aineiden kuten PFBA:n ja PFBS:n käyttö on kuitenkin lisääntymässä (Richardson 2012). Tämä johtuu näiden aineiden alhaisemmasta biokertymispotentiaalista ympäristössä ja täten vähäisemmistä haitallisista ympäristövaikutuksista.

Jätevedenpuhdistamoille aineita päätyy ainakin hulevesien mukana erityisesti kaatopaikoilta sekä kaupunki- ja teollisuusalueilta (Perkola 2014). Eräs lähde on myös aineita käyttävän teollisuuden jätevedet (Perkola 2014, Guerra ym. 2014, Yu ym. 2009).

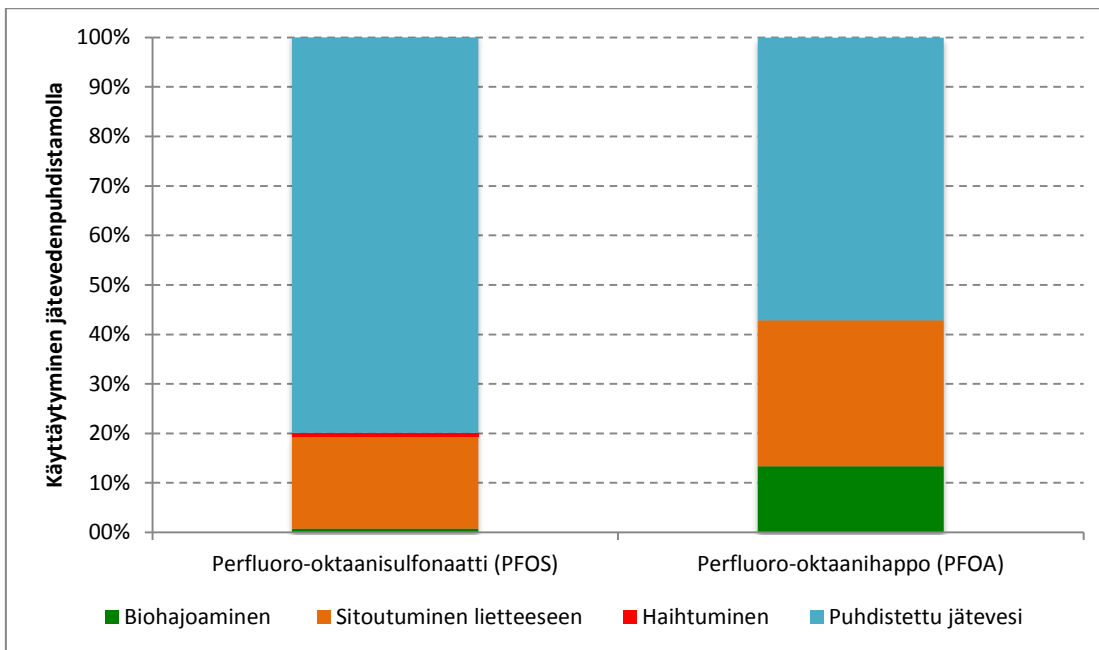
Ympäristössä perfluoratut yhdisteet ovat erittäin pysyviä. Niiden on todettu myös vaikuttavan haitallisesti vesieliöihin ja myös kertyvän ravintoketjussa (TemaNord 2004). Mitä pidempi fluoria sisältävä hiiliketju on, sitä biokertyvämpi aine on (Perkola 2014). EU on yksilöinyt PFOS:in vaaralliseksi prioriteettiaineeksi (2013/39/EU). Vuonna 2009 aine on myös luokiteltu Tukholman sopimuksella pysyväksi orgaaniseksi aineeksi eli POP-aineeksi. Sen käyttö mm. sammutusvaahdoissa on nykyään kielletty. Ennen kieltä sammutusvaahdot olivat PFOS:in yleisin lähde ympäristössä (Ahlgren 2012). Euroopan Unionin tutkimuskeskuksen JRC:n puhdistamoliettei-

den haitta-aineita käsittelevässä raportissa (JRC 2012) todetaan, että tutkituista aineista perfluorattujen aineiden osalta olisi harkittava lietteitä koskevia säädöksiä.

7.4.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamoilla

Perfluoratut aineet ovat hyvin stabiileja eivätkä tästä syystä biohajoa helposti jätevedenpuhdistamolla (Ratola ym. 2012, Ahlgren 2012). Perfluoratut aineet voivat myös jossain määrin sitoutua puhdistamolietteeseen. Mitä pidempi hiili-fluori –ketju yhdisteellä on sitä suuremman määrin aine sitoutuu puhdistamolietteeseen (Perkola 2014). PFOS:in ja PFOA:n on todettu sitoutuvan sekä raaka- että ylijäämälietteeseen (Yu ym. 2009). Guerra ym. (2014) mukaan perfluorohapot sitoutuvat heikommin lietteeseen kuin perfluorosulfonaatit. Hapot ovat negatiivisesti varautuneita ja pääosin hylkivät negatiivisesti varautunutta puhdistamolietettä. Toisaalta taas jätevedessä voi olla kationeita, jotka toimivat siltana happojen ja lietteen välillä lisäten aineiden sitoutumista lietteeseen. Lietteeseen sitoutuminen voi siis vaihdella voimakkaasti puhdistamoiden välillä.

TOXCHEM-mallinnuksella arvioitiin PFOS:in ja PFOA:n käyttäytymistä jätevedenpuhdistamolla. Muille PFC-aineille ei löydetty riittävästi tietoa käyttäytymisestä jätevedenpuhdistamoilla, jotta luotettavaa mallinnusta oltaisiin voitu tehdä. Mallinnettu käyttäytyminen on esitetty kuvassa 7.4.1. Mallinnus ei huomio aineiden syntymistä jätevedenpuhdistamolla. Joidenkin aineiden, kuten PFOS:in pitoisuuksien, on todettu lisääntyvän puhdistusprosessin aikana (Vieno 2014, Ratola ym. 2012, Guerra ym. 2014, Stasinakis ym. 2013). Guerra ym. (2014) mukaan PFC-aineiden pitoisuudet kasvoivat eniten kesäaikaan, kun jäteveden lämpötila oli > 20 °C. Tämä viittaa esiasteiden nopeampaan biohajoamiseen kesäaikaan. Tämä viittaa aineiden esiasteiden hajoamisesta tutkittaviksi yhdisteiksi. Esimerkiksi PFOS:iksi voi teoriassa hajota jopa 100 erilaisista aineen esiastetta (OECD 2007). Täten jätevedenpuhdistamoiden on todettu olevan varsin merkittävä perfluorattujen aineiden lähde ympäristössä (Perkola 2014, Vieno 2014). Mallinnuksen mukaan PFOA, PFBA ja PFHpA sitoutuvat selvästi PFOS:ia enemmän puhdistamolietteeseen.



Kuva 7.4.1. Mallinnettu perfluorattujen yhdisteiden käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

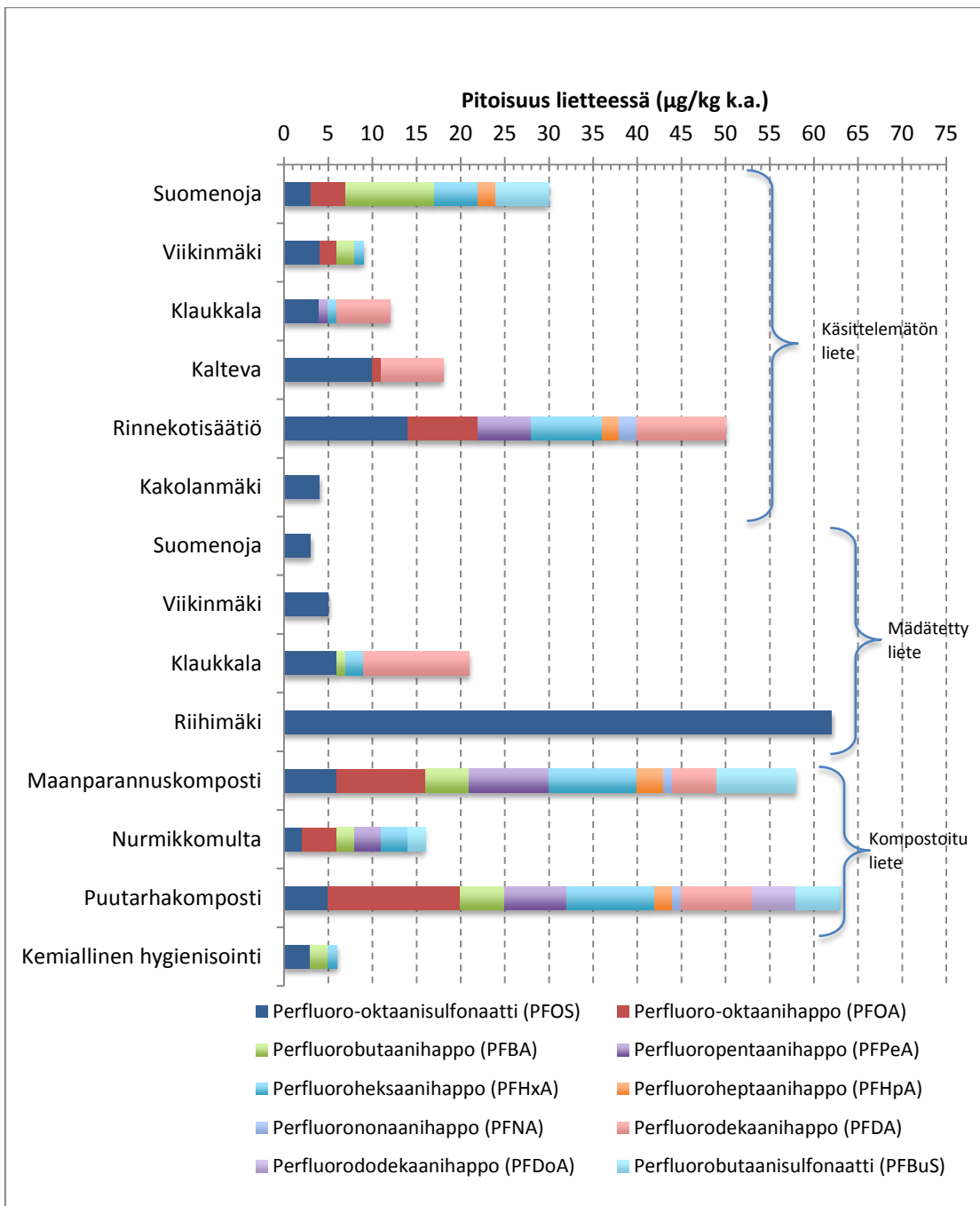
7.4.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden perfluorattujen yhdisteiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.4.1 ja kuvassa 7.4.2. PFC-aineista neljän (PFUnA, PFHxS, PFHpS ja PFDS) pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle määrittämissä rajojen. Perfluoro-oktaanisulfonaattia (PFOS) löydettiin ainoana tämän aineryhmän aineena kaikista lietenäytteistä. Sen pitoisuudet vaihtelivat suuresti ollen matalimmillaan 2 ja korkeimmillaan 62 µg/kg k.a. Määdätetyn lietteen keskimääräistä PFOS-pitoisuutta nosti yhden näytteen selvästi muita korkeampi tulos. Ilman tätä arvoa keskimääräinen PFOS-pitoisuus olisi ollut n. 5 µg/kg k.a., kun se korkein pitoisuusmittaus huomioon ottaen oli 19 µg/kg k.a. Muita PFC-yhdisteitä löydettiin yhdestä tai useammasta näytteestä. Kompostoiduista näytteistä löytyi suurin joukko erilaisia PFC-yhdisteitä. Kaikkien PFC-yhdisteiden summa oli määdätetyssä lietteessä keskimäärin samalla tasolla kuin käsittelemättömässä lietteessä. Kompostoidussa lietteessä PFC-yhdisteiden summa oli käsittelemättömään lietteeseen verrattuna yli kaksinkertainen. Kemiallisesti hygienisoidun lietteen PFC-yhdisteiden summa oli käsittelymenetelmien alhaisin.

Taulukko 7.4.1. Perfluorattujen yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on huomioitu määrittäysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	6,5	19	4,3	3,0
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)	2,7	<1	9,7	<1
Perfluorobutaanihappo (PFBA)	2,3	<1	4,0	2,0
Perfluoropentaanihappo (PFPeA)	1,5	<1	6,3	<1
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)	2,6	1,0	7,7	1,0
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)	1,0	<1	1,8	<1
Perfluorononaanihappo (PFNA)	<1	<1	<1	<1
Perfluorodekaanihappo (PFDA)	5,1	<5	5,2	<5
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)	<5	<5	<5	<5
Perfluorododekaanihappo (PFDoA)	<5	<5	5,0	<5
Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBS)	1,4	<1	5,3	<1
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHS)	<1	<1	<1	<1
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)	<1	<1	<1	<1
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)	<5	<5	<5	<5
PFC-yhdisteiden summa*	20,5	22,8	45,7	6

*summaa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet arvot on huomioitu nollana.



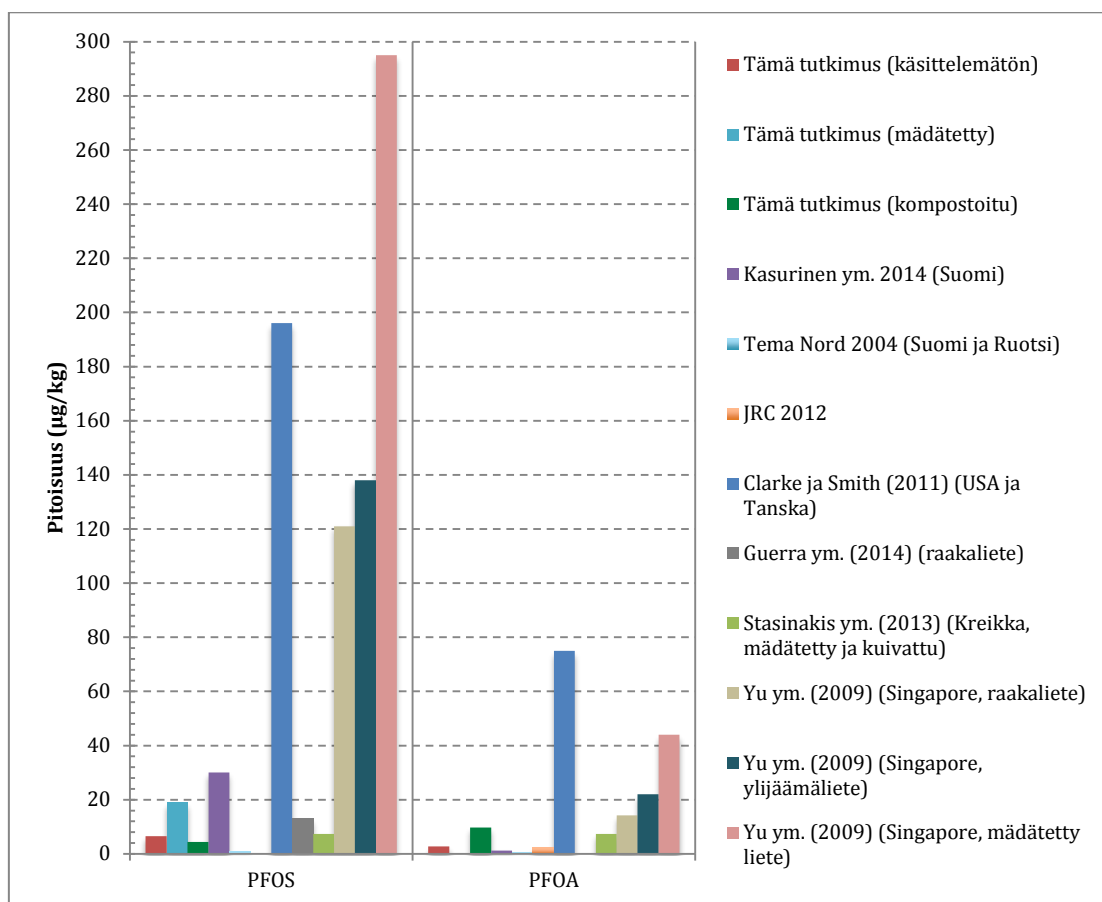
Kuva 7.4.2. Perfluorattujen yhdisteiden pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

7.4.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Perfluorattuja yhdisteitä ei analysoitu hajalietteistä.

7.4.5 Tulosten tarkastelu

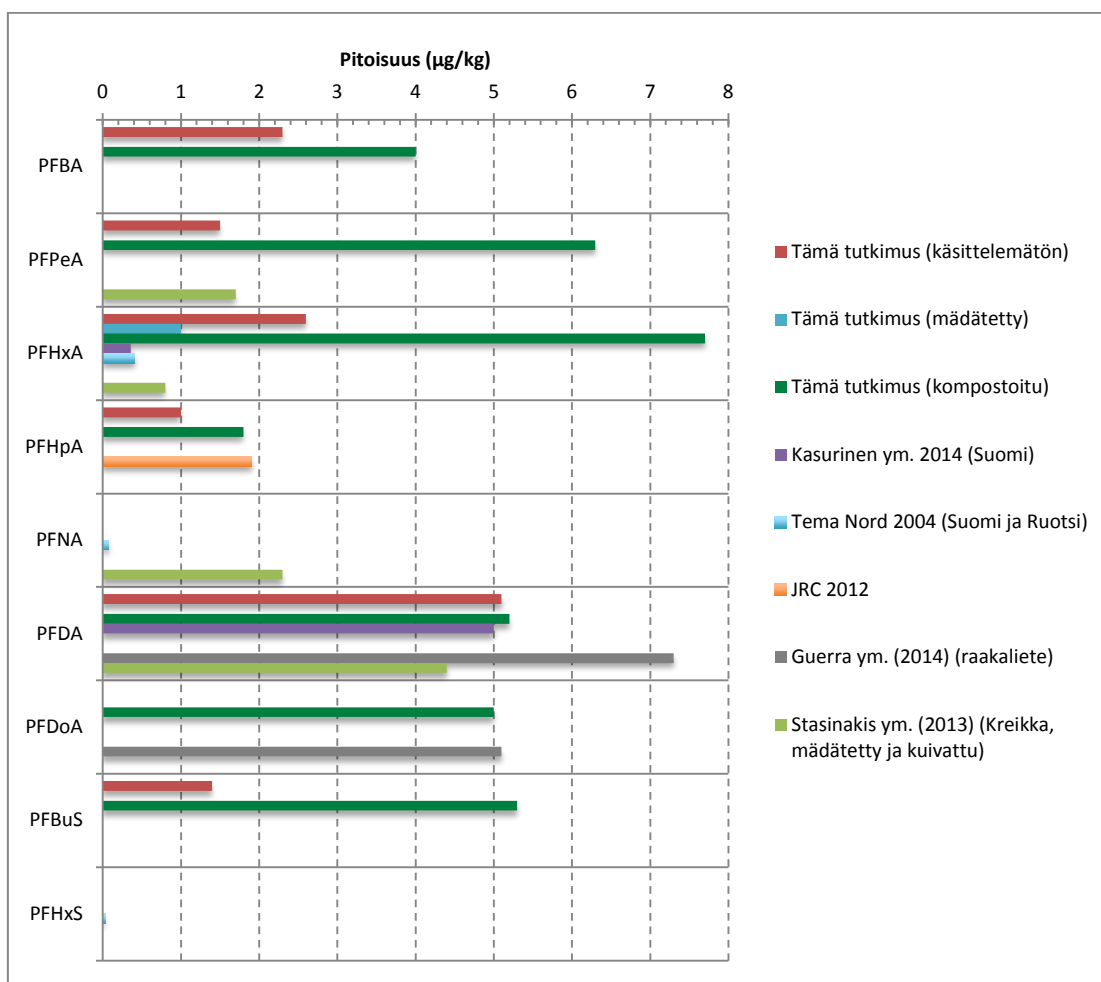
Useimmissa aiemmissa tutkimuksissa on määritetty vain PFOS:in ja PFOA:n pitoisuuksia lietteistä. Nämä kaksi ovat aineryhmän yleisimmät aineet ja niitä löytyy jätevedestä ja lietteestä suurimmissa pitoisuuksissa. Tässä tutkimuksessa mitatut lietteen keskimääräiset PFOS-pitoisuudet olivat alemmat kuin Kasurinen ym. (2014) on arvioinut keskimääräiseksi pitoisuudeksi lietteissä Suomessa (kuva 7.4.3). Toisaalta taas PFOA:n pitoisuudet olivat selvästi aiempaa arviota suuremmat. Yleisesti PFOS:in ja PFOA:n pitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa muissa tutkimuksissa mitattuja pitoisuuksia alhaisemmat tai samalla tasolla. Korkeimmat PFOS:in ja PFOA:n pitoisuudet lietteissä (> 3000 ja >200 µg/kg) on mitattu USA:ssa (Clarke ja Smith 2011). Näihin verrattuna tässä tutkimuksessa mitatut arvot ovat alhaisia.



Kuva 7.4.3. Tässä ja aiemmissa tutkimuksissa mitattuja PFOS:in ja PFOA:n keskimääräisiä pitoisuuksia lietteissä.

Muiden kuin PFOS:in ja PFOA:n pitoisuudet olivat liete- ja kompostinäytteissä osittain selvästi aiemmin raportoituja korkeampia (Kuva 7.4.4). Erityisen korkeita olivat kompostimassoista mitatut pitoisuudet. Aiempiin mittauksiin verrattuna erityisesti PFPeA:n ja PFHxA:n pitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa selvästi korkeammat. Ei ole varmaa miksi näiden PFC-aineiden pitoisuudet kompostimassoissa olivat näin korkeat. Toisaalta myös PFOA:n pitoisuus oli kompostimassoissa selvästi käsittämättömiä tai mädätettyjä näytteitä korkeampi. On mahdollista, että pidemmän hiili-fluori –ketjun omaavat aineet hajoavat lyhyempiketjuisiksi käsittelyn aikana. PFC-aineita ja erityisesti PFOA:a on mitattu myös sadevedestä (TemaNord 2004) eli tämä voi

olla yksi reitti aineiden päätymiseksi komposteihin. Lisäksi komposteissa on lietteen lisäksi apuaineita, joiden PFC-aineiden pitoisuudesta ei ole tietoa.



Kuva 7.4.4. Tässä ja aiemmissa tutkimuksissa mitattuja PFC-aineiden (muut kuin PFOS ja PFOA) keskimääräisiä pitoisuuksia lietteissä.

PFC-aineiden summapitoisuus tässä tutkimuksessa oli käsittelemättömässä, mädätetyssä ja kompostoidussa lietteessä keskimäärin 20,5; 22,8 ja 45,7 µg/kg k.a. Marttinen ym. (2014) mukaan biokaasulaitosten mädätysjäännösten PFC-aineiden pitoisuus oli keskimäärin 42,3 µg/kg k.a. vaihdelle välillä 0,97–168 µg/kg k.a. Tässä tutkimuksessa mädätetyn lietteen pitoisuudet olivat siis hieman Marttinen ym. (2014) raportoimia alhaisemmat.

Mädätetyissä lietteissä keskimääräinen PFOS-pitoisuus oli lähes kolminkertainen käsittelemättömiin lietteisiin verrattuna. Kompostoiduissa näytteissä pitoisuudet olivat taas alimmat mitatut. PFOS:in pitoisuuden lisääntymisestä mädätyksen aikana on raportoitu muissakin tutkimuksissa (Guerra ym. 2014, Yu ym. 2009). Pitoisuuden lisääntyminen saattaa johtua PFOS:in esiaseteiden hajoamisesta. On kuitenkin muistettava, että verrattaessa pitoisuuksia ei huomioida mädätyksessä tapahtuvaa kiintoaineen hajoamista ja täten lietteen kokonaismäärän pienenemistä.

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta perfluorattujen yhdisteiden pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

7.5 Palonestoaineet

7.5.1 Yleistä

Heksabromosyklododekaani (HBCD) on erilaisiin tuotteisiin lisättävä, paloa hidastava aine eli palonestoaine. Sitä käytetään erityisesti polystyreenistä valmistettujen lämmöneristeiden lisäaineena. Muita käyttökohteita ovat elektroniikkalaitteet, maalit, tekstiilit ja muovit. Kaupallinen seos sisältää pääosin kolmea tässä hankkeessa tutkittua HBCD-isomeeriä:

- α -HBCD
- β -HBCD
- γ -HBCD

Jätevedenpuhdistamolle HBCD:tä päätyy ainetta käyttävän teollisuuden (esim. elektroniikka- ja eristeteollisuus) sekä hulevesien mukana. On todennäköistä, että tulevaisuudessa rakennusten purkutyöt aiheuttavat HBCD-päästöjä, sillä sen käyttö eristeenä alkoi 1980-luvulla ja näitä rakennuksia ei vielä ole purettu. Myös palosuojattujen tekstiilien pesu voi olla lähde jätevedenpuhdistamoille. HBCD on Tukholman sopimuksella luokiteltu pysyväksi orgaaniseksi yhdisteeksi eli POP-aineeksi. Se on lisäksi EU:n prioriteettiainelistalla yksilöity vaaralliseksi aineeksi (2013/39/EU).

Tetrabromibisfenoli-A on nykyään HBCD:n lisäksi yksi käytetyimmistä palonestoaineista Suomessa (Ahlgren 2012). Se on bisfenoli-A:n bromia sisältävä johdannainen. Sen on arveltu olevan hormonihäiritsijä (EEA 2012). Jätevedenpuhdistamoille se voi päätyä teollisuuden jäteveissä (esim. piirilevyteollisuus käyttää TBBPA:ta) tai hulevesien mukana.

7.5.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

TOXCHEM-mallinnuksen mukaan HBCD:stä 99,5 % ja TBBPA:sta 83 % sitoutuu puhdistamolietteeseen (Kuva 7.5.1). Jätevedenpuhdistamoiden näytteistä on HBCD:a kuitenkin yleisesti löydetty myös lähtevistä jätevesistä (Vieno ym. 2014), joten malli yliarvio lietteeseen sitoutumisen osuutta. Kumpikaan aineista ei kuitenkaan juuri biohajoa puhdistamolla. Brenner ym. (2006) eivät kokeissaan havainneet TBBPA:n biohajoavan hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa lähes vuoden kestäneessä aktiivilieteprosessin koeajossa.



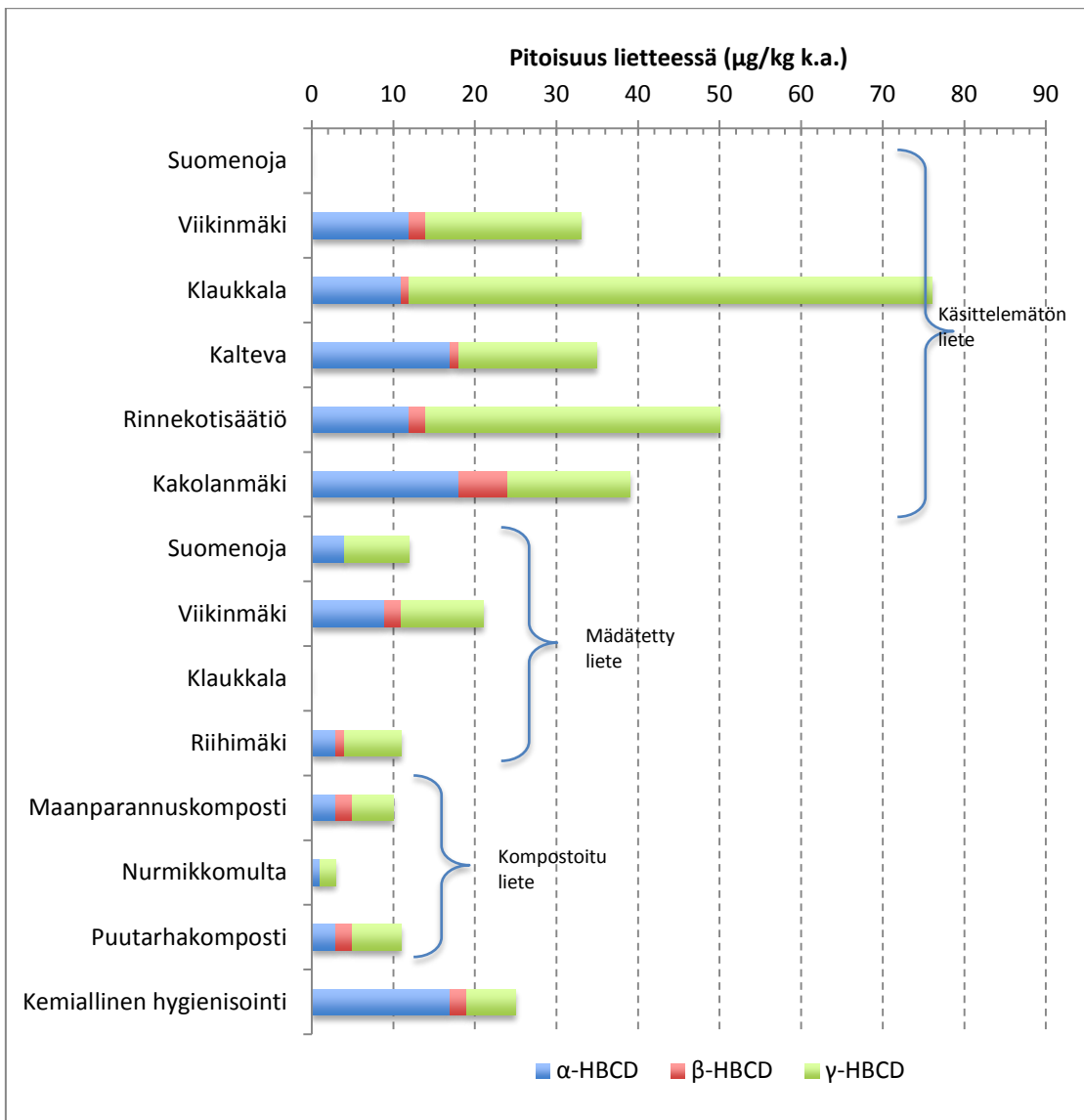
Kuva 7.5.1. Mallinnettu palonestoaineiden käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

7.5.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden palonestoaineiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.5.1 ja kuvissa 7.5.2 ja 7.5.3. Heksabromosyklododekaanin (HBCD) kolmen diastereoisomeerin summaparametri oli korkeimmillaan käsittelemättömissä lietteissä. Korkein mitattu summapitoisuus oli 76 µg/kg k.a. Diastereoisomeerien pitoisuusjärjestys suurimmassa osassa näytteitä oli: γ -HBCD > α -HBCD > β -HBCD. HBCD:n keskimääräiset pitoisuudet olivat selvästi eri tavoin käsitellyissä lietteissä käsittelemättömiä lietteitä matalampia.

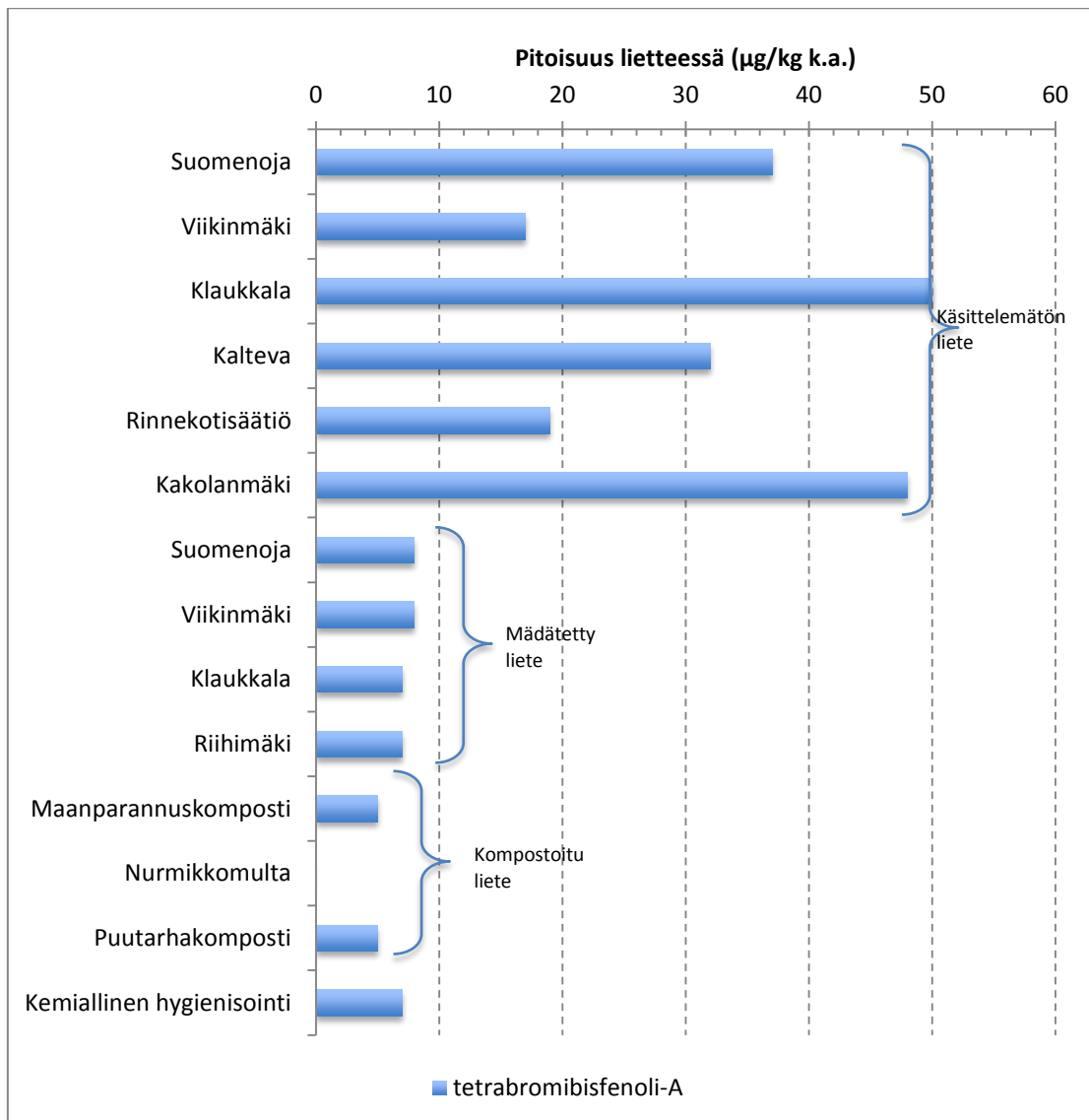
Taulukko 7.5.1. Palonestoaineiden keskimääräiset pitoisuudet (µg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määritysrajan olleet tulokset on huomioitu määritysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
α -HBCD	13	7,1	2,3	17
β -HBCD	2,4	2,1	1,5	2,0
γ -HBCD	26	8,8	4,3	6,0
<i>summa HBCD</i>	42	19	8,3	25
tetrabromibisfenoli-A	34	7,5	3,8	7,0



Kuva 7.5.2. HBCD-aineiden pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

Tetrabromibisfenoli-A:n korkeimmat pitoisuudet mitattiin käsittelemättömissä lietteissä (kuva 7.5.3). Korkein aineen pitoisuus oli 50 µg/kg k.a. Aineen keskimääräiset pitoisuudet olivat selvästi eri tavoin käsitellyissä lietteissä käsittelemättömiä lietteitä matalampia.



Kuva 7.5.3. Tetrabromibisfenoli-A:n pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolieteissä.

7.5.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Palonestoaineita ei analysoitu hajalietteistä.

7.5.5 Tulosten tarkastelu

Suomesta löytyi vain yksittäisiä mittauksia HBCD:n pitoisuuksista lietteissä. Mehtonen ym. (2012) raportoimat pitoisuudet olivat α -HBCD 16–82 $\mu\text{g}/\text{kg}$, β -HBCD 59–183 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ja γ -HBCD 6–27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a. (Mehtonen ym. 2012). Erityisesti β -HBCD:n pitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa selvästi Mehtonen ym. (2012) raportoimia alhaisemmat. Tässä tutkimuksessa isomeerien summat olivat keskimäärin 42, 19 ja 8,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a. käsittelemättömissä, mädätetyissä ja kompostoiduissa lietteissä. Korkein mitattu summaparametrin arvo oli 76 $\mu\text{g}/\text{kg}$ k.a. Mehtonen ym. (2012) mukaan lietenäytteiden HBCD-isomeerien summa vaihteli välillä 100,1 – 309,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$

k.a. eli pitoisuudet olivat selvästi tätä tutkimusta korkeammat. Marttinen ym. (2014) mukaan biokaasulaitosten mädätysjäännöksissä HBCD:n pitoisuus oli aina alle määritysrajan. Määritysraja oli kuitenkin 1000 µg/kg k.a. eli selvästi aineiden normaalia pitoisuustasoa nähden liian korkea.

TBBPA:n pitoisuudet tässä tutkimuksessa olivat samalla tasolla tai alemmat kuin aiemmin muissa maissa mitatut pitoisuudet (taulukko 7.5.2). Suomesta löydettiin vain biokaasulaitosten mädätysjäännösten mittaustuloksia (Marttinen ym. 2014). Tässä tutkimuksessa mädätettyjen lietteiden TBBPA-pitoisuudet olivat aina < 10 µg/kg k.a. eli jonkin verran Marttinen ym. (2014) raportoimia arvoja pienempiä.

Taulukko 7.5.2. TBBPA:n pitoisuudet lietteissä tässä tutkimuksessa sekä kirjallisuustutkimuksissa.

Näyte	TBBPA-pitoisuus (µg/kg k.a.)	Lähde
Käsitlemätön liete	17 – 48	Tämä tutkimus
Mädätetty liete	7 – 8	Tämä tutkimus
Kompostoitu liete	< 3 – 5	Tämä tutkimus
Suomi (biokaasulaitosten mädätysjäännös)	0,7 – 62	Marttinen ym. (2014)
Alankomaat (käsitelty liete)	2–600	Mannio ym. 2008
UK (käsitelty liete)	15,9 – 112	Mannio ym. 2008
Irlanti (käsitelty liete)	<2,4 – 192	Mannio ym. 2008
Ruotsi (1997–1998)	2,9 – 76	Gorga ym. 2013
Ruotsi (1999–2000)	<mr – 220	Gorga ym. 2013
Espanja (2013)	472	Gorga ym. 2013
Espanja (2008)	<mr – 1329	Gorga ym. 2013
Kanada	300	Gorga ym. 2013
Saksa	0,6 – 62	Gorga ym. 2013

Sekä HBCD:n että TBBPA:n pitoisuudet olivat mädätetyissä lietteissä käsittelemättömiä lietteitä alemmat. TBBPA:n ja HBCD:n on aiemmin todettu olevan melko nopeasti biohajoavia lietteen mädätyksessä (Stasinakis 2012). Kompostoinnin vaikutuksesta ei löydetty kirjallisuustietoa. Tässä tutkimuksessa aineiden pitoisuudet pienuivat kompostoinnin aikana jonkin verran, mutta suhteessa kuitenkin mädätystä vähemmän.

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta palonestoaineiden pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

7.6 Triklosaani

7.6.1 Yleistä

Triklosaani on antibakteerinen aine, jota käytetään muun muassa saippuoissa, voiteissa, hammastahnoissa, ja deodoranteissa. Kirjallisuudesta löytyy myös tietoa käytöstä muovisissa leikkuulaudoissa, urheiluvälineissä, tekstiileissä, kengissä ja huonekaluissa (Bedoux ym. 2012). Triklosaanin käyttöä kosmetiikan lisäaineena on EU:ssa ja muualla maailmassa rajoitettu voimakkaasti. Jätevedenpuhdistamoille aine päätyy sitä sisältävien tuotteiden käytön seurauksena.

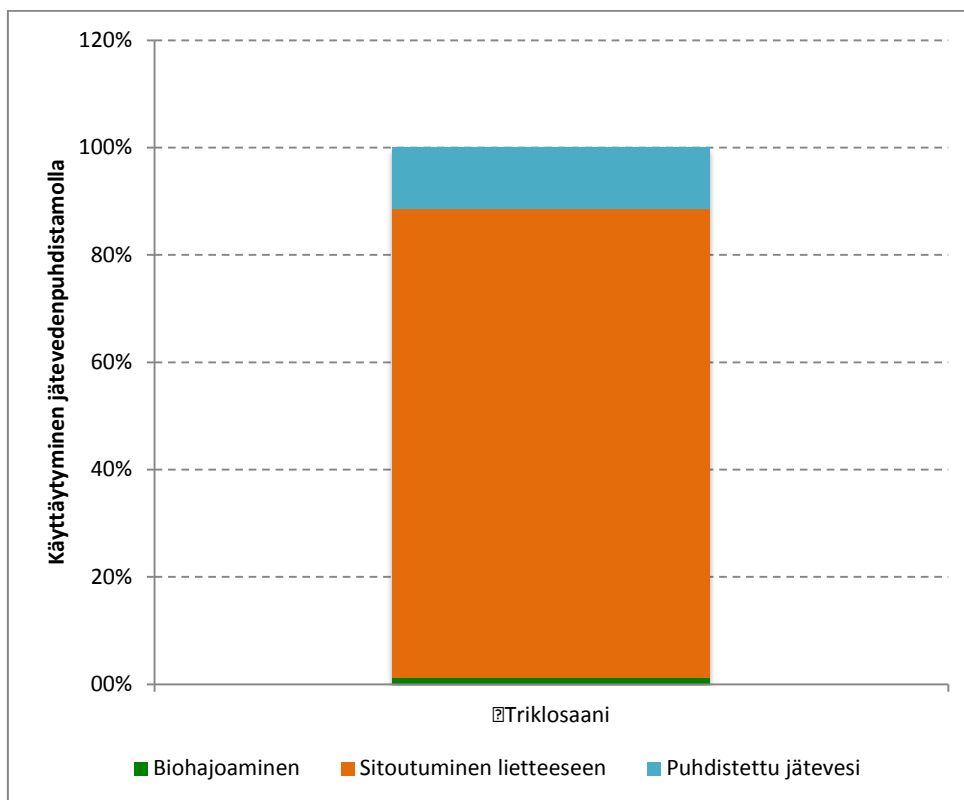
Triklosaani on hydrofobinen yhdiste ja voi kertyä rasvakudokseen (Bedoux ym. 2012). Aine on akuutisti ja kroonisesti toksinen ympäristön eliöille jo erittäin pienissä pitoisuuksissa. Levät näyttäisivät olevan herkimpiä triklosaanille ja havaittuja akuutteja vaikutuksia on tehty jo 120 ng/l pitoisuudessa (Bedoux ym. 2012). Biokertyvyyden vuoksi olisi kuitenkin tärkeää tietää enemmän aineen kroonisista vaikutuksista. Toksisuuden lisäksi on arvioitu, että triklosaani vaikuttaisi resistenttien bakteerikantojen syntymiseen. Vesistössä triklosaani valohajoaa dioksiiniksi (2,8-diklooridibentso-*p*-dioksiiniksi eli 2,8-DCDD) ja kloorifenoleiksi (Aranami ja Readman 2007, Bedoux ym. 2012). Myös kloorauksessa on todettu syntyvän dioksiinien esiasteita (Bedoux ym. 2012).

7.6.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

Triklosaanin on todettu hajoavan biologisesti jätevedenpuhdistamon aerobisissa olosuhteissa (Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2013, Lozano ym. 2013, Chen ym. 2011, Hernández Leal ym. 2010, Onesios ym. 2009, Bester ym. 2003). OECD:n biohajoavuustestin mukaan triklosaanin puoliintumisaika hapellisissa olosuhteissa on 1,8 päivää (Stasinakis ym. 2007) Anaerobisissa ja anoksisissa olosuhteissa hajoaminen on hitaampaa (Chen ym. 2011, Hernández Leal ym. 2010). Triklosaanin hajotessa syntyy metyyliatriklosaania, joka on vielä triklosaaniakin voimakkaammin biokertyvä yhdiste ja on ympäristössä myös pysyvämpi (Bedoux ym. 2012). Chen ym. (2011) mukaan jätevedenpuhdistamon aerobisissa olosuhteissa metyyliatriklosaania syntyi n. 1 % triklosaanin määrästä jätevedessä. Anaerobisissa tai anoksisissa olosuhteissa metyyliatriklosaania syntyi vähemmän.

Triklosaani sitoutuu jätevedenpuhdistamolla osin lietteeseen (Bedoux ym. 2012, Bester ym. 2003, Stasinakis ym. 2013). Suurin osa triklosaanista on todettu sitoutuvan raakalietteeseen ja vain pieni osa ylijäämalietteeseen (Stasinakis 2013, Lozano ym. 2013). Lozanon ym. (2013) mukaan USA:ssa sijaitsevalta puhdistamolta arvioitiin triklosaanin poistuvan lietteessä 5,37 kg/d ja 0,24 kg/d puhdistetun jäteveden mukana. Lietteeseen sitoutuneen triklosaanin määrä vaihtelee suuresti kirjallisuustutkimuksissa. Samaras ym. (2013) mukaan 11 – 41 % triklosaanista sitoutuu lietteeseen, kun taas Lozano ym. (2013) raportoi 64 % triklosaanista sitoutuvan lietteeseen. TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 7.6.1) triklosaani hajoaa puhdistamolla vain hieman ja suurin osa aineesta sitoutuisi lietteeseen. Malli saattaa yliarvioida lietteeseen

sitoutuneen triklosaanin määrää tai sitten lietteeseen sitoutunut triklosaani voi puhdistamalla edelleen biohajota.



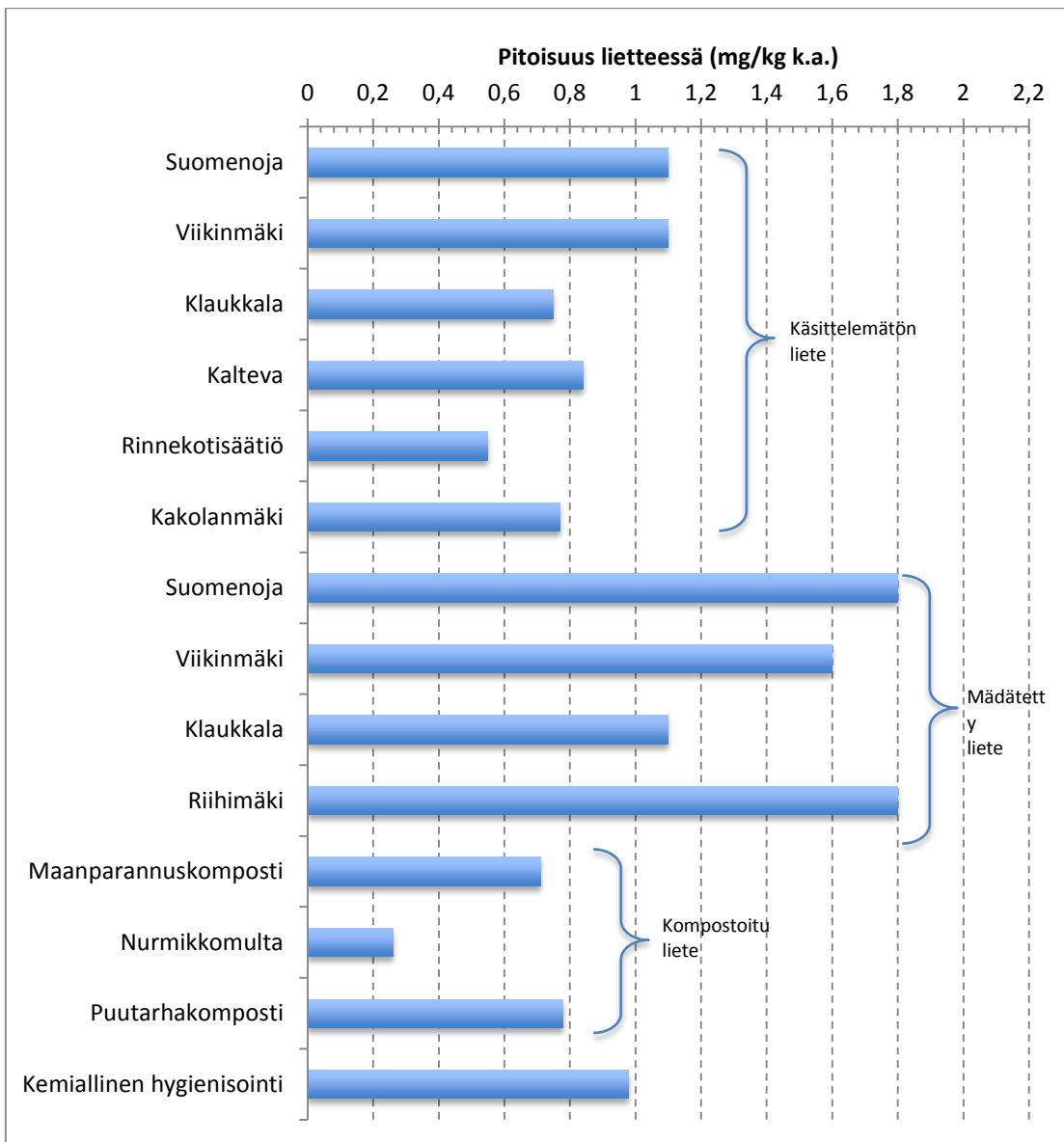
Kuva 7.6.1. Mallinnettu triklosaanin käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

7.6.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden triklosaanipitoisuudet on esitetty taulukossa 7.6.1 ja kuvassa 7.6.2. Triklosaania löytyi kaikista analysoiduista lietenäytteistä. Sen pitoisuus oli alimmillaan 0,26 ja korkeimmillaan 1,8 mg/kg k.a. Mädätetyssä lietteessä triklosaanin keskimääräinen pitoisuus oli lähes kaksinkertainen käsittelemättömään lietteeseen verrattuna. Kompostoidussa lietteessä pitoisuudet olivat jonkin verran käsittelemättömää lietettä alhaisemmat. Kemiallisesti hygienisoitun lietteen triklosaanipitoisuus oli samalla tasolla käsittelemättömien lietteiden kanssa.

Taulukko 7.6.1. Triklosaanin keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
Triklosaani	0,85	1,58	0,58	0,98

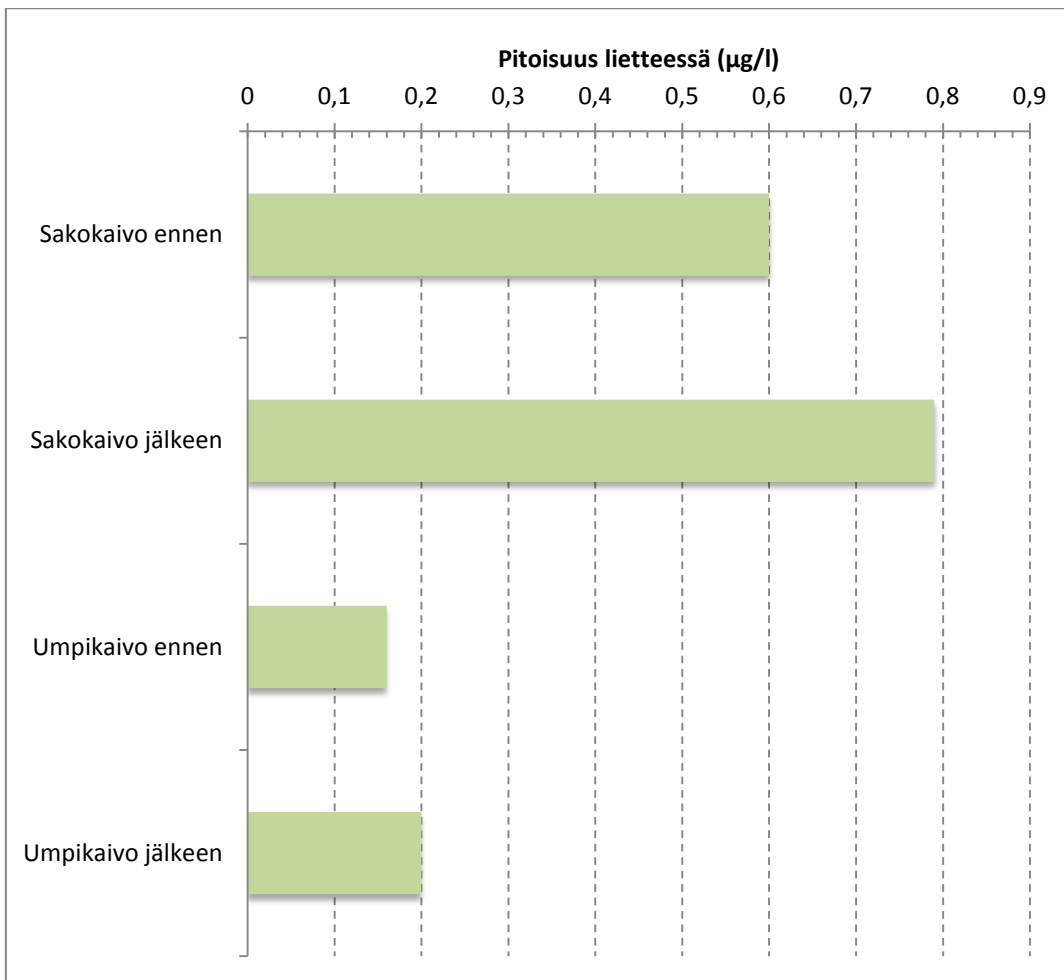


Kuva 7.6.2. Triklosaanin pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteisä.

7.6.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Hajalietteiden triklosaanipitoisuudet on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.6.3. yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysoimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivoista koottujen näytteiden triklosaanipitoisuus oli noin neljäsosa sakokaivoista koottujen näytteiden pitoisuudesta. Kalkkistabiloinnin jälkeen triklosaanin pitoisuus oli alkuperäistä hieman korkeampi. Pitoisuuden kasvu oli 25 – 30 %.



Kuva 7.6.3. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden triklosaanipitoisuudet.

7.6.5 Tulosten tarkastelu

Puhdistamolietteet

Aiempiä lietteestä mitattuja triklosaanipitoisuuksia löydettiin Suomesta vuonna 2007 julkaisusta TemaNordin raportista. Tässä tutkimuksessa mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin aiempien mittauksia korkeampia (Taulukko 7.6.2). Verrattuna muihin maihin pitoisuudet ovat samalla tasolla. USA:ssa on mitattu suurimmat triklosaanipitoisuudet (> 12 mg/kg).

Taulukko 7.6.2. Triklosaanin pitoisuudet lietteissä tässä tutkimuksessa sekä kirjallisuustutkimuksissa.

Näyte	Triklosaanin pitoisuus, µg/kg k.a.	Lähde
Käsitlemätön liete	0,55 – 1,1	Tämä tutkimus
Mädätetty liete	1,1 – 1,8	Tämä tutkimus
Kompostoitu liete	0,26 – 0,78	Tämä tutkimus
Suomi	<0,005 – 0,61	Tema Nord 2007
Ruotsi	5,3	TemaNord 2012
Useita maita* (keskiarvopitoisuudet)	0,09 – 0,62	Clarke ja Smith (2011)
USA	0,15 – 12,6	Bedoux ym. 2012
Eurooppa	0,46 – 1,49	Bedoux ym. 2012
Kreikka (mädätetty ja kuivattu)	0,62 – 2,65	Stasinakis ym. 2013

*USA, Saksa, Espanja, Kanada, Itävalta, Australia, Kreikka

Triklosaanin pitoisuudet olivat mädätetyissä näytteissä selvästi käsitlemättömiä lietenäytteitä korkeampia. Kirjallisuudesta ei löydetty vastaavaa tapausta. Samaras ym. (2013) mukaan triklosaanin pitoisuus väheni mädätyksen aikana yli 20 %. Bedoux ym. (2012) triklosaani ei hajonnut hapettomissa olosuhteissa maaperässä. La Guardia ym. (2004) tutkimuksessa mädätyksellä ei ollut vaikutusta triklosaanin pitoisuuteen. On mahdollista, että triklosaanin ollessa mädätyksessä stabiili, pitoisuus kohoaa, sillä kiintoaines hajoaa ja täten lietteen kokonaismäärä pienentyy. Kangas ym. (2011) mukaan mädätyksessä hajonnut kiintoaine on usein 20–50 % syötetyn lietteen kiintoainemäärästä. Kompostoiduissa lietteissä triklosaanin pitoisuudet olivat mädätettyjä alhaisemmat. Triklosaani on biohajoava hapellisissa olosuhteissa, joten kompostoinnin aikana se voi hajota. Toisaalta La Guardia ym. (2004) tutkimuksessa kompostoinnilla ei ollut vaikutusta triklosaanin pitoisuuteen.

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta triklosaanin pitoisuuteen ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Hajalietteiden triklosaanipitoisuuksista ei löydetty aiempien mittaustuloksia Suomesta. USA:ssa asuinalueiden sakokaivoissa mitatuista triklosaanin pitoisuus oli keskimäärin 0,83 µg/l ja maksimissaan 9,3 µg/l (Conn ym. 2006). Tässä tutkimuksessa mitatut pitoisuudet ovat siis keskimäärin samaa tasoa kuin USA:ssa mitatut. Kanadassa sakokaivosta lähtevästä vedestä on mitattu triklosaanin pitoisuuden olevan korkeimmillaan 0,07 µg/l (Carrara ym. 2008). On siis mahdollista, että triklosaanista suurin osa jää sakokaivoihin, sillä mitattu pitoisuus on selvästi itse sakokaivovedestä mitattuja arvoja pienempi. Alankomaissa triklosaania mitattu harmaissa jätevesissä keskimäärin pitoisuudessa 15,6 µg/l vaihdellen välillä 6,3 – 36 µg/l (Hernández Leal ym. 2010). Pitoisuudet ovat selvästi tässä tutkimuksessa mitattuja korkeampia. Kunnallisilla puhdistamoilla Suomessa on tulevassa jätevedessä mitattu keskimäärin 0,067 µg/l ja korkeimmillaan 0,23 µg/l triklosaanipitoisuuksia (Vieno 2014). Erityisesti sakokaivolietteissä pitoisuudet ovat huomattavan paljon korkeammat. Asumajätevedet lienevät siis merkittävä triklosaanin lähde jätevedessä.

Kalkkistabiloinnin jälkeen triklosaanin pitoisuus oli hieman kohonnut, mutta se saattaa johtua myös analyysimenetelmän virhemarginaalista. Lozano ym. (2013) ja La Guradia ym. (2004) mukaan kalkkistabilointi ei vaikuttanut triklosaanin pitoisuuteen. Tulokset ovat yhteneviä tämän tutkimuksen tulosten kanssa.

7.7 Bisfenoli-A

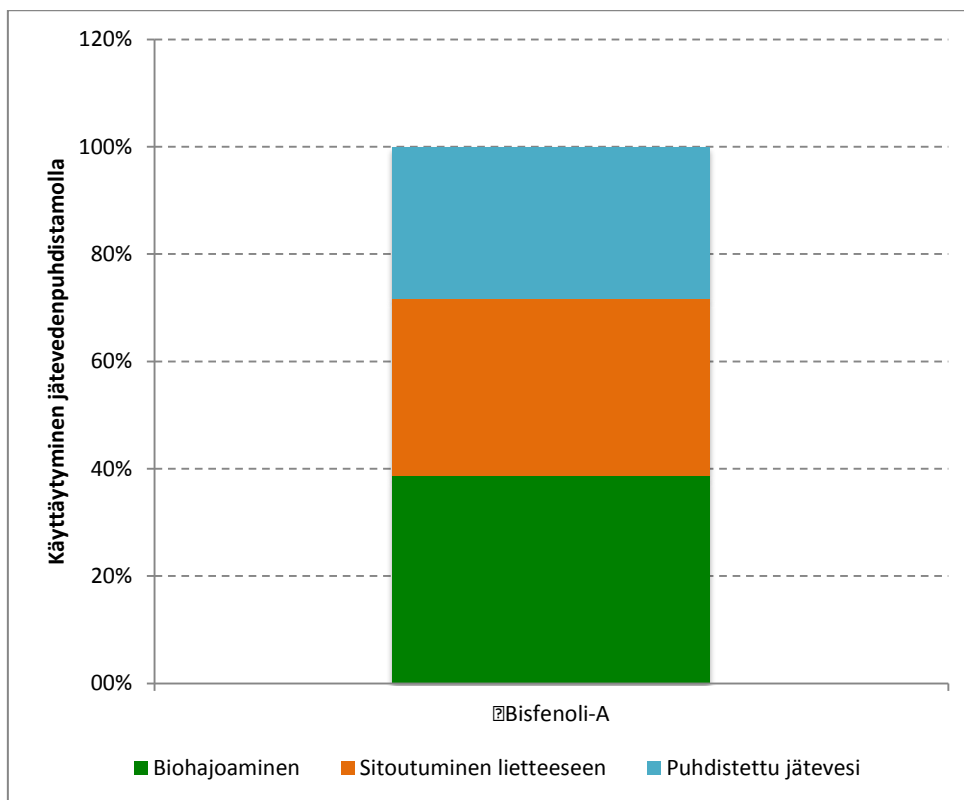
7.7.1 Yleistä

Bisfenoli-A on fenolinen yhdiste, jota käytetään erityisesti polykarbonaatin ja hartsien valmistuksessa. Polykarbonaatista valmistetaan astioita esimerkiksi ruuan säilytykseen. Bisfenoli-A:ta voi irrota sitä sisältävistä astioista. Tämän vuoksi EU on vuonna 2011 kieltänyt bisfenoli-A:n käytön tuttipulloissa (2011/8/EU). Suomessa bisfenoli-A:ta käytetään pääasiassa lämpöherkän paperin pinnoituksessa. Jätevedenpuhdistamoille bisfenoli-A:ta voi päätyä teollisuuden jätevesien mukana tai kotitalouksista esimerkiksi astioiden pesun kautta. Bisfenoli-A:ta voi myös irrota vesi- ja viemäriputkien saneerauksessa käytetyistä pinnoitteista. Koska ihmiset altistuvat bisfenoli-A:lle esimerkiksi ruuan kautta, esiintyy sitä myös pienessä määrin virtsassa ja ulosteessa (EFSA 2015). Bisfenoli-A:n on todettu olevan estrogeeninkaltainen aine ja häiritsevän eliöiden normaalia hormonitoimintaa (EEA 2012).

7.7.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

Bisfenoli-A on biohajoava, mutta sen on todettu puhdistamolla sitoutuvan myös lietteeseen (Luo ym. 2014, Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2013). Sitoutuminen raakalietteeseen on todettu olevan ylijäämälietettä suurempaa (Stasinakis ym. 2013). Toisaalta ilmastetussa hiekanerotuksessa aineen pitoisuus voi jopa nousta, koska se irtoaa käsittelyn aikana kiintoaineesta (Luo ym. 2014). On myös arvioitu, että bisfenoli-A sitoutuisi voimakkaammin nitri-fioivaan lietteeseen, sillä suurempi osa aineesta on todettu kiinnittyvän kiinteään aineeseen, kun biologisen prosessin lieteikä on ollut > 10 – 18 päivää (Luo ym. 2014, Banihashemi ja Dros-te 2014). Lietteeseen sitoutuneen bisfenoli-A:n osuus aineen kuormasta on tutkimuksissa vaihdellut suuresti. Samaras ym. (2013) mukaan 1 – 11 % aineesta sitoutuu lietteeseen, kun taas Stasinakis ym. (2013) mukaan 45 % aineesta päätyy lietteeseen. Ero saattaa johtua siitä, että bisfenoli-A:n adsorptio lietteeseen riippuu aineen liukoisesta pitoisuudesta (Clara ym. 2004). Mitä suurempi on aineen liukoinen pitoisuus sitä vähemmän ainetta sitoutuu lietteeseen. Lisäksi pH vaikuttaa aineen adsorptioon. Sitoutuminen on suurinta pH-alueella 7–9, kun taas tätä suuremmissa pitoisuuksissa aine irtoaa lietteestä (Clara ym. 2004).

TOXCHEM-mallinnuksen mukaan (kuva 7.7.1) vajaa 40 % bisfenoli-A:sta biohajoaa, n. 30 % sitoutuu lietteeseen ja 30 % päätyy puhdistettuun jäteveteen.



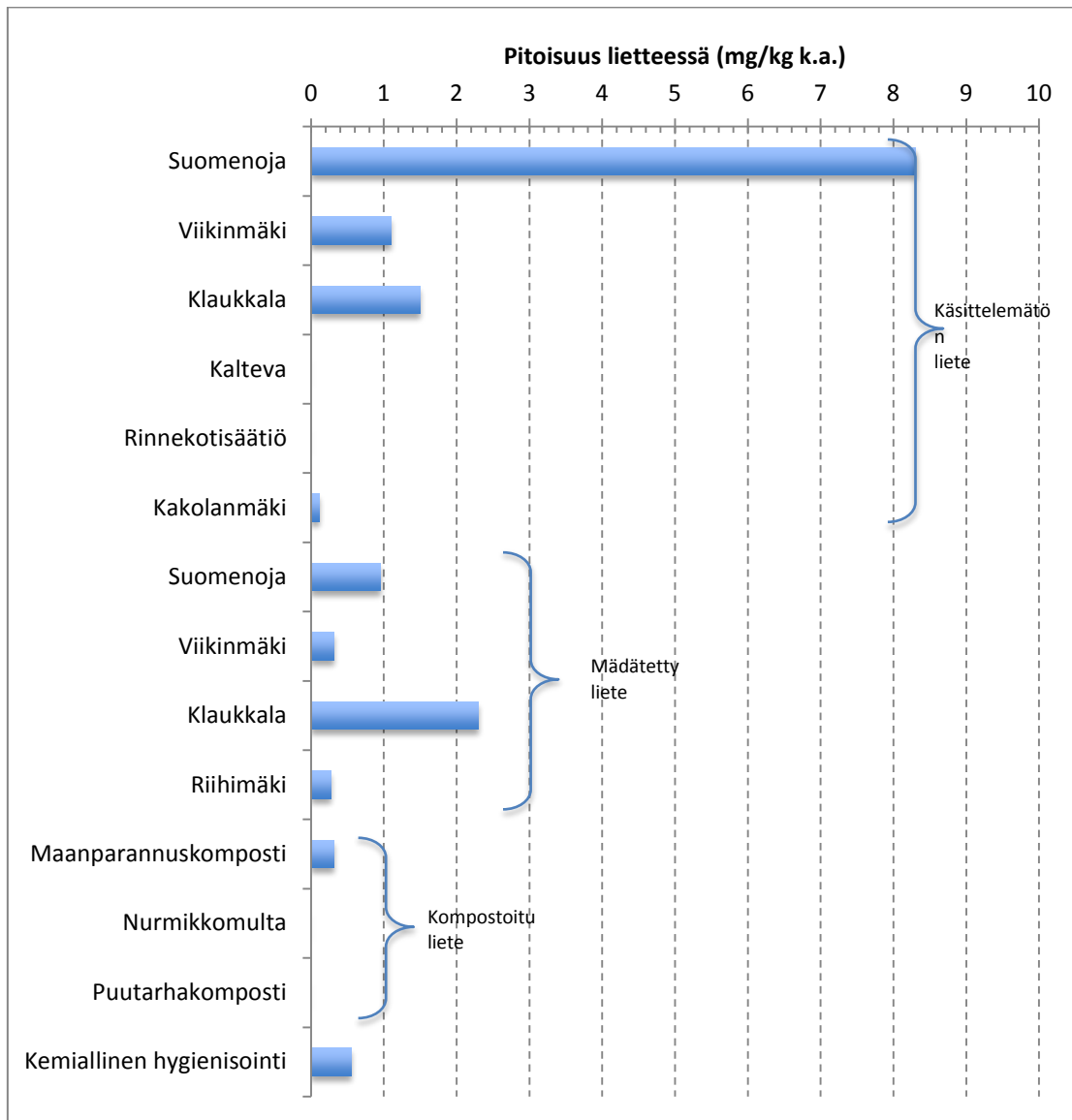
Kuva 7.7.1. Mallinnettu bisfenoli-A:n käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos).

7.7.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden bisfenoli-A:n pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.7.1 ja kuvassa 7.7.2. Analysoiduissa lietenäytteissä aineen pitoisuudet vaihtelivat suuresti. Neljässä näytteessä pitoisuus oli alle määritysrajan 0,2 mg/kg k.a. Korkein mitattu pitoisuus oli 8,3 mg/kg k.a. Tämä nosti osaltaan myös käsittelemättömän lietteen keskimääräisen pitoisuuden arvoa. Ilman tätä arvoa keskimääräinen pitoisuus olisi ollut 0,57 mg/kg k.a. Bisfenoli-A:ta esiintyi tasaisesti samoissa pitoisuustasoissa käsittelemättömissä ja mädätyksellä käsitellyissä lietteissä. Kompostoinnin jälkeen pitoisuudet olivat selvästi alentuneet.

Taulukko 7.7.1. Bisfenoli-A:n keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määritysrajan olleet tulokset on huomioitu määritysrajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
Bisfenoli-A	1,86	0,96	0,17	0,55

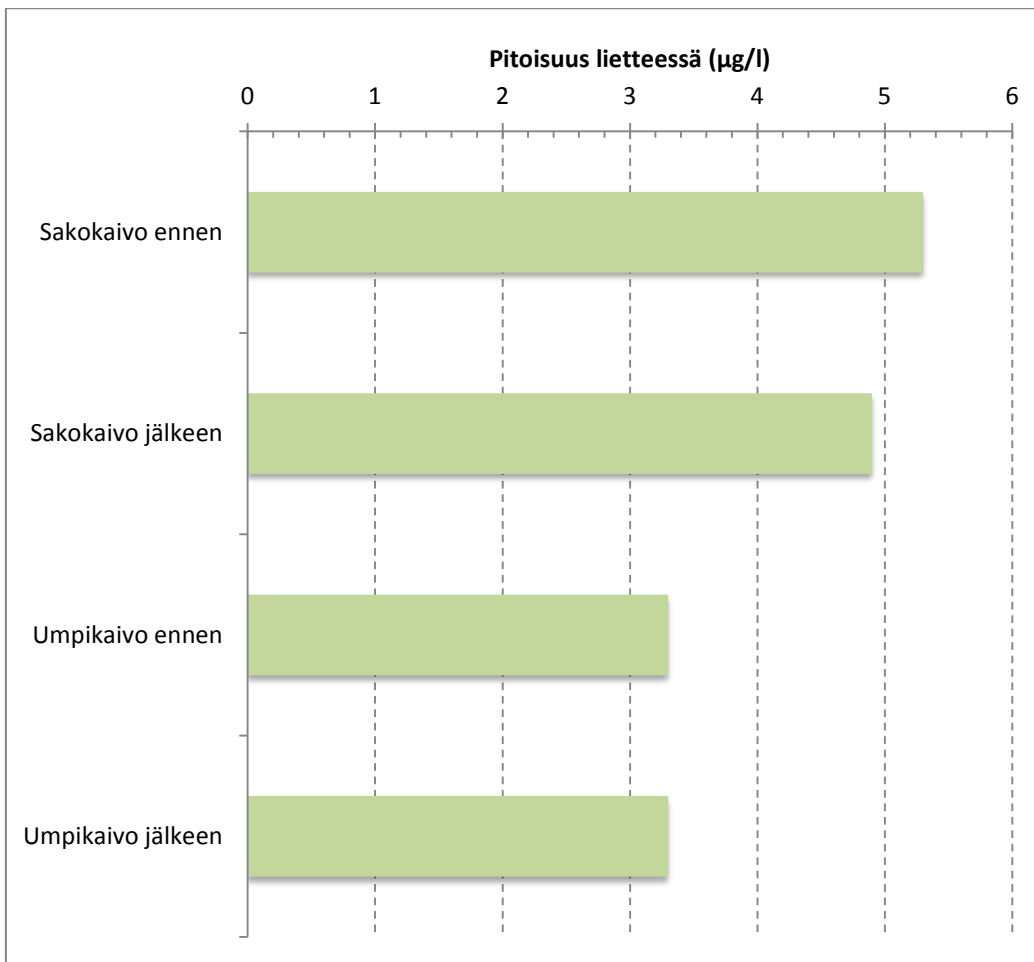


Kuva 7.7.2. Bisfenoli-A:n pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

7.7.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Hajalietteiden bisfenoli A:n pitoisuus on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.7.3. yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysoimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivoista koottujen näytteiden keskimääräinen bisfenoli A:n pitoisuus oli hieman sakokaivoista kerättyjen näytteiden pitoisuutta alaisempi. Kalkkistabilointi ei vaikuttanut kummankaan näyteveden kohdalla merkittävästi bisfenoli-A:n pitoisuuksiin.



Kuva 7.7.3. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden bisfenoli-A:n pitoisuudet.

7.7.5 Tulosten tarkastelu

Puhdistamolietteet

Kasurinen ym. (2014) mukaan bisfenoli-A:n arvioitu keskimääräinen pitoisuus lietteessä on Suomessa 1,7 mg/kg k.a. Arvio on samansuuntainen tässä tutkimuksessa mitattujen arvojen kanssa. Clarke ja Smith (2011) raportoivat Saksassa, Itävallassa, Kreikassa ja Kiinassa tehtyjen mittausten antaneet bisfenoli-A:n pitoisuuksiksi lietteissä keskimäärin 0,03 – 0,62 mg/kg. Nämä ovat jonkin verran alempia kuin tässä tutkimuksessa mitatut keskimääräiset arvot. Kreikassa on mitattu bisfenoli-A:n pitoisuuksiksi mädätetyssä ja kuivatussa lietteessä keskimäärin pitoisuudessa 1,6 mg/kg vaihdellen välillä 0,48 – 3,34 mg/kg k.a. Tulokset ovat samansuuntaisia tämän tutkimuksen kanssa.

Mädätetyissä lietenäytteissä bisfenoli-A:n keskimääräinen pitoisuus oli käsittelemättömiä lietteitä alhaisempi. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu bisfenoli-A:n poistuvan mädätyksessä 35 % (Samaras ym. 2013). Aineen on todettu hajoavan hitaammin hapettomissa kuin hapellisissa olosuhteissa (Hernández Leal ym. 2010). Tutkimusten mukaan aine ei kuitenkaan välttä-

mättä mädätyksen aikana edes biohajoa vaan se irtoaa lietteestä vesifaasiin (Citulski ja Farahbakhsh 2010). Lietteiden kuivauksessa sen on kuitenkin todettu sitoutuvan takaisin lietteeseen.

Kompostimassoista otetuissa näytteissä bisfenoli-A:n pitoisuudet olivat alhaiset. Bisfenoli-A:n on todettu olevan biohajoava hapellisissa olosuhteissa, joten sen voidaan olettaa hajoavan kompostoinnin aikana ainakin osittain (Ávila ym. 2013, Hernández Leal ym. 2010). Toisaalta on myös mahdollista, että aine irtoaa kiinteästä aineesta ja päätyy kompostin rejektiveteen samalla tapaa kuin mädätyksessä.

Lietteiden happokäsittelyn vaikutuksesta bisfenoli-A:n pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Suomesta ei löydetty aiempia tuloksia kiinteistökohtaisista sako- tai umpikaivoista mitatuista bisfenoli-A:n pitoisuuksista. Kunnallisten puhdistamoiden tulevissa jätevesissä bisfenoli-A:n pitoisuudet ovat vaihdelleen välillä 2,5 – 9 µg/l ollen keskimäärin 5,9 µg/l. Keskimääräinen pitoisuus on samalla tasolla kuin sakokaivonäytteestä mitattu bisfenoli-A:n pitoisuus. Kotitaloudet lienevät merkittävä bisfenoli-A:n lähde myös kunnallisilla puhdistamoilla.

USA:ssa on mitattu bisfenoli-A:n sakokaivopitoisuuksien olleen välillä 0,11 – 1,7 µg/l (Rudel ym. 1998) eli alempia kuin tässä tutkimuksessa mitatut arvot. Alankomaissa harmaasta jätevedestä on myös mitattu tämän tutkimuksen tuloksia alempia bisfenoli-A:n pitoisuuksia (Hernández Leal ym. 2010). Pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,42 – 1,2 µg/l ollen keskimäärin 0,74 µg/l.

Kalkkistabilointi ei juuri vaikuttanut bisfenoli-A:n pitoisuuksiin. Korkeassa pH-arvossa bisfenoli-A:n on todettu irtoavan lietteestä ja päätyvän vesifaasiin (Citulski ja Farahbakhsh 2010, Carla ym. 2004). Tässä tutkimuksessa analysoitiin sekä kiinteä että vesifaasi, joten vaikka bisfenoli-A irtoaisi kiintoaineesta ei se olisi vaikuttanut tämän testin tulokseen. Kiinteämmän lietteiden kalkkistabilointi kuitenkin saattaa aiheuttaa sen, että loppusijoituspaikassa bisfenoli-A voi liuetä lietteestä esim. sadeveden mukana ja huuhtoutua salaojiin tai pohjaveteen.

7.8 Lääkeaineet

7.8.1 Yleistä

Lääkeaineet ovat iso joukko erilaisia aineita, joita käytetään ihmisten ja eläinten sairauksien hoitoon. Suomen markkinoilla on Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskuksen mukaan myyntiluvan saaneita lääkkeitä noin 900. Jätevedenpuhdistamoille lääkeaineet päätyvät pääosin asumajätevesien mukana. Sairaalat ja lääketeollisuus voivat olla yksittäisiä pistekuormittajia. Lääkeaineet metaboloituvat ihmisten elimistössä jokainen omalla tavallaan ja eritty-

vät eri asteisina aineenvaihdunnan tuotteina pääosin virtsaan ja ulosteeseen. Esimerkiksi sydän- ja verisuonitautilääke atenololin nautitusta määrästä erittyä elimistöstä suurin osa muuttumattomana eli biologisesti aktiivisessa muodossa (Vieno 2007). Toisaalta taas epilepsialääke karbamatsapiini metaboloituu elimistössä lähes kokonaan ja vain pieni osa erittyy muuttumattomana jäteveten (Vieno 2007). Joskus aineenvaihdunnan tuotteet voivat omata alkuperäisen lääkeaineen aktiivisuutta, mutta yleensä kyseinen vaikutus häviää aineen hajotessa. Vaikka lääkkeiden myyntitilastoista saadaankin melko helposti tietoa yksittäisten aineiden käyttömäärästä, on selvästi työläämpää ja epätarkempaa arvioida puhdistamoille päätyvän lääkkeen määrää. Jätevesien viemärintialueen lääkkeiden käyttöprofiili heijastaa kuitenkin yleensä aineiden esiintymistä jätevedessä. Tässä tutkimuksessa oli mukana 51 lääkeainetta, jotka on käyttötarkoituksineen lueteltu taulukossa 7.8.1.

Taulukko 7.8.1. Tutkimuksessa mukana olleet lääkeaineet ja niiden käyttötarkoitus.

ANTIBIOOTIT siprofloksasiini tetrasykliini doksisykliini ofloksasiini norfloksasiini oksitetrasykliini sulfametoksatsoli trimetopriimi penisilliini G bentsatiini	SOLUNALPAAJAT ifosfamidi metotreksaatti syklofosfamidi
TULEHDUSKIPULÄÄKKEET ibuprofeeni parasetamoli naprokseeni diklofenaakki ketoprofeeni	DIUREETIT furosemidi hydroklooriatsidi
MASENNUSLÄÄKKEET sitalopraami paroksetiini fluoksetiini	HENGITYSTIELÄÄKKEET salbutamoli (albuteroli) terbutaliini klenbuteroli beklometatsoni
SYDÄN- JA VERISUONITAUTILÄÄKKEET metoprololi felodipiini propranololi bisoprololi atenololi sotaloli enalapriini gemfibrotsiili betsafibraatti klofibriinihappo simvastatiini	MIKROBILÄÄKKEET ketokonatsoli hydrokortisoni metronidatsoli
	VARJOAINEET iopamidoli iopromidi
	KORTIKOSTEROIDI metyylyiprednisoloni
	STIMULANTTI kofeiini
	PARKINSON LÄÄKE entakaponi
	EPILEPSIALÄÄKE karbamatsapiini
	VERITAUTILÄÄKE varfariini
	ELÄINLÄÄKKEET fenbendatsoli (matolääke) flubendatsoli (matolääke) tylosiini (antibiootti) ivermektiini

Erilaisia lääkeaineita esiintyy jätevesissä kymmeniä jollei satoja. Ruotsissa tehdystä tutkimuksesta todettiin, että 101 analysoidusta lääkeaineesta ainakin yhdestä kunnallisen puhdistamon jätevedestä löydettiin yhteensä 92 erilaista lääkeainetta. Määdätetystä ja kuivatusta lietteestä löydettiin 73 eri lääkeainetta (Fick ym. 2011). Yleisesti ottaen isoja pitoisuuksia löytyy käsi-kauppatavarana myytäviä tulehduskipulääkkeitä, joiden käyttömäärät ovat kilomääräisesti suurimpia. Tällaisia ovat esimerkiksi ibuprofeeni ja parasetamoli (Fick ym. 2011, Vieno 2007).

Brausch ym. (2012) ja Fent ym. (2006) ovat artikkeleissaan koonneet kattavat aineistot lääkeaineille tehtyjen toksisuustestien tuloksia. On arvioitu, että 10–15 % vesistöihin päätyvistä lääkeaineista on standarditesteillä mitattuna akuutisti tai kroonisesti toksisia eliöille (Brausch ym. 2012). Toisaalta on huomioitava, että ekotoksisuustietoja on tällä hetkellä saatavilla vain n. 10 % kaikista lääkeaineista ja suurin osa niistä on akuutteja toksisuustietoja. Tutkimuksissa on todettu, että jotkin lääkeaineet voivat kertyä eliöihin. Esimerkiksi ibuprofeenin, diklofenaakin ja naprokseenin on todettu kertyvän kalojen sappinesteeseen (Brozinski 2013), fluoksetiin ja sertraliinin kalojen lihaan, maksaan ja aivoihin, ja diklofenaakin maksaan ja munuaisiin (Fent ym. 2006). Lääkeaineita on Ruotsissa löydetty myös jätevedenpuhdistamoiden purkupaikan läheisyydestä kerätyistä ahvenista (Fick ym. 2011). Kalojen lihanäytteistä löydettiin 23 tutkittua lääkeainetta. Uudemmassa tutkimuksessa diklofenaakkia ja oksatsepaamia löydettiin kalojen sappinestenäytteistä lähes joka toisesta analysoidusta kalasta (Karlsson ja Viktor 2014). Erityisesti biokertyvien lääkkeiden osalta krooniset vaikutustestit ja esimerkiksi käyttäytymisen häiriöitä tutkivat testit antaisivat haitoista akuutteja standarditestejä paremman kuvan. Lääkeaineiden pitoisuudet ympäristössä ovat usein alle akuutisti toksisten pitoisuuksien, mutta on muistettava, että kuormitus ympäristöön jätevedenpuhdistamoilta on jatkuva.

Lääkeaineiden yhteydessä puhutaan usein myös tarpeesta saada tietää useiden lääkkeiden yhteisvaikutusten haitallisuus. Tutkimuksissa on nimittäin todettu, että usean lääkeaineen yhteistoksisuus on monesti suurempi kuin yksittäisten aineiden toksisuuksista voitaisiin päätellä (Backhaus ja Karlsson 2014).

Antibioottien osalta huoli kohdistuu antibiooteille resistenttien bakteerikantojen syntymiseen ja leviämiseen yhteiskunnassa. Jätevedenpuhdistamon biologisen prosessin on todettu luovan otolliset olosuhteet antibiooteille resistenttien bakteerien ja geenien syntymiselle ja resistenttisyden leviämiselle (Rizzo ym. 2013).

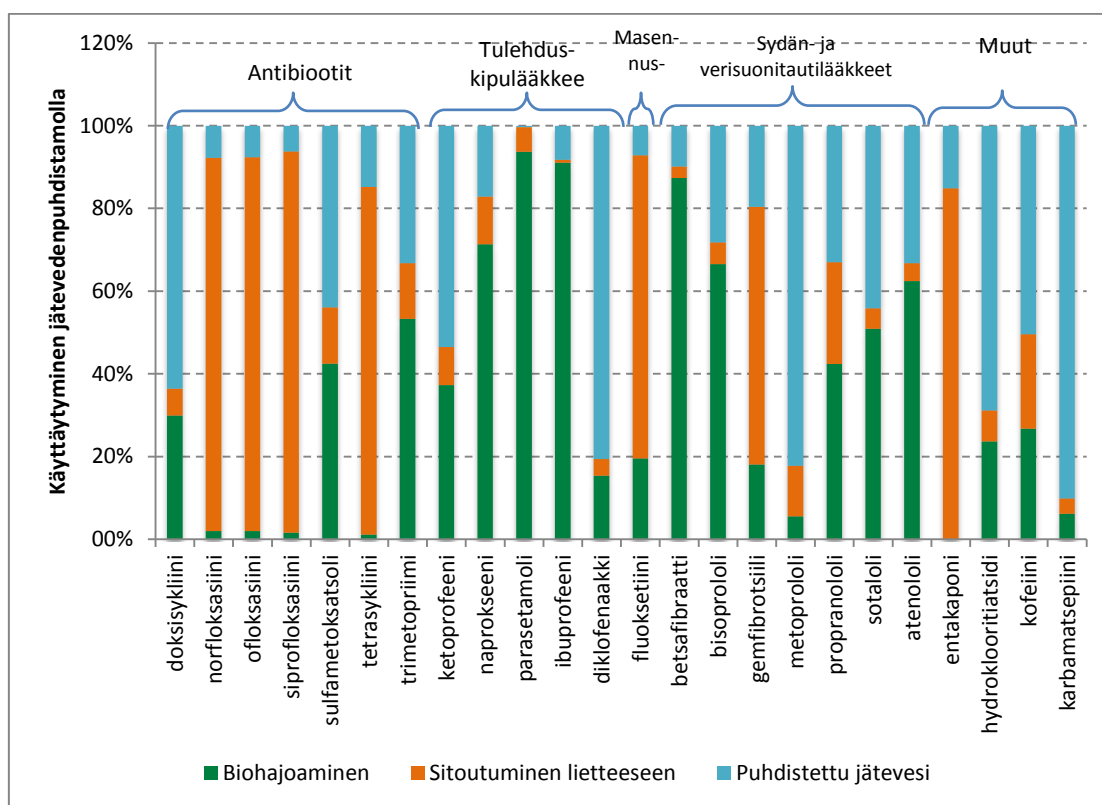
EU on listannut lääkeaineista tulehduskipulääke diklofenaakin sekä kolme antibioottia (erytromysiinin, klaritsomysiinin ja atsitromysiinin) ns. tarkkailuaineiksi. Uusimmassa prioriteettiainedirektiivissään EU on ottanut käyttöön ns. tarkkailuainelistan (2013/39/EU). Listan aineita tulee jäsenvaltioissa monitoroida vesistöistä annettujen ohjeiden mukaisesti. Tulosten perusteella arvioidaan aineen haitallisten ympäristövaikutusten riskiä ja tarpeellisuutta nimetä aine prioriteettiaineeksi, jolle säädettäisiin myös raja-arvot vesistöissä.

7.8.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

Lääkeaineet voivat jätevedenpuhdistamolla biohajota tai tarttua lietteeseen. Haihtuminen on yleensä hyvin vähäistä. Jotkin aineet eivät kuitenkaan poistu puhdistamoilla juuri ollenkaan ja päätyvät ympäristöön jätevesien mukana. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi epilepsialääke karbamatsepiini ja tulehduskipulääke diklofenaakki (Onesios ym. 2009, Vieno 2014). TOXCHEM-mallinnuksella arvioitiin joidenkin lääkeaineiden käyttäytymistä jätevedenpuhdistamolla (kuva 7.8.1). Osa aineista poistuu puhdistamolla > 80 % biohajoamalla. Tällaisia aineita ovat mm. ibuprofeeni ja parasetamoli (Samaras ym. 2013, Onesios ym. 2009, Radjenovic ym. 2009). Toisille aineille biohajoaminen on merkittävä poistumisreitti, mutta tulokset vaihtelevat suuresti puhdistamoittain. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi naprokseeni, sulfametoksatsoli, trimeto-

priimi, betsafibraatti, kofeiini ja ketoprofeeni (Luo ym. 2014, Zhou ym. 2013, Onesios ym. 2009, Radjenovic ym. 2009).

Lääkeaineiden sitoutuminen lietteeseen riippuu aineen hydrofobisuudesta sekä sähkövarauksesta. Jäteveden esikäsitelyssä voi osa erityisesti hydrofobisista sekä positiivisesti varautuneista lääkeaineista sitoutua jäteveden partikkeleihin ja erottua raakalietteeseen (Carballa ym. 2005). Ibuprofeenin ja diklofenaakin on esimerkiksi todettu sitoutuvan voimakkaammin raakalietteeseen kuin ylijäämalietteeseen (Stasinakis ym. 2013, Martín ym. 2012). Tämän on arvioitu johtuvan siitä, että jäteveden esiselkeytyksen aikana pH on usein biologista puhdistusta matalampi. Tällöin näiden happamien aineiden negatiivinen pintavaraus on alhaisempi ja ne sitoutuvat lietteeseen helpommin. Useimmille lääkeaineille sitoutuminen lietteeseen ei ole merkittävää jätevedenpuhdistamolla. Poikkeuksia kuitenkin löytyy. Fluorokinolisten antibioottien siprofloksasiinin, ofloksasiinin ja norfloksasiinin on todettu jätevedenpuhdistamolla sitoutuvan pääosin lietteeseen. Aineet eivät ole biohajoavia, mutta poistuminen vesifaasista on raportoitu olleen > 80 % (Zhou ym. 2013, Lindberg ym. 2006, Golet ym. 2003). Doksisykliinin, tetrasykliinin ja oksitetrasykliinin on todettu poistuvan puhdistamolla > 80 % ja sitoutuvan pääosin lietteeseen (Zhou ym. 2013). Myös sitalopraamin, fluoksetiinin ja propranololin on todettu kiinnittyvän hanakasti lietteeseen (Malmborg 2014, Onesios ym. 2009).



Kuva 7.8.1. Eräiden lääkeaineiden mallinnettu käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos)

7.8.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

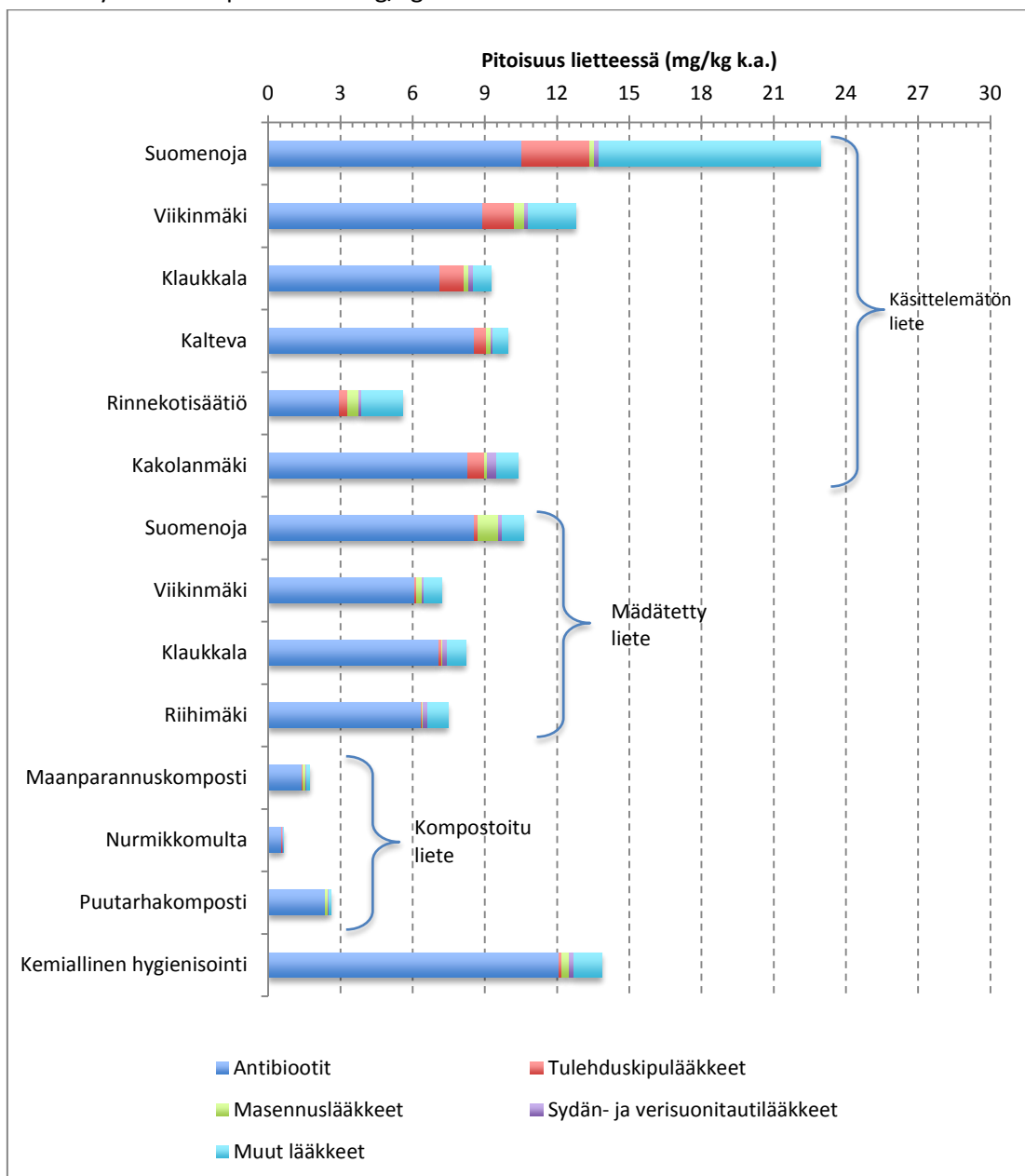
Puhdistamolietteiden lääkeainepitoisuudet on esitetty taulukossa 7.8.2 ja kuvissa 7.8.2 ja 7.8.3.

Taulukko 7.8.2. Lääkeaineiden keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on huomioitu määrittäysrajan puolikkaana. Vain niiden aineiden tulokset on ilmoitettu, joita havaittiin yli määrittäysrajan vähintään yhdessä näytteessä. Ne aineet, joita havaittiin kaikissa näytteissä, on **lihavoitu**.

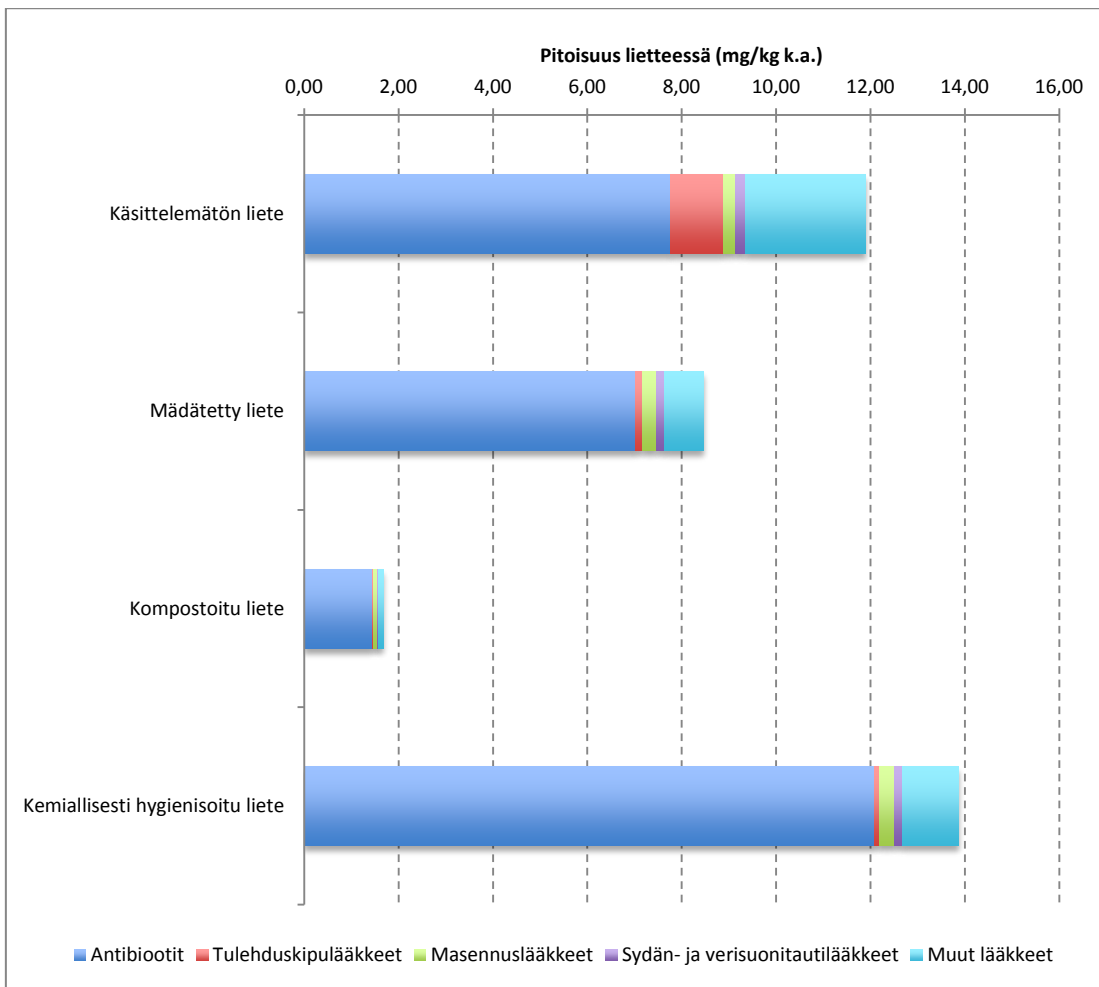
Yhdiste	Käsittelemätön liete n= 6	Mädätetty liete n= 4	Kompostoitu liete n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
ANTIBIOOTIT				
siprofloksasiini	2,48	2,75	0,793	4,20
tetrasykliini	2,14	1,73	0,112	4,00
doksisykliini	1,92	1,29	0,043	1,70
ofloksasiini	0,830	0,758	0,407	1,50
norfloksasiini	0,259	0,350	0,095	0,410
oksitetrasykliini	0,079	0,159	< 0,005	0,280
sulfametoksatsoli	0,031	< 0,05	< 0,05	< 0,05
trimetopriimi	0,023	< 0,005	< 0,005	< 0,005
TULEHDUSKIPULÄÄKKEET				
ibuprofeeni	0,382	< 0,1	< 0,1	< 0,5
parasetamoli	0,304	0,014	< 0,005	0,040
naprokseeni	0,244	< 0,025	0,011	< 0,005
diklofenaakki	0,168	0,088	0,009	0,060
ketoprofeeni	0,016	0,016	< 0,005	< 0,005
MASENNUSLÄÄKKEET				
sitalopraami	0,190	0,111	0,058	0,280
paroksetiini	0,040	0,014	0,013	< 0,005
fluoksetiini	0,034	0,159	0,016	0,040
SYDÄN- JA VERISUONITAUTILÄÄKKEET				
metoprololi	0,069	0,103	0,009	0,050
felodipiini	0,048	< 0,005	< 0,005	0,060
propranololi	0,035	0,033	0,016	0,040
bisoprololi	0,023	0,024	< 0,005	0,030
atenololi	0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005
sotaloli	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005
enalapriini	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005
gemfibrotsiili	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005
betsafibraatti	< 0,01	0,013	< 0,005	< 0,005
MUUT LÄÄKKEET				
kofeiini	1,46	0,084	0,018	0,050
ketokonatsoli	0,585	0,585	0,008	0,860
entakaponi	0,119	0,025	< 0,005	< 0,005
furosemiidi	0,109	0,032	0,037	0,050
hydroklooritiatsidi	0,061	< 0,025	< 0,025	< 0,025
karbamatsepiini	0,108	0,108	0,025	0,030
metyyliprednisoloni	0,012	< 0,025	0,009	< 0,025
fenbendatsoli	0,055	0,127	0,011	0,180
flubendatsoli	0,017	0,019	< 0,005	0,010
varfariini	0,012	< 0,005	< 0,005	< 0,005
salbutamoli (albuteroli)	0,010	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Lietenäytteistä analysoitiin 52 lääkeainetta, joista 36 aineen pitoisuudet olivat määrittäysrajaa korkeammat vähintään yhdessä näytteessä. Kahdeksaa lääkeainetta löydettiin kaikista käsitte-

lemättömistä ja eri tavoin käsitellyistä lietenäytteistä. Antibioottien yhteispitoisuus oli lääkeaineryhmistä selvästi korkein kaikissa näytteissä ja näyteryhmissä (kuva 7.8.2 ja 7.8.3). Kaikkien lääkeaineiden yhteispitoisuus vaihteli välillä 0,64 – 22,9 mg/kg k.a. ja antibioottien välillä 0,02 – 12,1 mg/kg k.a. (kuva 7.8.2). Yksittäisille aineille korkeimmat keskimääräiset pitoisuudet käsittelemättömässä ja eri tavoin käsitellyissä lietteissä mitattiin antibiootti siprofloksasiinille. Korkein yksittäinen pitoisuus 7 mg/kg k.a. mitattiin kofeiinille.



Kuva 7.8.2. Lääkeaineiden pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Kuvaajassa on esitetty eri lääkeryhmiä pitoisuuksien summa. Lääkeryhmiä sisältämät aineet on esitetty taulukossa 7.8.2. Summaa laskettaessa alle määrittäysrajan olleet tulokset on huomiota nollana.



Kuva 7.8.3. Lääkeaineiden keskimääräiset pitoisuudet aineryhmittäin käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Lääkeryhmien sisältämät aineet on esitetty taulukossa 7.8.2. Summaa laskettaessa alle määrittäjärajaa olleet tulokset on huomiota nollana.

Antibioottien osuus lääkeaineiden kokonaispitoisuudesta oli käsittelemättömässä lietteessä 65 %. Mädätyksen, kompostoinnin ja kemiallisen hygienisoinnin jälkeen antibioottien osuus kokonaispitoisuudesta oli jo > 80 % (kuva 7.8.3). Antibiooteista suurimpina pitoisuuksina esiintyivät siprofloksasiini, tetrasykliini, doksisykliini, ofloksasiini ja norfloksasiini. Taulukkoon 7.8.3 on koottu eri näytteryhmien kymmenen suurimmassa pitoisuudessa löydetyn aineen osuudet lääkeaineiden kokonaispitoisuudesta. Antibioottien suuri osuus tulee selvästi ilmi myös tämän taulukon listauksesta.

Taulukko 7.8.3. TOP10 suurimmassa pitoisuudessa löydettyä lääkeainetta näyteryhmittäin sekä aineen osuus lääkeaineiden kokonaispitoisuudesta näytteessä. Värikoodit: **antibiootit**, **tulehduskipulääkkeet**, **masennuslääkkeet**, **sydän- ja verisuonitautilääke**, **muu lääke**.

Käsittelemätön liete	Mädätetty liete	Kompostoitu liete	Kemiallisesti hygienisoitu liete
Siprofloksasiini (21 %)	Siprofloksasiini (32 %)	Siprofloksasiini (47 %)	Siprofloksasiini (30 %)
Tetrasykliini (18 %)	Tetrasykliini (20 %)	Ofloksasiini (24 %)	Tetrasykliini (29 %)
Doksisykliini (16 %)	Doksisykliini (15 %)	Tetrasykliini (7 %)	Doksisykliini (12 %)
Kofeiini (12 %)	Ofloksasiini (9 %)	Norfloksasiini (6 %)	Ofloksasiini (11 %)
Ofloksasiini (7 %)	Ketokonatsoli (6 %)	Sitalopraami (3 %)	Ketokonatsoli (6 %)
Ketokonatsoli (5 %)	Norfloksasiini (4 %)	Doksisykliini (3 %)	Norfloksasiini (3 %)
Ibuprofeeni (3 %)	Fluoksetiini (2 %)	Furosemiidi (2 %)	Sitalopraami (2 %)
Parasetamoli (3 %)	Oksitetrasykliini (2 %)	Karbamatsepiini (1 %)	Oksitetrasykliini (2 %)
Norfloksasiini (2 %)	Fenbendatsoli (2 %)	Kofeiini (1 %)	Fenbendatsoli (1 %)
Naprokseeni (2 %)	Sitalopraami (1 %)	Propranololi (1 %)	Felodipiini (0,4 %)

Pysyvimmat yhdisteet lietteen käsittelyssä olivat:

- Antibiootit: *siprofloksasiini, tetrasykliini, doksisykliini, ofloksasiini ja norfloksasiini*
- Tulehduskipulääke *diklofenaakki*
- Sydän- ja verisuonilääke *propranololi*
- Epilepsialääke *karbamatsepiini*

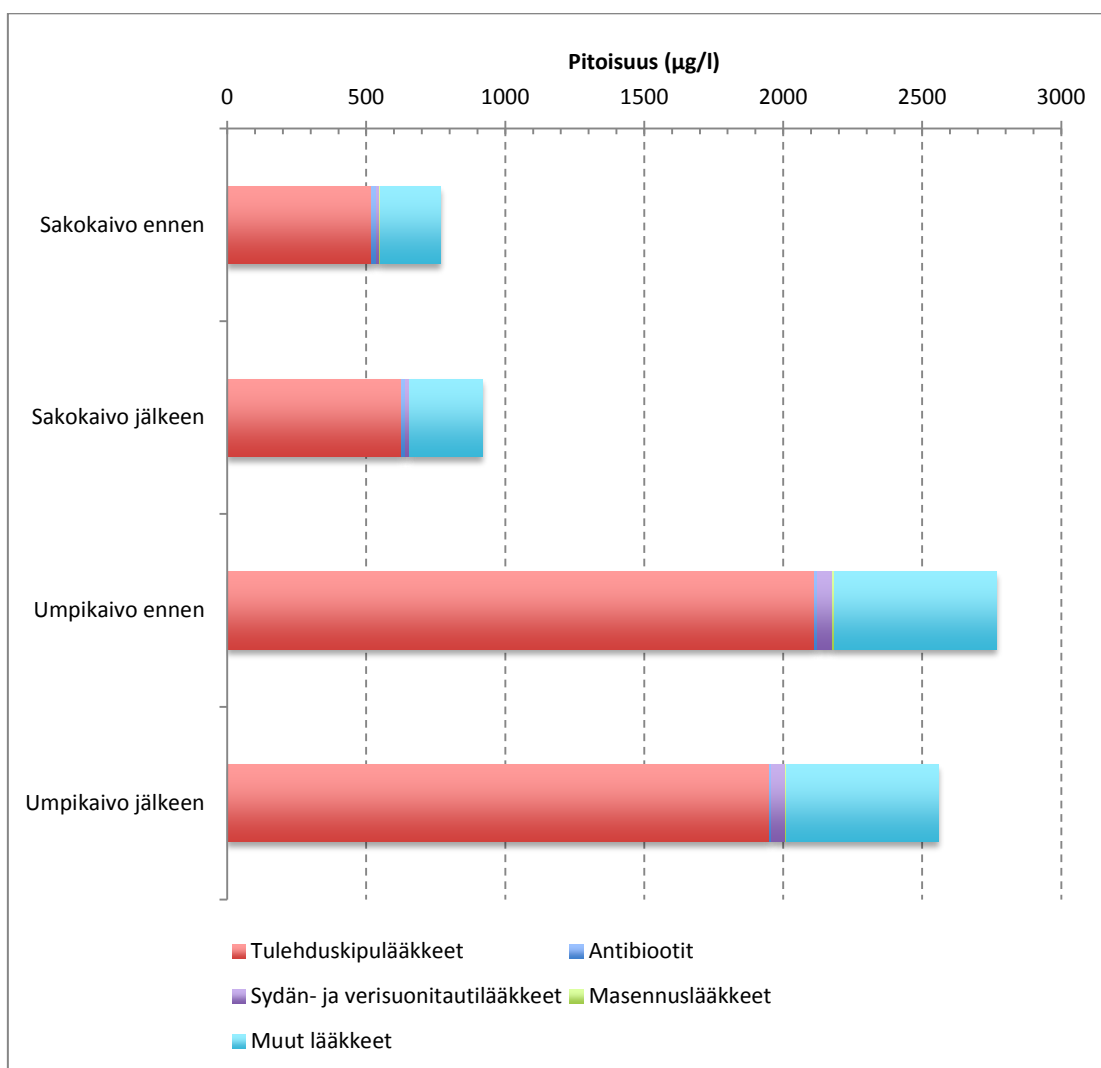
Näitä kahdeksaa lääkeainetta löydettiin kaikista analysoiduista näytteistä.

Mädätettyjen lietteiden lääkeaineiden pitoisuudet olivat keskimäärin hieman käsittelemättömiä lietteitä alhaisemmat (kuva 7.8.3). Mädätyksen jälkeen alkuperäisestä 36:sta löydetystä lääkeaineesta oli edelleen jäljellä 25. Kompostoiduissa näytteissä lääkeaineiden pitoisuudet olivat selvästi käsittelemättömiä lietteitä alhaisempia. Kompostoiduissa lietenäytteissä löytyi kuitenkin edelleen 19 lääkeainetta. Kemiallisen hygienisoinnin jälkeen lääkeaineiden pitoisuus oli samalla tasolla kuin käsittelemättömässä lietteessä. Näytteestä löytyi 20 lääkeainetta.

7.8.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Hajalietteiden lääkeainepitoisuudet on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.8.4. yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysoimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivoista koottujen näytteiden lääkeaineiden yhteispitoisuus oli lähes nelinkertainen sakokaivolietteistä koottuun näytteeseen verrattuna. Lietenäytteistä analysoitiin 51 lääkeainetta, joista sakokaivolietteistä löydettiin 23 ja umpikaivolietteistä 20. Sakokaivonäytteessä lääkeaineiden yhteispitoisuus oli $767 \mu\text{g/l}$ ja umpikaivonäytteessä $2768 \mu\text{g/l}$.



Kuva 7.8.4. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden lääkeaineiden pitoisuudet aineryhmittäin.

Tulehduskipulääkkeiden pitoisuudet olivat sekä sako- että umpikaivonäytteissä kaikista aineryhmistä korkeimmat. Korkein yksittäinen pitoisuus $1590 \mu\text{g/l}$ mitattiin parasetamolille umpikaivonäytteessä. Seuraavaksi korkeimmat pitoisuudet mitattiin umpikaivonäytteissä diureetti furosemidille ($413 \mu\text{g/l}$) ja tulehduskipulääke ibuprofeenille ($381 \mu\text{g/l}$). Kalkkistabilointi ei juuri vaikuttanut lääkeaineiden yhteispitoisuuteen (kuva 7.8.4). Yksittäisten aineiden

poistumat on esitetty taulukossa 7.8.4. Kummallekin vesinäytteelle tehtiin vain yksi käsittelykoe ja ottaen huomioon myös analyysien epävarmuuden, ei taulukkoon ole kirjattu yksittäisten aineiden poistumaa prosenttiosuutena.

Taulukko 7.8.4. Lääkeaineiden poistuma sako- ja umpikaivolietteiden kalkkistabiloinnin aikana. Jaottelu: --- = < -100 %, -- = -100 – -20 %, - = -20 – 0 %, + = 1-30 %, ++ = 31-80 %, +++ >80 %

Yhdiste	Sakokaivo	Umpikaivo
Antibiootit		
Siprofloksasiini	-	++
Tetrasykliini	alle määrittäysrajan	++
Doksisykliini	+++	++
Ofloksasiini	--	-
Trimetopriimi	--	alle määrittäysrajan
Tulehduskipulääkkeet		
Ibuprofeeni	-	+
Parasetamoli	--	+
Naprokseeni	+	-
Diklofenaakki	+	+
Ketoprofeeni	--	-
Masennuslääkkeet		
Sitalopraami	-	+
Sydän- ja verisuonitautilääkkeet		
Metoprololi	-	-
Felodipiini	--	++
Bisoprololi	--	-
Atenololi	--	alle määrittäysrajan
Enalapriini	+++	++
Muut lääkkeet		
Kofeiini	-	+
Ketokonatsoli	+	alle määrittäysrajan
Entakaponi	+++	alle määrittäysrajan
Furosemidi	+	+
Hydroklooritiatsidi	--	-
Metyyliprednisoloni	alle määrittäysrajan	---
Fenbendatsoli	---	-
Varfariini	++	++

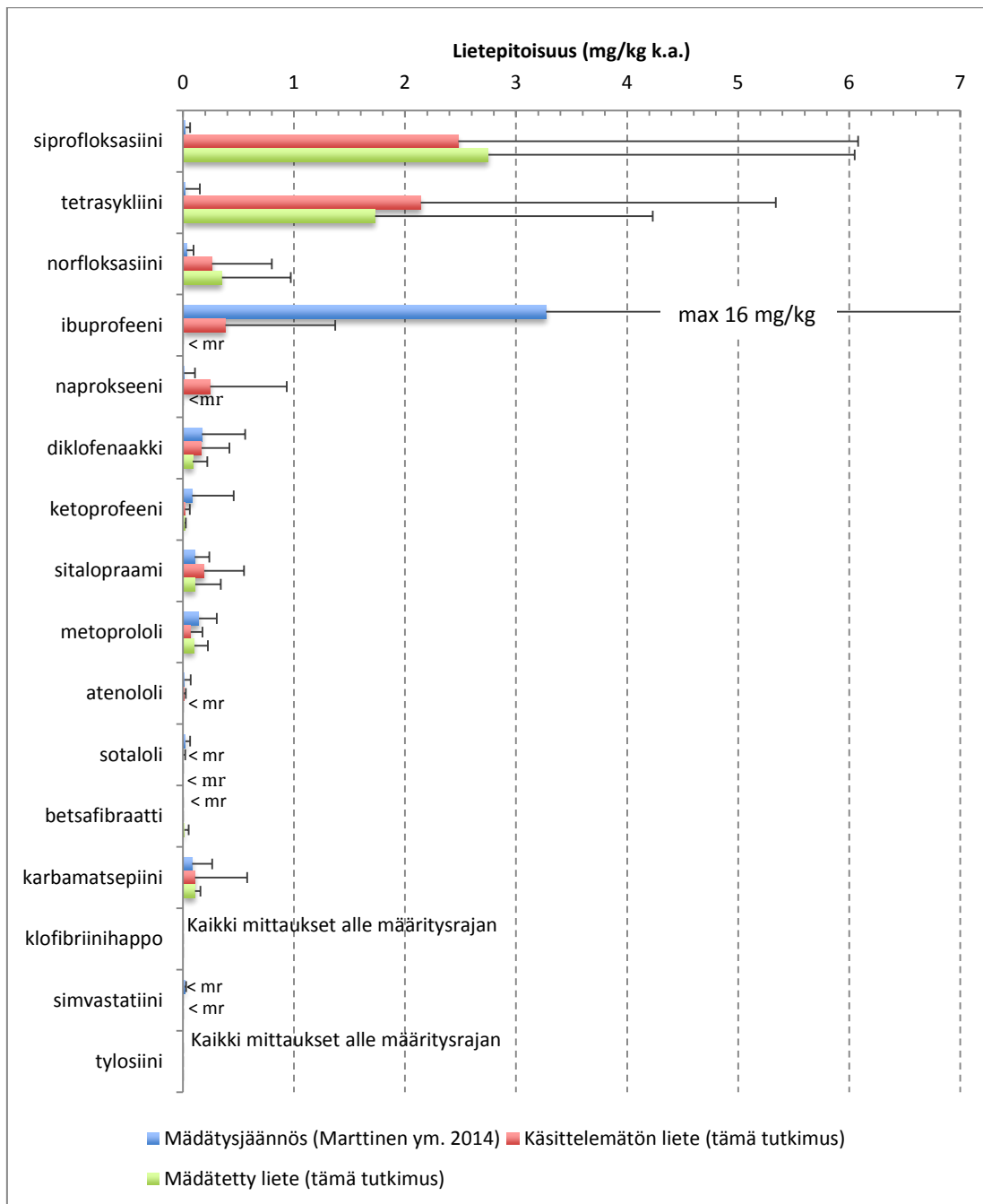
Monien lääkeaineiden pitoisuudet olivat kalkkistabiloinnin jälkeen alkuperäistä korkeampia. Ilmiö oli erityisen voimakas metyyliiprednisolonille ja fenbendatsolille. Doksisykliinin, enalapriinin ja entakaponin pitoisuudet taas olivat käsittelyn jälkeen selvästi alkuperäistä matalampia. Keskimääräistä paremmin kalkkistabiloinnissa poistuivat myös doksisykliini ja varfariini.

7.8.5 Tulosten tarkastelu

Puhdistamolietteet

Aiempia tuloksia lääkeaineiden pitoisuuksista puhdistamolietteissä on Suomessa niukalti. Marttinen ym. (2014) on raportoinut joidenkin lääkeaineiden pitoisuuksia biokaasulaitosten mädätysjäännöksissä. Kuvassa 7.8.5 on esitetty näiden tulosten vertailu tässä tutkimuksessa mitattuihin käsittelemättömän lietteen ja mädätetyn lietteen tuloksiin. Kummassakaan tutkimuksessa ei löydetty klofibriinihappoa tai tylosiinia. Naprokseenin, diklofenaakin, sitalopraamin, metoprololin, atenololin, sotalolin, betsafibraatin, karbamatsepiiniin ja simvastatiinin pitoisuudet olivat tutkimuksissa samaa luokkaa. Ketoprofeenin ja erityisesti ibuprofeenin pitoisuudet olivat Marttinen ym. (2014) selvästi korkeammat tähän tutkimukseen verrattuna. Kuivajakeesta mitatut pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi lähempänä tässä tutkimuksessa mitattuja arvoja. Ibuprofeenin on todettu kiintoaineen erotuksessa päätyvän vesifaasiin (Malmborg 2014), joten on mahdollista, että lietteen kuivauksessa ibuprofeeni päätyy rejektiveteen. Tässä tutkimuksessa otetut mädätetyn lietteen näytteet on otettu kuivauksen jälkeen. Ruotsissa tehdyissä mädätetyn ja kuivatun lietteen mittauksissa on todettu ibuprofeenin pitoisuuksien olleen alle määritysrajan (Fick ym. 2009).

Siprofloksasiinin, norfloksasiinin ja tetrasykliinin pitoisuudet olivat moninkertaiset tässä tutkimuksessa verrattuna Marttinen ym. (2014) raportoimiin arvoihin. Syytä tähän eroon ei osata sanoa. Pitoisuudet eivät ole muuhun kirjallisuustietoon nojaten kuitenkaan erityisen suuria. Martín ym. (2015) tutkivat 22 lääkeaineen pitoisuuksia puhdistamolietteissä. Tutkituista aineista suurimmat pitoisuudet mitattiin siprofloksasiinille, ofloksasiinille ja norfloksasiinille, joiden pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,9–2,8 mg/kg k.a. Saksassa, Ruotsissa ja USA:ssa tehdyissä mittauksissa norfloksasiinin keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat välillä 1,5–2,3 mg/kg ja ofloksasiinin 0,7–8,6 mg/kg (Clarke ja Smith, 2011). Tetrasykliinin keskimääräinen pitoisuus USA:ssa on ollut 1,28 mg/kg ja doksisykliinin n. 1 mg/kg (Clarke ja Smith, 2011)



Kuva 7.8.5. Tämän tutkimuksen sekä Marttinen ym. (2014) raportoimien tulosten pitoisuudet. Pylvään korkeus kuvaa aineen keskiarvopitoisuutta ja jana maksimipitoisuutta. mr= määritysraja

Joidenkin lääkeaineiden pitoisuudet olivat mädätetyissä lietenäytteissä selvästi käsittelemättömiä lietenäytteitä alhaisempia. Erityisesti parasetamolin ja naprokseenin on todettu olevan biohajoavia myös hapettomissa olosuhteissa ja näin ollen poistuvan tehokkaasti mädätyksessä (Martín ym. 2015, Cambell ym. 2013, Samaras ym. 2013, Carballa ym. 2007). Antibiooteista sulfametoksatsolin ja trimetopriimin on aiemmissa tutkimuksissa todettu biohajoavan mädätyksen aikana (Martín ym. 2015, Davidsson ym. 2014, Onesios ym. 2009, Carballa ym. 2007). Diklofenaakin on todettu poistuvan mädätyksen aikana jopa > 60 % (Carballa ym. 2007), joten aine saattaa olla hapettomissa olosuhteissa biohajoava. Ibuprofeenin on jätevedenpuhdistamon hapellisissa olosuhteissa biohajoava, mutta hapettomassa mädätyksessä hajoaminen on selvästi hitaampaa. Näin ollen sen poistuminen mädätyksessä on aiemmissakin tutkimuksissa usein todettu olevan < 50 % (Malmborg 2014, Cambell ym. 2013, Onesios ym. 2009, Carballa

ym. 2007). Useiden aineiden keskimääräisissä pitoisuuksissa ei kuitenkaan havaittu merkittäviä muutoksia verrattaessa mädätettyjä ja käsittelemättömiä lietteitä. Näitä aineita olivat suurin osa antibiooteista, ketoprofeeni, sitalopraami, fluoksetiini, metoprololi, propranololi, bisoprololi, ketokonatsoli, karbamatsepiini, fenbendatsoli ja flubensatsoli. Fluorokinoliinisten antibioottien on aiemmissa tutkimuksissa todettu hajoavan heikosti mädätyksen aikana (Lindberg ym. 2004, Golet ym. 2003). Toisaalta taas Martín ym. (2015) raportoi fluorokinoleiden pitoisuuksien alentuneen selvästi mädätyksessä. Fluoksetiinin ja propranololin on todettu sitoutuvan lietteeseen eikä niiden ole todettu hajoavan mädätyksen aikana (Cambell ym. 2013). Myös karbamatsepiinin, metoprololin ja bisoprololin on todettu aiemmin olevan stabiileja mädätyksessä (Malmborg 2014, Lahti 2013, Onesios ym. 2009, Carballa ym. 2007). Malmborg (2014) raportoi mädätyksen jopa lisäävän metoprololin ja fluoksetiinin pitoisuuksia. Lääkeaineiden pitoisuuksien lisääntymisestä mädätyksessä on raportoinut myös Davidsson ym. (2014). Itse asiassa tässäkin tutkimuksessa useiden aineiden keskimääräiset pitoisuudet olivat mädätetyissä näytteissä käsittelemättömiä näytteitä korkeammat. Tämä saattaa johtua analyysimenetelmän epätarkkuudesta tai siitä, että kiintoaines hajoaa ja täten lietteen kokonaismäärä pienenee. Jos aine ei käsittelyn aikana hajoa, sen pitoisuus voi kohota, vaikkei kuorma kasvaisikaan. Lääkeainekonjugaattien hajoaminen tai mädätyksen aikana hajoavat lietepartikkelit voivat myös vapauttaa lääkkeitä.

Kompostimassoista mitatut lääkeainepitoisuudet olivat keskimäärin mädätettyjä lietenäytteitä alemmat muilla paitsi paroksetiinilla ja furosemidilla. Kompostoinnin jälkeisissä näytteissä lääkeaineiden yhteispitoisuus oli 85 % käsittelemättömien lietteiden ja 80 % mädätettyjen lietteiden määrästä. Kirjallisuudesta ei löydetty tutkimustuloksia lääkeaineiden käyttäytymiselle kompostoinnin aikana. Monet aineista ovat kuitenkin hapellisissa olosuhteissa biohajoavia, joten voidaan olettaa niiden hajoavan myös kompostoinnissa. Sakokaivovesien maameytyskokeissa on esimerkiksi todettu monen aineen biohajoavan (Du ym. 2014). Toisaalta jotkin aineet voivat myös kompostoinnin aikana irrota lietteestä ja päätyä rejektiveteen. Näin niiden pitoisuus lietteessä pienenee vaikka ne eivät varsinaisesti hajoaisikaan. Kompostointi vaikuttaisi kuitenkin olevan tehokas menetelmä lääkeainejäämien poistamiseen lietteestä. Suurin osa (85 %) kompostimassoissa esiintyvistä lääkeaineista oli antibiootteja.

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta lääkeaineiden pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Aiempia tuloksia lääkeaineiden pitoisuuksista hajalietteissä Suomessa ei löydetty. USA:ssa Conn ym. (2006) ovat mitanneet joidenkin aineiden pitoisuuksia asuinalueiden sakokaivoissa. Kofeiinin pitoisuus oli keskimäärin 15 µg/l ja korkeimmillaan arviolta 450 µg/l. Tämä on samalla alueella tässä tutkimuksessa mitattujen arvojen kanssa. Parasetamolien pitoisuus oli Conn ym. (2006) yhdessä näytteessä 45 µg/l, kun se tässä tutkimuksessa oli umpikaivoissa 1590 µg/l ja sakokaivoissa 416 µg/l.

Verrattuna Suomessa aiemmin mitattuihin kunnallisten puhdistamoiden tulevien jätevesien pitoisuuksiin, sako- ja umpikaivolietteissä pitoisuudet olivat usein selvästi korkeampia (tauluk-

ko 7.8.5). Erityisesti vain WC-vesiä sisältävien umpikaivovesien lääkeainepitoisuudet olivat jopa yli 20-kertaisia kunnallisten puhdistamoiden tuleviin jätevesiin verrattuna. Sako- ja umpikaivovesien lääkeainepitoisuudet olivat myös kunnallisia puhdistamovesiä useammin alle määrittämissä rajojen. Tämä on ymmärrettävää, sillä näyte otettiin kahdenkymmenen kiinteistön kokoomana eikä näissä talouksissa luultavasti ollut kyseisiä lääkkeitä käytössä. Sako- ja umpikaivolietteiden lääkeainepitoisuudet voivatkin vaihdella suuresti, kun taas suurempi viemärintialue tasaa pitoisuuksia kunnallisilla puhdistamoilla. Kotitaloudet ovat kuitenkin merkittävä jätevedenpuhdistamoiden lääkeainekuormittaja.

Taulukko 7.8.5. Kunnallisten puhdistamoiden tulevissa jätevesissä mitattujen lääkeaineiden keskimääräisiä pitoisuuksia sekä tässä tutkimuksessa mitattuja sako- ja umpikaivolietteiden pitoisuuksia.

Lääkeaine	Tuleva jätevesi (Vieno 2007)	Tuleva jätevesi (Vieno 2014)	Sakokaivo (tämä tutkimus)	Umpikaivo (tämä tutkimus)
Atenololi	0,8	-	0,09	< mr
Betsafibraatti	0,97	-	< mr	< mr
Ketoprofeeni	2,06	-	0,84	0,68
Metoprololi	1,06	-	3,9	31
Naprokseeni	5,72	-	47	141
Norfloksasiini	0,12	-	< mr	< mr
Ofloksasiini	0,1	-	1,7	0,97
Siprofloksasiini	0,6	-	12	0,73
Sotaloli	0,83	-	0	< mr
Ibuprofeeni	16,1	13,7	49	381
Diklofenaakki	0,46	1,02	7	0,49
Karbamatsepiini	0,35	0,65	< mr	<mr

- = ei mitattu, mr= määrittämissä rajoja

Lietteen kalkkistabiloinnin vaikutuksesta lääkeainepitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia. Malmberg (2014) mukaan lietteen ammoniakikäsittelyllä ei ollut kovin merkittävää vaikutusta lääkeainepitoisuuksiin. Tetrasykliinin todettiin kuitenkin poistuneen 80 %. Tässä tutkimuksessa tetrasykliinin pitoisuus laski myös voimakkaasti kalkkistabiloinnissa.

7.9 Hormonit

7.9.1 Yleistä

Hormoneita erittyy jäteveeseen ihmisistä luonnollisesti, mutta joitakin aineita käytetään myös lääkkeinä. Toisaalta taas esimerkiksi 17α -etinyyliestradioli on synteettinen hormoni, joka on ehkäisytablettien vaikuttava aine. Sitä ei luontaisesti erity ihmisistä. Tässä tutkimuksessa olivat mukana seuraavat hormonit:

- estroni (E1)
- 17β -estradioli (E2)
- estrioli (E3)
- 17α -etinyyliestradioli (EE2)
- progesteroni
- testosteroni

Näistä ainoastaan estrioli on sellainen aine, jolla ei tiettävästi ole lääkekäyttöä. Sitä erittyy erityisesti raskaana olevista naisista. Jätevedenpuhdistamolle aineita päätyy asumajätevesien mukana. Sairaalat ja lääketeollisuus saattavat olla paikallisia pistekuormittajia.

Ympäristössä estrogeenit ja hormonit eivät yleensä juuri aiheuta akuuttia toksisuutta. Niiden haitallinen vaikutus perustuu hormonihäirintään, joka ilmenee etinyyliestradiolin osalta jo erittäin pienissä, jopa 1 ng/l pitoisuuksissa. Estradiolin on todettu vaikuttavan kalojen lisääntymiseen 10 ng/l pitoisuudessa (Brausch 2012). Estrogeenien on todettu aiheuttavan kalakan-
tojen feminisoitumista. Testosteroni taas voi vaikuttaa ympäristössä päinvastaisesti eli kalapopulaation koiraiden osuus kasvaa. Vaikutus on todettu jo 10 ng/l pitoisuudella.

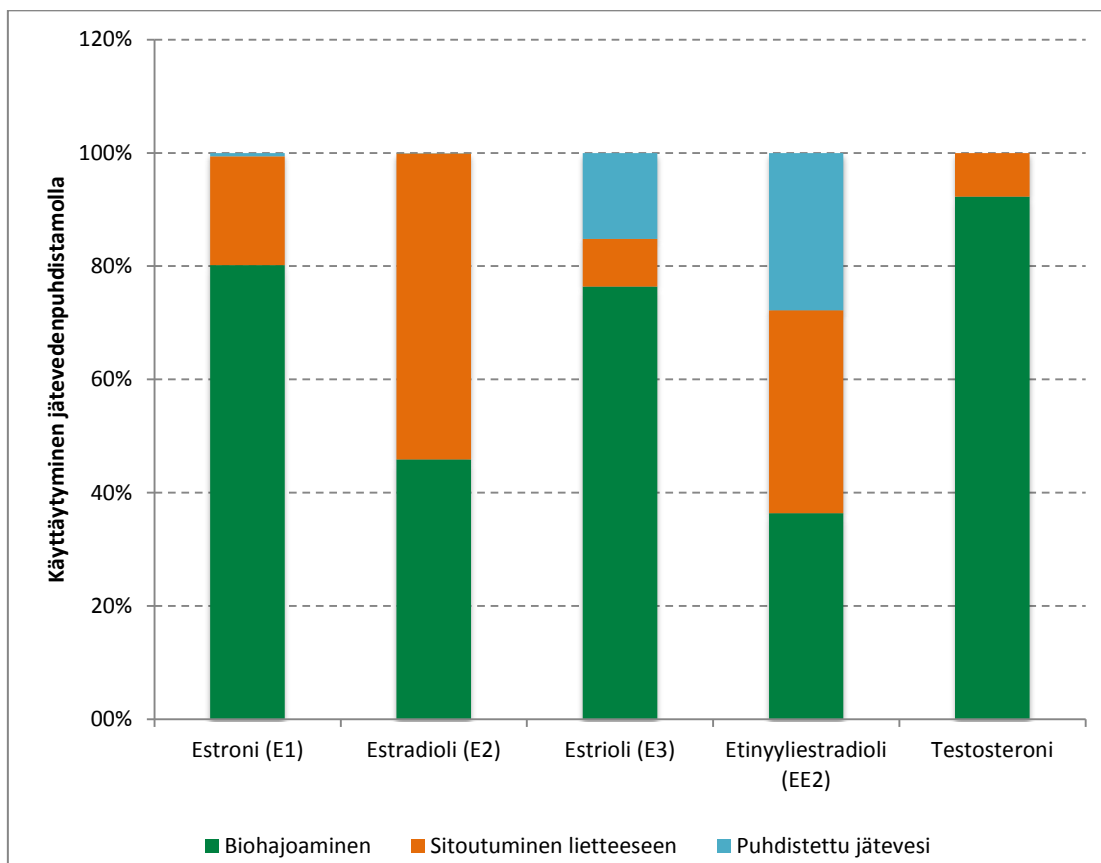
Hormonihäiritsijöiden osalta on myös havaittu aineiden yhteisvaikutusten olevan yksittäisten aineiden vaikutuksia voimakkaampia. Seosten on todettu olevan haitallisia sellaisissa pitoisuuksissa, joissa yksittäiset aineet eivät vielä ole aiheuttaneet haittaa (EEA 2012). Näiden lisäksi ainakin EE2:n on todettu kertyvän kalojen sappinesteeseen (Brausch 2012).

7.9.2 Käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla

Estronin, estradiolin ja etinyyliestradiolin on todettu biohajoavan tehokkaasti jätevedenpuhdistamoilla (Joss ym. 2004, Andersen ym. 2003). Hajoaminen on erityisen nopeaa hapellisissa olosuhteissa (Joss ym. 2004). Aineet voivat myös hajota toisikseen. Hapellisissa olosuhteissa estradioli (E2) voi esimerkiksi hapettua estroniksi (E1) (Joss ym. 2004). Hapettomissa olosuhteissa taas E1 voi pelkistyä E2:ksi. Tämä vaikeuttaa aineiden poistumisen mallintamista (kuva 7.9.1).

Mallinnuksen mukaan hormonit sitoutuvat jossain määrin lietteeseen. Estrogeenien on todettu sitoutuvan jonkin verran voimakkaammin ylijäämälietteeseen kuin raakalietteeseen (Martín

ym. 2012). Andersen ym. (2003) mukaan vain n. 5 % estronista, estradiolista ja etinyyliestradiolista sitoutuu lietteeseen. Lietteen ominaisuudet sekä erityisesti pH-arvo vaikuttavat kuitenkin voimakkaasti ainakin estradiolin ja etinyyliestradiolin sitoutumiseen. Etinyyliestradiolin on todettu sitoutuvan erityisesti nitrifioivaan lietteeseen, kun puhdistamon biologisen prosessin lieteikä on > 10 päivää (Banihashemi ja Droste 2014). Estradiolin ja etinyyliestradiolin sitoutuminen lietteeseen on todettu olevan korkeimmillaan pH-arvossa 7–8 (Clara ym. 2014). Kun pH kohoaa tätä korkeammaksi aineet irtoavat lietteestä helposti.



Kuva 7.9.1. Hormonien mallinnettu käyttäytyminen jätevedenpuhdistamolla (biologinen typenpoistolaitos). Progesteronille ei löydetty riittäviä lähtötietoja mallinnuksen toteuttamiselle.

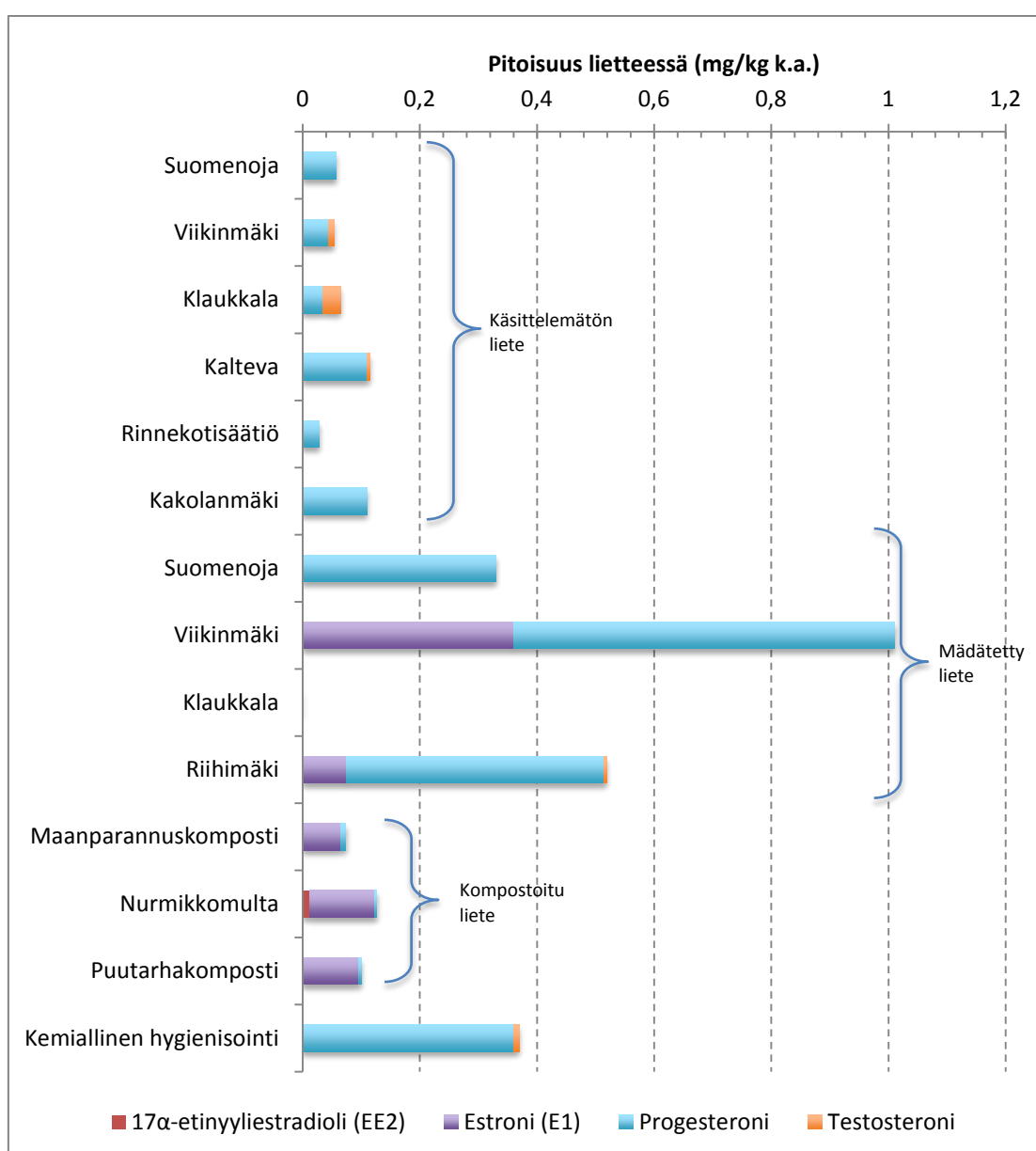
7.9.3 Puhdistamolietteiden mittaustulokset

Puhdistamolietteiden hormonipitoisuudet on esitetty taulukossa 7.9.1 ja kuvassa 7.9.2. Etinyyliestradiolin (EE2), estradiolin (E2) ja estriolin (E3) keskimääräiset pitoisuudet olivat kaikissa näytteryhmissä alle määritysrajojen. Etinyyliestradiolia löytyi ainoastaan yhdestä kompostoidusta näytteestä pitoisuudessa 0,013 mg/kg k.a. Estradiolin ja estriolin pitoisuudet olivat alle määritysrajojen kaikissa näytteissä. Korkein yksittäinen pitoisuus mitattiin progesteronille (0,65 mg/kg k.a.). Progesteroni oli myös yleisimmin tutkituissa näytteissä esiintynyt hormoni. Testosteronia löytyi pääasiassa käsittelemättömistä lietenäytteistä, kun taas estronia löytyi vain mädätetyistä ja kompostoiduista näytteistä. Sekä progesteronin että estronin tapauksessa keskimääräiset pitoisuudet olivat mädätetyissä lietteissä selvästi käsittelemättömiä lietteitä korkeampia. Kompostoiduissa näytteissä erityisesti progesteronin pitoisuudet taas olivat lähel-

lä määrittämissä. Kemiallisesti hygienisoidussa lietteessä esiintyi pääasiassa progesteronia ja vähäisessä määrin testosteronia.

Taulukko 7.9.1. Hormonien keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä. Keskiarvoa laskettaessa alle määrittämissä rajan olleet tulokset on huomioitu määrittämissä rajan puolikkaana.

Yhdiste	Käsittelemätön liete, n= 6	Mädätetty liete, n= 4	Kompostoitu liete, n= 3	Kemiallisesti hygienisoitu liete, n=1
17 α -etinyyliestradioli (EE2)	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
17 β -estradioli (E2)	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Estrioli (E3)	<0,5	<0,25	<0,25	<0,25
Estroni (E1)	<0,1	0,121	0,09	<0,05
Progesteroni	0,064	0,356	0,006	0,36
Testosteroni	0,010	<0,005	<0,005	0,01



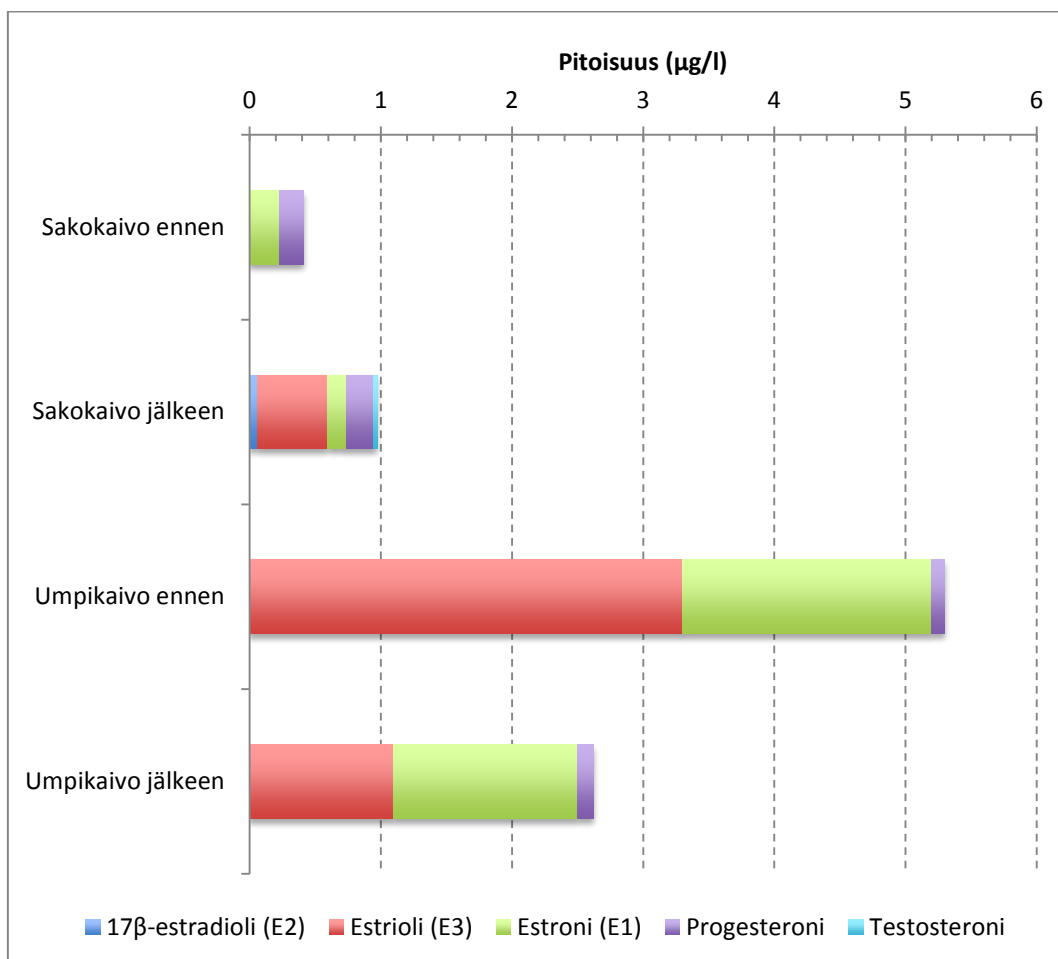
Kuva 7.9.2. Hormonien pitoisuudet käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä puhdistamolietteissä.

7.9.4 Hajalietteiden mittaustulokset

Hajalietteiden hormonipitoisuudet on mitattu koko vesitilavuudessa ja ne on ilmaistu kuvassa 7.9.3. yksiköissä $\mu\text{g/l}$. Tämä johtuu siitä, että näytteiden kiintoainepitoisuus oli alhainen, eikä aineita siksi pystytty analysoimaan pelkästään kiintoaineesta.

Pääasiassa WC-vesiä sisältävistä umpikaivovesistä kootun näytteen hormonipitoisuus oli 13-kertainen sakokaivoista koottuun näytteeseen verrattuna. Sakokaivonäyte sisälsi ainoastaan estronia ja progesteronia, kun taas umpikaivolietteessä suurin pitoisuus ($3,3 \mu\text{g/l}$) mitattiin estriolille.

Sakokaivolietteen kalkkistabiloinnin jälkeen hormonien yhteispitoisuus oli kohonnut arvosta $0,41 \mu\text{g/l}$ arvoon $0,98 \mu\text{g/l}$. Kalkkistabiloidusta näytteestä löydettiin myös etinyyliestadiolia, estriolia ja testosteronia, joiden pitoisuudet olivat alle määritysrajan käsittelemättömässä lietenäytteessä.



Kuva 7.9.3. Käsittelemättömien ja kalkkistabiloitujen hajalietteiden lääkeaineiden pitoisuudet aineryhmittäin.

Umpikaivolietteen kalkkistabiloinnin jälkeen hormonien yhteispitoisuus oli laskenut arvosta $5,3 \mu\text{g/l}$ arvoon $2,62 \mu\text{g/l}$ eli n. 50 %. Progesteronin pitoisuus pysyi samana, mutta estronin ja erityisesti estriolin pitoisuudet laskivat käsittelyn aikana.

7.9.5 Tulosten tarkastelu

Puhdistamolietteet

Aiempiä tuloksia hormonien pitoisuuksista puhdistamolietteissä on Suomessa niukalti. Marttinen ym. (2014) on raportoinut E2:n, E3:n ja EE2:n pitoisuuksia biokaasulaitosten mädätysjännöksissä. Näistä näytteistä löytyi ainoastaan estradiolia (E2) keskimääräisessä pitoisuudessa 0,0017 mg/kg. Korkein mitattu pitoisuus oli 0,022 mg/kg. Tässä tutkimuksessa E2:n pitoisuudet olivat alle määritysrajojen. On huomioitavaa, että määritysrajat olivat varsin korkeat (0,05 – 0,2 mg/kg). Marttinen ym. (2014) raportoimat arvot olivat kaikki alle tämä tutkimuksen määritysrajojen. Määritysrajat olivat myös korkeammat käsittelemättömässä kuin käsitellyissä lietteissä. Tämä saattaa vääristää tuloksia, sillä hormonien pitoisuudet ovat usein lähellä määritysrajoja. Clarke ja Smith (2011) ovat raportoineet estrogeenien pitoisuuksia useista maista kerätyissä lietteissä. Etinyyliestradiolin keskimääräinen pitoisuus on ollut 0,005, estriolin 0,01, estronin 0,016 – 0,027 ja estradiolin 0,02 mg/kg. Kaikki nämä arvot ovat pienempiä kuin tämän tutkimuksen määritysrajat käsittelemättömässä lietteessä.

Estrogeenien poistuminen mädätyksen aikana on aiempien tutkimuksien mukaan ollut vähäistä. E1:n, E2:n ja E3:n on todettu poistuvan prosessin aikana noin 30 – 40 % (Muller ym. 2010, Paterakis 2009, Andersen ym. 2003). Muller ym. (2010) ovat jopa mitanneet korkeampia EE2:n pitoisuuksia mädätetyssä lietteessä kuin ennen mädätystä otetusta lietenäytteestä. Aiemmissä tutkimuksissa on myös todettu yksittäisten hormonien poistuvan, mutta lietteen estrogeenisyyden pysyvän samana tai jopa lisääntyvän (Marti ja Batista 2014). Tiedetään, että E1 voi hapettomissa olosuhteissa pelkistyä E2:ksi (Stasinakis ym. 2012, Citulski ja Farahbakhsh 2010, Paterakis ym. 2009). E2 taas on E1:tä potentiaalisempi estrogeeninen aine. Lisäksi tiedetään, että mädätyksessä ihmisestä luontaisesti erittyvät C17-ketosteroidit, jotka eivät ole estrogeenisia, voivat muuntua E2:ksi (Citulski ja Farahbakhsh 2010).

Kompostimassoissa esiintyi tässä tutkimuksessa yksittäisiä näytteitä lukuun ottamatta pääosin estronia (E1). Kompostoinnin on aiemmissä tutkimuksissa todettu vähentävän erityisesti estradiolin (E2) pitoisuuksia lietteestä (Citulski ja Farahbakhsh 2010).

Lietteen happokäsittelyn vaikutuksesta hormonien pitoisuuksiin ei löydetty aiempia tutkimustuloksia.

Hajalietteet

Aiempiä mittaustuloksia hormonien pitoisuuksista hajalietteissä ei löydetty. Kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla on Suomessa aiemmin mitattu ainakin estradiolin ja etinyyliestradiolin pitoisuuksia (Vieno 2014). Jälkimmäisen pitoisuudet olivat kaikki alle määritysrajojen. Estradiolin keskimääräinen pitoisuus puhdistamovesissä on ollut 0,064 µg/l ja maksimipitoisuus 0,26 µg/l. Tässä tutkimuksessa estradiolia löytyi ainoastaan kalkkistabiloidusta sakokaivovesinäytteestä. Mitattu pitoisuus oli 0,057 µg/l eli samalla tasolla kuin keskimäärin puhdistamove-

sissä. Muita hormoneita hajalietteistä kuitenkin löytyi ja umpikaivoissa estrogeenin yhteispitoisuus oli yli 5 µg/l. Kotitaloudet ovatkin merkittävä jätevesien hormonikuormittaja.

Sakokaivovesien kalkkistabiloinnin jälkeen hormonien yhteispitoisuus oli alkuperäistä korkeampi. Tämä johtui pääosin estrolin pitoisuuden kohoamisesta. Umpikaivolietteissä tilanne oli päinvastainen eli erityisesti estriolin pitoisuus pienentyi. Estronin ja progesteronin pitoisuudet pysyivät samalla tasolla. Kalkkistabiloinnin vaikutuksesta estrogeeneihin ja niiden pitoisuuksiin lietteessä on hyvin vähän tietoa. Kirjallisuudessa on todettu, että E2- ja EE2-pitoisuudet eivät olisi muuttuneet kalkkistabiloinnin aikana. On kuitenkin todettu, että kalkkistabiloinnin aikainen korkea pH lisää estrogeenien liukenemista lietteestä (Citulski ja Farahmakshin 2010, Muller ym. 2010). Estrogeenien pK_a -arvot ovat korkeita ja ne ovat heikkoja happoja. Korkeassa pH:ssa sekä estrogeenit että lietepartikkelit deprotonoituvat, joka voi aiheuttaa estrogeenien desorption lietteestä. Tässä tutkimuksessa näytteistä mitattiin sekä vesi- että kiinteä faasi, joten tämä ilmiö ei tässä tapauksessa selitä aineiden pitoisuuksien nousua.

8 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

8.1 Mallinnuksen tarkkuus lietteen haitta-ainepitoisuuksien arvioimisessa

Tutkituista aineista 33:lle pystyttiin laskennallisesti määrittämään mallinnusten ja kuormitus- tai käyttötietojen perusteella pitoisuudet käsittelemättömissä lietteissä. Vertailu mitattuihin tuloksiin on esitetty taulukossa 8.1. Aineista 14:n laskennalliset arvot osuivat mitattujen pitoisuuksien vaihteluväliin eli laskennallisesti pystyttiin keskimääräisesti arvioimaan aineiden pitoisuuksia lietteissä.

Aineista 11 pitoisuudet arvioitiin laskennallisesti korkeammiksi kuin mitatut arvot. Lisäksi viiden aineen laskennalliset pitoisuusarvot olivat alle mittausten määritysrajojen. Jos haitta-aineiden laskennallisia pitoisuuksia käytetään aineiden ympäristöriskien arviointiin, on haitallisempaa, jos laskennallinen arvo on mitattuja arvoja pienempi. Tällöin tullaan aliarvioineeksi aineen ympäristöriskejä. Kolmelle aineelle laskennallinen pitoisuus oli mitattua alempi. Yksi näistä aineista oli triklosaani. Triklosaanin osalta aineen kuorma puhdistamolle oli arvioitu aiemmin tehdyistä jäteveden vesifaasin pitoisuusmittauksista (Vieno 2014). Samaras ym. (2013) mukaan 66 – 70 % puhdistamolle tulevasta triklosaanista on sitoutuneena kiintoaineseen. Tämä voi aiheuttaa aineen kuorman aliarvioimista, kun mitataan vain aineen pitoisuus vesifaasissa.

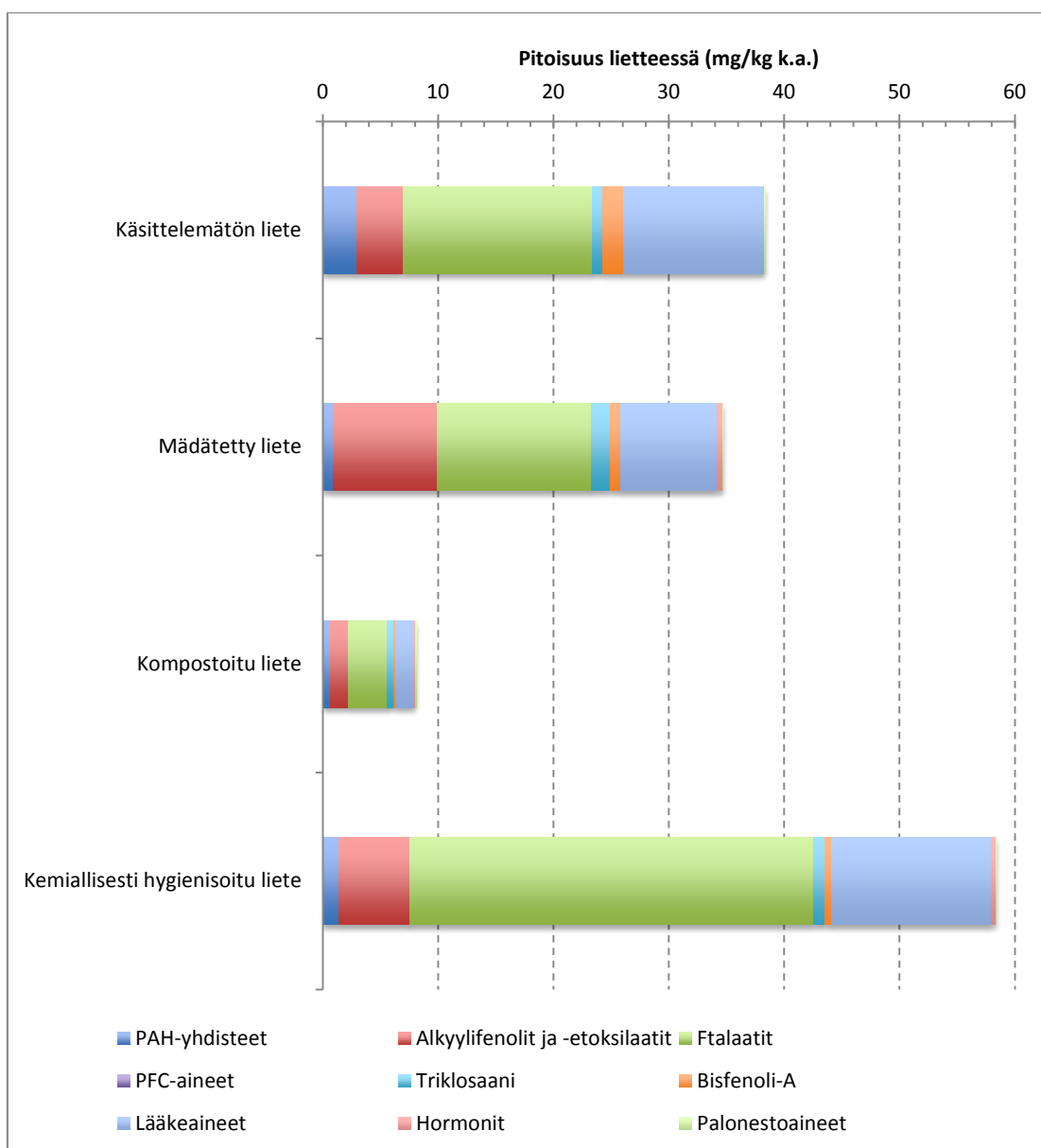
Tutkimuksen tavoitteena oli todentaa mittauksien avulla mallintamalla saatuja tuloksia aineiden sitoutumisesta lietteeseen. Kokonaisuudessaan voidaan sanoa, että laskennallisesti on mahdollista saada melko luotettavaa tietoa aineiden keskimääräisistä pitoisuuksista lietteissä. Toisaalta on muistettava, että tutkitusta 111 aineesta vain 33 pystyttiin laskennallinen arvio tekemään. Muiden aineiden osalta ei ollut joko riittävää tietoa puhdistamolle tulevasta kuormasta tai mallinnusta ei pystytty puuttuvien lähtötietojen takia tekemään riittävällä tarkkuudella. Mallintaminen on hyvä ja edullinen keino arvioida aineiden sitoutumispotentiaalia lietteeseen, kunhan aineista on saatavilla riittävät lähtötiedot.

Taulukko 8.1. Lietteiden laskennallisten ja mitattujen haitta-ainepitoisuuksien vertailu.

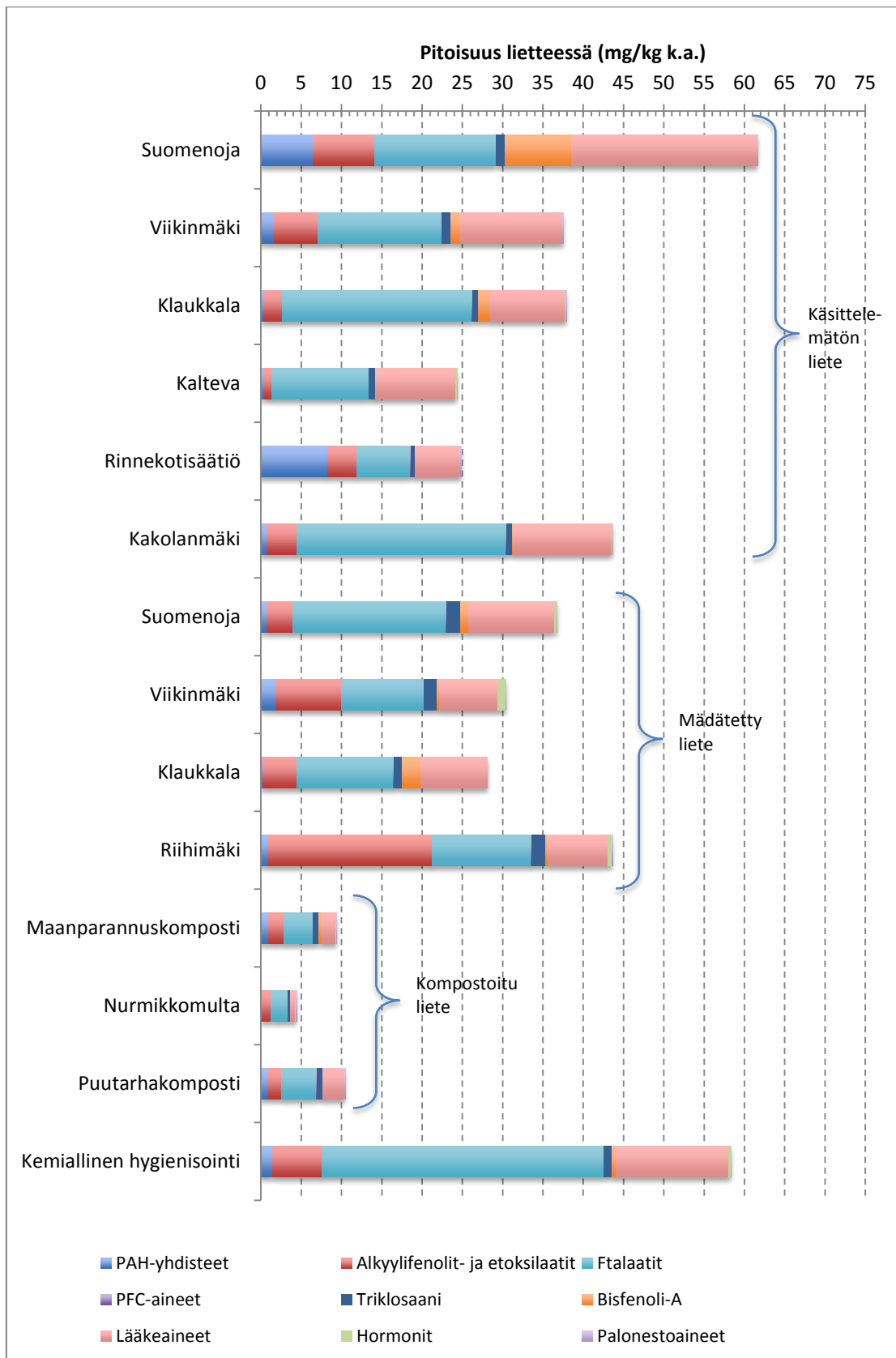
Aine	Laskennallinen pitoisuus lietteessä (mg/kg)	Mitattu pitoisuus lietteessä (mg/kg) käsittelemättömässä lietteessä keskiarvo (vaihteluväli)
Aineet, joille laskennallinen pitoisuus osui mitatun pitoisuuden vaihteluväliin		
DEHP	13,9	16,3 (6,6 – 26)
PFOS	0,014	0,0065 (0,003 – 0,014)
PFOA	0,005	0,0027 (< 0,001 – 0,008)
HBCD (summa)	0,037	0,0042 (0,033 – 0,02)
Bisfenoli-A	3,8	1,86 (< 0,05 – 8,3)
Siprofloksasiini	2,5	2,48 (0,8 – 3,6)
Norfloksasiini	0,15	0,26 (0,06 – 0,54)
Naprokseeni	0,46	0,24 (0,039 – 0,69)
Ibuprofeeni	0,24	0,38 (0,1 – 0,99)
Ketoprofeeni	0,02	0,02 (< 0,001 – 0,044)
Fluoksetiini	0,3	0,03 (0,008 – 0,11)
Propranololi	0,01	0,03 (0,01 – 0,042)
Entakaponi	0,56	0,12 (< 0,001 – 0,6)
Karbamatsepiini	0,05	0,108 (0,025 – 0,47)
Aineet, joille laskennallinen pitoisuus oli mitattua alempi		
Triklosaani	0,15	0,85 (0,55 – 1,1)
Doksisykliini	0,1	1,92 (1 – 4,2)
Ofloksasiini	0,11	0,83 (0,14 – 1,7)
Aineet, joille laskennallinen pitoisuus oli mitattua korkeampi		
Parasetamoli	1,4	0,3 (0,026 – 0,89)
Trimetopriimi	0,74	0,02 (< 0,005 – 0,045)
NP+NP _x EO	10,4	4,0 (0,96 – 7,7)
Diklofenaakki	0,27	0,168 (0,086 – 0,25)
Tetrasykliini	5,4	2,14 (0,96 – 3,2)
Metoprololi	0,12	0,07 (0,028 – 0,106)
Atenololi	0,11	0,007 (0,001 – 0,017)
Sotaloli	0,05	0,008 (< 0,001 – 0,019)
Gemfibrotsiili	0,008	0,004 (< 0,001 – 0,006)
OP+OP _x EO	1,2	0,05 (<mr – 0,05)
Sulfametoksatsoli	0,04	(< 0,01 – 0,01)
Aineet, joille mitattu pitoisuus oli alle määrittämissä		
Betsafibraatti	0,008	<0,01
Estradioli (E2)	0,10	<0,1
Etinyyliestradioli (EE2)	0,001	<0,1
DBP	0,54	< 1
BBP	0,39	< 1

8.2 Haitta-aineiden esiintyminen puhdistamolietteissä

Käsittelemättömissä lietteissä esiintyi tutkittuja aineita keskimäärin yhteensä 38,3 mg/kg k.a. (kuva 8.1 ja kuva 8.2). Tästä määrästä 43 % koostui DEHP-ftalaatista, jonka keskimääräinen pitoisuus käsittelemättömissä lietteissä oli 16,3 mg/kg k.a. Aineryhmänä korkein pitoisuus ftalaattien jälkeen mitattiin lääkeaineille, joiden yhteispitoisuus oli 12,1 mg/kg k.a. eli 32 % aineiden kokonaismäärästä. Toki lääkeaineita mitattiin yhteensä 51 erilaista ainetta, jolloin monen aineen yhteispitoisuus väistämättä kohosi melko korkeaksi.



Kuva 8.1. Tutkittujen aineiden ja aineiryhmien keskimääräiset arvot käsittelemättömissä ja eri tavoin käsitellyissä lietteissä.



Kuva 8.2. Tutkittujen aineiden ja aineryhmien pitoisuudet tutkituissa näytteissä.

Mädätetyissä lietteissä aineiden yhteispitoisuus oli keskimäärin samalla tasolla kuin käsittelemättömissä lietteissä. Myös mädätetyissä lietteissä DEHP:n pitoisuus oli korkein, keskimäärin 13,3 mg/kg k.a. Seuraavaksi eniten löytyi alkyylifenoleja ja niiden etoksilaatteja sekä lääkeai-

neita. Kompostimassoista otetuissa näytteissä tutkittujen aineiden yhteispitoisuus oli keskimäärin 8,1 mg/kg k.a. eli n. 80 % käsittelemättömiä lietenäytteitä matalampi. On muistettava, että kompostoitaessa puhdistamolietteeseen lisätään apuaineita, jolloin lietteen osuus pienee ja näyte laimenee. Toisaalta kompostoinnin aikana orgaaninen aines hajoaa ja lietteen määrä pienenee ja näyte konsentroituu.

Kompostimassoissa esiintyi suurimmissa pitoisuuksissa ftalaatteja, lääkeaineita ja alkyylifenoleita ja niiden etoksilaatteja. Suurimmat keskimääräiset pitoisuudet mitattiin seuraaville aineille:

- DEHP: 3,3 mg/kg k.a.
- 4-nonyylifenoli: 1,5 mg/kg k.a.
- Antibiootti siprofloksasiini: 0,8 mg/kg k.a.
- Triklosaani: 0,6 mg/kg k.a.
- Antibiootti ofloksasiini: 0,4 mg/kg k.a.
- Antibiootti tetrasykliini: 0,1 mg/kg k.a.
- Bisfenoli-A: 0,1 mg/kg k.a.

Nämä seitsemän ainetta vastasivat 84 % koko kompostimassoista mitattujen aineiden kokonaismäärästä.

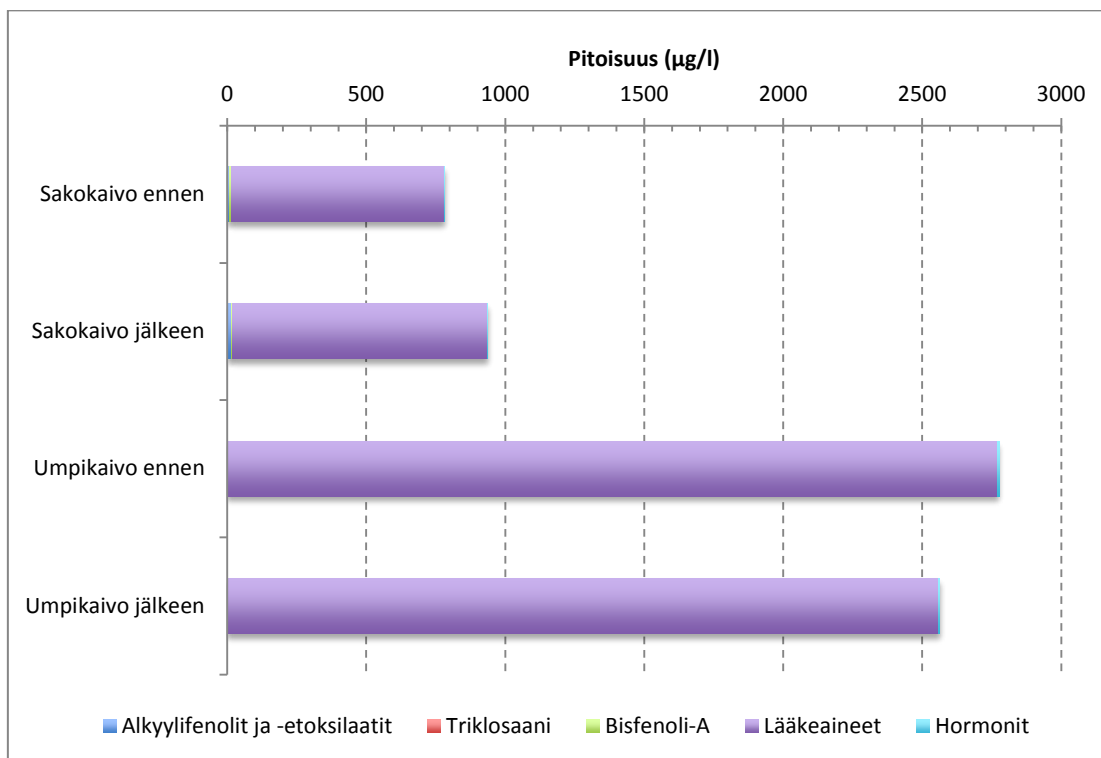
Kemiallisesti hydrolysoitu liete vastasi pääosin haitta-ainekoostumukseltaan käsittelemätöntä tai mädätettyä lietettä. Sen sisältämien aineiden kokonaispitoisuutta nosti DIDP-ftalaatin korkea pitoisuus näytteessä. Aineen alkuperä näytteessä ei ole tiedossa, mutta ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että näyte olisi kontaminoitunut käsittelyvaiheessa. Lisäksi on huomioitava, että kemiallisesti hydrolysoidusta lietteestä otettiin vain yksi näyte, jolloin tuloksen epävarmuus kasvaa merkittävästi.

Ainoastaan PAH-yhdisteille ollaan tällä hetkellä ehdottamassa raja-arvoa maatalouskäyttöön käytettävissä kompostimassojen ja mädätteiden tuotteissa. Raja-arvo tulee olemaan 6 mg/kg PAH16-aineiden summana laskettuna. Tässä tutkimuksessa kahdessa näytteessä tämä raja-arvo ylittyi. Nämä näytteet olivat kuitenkin kerätty käsittelemättömästä lietteestä, joka tämän jälkeen vielä mädätettiin ja/tai kompostoitui. PAH16-aineiden pitoisuudet laskivat suurella todennäköisyydellä näissä käsittelyissä raja-arvon alle.

8.3 Haitta-aineiden esiintyminen hajalietteissä

Hankeeseen osallistuneille kiinteistöille lähetettiin taustakartoituskysely, jolla kartoitettiin lääkkeiden, kosmetiikan ja siivouskemikaalien käyttöä kiinteistöissä. Kyselyn perusteella kävi ilmi, että kyseisten kiinteistöjen asukkaat käyttivät varsin paljon erilaisia lääkkeitä. Tämän vuoksi ei ollutkaan ihme, että aineita myös löytyi suuriakin pitoisuuksia sako- ja umpikaivolietteistä (kuva 8.3). Lääkeaineista suurimmat pitoisuudet mitattiin tulehduskipulääkkeille, joiden pitoisuudet olivat jopa 20 kertaa suuremmat kuin kunnallisen puhdistamon tulevissa jätevesissä on Suomessa mitattu. Alkyylifenolien ja -etoksilaattien, lääkeaineiden, hormonien, triklosaanin osalta arvioitiin, että asumajätevedet ovat merkittävä näiden aineryhmien aineiden lähde kunnallisten puhdistamoiden jätevesissä.

Ainoastaan PAH-yhdisteille ollaan tällä hetkellä ehdottamassa raja-arvoa maatalouskäyttöön käytettävissä kompostimassojen ja mädätteiden tuotteissa. Raja-arvo tulee olemaan 6 mg/kg PAH16-aineiden summana laskettuna. Hajalietteiden osalta PAH16-aineiden summa oli välillä 0,4 – 1,2 mg/kg k.a. eli tämä raja-arvo alittui reilusti.



Kuva 8.3. Tutkittujen haitta-aineryhmien kokonaispitoisuudet käsittelemättömissä ja kalkkistabiloiduissa hajalietteissä.

8.4 Lietteen käsittelyn vaikutus haitta-aineisiin

Mittaus- ja kirjallisuustutkimusten perusteella arvioitiin mädätyksen ja kompostoinnin vaikutusta tutkittujen aineiden pitoisuuksiin puhdistamolietteissä sekä kalkkistabiloinnin vaikutusta pitoisuuksiin hajalietteissä (taulukko 8.2.). Kokonaisuudessaan kompostointi näyttäisi olevan mädätystä tehokkaampi keino orgaanisten haitta-aineiden pitoisuuksien vähentämiseksi lietteistä. Aine voi hajota tehokkaasti mädätyksessä, jos se on biohajoava hapettomissa olosuhteissa. Useat aineet voivat hajota anaerobisesti, mutta hajoaminen on usein merkittävästi nopeampaa hapellisissa olosuhteissa. Lisäksi kompostointiaika on yleensä selvästi mädätysaikaa pidempi, jolloin aineiden hajoamiselle on enemmän aikaa. Tässä tutkimuksessa kompostointiaika oli n. 6 kuukautta, joka näyttäisi olevan tarpeeksi pitkä useiden aineiden pitoisuuksien vähentämiseksi.

Joidenkin aineiden, kuten alkyylifenolien ja niiden etoksilaattien, PFOS:in, triklosaanin ja joidenkin lääkeaineiden keskimääräiset pitoisuudet olivat mädätetyissä lietteissä käsittelemättömiä lietteitä korkeammat. Tämä saattaa mennä määrittämissä menetelmien virhemarginaalin sisään ja lisäksi on huomioitava, että näytemäärä oli melko suppea eivätkä käsittelemätön ja käsitelty liete vastanneet tarkoin toisiaan. Toisaalta vastaavia pitoisuuksien lisääntymisiä on raportoitu

myös ainakin PFOS:ille (Guerra ym. 2014, Yu ym. 2009,) ja alkyylifenoleille ja niiden etoksilaateille (Samaras ym. 2013, Stasinakis ym. 2012, Citulski ja Farahbakhsh 2010). On arvioitu, että PFOS:in esiasteet voivat hajota vapauttaen PFOS:ia ja toisaalta taas pidempiketjuiset alkyylifenolietoksilaatit vapauttavat hajotessaan alkyylifenoleita ja lyhyempiketjuisia etoksilaatteja. Pitoisuuksien kohoaminen voi johtua myös lietteen määrän pienentymisestä mädätyksen ja kompostoinnin aikana, jolloin näyte ikään kuin konsentroituu. Esimerkiksi mädätyksessä hajonnut kiintoaine on usein 20–50 % syötetyn lietteen kiintoainemäärästä (Kangas ym. 2011). Jos tutkittu aine ei ole prosessissa hajonnut eikä päätenyt rejektiveteen, sen pitoisuus kasvaa vaikka kuorma ei kasvaisikaan.

Merkittävää oli, että kompostoinnin aikana perfluorattujen aineiden määrä lisääntyi huomattavasti. Ainoastaan PFOS:in pitoisuus oli pienempi kompostimassoista kerätyissä näytteissä kuin mädätetyissä tai käsittelemättömissä näytteissä. Tämä saattaa johtua tutkittujen aineiden esiasteiden hajoamisesta ja aineiden hajoamisesta toisiksiin. Vaikka kompostointi kokonaisuutena vaikuttaa olevan tutkituista käsittelymenetelmistä tehokkain keino vähentää haitallisten aineiden määrää lietteissä, olisi tätä asiaa jatkossa tutkittava tarkemmin. Lisäksi lääkeaineista kompostimassoista esiintyi pääosin antibiootteja. Esimerkiksi fluorokinolosten antibioottien kuten siprofloksasiinin ja ofloksasiinin on todettu olevan maaperässä pysyviä eivätkä ne huuhtoudu herkästi sadeveden mukana salaojiin tai suotaudu pohjaveteen (Golet ym. 2003). Niillä on siis taipumus kertyä maaperään. Myös tämä on hyvä jatkossa huomioida.

Hajalietteiden kalkkistabilointi pienensi PAH-yhdisteiden ja joidenkin antibioottien määrää näytteissä. On huomioitavaa, että vain PAH-yhdisteet voitiin näytteen alhaisen kiintoainepitoisuuden vuoksi määrittää kiinteästä aineesta. Muut aineryhmät määritettiin koko näytteestä (vesi + kiinteä aine). On siis mahdollista, että kalkkistabiloinnin aikainen korkea pH irrotti PAH-yhdisteitä kiinteistä aineesta vesiliuokseen ja aineiden pitoisuus laski tämän vuoksi. Kokonaisuudessaan kalkkistabilointi ei kuitenkaan merkittävästi vähentänyt aineiden pitoisuuksia. Kalkkistabiloidun sako- tai umpikaivolietteen hyötykäytössä on siis vaarana kuormittaa ympäristöä selvästi kunnallisia puhdistamolietteitä enemmän. Tämä voidaan välttää käyttämällä ainoastaan sellaisten kiinteistöjen hajalietteitä, joiden asukkaat käyttävät lääkkeitä vain vähäisessä määrin.

Ennen ympäristöön johtamista sakokaivovedet on tätä nykyä käsiteltävä esimerkiksi maapuhdistamossa tai tehdasvalmisteisissa pienpuhdistamoissa. Koska monet tutkituistakin aineista ovat biologisesti hajoavia, niiden poistumispotentialiaali näissä käsittelymenetelmissä on suuri. Sakokaivovesien maimeytyskokeissa on esimerkiksi todettu monen orgaanisen haitta-aineen biohajoavan (Du ym. 2014). Hyviä tuloksia on saatu myös aerobiseen biosuodatukseen perustuvissa käsittelymenetelmissä sekä kosteikkokäsittelyssä (Ávila ym. 2012, Matamoros ym. 2009, Conn ym. 2006). Useiden lääkeaineiden poistumien on todettu olevan kosteikoissa samalla tasolla tai jopa korkeampia kuin kunnallisella jätevedenpuhdistamolla (Li ym. 2014).

Aineiden käyttäytymistä kemiallisessa hydrolyysissä ei voida tarkemmin käsitellä, koska kyseessä oli yksittäismittaus. Myöskään kirjallisuudesta ei löydetty tietoa kemiallisen hydrolyysin vaikutuksesta haitta-aineisiin.

Mikään käsittelymenetelmä ei yksinään ole riittävä poistamaan kaikkia orgaanisia haitta-aineita lietteistä. Yhdistelemällä erilaisia käsittelymenetelmiä puhdistuskokonaisuudeksi, päästään lietteenkäsittelyssä kuitenkin hyviin tuloksiin haitta-aineiden poistossa.

Taulukko 8.2. Arvio aineiden käyttäytymisestä lietteen käsittelyssä. Asteikko: -- pitoisuus lisääntyi, - pitoisuus ei merkittävästi pienene, + pitoisuus pienenee hieman ++ pitoisuus pienenee merkittävästi. nd= aineen pitoisuudet olivat < määrittäysrajojen.

Aine	Mädätys	Kompostointi	Kalkkistabilointi
POLYAROMAATTISET HIILIVEDYT			
naftaleeni	+	++	+
asenaftyleeni	nd	nd	nd
asenafteeni	+	++	++
fluoreeni	--	++	++
fenantreeni	--	+	+
antraseeni	--	++	++
fluoranteeni	-	-	++
pyreeni	+	+	++
bentso(a)antraseeni	+	+	nd
kryseeni	+	-	nd
bentso(b)fluoranteeni	++	-	nd
bentso(k)fluoranteeni	++	-	nd
bentso(a)pyreeni	++	+	nd
dibentso(ah)antraseeni	++	nd	nd
bentso(ghi)peryleeni	++	nd	nd
indeno(123cd)pyreeni	++	nd	nd
ALKYYLIFENOLIT JA NIIDEN ETOKSILAATIT			
4-n-nonyylifenoli	nd	nd	nd
4-nonyylifenoli	--	++	--
4-nonyylifenolimonoetoksilaatti	--	++	--
4-nonyylifenolidietoksilaatti	--	++	-
4-tert-oktyylifenoli	--	++	nd
4-tert-oktyylifenolimonoetoksilaatti	nd	nd	nd
4-tert-oktyylifenolidietoksilaatti	nd	nd	-
FTALAAIT			
Di-2-etyyliheksyylliftalaatti (DEHP)	+	++	ei mitattu
Dimetyylliftalaatti (DMB)	nd	nd	ei mitattu
Dietyylliftalaatti (DEP)	nd	nd	ei mitattu
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	++	+	ei mitattu
Dibutyyliftalaatti (DBP)	nd	nd	ei mitattu
Dipentyylliftalaatti (DPP)	nd	nd	ei mitattu
Diheksyylliftalaatti (DHP)	nd	nd	ei mitattu
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	nd	nd	ei mitattu
Di(n)oktyylliftalaatti (DOP)	nd	nd	ei mitattu
Di(iso)nonyylliftalaatti (DINP)	nd	nd	ei mitattu
Di-(iso)dekyylliftalaatti (DIDP)	nd	nd	ei mitattu
PERFLUORATUT YHDISTEET			
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	--	++	ei mitattu
Perfluorobutaanisulfonaatti	+	--	ei mitattu

(PFBuS)			
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS)	nd	nd	ei mitattu
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)	nd	nd	ei mitattu
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)	nd	nd	ei mitattu
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)	++	--	ei mitattu
Perfluorobutaanihappo (PFBA)	++	--	ei mitattu
Perfluoropentaanihappo (PFPeA)	+	--	ei mitattu
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)	+	--	ei mitattu
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)	+	--	ei mitattu
Perfluorononaanihappi (PFNA)	nd	nd	ei mitattu
Perfluorodekaanihappo (PFDA)	+	--	ei mitattu
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)	nd	nd	ei mitattu
Perfluorododekaanihappo (PFDoA)	nd	--	ei mitattu
PALONESTOAINHEET			
α -HBCD	+	++	ei mitattu
β -HBCD	-	+	ei mitattu
γ -HBCD	++	++	ei mitattu
Tetrabromobisfenoli-A (TBBPA)	++	+	ei mitattu
LÄÄKEAINHEET			
Siprofloksasiini	-	++	++
Tetrasykliini	+	++	++
Doksisykliini	+	++	++
Ofloksasiini	-	+	-
Norfloksasiini	--	++	nd
Oksitetrasykliini	--	++	nd
Sulfametoksatsoli	++	nd	nd
Trimetopriimi	++	nd	--
Penisilliini G bentsatiini	nd	nd	nd
Ibuprofeeni	++	nd	-
Parasetamoli	++	nd	-
Naprokseeni	++	nd	-
Diklofenaakki	+	++	+
Ketoprofeeni	-	++	-
Sitalopraami	+	+	-
Paroksetiini	++	-	nd
Fluoksetiini	--	++	nd
Metoprololi	--	+	-
Felodipiini	++	nd	nd
Propranololi	-	+	nd
Bisoprololi	-	++	-
Atenololi	+	nd	--
Sotaloli	nd	nd	nd
Enalapriini	nd	nd	++
Gemfibrotsiili	nd	nd	nd
Betsafibraatti	-	nd	nd

Klofibriinihappo	nd	nd	nd
Simvastatiini	nd	nd	nd
Ifosfamidi	nd	nd	nd
Metotreksaatti	nd	nd	nd
Syklofosfamidi	nd	nd	nd
Furosemidi	++	-	+
Hydroklooritiatsidi	++	nd	-
Salbutamoli (albuteroli)	nd	nd	-
Terbutaliini	nd	nd	nd
Klenbuteroli	nd	nd	nd
Beklometatsoni	nd	nd	nd
Ketononatsoli	-	++	+
Hydrokortisoni	nd	nd	nd
Metronidatsoli	nd	nd	nd
Iopamidoli	nd	nd	nd
Iopromidi	nd	nd	nd
Metyyliprednisoloni	+	nd	--
Kofeiini	++	++	-
Entakaponi	++	+	++
Karbamatsepiini	-	++	nd
Varfariini	+	nd	++
Fenbendatsoli	--	++	nd
Flubendatsoli	--	++	nd
Tylosiini	nd	nd	nd
Ivermektiini	nd	nd	nd
Estroni (E1)	--	++	+
17 β -estradioli (E2)	nd	nd	--
Estrioli (E3)	nd	nd	-
17 α -etinylliestradioli (EE2)	nd	nd	nd
Progesteroni	--	++	-
Testosteroni	+	nd	-
MUUT AINEET			
Triklosaani	--	++	--
Bisfenoli-A	+	++	-

Lähteet

- 1) Ahlgren, P. 2012. Biodegradation of potentially harmful compounds in wastewater treatment. Master's Thesis. Aalto University.
- 2) Andersen, H., Siegrist, H., Halling-Sorensen, B. ja Ternes, T.A. 2003. Fate of estrogens in a municipal sewage treatment plant. *Environmental Science and Technology*, 37(18), 4021-4026.
- 3) Aranami, K. ja Readman, J.W. 2007. Photolytic degradation of triclosan in freshwater and seawater. *Chemosphere*, 66, 1052-1056.
- 4) Ávila, C., Reyes, C., Bayona, J.M. ja García, J. 2013. Emerging organic contaminant removal depending on primary treatment and operational strategy in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Influence of redox. *Water Research*, 47(1), 315-325.
- 5) Backhaus, T. ja Karlsson, M. 2014. Screening level mixture risk assessment of pharmaceuticals in STP effluents. *Water Research*. 49, 157-165.
- 6) Banihashemi, B ja Droste, R.L. 2014, Sorptio-desorption and biosorption of bisphenol A, triclosan, and 17 α -ethinylestradiol to sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 487, 813-821.
- 7) Bedoux, G., Roig, B., Thomas, O., Dupont, V. ja Le Bot, B. 2012. Occurrence and toxicity of antimicrobials triclosan and by-products in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 1044-1065.
- 8) Bester, K. 2003. Triclosan in sewage treatment process – balances and monitoring data. *Water Research*, 37, 3891-3896.
- 9) Brausch, J.M., Connors, K.A., Brooks, B.W. ja Rand, G.M. 2012. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: A review of recent toxicological studies and considerations for toxicity testing. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 218, 1-99.
- 10) Brenner, A., Mukmenev, I., Abeliovich, A. ja Kushmaro, A. 2006. Biodegradability of tetrabromobisphenol A and tribromophenol by activated sludge. *Ecotoxicology*, 15(4), 399-402.
- 11) Brozinski, J.-M. 2013, Identification and application of bile metabolites to assess the exposure of fish to pharmaceuticals in the environment. Väitöskirja. Åbo Akademi.
- 12) Campbell, A.J. 2013. The behaviour of pharmaceuticals in anaerobic digester sludge. Väitöskirja. University of Portsmouth.
- 13) Carballa, M., Omil, F., Lema, J.M. 2005. Removal of cosmetic ingredients and pharmaceuticals on sewage primary treatment. *Water Research*, 4790-4796.
- 14) Carballa, M., Omil, F., Ternes, T., Lema, J.M., 2007. Fate of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) during anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Research*, 41, 2139–2150.
- 15) Carrara, C., Ptacek, C.J., Robertson, W.D., Blowes, D.W., Moncur, M.C., Sverko, E. ja Backus, S. 2008. Fate of pharmaceutical and trace organic compounds in three septic system plumes, Ontario, Canada. *Environmental Science and Technology*, 42, 2805-2811.
- 16) Chen, X., Nielsen, J.L., Fungal, K., Liu, Y., Lolas, I.B. ja Bester, K. 2011. Biodegradation of triclosan and formation of methyl-triclosan in activated sludge under aerobic conditions. *Chemosphere*, 84, 52-456.
- 17) Citulski, J.A. ja Farajbakhsh, K. 2010. Fate of endocrine-active compounds during municipal biosolids treatment: A review. *Environmental Science and Technology*, 44, 8367-8376.

- 18) Clara, M., Strenn, B., Saracevic, E. ja Kreuzinger, N. 2004. Adsorption of bisphenol-A, 17 β -estradiole and 17 α -ethinylestradiole to sewage sludge. *Chemosphere* 56, 843-851.
- 19) Clarke, B.O. ja Smith, S.R. 2011. Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*, 37, 226-247.
- 20) Conn, K.E., Barber, L.B., Brown, G.K. ja Siegrist, R.L. 2006. Occurrence and fate of organic contaminants during onsite wastewater treatment, 40, 7358-7366.
- 21) Dagnat, C., Teil, M.-J., Chevreuil, M. ja Blanchard, M. 2009. Review: Phthalate removal throughout wastewater treatment plant Case study of Marne Aval station (France). *Science of the Total Environment*, 407, 1235-1244.
- 22) Davidsson, Å., Kjerstadius, S., Haghghatafshar, S., Fick, J., Olsson, M., Wachtmeister, H., Eriksson, E. ja la Cour Jansen, J. 2014. Effect of anaerobic digestion at 35, 55 and 60 °C on pharmaceuticals and organic contaminants. *Water Science and Technology*, 69(6), 1282-1288.
- 23) Du, B., Price, A.E., Scott, W.C., Kristofco, L.A., Ramirez, A.J., Chambliss, C.K., Yelderian, J.C. ja Brooks, B.W. 2014. Comparison of contaminants of emerging concern removal, discharge, and water quality hazards among centralized and on-site wastewater treatment system effluents receiving common wastewater influent. *Science of the Total Environment*, 466-467, 976-984.
- 24) EC 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General. Saatavilla: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out153_en.pdf
- 25) ECHA 2013. SVHC Support Document – 4-nonylphenol, branched and linear, ethoxylated. Member state committee, European Chemicals Agency. Saatavilla: http://echa.europa.eu/documents/10162/14598345/support_document_4-nonylphenol+ethoxylates_20130612_en.pdf
- 26) EEA 2012. The Impacts of endocrine disruptors on wildlife, people and their environment. European Environment Agency. EEA Technical report, No 2/2012.
- 27) EFSA 2015. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foods. tufts: Executive summary. European Food Safety Authority. *EFSA Journal* 2015;13(1):3978.
- 28) EU 1998. Phthalate migration from soft PVC toys and child-care articles. Opinion expressed at the CSTEE third plenary meeting Brussels, 24 April 1998. EU Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment.
- 29) Fauser, P., Sorensen, P.B., Carlsen, L. ja Vinkelsoe, J. 2001. Phthalates, Nonylphenols and LAS in Roskilde Wastewater Treatment Plant, NERI Technical Report No. 354. Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute.
- 30) Fent, K., Weston, A.A. ja Caminada, D. 2006. Review. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76, 122-159.
- 31) Fick, J., Lindber, R.H., Kaj, L. ja Brorström-Lundén, E. 2011. Results from the Swedish National Screening Programme 2010 Subreport 3. Pharmaceuticals. IVL Swedish Environmental Research Institute.
- 32) Golet, E.M., Xifra, I., Siegrist, H., Alder, A.C. ja Giger, W. 2003. Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. *Environmental Science and Technology*, 37(15), 3243-3249.

- 33) Golshan, M., Hatef, A., Socha, M., Milla, S., Butts, I.A.E., Carnevali, O., Rodina, M., Sokolowska-Mikolajczyk, M., Fontaine, P., Linhart, O. ja Alavi, S.M.H. 2015. Di-(2-ethylhexyl)-phthalate disrupts pituitary and testicular hormonal functions to reduce sperm quality in mature goldfish. *Aquatic Toxicology*, in press.
- 34) Guerra, P., Kim, M., Kinsman, L., Ng, T., Alaei, M. ja Smyth, S.A. 2014. Parameters affecting the formation of perfluoroalkyl acids during wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials* 272, 148-154.
- 35) Harrison, E.Z., Rayne Oakes, S., Hysell, M. ja Hay, A. 2006. Review. Organic chemicals in sewage sludges. *Science of the Total Environment*, 367, 481-497.
- 36) Hernández Leal, L., Vieno, N., Temmink, H., Zeeman, G. ja Buisman, C.J. 2010. Occurrence of xenobiotics in gray water and removal in three biological treatment systems. *Environmental Science and Technology*, 44, 6835-6842.
- 37) HSY 2014. Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla. Viikinmäen ja Suomenojan puhdistamot. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä. Saatavilla: https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/3_2015_jatevedenpuhdistus_paakaupunkiseudulla_2014.pdf
- 38) Joss, A., Andersen, H., Ternes, T., Richle, P.R. ja Siegrist, H. 2004. Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: consequences for plant optimization. *Environmental Science and Technology*, 38, 3047-3055.
- 39) Kangas, A., Lund, C., Liuksia, S., Arnold, M., Merta, E., Kajlinna, T., Carpén, L., Koskinen, P. ja Ryhänen, T. 2011. Energiatohokas lietteenkäsittely. *Suomen Ympäristö* 17/2011.
- 40) Karlsson, M. ja Viktor, T. 2014. Miljöströrande ämnen i fisk från Stockholmsregionen 2013. NR B 2214. IVL Svenska Miljöinstitutet.
- 41) Kasurinen, V., Munne, P., Mehtonen, J., Türkmen, A., Seppälä, T., Mannio, J., Verta, M. ja Äystö, L. 2014. Orgaaniset haitta-aineet puhdistamolietteisä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2014.
- 42) Keinänen-Toivola, M., Ahonen, M. ja Kaunisto, T. 2007. Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984-2006. Vesi-Instituutin julkaisuja 2. Saatavilla: http://www.samk.fi/download/27073_Julkaisu2.pdf
- 43) La Guardia, M.J., Hale, R.C., Harvey, E., Bush, E.O., Matterson Mainor, T. ja Gaylor, M.O. 2004. Organic contaminants of emerging concern in land-applied sewage sludge (biosolids). *Journal of Residuals Science & Technology*, 1(2), 111-122.
- 44) Lahti, M. 2013. The fate aspects of pharmaceuticals in the environment. Biotransformation, sedimentation and exposure of fish. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto.
- 45) Li, Y., Zhu, G., Ng, W.J. ja Tan, S.K. 2014. A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: Design, performance and mechanism. *Science of the Total Environment*, 468-469, 908-932.
- 46) Lindberg, R.H., Olofsson, U., Rendahl, P., Johansson, M.I., Tysklind, M. ja Andersson, B.A.V. 2006. Behavior of fluoroquinolones and trimethoprim during mechanical, chemical, and active sludge treatment of sewage water and digestion of sludge. *Environmental Science and Technology*, 40, 1042-1048.
- 47) Lozano, N., Rice, C.P., Ramirez, M. ja Torrents, A. 2013. Fate of Triclocarban, Triclosan and Methyltriclosan during wastewater and biosolids treatment processes. *Water Research*, 4519-4527.
- 48) Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Zhang, J., Liang, S. ja Wang, X.C. 2014. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and

- removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473-747, 619-641.
- 49) Malmborg, J. 2014. Reduktion av läkemedelsrester och andra organiska föroreningar vid hygienisering av avloppsslam. Rapport Nr 2014-21. Svensk Vatten Utveckling.
- 50) 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. ja Welling, L. 2011. Vesiympäristöke haitallisten teollisuus- ja kuluttaja-aineiden kartoitus (VESKA 1). *Suomen Ympäristö* 3/2011.
- 51) Maradonna, F., Evangelisti, M., Giocchini, G., Migliarini, B., Olivotto, I. ja Carnevali, O. 2013. Assay of vtg, ERs and PPARs as endpoint for the rapid in vitro screening of the harmful effect of Di-(2-ethylhexyl)-phthalate (DEHP) and phthalic acid (PA) in zebrafish primary hepatocyte cultures. *Toxicology in Vitro*, 27, 84-91.
- 52) Marti, E.J. ja Batista, J.R. 2014. Impact of secondary treatment types and sludge handling processes on estrogen concentration in wastewater sludge. *Science of the Total Environment*, 470-471, 1056-1067.
- 53) Martín, J., Camacho-Muñoz, D., Santos, J.L., Aparicio, I. ja Alonso, E. 2012. Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: Removal and ecotoxicological impact of wastewater discharges and sludge disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 239-240, 40-47.
- 54) Martín, J., Santos, J.L., Aparicio, I. ja Alonso, E. 2015. Pharmaceutically active compounds in sludge stabilization treatments: Anaerobic and aerobic digestion, wastewater stabilization ponds and composting. *Science of the Total Environment*, 503-504, 97-104.
- 55) Marttinen, S. 2004. Potential of municipal sewage treatment to remove bis(2-ethylhexyl) phthalate. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto.
- 56) Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. ja Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. BIOSAFE-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 135.
- 57) Matamoros, V., Arias, C., Brix, H. ja Bayona, J.M. 2009. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceuticals and personal care products. *Water Research*, 43, 55-62.
- 58) Mehtonen, J., Mannio, J., Kalevi, K., Huhtala, S., Nuutinen, J., Perkola, N., Sainio, P., Pihlajamäki, J., Kasurinen, V., Koponen, J., Paukku, R. ja Rantakokko, P. 2012. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajätevedepuhdistamoilla ja kaatopaikoilla. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 29/2012.
- 59) Muller, M., Combalbert, S., Delgenés, N., Bergheaud, V., Rocher, V., Benoit, P., Delgenés, J.-P., Patureau, D. ja Hernandez-Raquet, G. 2010. Occurrence of estrogens in sewage sludge and their fate during plant-scale anaerobic digestion. *Chemosphere*, 81, 65-71.
- 60) OECD, 2007. Lists of PFOS, PFOA, PFCA, related compounds and chemicals that may degrade to PFCA. OECD Environment, Health and Safety Publications. ENV/JM/MONO(2006)15.
- 61) Olkkola, P. 2013. PAH-yhdisteiden määrittäminen GC-MS/MS menetelmällä savukalasta. Opinnäytetyö, Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56905/olkkola_petri.pdf?sequence=

- 62) Olofsson, U. 2012. Removal processes in sewage treatment plants - Sludge quality and treatment efficiency of structurally diverse organic compounds. Väitöskirja, Umeå University.
- 63) Onesios, K.M., Yu, J.T. ja Bouwer, E.J. 2009. Biodegradation and removal of pharmaceuticals and personal care products in treatment systems: a review. *Biodegradation*, 20, 441-466.
- 64) Paterakis, N. 2009. An evaluation of the fate and behavior of endocrine disrupting chemicals during anaerobic digestion of sewage sludge. Väitöskirja. Cranfield University.
- 65) Perkola, N. 2014. Fate of artificial sweeteners and perfluoroalkyl acids in aquatic environment. Väitöskirja. Helsingin yliopisto.
- 66) Radjenovic, J., Petrovic, M. ja Barceló, D. 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Research*, 43, 831-841.
- 67) Ratola, N., Cincinelli, A., Alves, A. ja Katsoyiannis, A. 2012. Occurrence of organic microcontaminants in the wastewater treatment process. A mini review. *Journal of Hazardous Materials*, 239-240, 1-18.
- 68) Richardson, S.D. 2012. Environmental Mass Spectrometry: Emerging Contaminants and Current Issues. *Analytical Chemistry*, 84, 747-778.
- 69) Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M.C., Michael, I. ja Fatta-Kassinos, D. 2013. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. *Science of the Total Environment*, 447, 345-360.
- 70) Rogers, H.R. 1996. Sources, behavior and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 185, 3-26.
- 71) Rudel, R.A., Melly, S.J., Geno, P.W., Sun, G. ja Brody, J.G. 1998. Identification of alkylphenols and other estrogenic phenolic compounds in wastewater, septage, and groundwater on Cape Cod, Massachusetts. *Environmental Science and Technology*, 32, 861-869.
- 72) Samaras, V.G., Stasinakis, A.S., Mamais, D., Thomaidis, N.S. ja Lekkas, T.D. 2013. Fate of selected pharmaceuticals and synthetic endocrine disrupting compounds during wastewater treatment and sludge anaerobic digestion. *Journal of Hazardous Materials*, 244-245, 259-267.
- 73) Staples, C.A., Adams, W.J., Perkerton, T.F. ja Gorsuch, J.W. 1997. Review: Aquatic toxicity of eighteen phthalate esters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(5), 875-891.
- 74) Stasinakis, A.S. 2012. Review on the fate of emerging contaminants during sludge anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 121, 432-440.
- 75) Stasinakis, A.S., Petalas, A.V., Mamais, D., ja Thomaidis, N.S. 2007. Application of the OECD 301F Respirometric test for the biodegradability assessment of various potent endocrine disrupting chemicals. *Bioresource Technology*, 99, 3458-3467.
- 76) Stasinakis, A.S., Thomaidis, N.S., Arvaniti O.S., Asimakopoulos, A.G., Samaras, V.G., Ajibola, A., Mamais, D. ja Lekkas, T.D. 2013. Contribution of primary and secondary treatment on the removal of benzothiazoles, benzotriazoles, endocrine disruptors, pharmaceuticals and perfluorinated compounds in a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1067-1075.
- 77) Säylä, J. ja Vilpas, R. 2012. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2010. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 21/2012.
- 78) Tavazzi, S., Locoro, G., Comero, S., Sobiecka, E., Loos, R., Gans, O., Ghiani, M., Umlauf, G., Suurkuusk, G., Paracchini, B., Cristache, C., Fissiaux, I., Alonso Riuz, A. ja Gawlik, B.M. 2012.

- Occurrence and levels of selected compounds in European Sewage Sludge Samples. JRC Scientific and Policy Reports.
- 79) TemaNord 2004. Perfluorinated alkylated substances (PFAS) in the Nordic environment. TemaNord 2004: 552. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
 - 80) TemaNord 2007. Bronopol, Resorcinol, m-Cresol and Triclosan in the Nordic Environment. TemaNord 2007:585. Nordic Council of Ministers.
 - 81) TemaNord 2012. PPCP monitoring in the Nordic Countries – Status report. TemaNord 2012:519. Nordic Council of Ministers.
 - 82) TSP 2013. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon tarkkailututkimus. Vuosiraportti 2013. Nina Leino. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus. Saatavilla: http://www.turunseudunpuhdistamo.fi/docs/TSP_Vuosiraportti_2013.pdf
 - 83) Vieno, N. 2007. Occurrence of pharmaceuticals in Finnish sewage treatment plants, surface waters, and their elimination in drinking water treatment processes. Väitöskirja, Tampereen Teknillinen Yliopisto.
 - 84) Vieno, N. 2014. Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla –hankkeen loppuraportti. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 34, Helsinki 2014.
 - 85) VVY 2015. Tilasto lietteen hyödyntämisestä vuosina 1998-2011. Vesilaitosyhdistys- Saatavilla: http://www.vvy.fi/files/3053/YKliete1998_2010fin.pdf
 - 86) Yu, J., Hu, J., Tanaka, S. ja Fujii, S. 2009. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in sewage treatment plants. Water Research, 43, 2399-2408.
 - 87) Zhou, L.-J., Ying, G.-G., Liu, S., Zhao, J.-L., Yang, B., Chen, Z.-F. ja Lai, H.-J. 2013. Occurrence and fate of eleven classes of antibiotics in two typical wastewater treatment plants in South China. Science of the Total Environment, 452-453, 365-376.

Liite 1. Tutkitut aineet ja niiden analyysien määrittämisraajat

Tutkitut aineen, niiden CAS-numerot sekä toteutuneet määrittämisraajat lietteessä ja vedessä. Määrittämisraaja vaihteli riippuen aineen matriisihäiriöiden määrästä.

Aine	CAS numero	Määrittämisraaja lietteessä (mg/kg k.a.)	Määrittämisraaja vedessä (µg/l)
POLYAROMAATTISET HIILIVEDYT (PAH)			
naftaleeni	91-20-3	0,01 – 0,02	0,007
asenaftyleeni	208-96-8	0,01 – 0,02	0,001
asenafteeni	83-32-9	0,01	0,001
fluoreeni	86-73-7	0,01 – 0,02	0,001
fenantreeni	85-01-8	0,01	0,001
antraseeni	120-12-7	0,01 – 0,04	0,001
fluoranteeni	206-44-0	0,01	0,001
pyreeni	129-00-0	0,01	0,001
bentso(a)antraseeni	56-55-3	0,01 – 0,02	0,001
kryseeni	218-01-9	0,02	0,001
bentso(b)fluoranteeni	205-99-2	0,02	0,001
bentso(k)fluoranteeni	207-08-9	0,02	0,001
bentso(a)pyreeni	50-32-8	0,02	0,001
dibentso(ah)antraseeni	53-70-3	0,01 – 0,04	0,0006
bentso(ghi)peryleeni	191-24-2	0,01 – 0,04	0,0003
indeno(123cd)pyreeni	193-39-5	0,01 – 0,077	0,0003
ALKYYLIFENOLIT JA NIIDEN ETOKSILAATIT			
4-n-nonyylifenoli	104-40-5	0,1 – 0,5	0,1
4-nonyylifenoli	84852-15-3		1
4-nonyylifenolimonoetoksilaatti	104-35-8	0,25 – 0,5	1
4-nonyylifenolidietoksilaatti	20427-84-3	0,05 – 0,5	0,5
4-tert-oktyylifenoli	140-66-9	0,025 – 0,25	0,1 – 0,5
4-tert-oktyylifenolimonoetoksilaatti	2315-67-5	1	3
4-tert-oktyylifenolidietoksilaatti	2315-61-9	0,05	0,3
FTALAATIT			
Di-2-etyyliheksyyliiftalaatti (DEHP)	117-81-7	0,1	0,4
Dimetyyliiftalaatti (DMB)	131-11-3	0,05 – 1	0,05
Dietyyliiftalaatti (DEP)	84-66-2	0,05 – 1	0,05
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	84-69-5	0,05 – 0,1	0,10
Dibutyyliftalaatti (DBP)	84-74-2	0,05 – 4	0,05
Dipentyyliftalaatti (DPP)	131-18-0	0,05 – 4	0,05
Diheksyyliiftalaatti (DHP)	84-75-3	0,05 – 1	0,05
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	85-68-7	0,05 – 1	0,05
Di(n)oktyyliftalaatti (DOP)	117-84-0	0,05 – 1	0,05
Di(iso)nonyyliftalaatti (DINP)	68515-48-0	3 – 35	1
Di(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)	68515-49-1	1 – 20	1
PERFLUORATUT YHDISTEET			
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	1763-23-1	0,001	0,0001
Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBS)	375-73-5	0,001	0,001
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS)	355-46-4	0,001	0,001

Aine	CAS numero	Määritysraja lietteessä (mg/kg k.a.)	Määritysraja vedessä (µg/l)
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)	375-92-8	0,001	0,001
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)	335-77-3	0,005	0,001
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)	335-67-1	0,001	0,0005
Perfluorobutaanihappo (PFBA)	375-22-4	0,001	0,002
Perfluoropentaanihappo (PFPeA)	3706-90-3	0,001	0,001
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)	307-24-4	0,001	0,001
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)	375-85-9	0,001	0,001
Perfluorononaanihappi (PFNA)	375-95-1	0,001	0,001
Perfluorodekaanihappo (PFDA)	335-76-2	0,005	0,001
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)	2058-94-8	0,005	0,001
Perfluorododekaanihappo (PFDoA)	307-55-1	0,005	0,002
PALONESTOAINHEET			
α-HBCD	134237-50-6	0,02	0,00069
β-HBCD	134237-51-7	0,001 – 0,006	0,00035
γ-HBCD	134237-52-8	0,015 – 0,02	0,00046
Tetrabromobisfenoli-A (TBBPA)	79-94-7	0,003	0,0015
LÄÄKEAINHEET			
Siprofloksasiini	85721-33-1	0,01	Ei tiedossa
Tetrasykliini	60-54-8	0,001	0,1
Doksisykliini	564-25-0	0,001	0,2
Ofloksasiini	82419-36-1	0,01	Ei tiedossa
Norfloksasiini	70458-96-7	0,01	0,5
Oksitetrasykliini	79-57-2	0,001 – 0,005	0,5
Sulfametoksatsoli	723-46-6	0,01 – 0,1	0,05
Trimetopriimi	738-70-5	0,005 – 0,01	0,01
Penisilliini G bentsatiini	41372-02-5	0,005 – 0,01	0,5
Ibuprofeeni	15687-27-1	0,05 – 0,1	0,05
Parasetamoli	103-90-2	0,001 – 0,005	Ei tiedossa
Naprokseeni	22204-53-1	0,005	0,01
Diklofenaakki	15307-86-5	0,001	0,005
Ketoprofeeni	22071-15-4	0,001 – 0,01	0,005
Sitalopraami	59729-33-8	0,005	0,01
Paroksetiini	61869-08-7	0,005	0,05
Fluoksetiini	54910-89-3	0,005	0,1
Metoprololi	37350-58-6	0,02	0,005
Felodipiini	86189-69-7	0,001 – 0,01	0,05
Propranololi	525-66-6	0,001	0,1
Bisoprololi	66722-44-9	0,001 – 0,01	0,01
Atenololi	29122-68-7	0,001 – 0,01	0,05
Sotaloli	3930-20-9	0,001 – 0,01	0,1
Enalapriini	75847-73-3	0,001 – 0,01	0,1
Gemfibrotsiili	25812-30-0	0,001 – 0,01	0,1
Betsafibraatti	41859-67-0	0,001 – 0,01	0,05
Klofibriinihappo	882-09-7	0,001 – 0,01	0,5
Simvastatiini	79902-63-9	0,1 – 1	5
Ifosfamidi	3778-73-2	0,001 – 0,01	0,1 – 0,2
Metotreksaatti	59-05-2	0,001 – 0,01	0,1
Syklofosfamidi	50-18-0	0,001 – 0,01	0,05
Furosemidi	54-31-9	0,01 – 0,05	Ei tiedossa
Hydroklooritiatsidi	58-93-5	0,005 – 0,025	0,05

Aine	CAS numero	Määrittäysraja lietteessä (mg/kg k.a.)	Määrittäysraja vedessä (µg/l)
Salbutamoli (albuteroli)	18559-94-9	0,001 – 0,01	0,1
Terbutaliini	23031-25-6	0,001 – 0,01	0,1
Klenbuteroli	37148-27-9	0,001 – 0,01	0,05
Beklometatsoni	4419-39-0	0,001 – 0,01	0,05
Ketononatsoli	65277-42-1	0,001	0,1
Hydrokortisoni	50-23-7	0,001 – 0,01	0,1
Metronidatsoli	443-48-1	0,001 – 0,01	0,1 – 0,2
Iopamidoli	60166-93-0	0,001 – 0,01	0,1 – 0,2
Iopromidi	73334-07-3	0,001 – 0,01	0,1 – 0,2
Metyyliiprednisoloni	83-43-2	0,025 – 0,05	0,1
Kofeiini	58-08-2	0,028	0,01
Entakaponi	130929-57-6	0,001 – 0,01	0,1
Karbamatsepiini	298-46-4	0,001	0,05
Varfariini	81-81-2	0,001 – 0,01	0,005
Fenbendatsoli	43210-67-9	0,001	0,005
Flubendatsoli	31430-15-6	0,001 – 0,01	0,05
Tylosiini	1401-69-0	0,001 – 0,01	0,2
Ivermektiini	70288-86-7	0,01 – 0,1	0,1
HORMONIT			
Estroni (E1)	53-16-7	0,05 – 0,1	0,005
17β-estradioli (E2)	50-28-2	0,001 – 0,1	0,05
Estrioli (E3)	50-27-1	0,005 – 0,5	0,05
17α-etinyyliestradioli (EE2)	57-63-6	0,005 – 0,1	0,01
Progesteroni	57-83-0	0,001	0,001
Testosteroni	58-22-0	0,001 – 0,1	0,01
MUUT AINEET			
Triklorsaani	3380-34-5	0,001	0,005
Bisfenoli-A	80-05-7	0,2	0,05

Liite 2. Näytteenotto-ohjeet

ORGAANISET HAITTA-AINEET (POISLUETTUNA PFOS)

Orgaaniset haitta-aineet poisluettuna PFOS (ks. kohta 2) otetaan Rambollin lähettämiin lasipurkkeihin. Muovia on vältettävä näytteenotossa. Osanäytteet kerätään suoraan näyteastioihin ja ne on säilytettävä kylmässä lähetykseen asti.

Näytemäärät:

- Jos näytteen kiintoainepitoisuus on **> 10 %** (esim. mädätykseen menevä liete):
2 litraa eli 4 pulloa per näytepiste.
- Jos näytteen kiintoainepitoisuus on **< 10 %** (esim. mädätetty ja kuivattu liete, kompostoidut tuotteet): 7 litraa eli 10 pulloa per näytepiste.

Näytteet kerätään 1 päivän osanäytteistä koostuvana kokoomana (ks. erillinen ohje kompostituotteille). Osanäytteet kerätään käsin suoraan näytepulloon seuraavasti:

Puhdistamolietteet:

- Näytteen kiintoainepitoisuus **> 10 %**: neljä (4) osanäytettä (esim. klo 9, 11, 13 ja 15). Yksi osanäyte= 1 näytepullo
- Näytteen kiintoainepitoisuus **< 10 %**: neljä osanäytettä (esim. klo 9, 11, 13 ja 15). Yksi osanäyte= 2,5 näytepulloa.

Kompostituotteet:

Kerätään 4-8 (1/2 tai 1 näytepulloa per näytepiste, näytteenottaja saa päättää osanäytteiden määrän) osanäytettä aumasta tai kasasta suoraan näytepulloihin ilman homogenisointia.

TÄRKEÄÄ! Näytteiden mukana laboratorioon lähetettävään pöytäkirjaan on selvästi kirjattava, että **NÄYTE EI OLE HOMOGENISOITU.** Näytteiden homogenisointi tehdään laboratoriossa.

PFOS

PFOS-näytteet kerätään Rambollin lähettämään 1 litran muoviasiaan. PFOS on herkkä tarttumaan lasiastioiden seinämiin ja se on siksi kerättävä muoviseen näyteastiaan.

Lasia on vältettävä näytteenotossa.

PFOS-kokoomanäyte on kerättävä erilliseen muoviasiaan (esimerkiksi elintarvikemuovista tehtyyn HPDE-ämpäriin). Kokoomanäyte homogenisoidaan ja siirretään näyteastiaan.

Osanäytteet ja kokooma on säilytettävä kylmässä lähetykseen asti!

Osakokoomien kerääminen (puhdistamolietteet):

Kerätään neljä (4) osanäytettä (esim. klo 9, 11, 13 ja 15) muoviämpäriin. Kokoomanäyte homogenisoidaan hyvin ennen siirtämistä näyteastiaan. Osanäytteiden määrän on oltava vähintään 0,5 litraa.

Osakokoomien kerääminen (kompostituotteet):

Kerätään vähintään 5 osanäytettä eri osista aumaa tai kasaa muoviämpäriin. Kokoomanäyte homogenisoidaan hyvin ennen siirtämistä näyteastiaan. Osanäytteiden määrän on oltava vähintään 0,5 litraa.

<p><u>TÄRKEÄÄ!</u> Näytteiden mukana laboratorioon lähetettävään pöytäkirjaan on selvästi kirjattava, että NÄYTE ON HOMOGENISOITU KOKOOMANÄYTE.</p>

PAH-YHDISTEET

PAH-yhdisteiden näytteenottoa varten on lähetetty ALS-laboratoriosta lasiset näyteastiat. Näytteet kerätään suoraan näyteastioihin.

Näytemäärät kaikille näytetyypeille= 3 astiaa per näytepiste

Näytteet kerätään 1 päivän osanäytteistä koostuvana kokoomana. Osanäytteet on säilytettävä kylmässä lähetykseen asti!

Osanäytteet kerätään käsin suoraan näyteastiaan seuraavasti:

Puhdistamolietteet:

- Kolme osanäytettä (esim. klo 9, 13 ja 15). 1 osanäyte= 1 näytepullo.

Kompostituotteet:

- Kerätään 3-6 (1/2 tai 1 näytepulloa per näytepiste, näytteenottaja saa päättää osanäytteiden määrän) osanäytettä aumasta tai kasasta suoraan näytepulloihin ilman homogenisointia.

Osanäytteet on säilytettävä kylmässä lähetykseen asti!

TÄRKEÄÄ! Näytteiden mukana laboratorioon lähetettävään näytteenottopöytäkirjaan on selvästi kirjattava, että **NÄYTE EI OLE HOMOGENISOITU**. Näytteiden homogenisointi tehdään laboratoriossa.

Liite 3. Näytekohtaiset analyysitulokset

PAH-yhdisteet

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekoti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,48	0,73	8,46	19,7	2,59	20,4
naftaleeni	<0,01	0,884	0,049	0,012	0,108	0,083
asenaftyleeni	<0,01	<0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
asenafteeni	0,101	0,294	0,015	<0,01	<0,01	0,036
fluoreeni	0,072	0,086	<0,01	0,011	0,013	0,049
fenantreeni	0,336	0,489	0,051	0,042	0,129	0,143
antraseeni	0,036	<0,04	<0,01	0,024	<0,01	0,017
fluoranteeni	0,306	0,579	0,033	0,07	0,488	0,068
pyreeni	0,244	1,03	0,066	0,097	0,741	0,135
bentso(a)antraseeni	0,05	0,583	0,02	0,03	0,251	0,045
kryseeni	0,079	0,578	0,018	0,035	0,392	0,046
bentso(b)fluoranteeni	0,138	0,933	0,047	0,055	1,22	0,042
bentso(k)fluoranteeni	0,04	0,346	0,014	0,018	0,349	0,017
bentso(a)pyreeni	0,072	0,658	0,023	0,03	0,552	0,027
dibentso(ah)antraseeni	0,029	<0,04	<0,01	<0,014	0,1	<0,01
bentso(ghi)peryleeni	0,061	<0,04	<0,01	<0,09	2,63	0,031
indeno(123cd)pyreeni	0,122	<0,04	<0,01	<0,052	1,3	0,023
PAH 16 summa*	1,69	6,46	0,336	0,424	8,27	0,762

* Summassa alle määrittämissä rajoilla olevat pitoisuudet on otettu huomioon arvolla 0.

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikin- mäki (linko- kuivattu)	Espoo Suo- menoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	28,5	29,5	22,9	27,4
naftaleeni	0,015	<0,01	0,035	0,086
asenaftyleeni	0,011	<0,01	<0,01	<0,01
asenafteeni	0,047	0,02	0,015	0,027
fluoreeni	0,074	0,045	0,011	0,056
fenantreeni	0,409	0,179	0,053	0,174
antraseeni	0,055	0,041	0,012	0,058
fluoranteeni	0,422	0,117	0,038	0,138
pyreeni	0,338	0,172	0,071	0,152
bentso(a)antraseeni	0,084	0,033	<0,01	0,051
kryseeni	0,108	0,038	0,016	0,044
bentso(b)fluoranteeni	0,15	0,037	0,029	0,059
bentso(k)fluoranteeni	0,063	0,014	<0,01	0,02
bentso(a)pyreeni	0,087	0,025	0,022	0,035
dibentso(ah)antraseeni	<0,019	<0,01	<0,01	<0,01
bentso(ghi)peryleeni	<0,061	<0,024	<0,01	<0,087
indeno(123cd)pyreeni	<0,077	<0,026	<0,01	<0,025
PAH 16 summa*	1,86	0,721	0,302	0,9

* Summassa alle määrittämissä rajoilla olevat pitoisuudet on otettu huomioon arvolla 0.

Kompostoidut lietteen ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	35,1	64,5	34,8	33,6
naftaleeni	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
asenaftyleeni	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
asenaftteeni	<0,01	<0,01	<0,01	0,054
fluoreeni	<0,01	<0,01	<0,01	0,063
fenantreeni	0,18	0,038	0,109	0,258
antraseeni	<0,01	<0,01	<0,01	0,048
fluoranteeni	0,264	0,036	0,216	0,276
pyreeni	0,216	0,039	0,192	0,265
bentso(a)antraseeni	0,027	<0,01	0,046	0,056
kryseeni	0,067	0,012	0,069	0,068
bentso(b)fluoranteeni	0,094	0,015	0,088	0,101
bentso(k)fluoranteeni	0,031	<0,01	0,04	0,035
bentso(a)pyreeni	0,037	<0,01	0,053	0,049
dibentso(ah)antraseeni	<0,01	<0,01	<0,01	0,011
bentso(ghi)peryleeni	0,03	<0,01	0,043	0,05
indeno(123cd)pyreeni	0,03	<0,01	0,039	0,056
PAH 16 summa*	0,976	0,08	0,895	1,42

* Summassa alle määritysrajan olleet pitoisuudet on otettu huomioon arvolla 0.

Hajalietteet (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,43	1,26	0,13	1,54
naftaleeni	0,144	0,05	<0,02	0,056
asenaftyleeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
asenaftteeni	0,07	0,05	0,233	0,031
fluoreeni	0,073	0,026	0,158	<0,02
fenantreeni	0,213	0,162	0,545	0,218
antraseeni	0,161	0,031	0,024	<0,02
fluoranteeni	0,115	0,036	0,127	0,037
pyreeni	0,142	0,032	0,083	0,021
bentso(a)antraseeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
kryseeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
bentso(b)fluoranteeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
bentso(k)fluoranteeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
bentso(a)pyreeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
dibentso(ah)antraseeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
bentso(ghi)peryleeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
indeno(123cd)pyreeni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PAH 16 summa*	0,918	0,387	1,17	0,363

* Summassa alle määritysrajan olleet pitoisuudet on otettu huomioon arvolla 0.

Alkyyliifenolit ja niiden etoksilaatit

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo raakaliete	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinne koti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
4-n-nonyylifenoli	<0,25	<0,5	<0,1	<0,1	<0,025	<0,05
4-nonyylifenoli, isomeerien seos	1,5	3,5	1	0,7	2,7	1,2
4- nonyylifenolimono- etoksilaatti, isomee- rien seos	3,7	4,2	0,8	<0,5	0,75	2,4
4-nonyylifenoli- dietsilaatti, iso- meerien seos	0,23	<0,5	0,33	0,26	0,18	0,07
4-tert-oktyylifenoli	<0,25	<0,5	<0,1	<0,1	<0,025	<0,25
4-tert- oktyylifenolimono- etoksilaatti	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4-tert- oktyylifenolidi- etoksilaatti	<0,05	<0,05	0,2	<0,05	0,045	<0,05

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
4-n-nonyylifenoli	<0,5	<0,5	<0,1	<0,5
4-nonyylifenoli, isomeerien seos	5,3	2,3	2,7	3,5
4- nonyylifenolimono- etoksilaatti, isomee- rien seos	2	0,5	1	15
4-nonyylifenolidi- etoksilaatti, isomee- rien seos	0,31	0,06	0,33	1,8
4-tert-oktyylifenoli	0,5	0,2	0,1	0,1
4-tert- oktyylifenolimono- etoksilaatti	<1	<1	<1	<1
4-tert- oktyylifenolidi- etoksilaatti	<0,05	0,24	<0,05	<0,05

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
4-n-nonyylifenoli	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05
4-nonyylifenoli, isomeerien seos	1,7	1,12	1,6	3,9
4-nonyylifenolimonoetoksilaatti, isomeerien seos	<0,25	<0,25	<0,5	1,7
4-nonyylifenolidietoksilaatti, iso- meerien seos	<0,1	<0,1	<0,05	0,2
4-tert-oktyylifenoli	0,1	<0,1	0,09	0,36
4-tert-oktyylifenolimonoetoksilaatti	<1	<1	<1	<1
4-tert-oktyylifenolidietoksilaatti	0,08	<0,05	<0,05	<0,05

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
4-n-nonyylifenoli	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4-nonyylifenoli, isomeerien seos	2	5	<1	<1
4-nonyylifenolimonoetoksilaatti, isomeerien seos	5	7	<1	<1
4-nonyylifenolidietoksilaatti, iso- meerien seos	1,6	1,5	<0,5	<0,5
4-tert-oktyylifenoli	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1
4-tert-oktyylifenolimonoetoksilaatti	<3	<3	<3	<3
4-tert-oktyylifenolidietoksilaatti	<0,3	0,3	<0,3	<0,3

Ftalaatit

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suo- menoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekoti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
Dimetyyliftalaatti (DMB)	<0,1	<0,2	<1	<0,1	<0,1	<1
Dietyyliftalaatti (DEP)	<0,1	<0,2	<1	<0,1	<0,1	<1
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	0,32	0,1	0,57	0,05	0,05	0,5
Dibutyyliftalaatti (DBP)	<0,1	<0,2	<1	<0,2	<0,1	<4
Dipentyyliftalaatti (DNPP)	<0,1	<3	<1	<0,1	<0,1	<4
Diheksyyliftalaatti (DNHP)	<0,1	<0,2	<1	<0,1	<0,1	<1
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	<0,1	<0,2	<1	<0,1	<0,1	<1
Di-2-etyyliheksyyli- ftalaatti (DEHP)	15	15	23	12	6,6	26
Di(n)oktyyliftalaatti (DOP)	<0,1	<0,2	<1	<0,1	<0,1	<1
Di(iso)nonyli- ftalaatti (DINP)	<20	<35	<20	<20	<10	<30
Di-(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)	<10	<5	<5	<5	<5	<10

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
Dimetyyliftalaatti (DMB)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dietyyliftalaatti (DEP)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	0,07	0,05	0,05	0,09
Dibutyyliftalaatti (DBP)	0,2	0,05	0,1	0,05
Dipentyyliftalaatti (DNPP)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Diheksyyliftalaatti (DNHP)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Di-2-etyyliheksyyli- ftalaatti (DEHP)	10	19	12	12
Di(n)oktyyliftalaatti (DOP)	<0,1	<0,5	<0,1	<0,2
Di(iso)nonyliftalaatti (DINP)	<20	<50	<10	<20
Di-(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)	<10	<20	<5	<5

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
Dimetyyliftalaatti (DMB)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Dietyyliftalaatti (DEP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Di-isobutyyliftalaatti (DiBP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Dibutyyliftalaatti (DBP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Dipentyyliftalaatti (DNPP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Diheksyyliftalaatti (DNHP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Di-2-etyyliheksyyliftalaatti (DEHP)	3,6	2,1	4,3	24
Di(n)oktyyliftalaatti (DOP)	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
Di(iso)nonyliftalaatti (DINP)	<5	<3	<5	<30
Di-(iso)dekyyliftalaatti (DIDP)	<1	<1	<5	11

Hajalietteitä ei analysoitu.

Perfluoratut yhdisteet

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekoti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
Perfluoro- oktaanisulfonaatti (PFOS)	0,004	0,003	0,004	0,01	0,014	0,004
Perfluoro- oktaanihappo (PFOA)	0,002	0,004	0,0005	0,001	0,008	0,0005
Perfluorobutaani- happo (PFBA)	0,002	0,01	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Perfluoropentaani- happo (PFPeA)	0,0005	0,0005	0,001	0,0005	0,006	0,0005
Perfluoroheksaani- happo (PFHxA)	0,001	0,005	0,0005	0,0005	0,008	0,0005
Perfluoroheptaani- happo (PFHpA)	0,0005	0,002	0,0005	0,0005	0,002	0,0005
Perfluorononaani- happo (PFNA)	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,002	0,0005
Perfluorodekaani- happo (PFDA)	0,0025	0,0025	0,006	0,007	0,01	0,0025
Perfluoroundekaani- happo (PFUnA)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Perfluorododekaani- happo (PFDoA)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Perfluorobutaanisul- fonaatti (PFBuS)	0,0005	0,006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Perfluoroheksaani- sulfonaatti (PFHxS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluoroheptaani- sulfonaatti (PFHpS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorododekaani- sulfonaatti (PFDS)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	0,005	0,003	0,006	0,062
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorobutaanihappo (PFBA)	0,0005	0,0005	0,001	0,0005
Perfluoropentaanihappo (PFPeA)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)	0,0005	0,0005	0,002	0,0005
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorononaanihappo (PFNA)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorodekaanihappo (PFDA)	0,0025	0,0025	0,012	0,0025
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Perfluorododekaanihappo (PFDoA)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBuS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS)	0,006	0,002	0,005	0,003
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA)	0,01	0,004	0,015	<0,001
Perfluorobutaanihappo (PFBA)	0,005	0,002	0,005	0,002
Perfluoropentaanihappo (PFPeA)	0,009	0,003	0,007	<0,001
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA)	0,01	0,003	0,01	0,001
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA)	0,003	0,0005	0,002	<0,001
Perfluorononaanihappo (PFNA)	0,001	0,0005	0,001	<0,001
Perfluorodekaanihappo (PFDA)	0,005	0,0025	0,008	<0,005
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Perfluorododekaanihappo (PFDoA)	<0,005	<0,005	0,005	<0,005
Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBuS)	0,009	0,002	0,005	<0,001
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDS)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Hajalietteitä ei analysoitu.

Palonestoaineet

Käsittlemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinne­koti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
α-HBCD	0,012	<0,02	0,011	0,017	0,012	0,018
β-HBCD	0,002	<0,005	0,001	0,001	0,002	0,006
γ-HBCD	0,019	<0,015	0,064	0,017	0,036	0,015
tetrabromibisfenoli-A	0,017	0,037	0,05	0,032	0,019	0,048

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
α-HBCD	0,009	0,004	<0,025	0,003
β-HBCD	0,002	<0,005	<0,006	0,001
γ-HBCD	0,01	0,008	<0,02	0,007
tetrabromibisfenoli-A	0,008	0,008	0,007	0,007

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
α-HBCD	0,003	0,001	0,003	0,017
β-HBCD	0,002	<0,001	0,002	0,002
γ-HBCD	0,005	0,002	0,006	0,006
tetrabromibisfenoli-A	0,005	<0,003	0,005	0,007

Hajalietteitä ei analysoitu.

Triklosaani

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekoti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
Triklosaani	1,1	1,1	0,75	0,84	0,55	0,77

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
Triklosaani	1,6	1,8	1,1	1,8

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
Triklosaani	0,71	0,26	0,78	0,98

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
Triklosaani	0,6	0,79	0,16	0,2

Bisfenoli-A

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekeittiö (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
Bisfenoli-A	1,1	8,3	1,5	<0,1	<0,05	0,12

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
Bisfenoli-A	0,32	0,96	2,3	0,27

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
Bisfenoli-A	0,32	<0,2	<0,2	0,55

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
Bisfenoli-A	5,3	4,9	3,3	3,3

Lääkeaineet

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomen- oja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekoti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
atenololi	0,017	<0,01	0,008	<0,005	<0,01	<0,005
beklometatsoni	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
betsafibraatti	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
bisoprololi	0,029	0,041	0,042	0,013	<0,01	0,008
diklofenaakki	0,12	0,24	0,086	0,25	0,15	0,16
doksisykliini	1,66	4,2	0,75	1,8	1	2,1
enalapriini	<0,01	0,009	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
entakaponi	0,022	0,6	0,01	0,05	<0,01	0,027
felodipiini	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	0,27
fenbendatsoli	0,05	0,12	0,031	0,034	0,061	0,032
flubendatsoli	<0,01	0,006	0,022	0,01	0,047	0,013
fluoksetiini	0,013	0,007	0,025	0,028	0,11	0,019
furosemiidi	0,15	0,2	0,075	0,094	0,059	0,076
gemfibrotsiili	<0,01	0,006	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
hydroklooritiatsidi	0,048	0,13	0,04	0,052	0,076	0,022
hydrokortisoni	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
ibuprofeeni	0,17	0,99	0,68	0,13	0,1	0,22
ifosfamidi	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
iopamidoli	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
iopromidi	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
ivermektiini	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05
karbamatsepiini	0,049	0,047	0,026	0,032	0,47	0,025
ketokonatsoli	0,36	0,99	0,45	0,29	0,9	0,52
ketoprofeeni	0,021	0,044	0,008	0,008	<0,01	0,01
klenbuteroli	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
klofibriinihappo	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
kofeiini	1,29	7	0,072	0,061	0,11	0,21
metoprololi	0,091	0,106	0,085	0,03	0,028	0,074
metotreksaatti	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
metronidatsoli	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
metyyliprednisoloni	<0,05	0,009	<0,025	<0,025	<0,05	<0,025
naprokseeni	0,36	0,69	0,039	0,072	0,044	0,26
norfloksasiini	0,17	0,22	0,54	0,24	0,056	0,33
ofloksasiini	0,71	0,43	0,8	1,2	0,14	1,7
oksitetrasykliini	0,074	0,12	0,047	0,091	0,013	0,13
parasetamoli	0,64	0,89	0,18	0,057	0,026	0,031
paroksetiini	0,14	0,016	0,008	0,044	0,024	0,009
penisilliini G bentsatiini	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
propranololi	0,033	0,029	0,026	0,042	0,07	0,011
salbutamoli	<0,01	0,042	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
simvastatiini	<1	<1	<0,5	<0,5	<1	1,8
siprofloksasiini	3,1	2,6	2,5	3,6	0,8	2,3
sitalopraami	0,24	0,14	0,17	0,12	0,36	0,11
sotaloli	<0,01	0,019	0,016	<0,005	<0,01	<0,005
sulfametoksatsoli	<0,1	0,01	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05
syklofosfamidi	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
terbutaliini	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
tetrasykliini	3,2	2,9	2,5	1,6	0,96	1,7
trimetopriimi	0,018	0,045	0,008	0,028	<0,01	0,033
tylosiini	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005
varfariini	<0,01	0,052	<0,005	<0,005	<0,01	<0,005

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinjärvi (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
atenololi	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
beklometatsoni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
betsafibraatti	<0,005	<0,005	0,007	0,038
bisoprololi	0,016	0,014	0,045	0,019
diklofenaakki	0,049	0,11	0,13	0,064
doksisykliini	1,6	1,4	1,3	0,84
enalapriini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
entakaponi	<0,005	0,076	0,009	0,011
felodipiini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
fenbendatsoli	0,13	0,13	0,058	0,19
flubendatsoli	0,013	0,021	0,013	0,03
fluoksetiini	<0,005	0,61	0,006	0,016
furosemiidi	<0,05	0,051	<0,05	<0,05
gemfibrosiili	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
hydroklooritiatsidi	<0,025	0,007	<0,025	<0,025
hydrokortisoni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
ibuprofeeni	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ifosfamidi	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
iopamidoli	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
iopromidi	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
ivermektiini	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
karbamatsepiini	0,022	0,049	0,037	0,04
ketokonatsoli	0,47	0,45	0,58	0,48
ketoprofeeni	0,009	<0,005	<0,005	<0,005
klenbuteroli	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
klofibriinihappo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
kofeiini	0,1	0,1	0,049	0,085
metoprololi	0,052	0,12	0,12	0,12
metotreksaatti	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
metronidatsoli	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
metyyliprednisoloni	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
naprokseeni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
norfloksasiini	0,15	0,36	0,62	0,27
ofloksasiini	0,43	0,8	0,93	0,87
oksitetrasykliini	0,29	0,22	0,044	0,077
parasetamoli	0,026	0,023	<0,005	<0,005
paroksetiini	<0,005	0,027	0,02	0,007
penisilliini G bentsatiini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
propranololi	0,024	0,035	0,034	0,038
salbutamoli (albuteroli)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
simvastatiini	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
siprofloksasiini	1,6	3,3	2,8	3,3
sitalopraami	0,23	0,21	<0,005	<0,005
sotaloli	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
sulfametoksatsoli	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
syklofosfamidi	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
terbutaliini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
tetrasykliini	2	2,5	1,4	0,99
trimetopriimi	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
tylosiini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
varfariini	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Kompostoidut lietteen ja happokäsitelty liete (yksikössä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
atenololi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
beklometatsoni	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
betsafibraatti	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
bisoprololi	<0,005	<0,001	0,004	0,03
diklofenaakki	0,012	0,007	0,009	0,06
doksisykliini	0,017	0,017	0,094	1,7
enalapriini	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
entakaponi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
felodipiini	<0,005	<0,001	<0,005	0,06
fenbendatsoli	<0,005	0,003	0,027	0,18
flubendatsoli	<0,005	<0,001	<0,005	0,01
fluoksetiini	0,012	0,008	0,027	0,04
furosemiidi	0,081	<0,01	<0,05	0,05
gemfibrosiili	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
hydroklooritiatsidi	<0,025	<0,005	<0,025	<0,025
hydrokortisoni	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
ibuprofeeni	<0,1	<0,05	<0,1	<0,5
ifosfamidi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
iopamidoli	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
iopromidi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
ivermektiini	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05
karbamatsepiini	0,031	0,008	0,036	0,03
ketokonatsoli	0,006	<0,001	0,018	0,86
ketoprofeeni	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
klenbuteroli	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
klofibriinihappo	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
kofeiini	0,032	0,008	<0,028	0,05
metoprololi	0,01	0,007	<0,02	0,05
metotreksaatti	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
metronidatsoli	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
metyyliprednisoloni	<0,025	<0,005	0,011	<0,025
naprokseeni	0,022	0,001	0,009	<0,005
norfloksasiini	0,075	0,04	0,17	0,41
ofloksasiini	0,41	0,16	0,65	1,5
oksitetrasykliini	<0,005	<0,001	<0,005	0,28
parasetamoli	<0,005	<0,001	<0,005	0,04
paroksetiini	0,015	0,005	0,018	<0,005
penisilliini G bentsatiini	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
propranololi	0,014	0,007	0,026	0,04
salbutamoli (albuteroli)	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
simvastatiini	<0,5	<0,1	<0,5	<0,5
siprofloksasiini	0,86	0,32	1,2	4,2
sitalopraami	0,086	0,017	0,071	0,28
sotaloli	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
sulfametoksatsoli	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05
syklofosfamidi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
terbutaliini	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
tetrasykliini	0,054	0,033	0,25	4
trimetopriimi	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
tylosiini	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005
varfariini	<0,005	<0,001	<0,005	<0,005

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
atenololi	0,09	0,14	<0,05	<0,05
beklometatsoni	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
betsafibraatti	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
bisoprololi	2,3	3,1	13	13
diklofenaakki	7	6,5	0,49	0,48
doksisykliini	3,4	<0,2	4,5	1,2
enalapriini	2,2	<0,1	6,9	2,8
entakaponi	9,2	<0,1	<0,1	<0,1
felodipiini	3,5	4,9	2,2	0,64
fenbendatsoli	16	63	4,6	5,4
flubendatsoli	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
fluoksetiini	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
furosemiidi	13	11	413	397
gemfibrotsiili	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
hydroklooritiatsidi	20	26	32	33
hydrokortisoni	0,13	<0,1	<0,1	<0,1
ibuprofeeni	49	54	381	268
ifosfamidi	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
iopamidoli	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
iopromidi	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1
ivermektiini	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
karbamatsepiini	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
ketokonatsoli	10	9,7	<0,1	<0,1
ketoprofeeni	0,84	1,1	0,68	0,68
klenbuteroli	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
klofibriinihappo	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
kofeiini	149	152	133	105
metoprololi	3,9	4	31	33
metotreksaatti	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
metronidatsoli	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1
metyyliprednisoloni	<0,1	<0,1	0,56	3,7
naprokseeni	47	42	141	143
norfloksasiini	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
ofloksasiini	1,7	3,4	0,97	1
oksitetrasykliini	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
parasetamoli	416	523	1590	1540
paroksetiini	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
penisilliini G bentsatiini	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
propranololi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
salbutamoli (albuteroli)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
simvastatiini	<5	<5	<5	<5
siprofloksasiini	12	12	0,73	<0,5
sitalopraami	0,93	1,1	6,5	5,9
sotaloli	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
sulfametoksatsoli	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
syklofosfamidi	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
terbutaliini	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
tetrasykliini	<0,1	<0,1	5,4	2,8
trimetopriimi	0,028	0,044	<0,01	<0,01
tylosiini	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
varfariini	0,24	0,12	0,42	0,25

Hormonit

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinnekeittiö (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
17 α - etinyyliestradioli (EE2)	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05
17 β -estradioli (E2)	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05
Estrioli (E3)	<0,5	<0,5	<0,25	<0,25	<0,5	<0,25
Estroni (E1)	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05
Progesteroni	0,044	0,058	0,035	0,11	0,029	0,11
Testosteroni	0,01	<0,01	0,03	0,005	<0,01	<0,005

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
17 α -etinyyliestradioli (EE2)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
17 β -estradioli (E2)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Estrioli (E3)	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Estroni (E1)	0,36	<0,05	<0,05	0,075
Progesteroni	0,65	0,33	<0,005	0,44
Testosteroni	<0,005	<0,005	<0,005	0,005

Kompostoidut lietteet ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
17 α -etinyyliestradioli (EE2)	<0,005	0,013	<0,05	<0,05
17 β -estradioli (E2)	<0,005	<0,001	<0,05	<0,05
Estrioli (E3)	<0,25	<0,005	<0,25	<0,25
Estroni (E1)	0,065	0,11	0,095	<0,05
Progesteroni	0,009	0,004	0,005	0,36
Testosteroni	<0,005	<0,001	<0,005	0,01

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
17α-etiinyliestradioli (EE2)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
17β-estradioli (E2)	<0,05	0,057	<0,05	<0,05
Estrioli (E3)	<0,05	0,54	3,3	1,1
Estroni (E1)	0,23	0,14	1,9	1,4
Progesteroni	0,18	0,21	0,1	0,12
Testosteroni	<0,01	0,028	<0,01	<0,01

Muut aineet

Käsittelemätön liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki	Espoo Suomenoja	Nurmijärvi Klaukkala	Hyvinkää Kalteva	Rinne koti (tiivistetty liete)	Turku Kakolan- mäki
kuiva-aine %	3,5	1,3	8,5	20	2,4	20
2-kloorifenoli	<0,05	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
4-kloorifenoli	0,09	0,26	0,035	<0,2	<0,05	<0,02
3-kloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,6-dikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,4- ja 2,5- dikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
3,5-dikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,3-dikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
3,4-dikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	<0,02
2,4,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	0,27	<0,02
2,3,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,3,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,3,4-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
3,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,3,4,6- tetrakloorifenoli	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
2,3,4,5- tetrakloorifenolia	<0,02	<0,05	<0,005	<0,2	<0,05	<0,02
pentakloorifenoli	0,04	0,07	0,012	<0,2	<0,05	<0,02
4-kloori-2- metyylifenoli	<0,02	<0,05	<0,05	<0,2	<0,5	<0,2
4-kloori-3- metyylifenoli	<0,02	<0,05	<0,05	<0,2	<0,5	<0,2
fenoli	9,1	2,9	0,46	47	2,8	11
o-kresoli	<0,05	<0,5	<0,1	<0,2	<0,5	<0,2
m-kresoli	0,43	<0,5	<0,05	0,37	<0,5	<0,2
p-kresoli	1100	400	62	570	<0,5	180
2,4-dimetyylifenoli	<0,02	<0,5	<0,05	<0,2	<0,5	<0,2
resorsinoli	2,2	<2	<0,2	<1	<2	ei mitattu
dinoseb	<0,2	<0,5	<0,05	<2	<0,5	ei mitattu

Mädätetty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Helsinki Viikinmäki (linkokuivattu)	Espoo Suomenoja (linkokuivattu)	Nurmijärvi Klaukkala (kuivattu)	Riihimäki (kuivattu)
kuiva-aine %	29	29	23	28
2-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
4-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
3-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,6-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,4- ja 2,5-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
3,5-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
3,4-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,4,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,4-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
3,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,4,6-tetrakloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,4,5-tetrakloorifenolia	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
pentakloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
4-kloori-2-metyylifenoli	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02
4-kloori-3-metyylifenoli	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02
fenoli	15	24	17	14
o-kresoli	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02
m-kresoli	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02
p-kresoli	18	40	26	<0,02
2,4-dimetyylifenoli	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02
resorsinoli	<1	<1	<1	<1
dinoseb	<2	<2	<2	<2

Kompostoidut lietteen ja happokäsitelty liete (yksiköissä mg/kg k.a.)

	Metsäpirtti maanparannus- komposti	Metsäpirtti nurmikko- multa	Metsäpirtti puutarha- komposti	Happokäsitelty liete
kuiva-aine %	33	61	34	33
2-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
4-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
3-kloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,6-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,4- ja 2,5-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
3,5-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
3,4-dikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,4,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3,6-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3,4-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
3,4,5-trikloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3,4,6-tetrakloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
2,3,4,5-tetrakloorifenolia	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
pentakloorifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01
4-kloori-2-metyylifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1
4-kloori-3-metyylifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1
fenoli	0,27	<0,02	0,27	24
o-kresoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1
m-kresoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1
p-kresoli	<0,02	<0,02	<0,02	350
2,4-dimetyylifenoli	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1
resorsinoli	<1	<1	<1	ei mitattu
dinoseb	<2	<2	<2	ei mitattu

Hajalietteet (yksiköissä µg/l)

	Sakokaivo (raaka)	Sakokaivo (kalk- kistabiloitu)	Umpikaivo (raaka)	Umpikaivo (kalkkistabiloitu)
kuiva-aine %	0,35	0,97	0,15	1,3
2-kloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
4-kloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
3-kloorifenoli	<0,12	<0,2	<0,2	<0,12
2,6-dikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,4- ja 2,5-dikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
3,5-dikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3-dikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
3,4-dikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,4,6-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3,6-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3,5-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,4,5-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3,4-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
3,4,5-trikloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3,4,6-tetrakloorifenoli	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
2,3,4,5-tetrakloorifenolia	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
pentakloorifenoli	0,18	0,15	<0,12	0,12
4-kloori-2-metyylifenoli	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
4-kloori-3-metyylifenoli	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
fenoli	410	430	650	780
o-kresoli	3,6	<3	<3	<3
m-kresoli	5,6	<3	5,6	5,4
p-kresoli	3700	4200	610	3900
2,4-dimetyylifenoli	<3	<3	<3	<3
resorsinoli	30	10	22	<1,2
dinoseb	<30	<30	<30	<30

Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä

Tässä julkaisussa esitellään *Haitta-aineet lietteissä - täydentävä tutkimus mallinnukselle* –hankkeen tuloksia. Näytteitä haitta-ainetutkimukseen otettiin jätevedenpuhdistamoiden käsittelemättömistä lietteistä, mädätetyistä lietteistä ja kompostoiduista lopputuotteista. Lisäksi haitta-aineiden pitoisuuksia mitattiin haja-asutuksen sako- ja umpikaivolietteistä ennen ja jälkeen kalkkistabiloinnin. Tutkittuja haitta-aineita oli 138, joihin kuului mm. muoviyhdisteitä, palones-toaineita, pintakäsittelyaineita, kuluttajakemikaaleja, lääkeaineita ja hormoneja. Lähes 70 eri ainetta havaittiin vähintään kerran lietenäytteissä.



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry

Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry

Asemapäällikönkatu 12 B, 7. krs, 00520 Helsinki

p. (09) 272 7270, vhvsy@vesiensuojelu.fi

www.vhvsy.fi