



PAH-yhdisteiden pitoisuudet kunnallisten jätevedenpuhdistamojen puhdistamolietteisä –PAHPULI-hankkeen loppuraportti

15.12.2016

PAH-yhdisteiden pitoisuudet kunnallisten jätevedenpuhdistamojen puhdistamolietteissä –PAHPULI-hankkeen loppuraportti

Matti Jantunen¹⁾, Niina Vieno²⁾ ja Joni Holmroos³⁾

¹⁾ Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry, matti.jantunen@lsvsy.fi

²⁾ Laki ja Vesi Oy, niina.vieno@lakijavesi.fi

³⁾ Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry, joni.holmroos@lsvsy.fi

Tiivistelmä

PAH-yhdisteet ovat yksi jätevedenpuhdistamojen lietteissä esiintyvistä lukuisista orgaanisten haitta-aineiden ryhmistä. PAH-yhdisteitä syntyy orgaanisten yhdisteiden epätäydellisen palamisen tuloksena. Suurin osa ympäristöstä tavattavista PAH-yhdisteistä on peräisin ihmistoiminnoista, kuten liikenteestä, energiantuotannosta ja teollisista prosesseista, mutta niitä syntyy myös metsä- ja maastopaloissa. Yhdisteiden myrkyllisyys vaihtelee voimakkaasti. Osa PAH-yhdisteistä on havaittu syöpää, solumutaatioita ja sikiövaurioita aiheuttaviksi. PAH-yhdisteet myös yleisesti ovat ympäristössä hitaasti hajoavia. PAH-yhdisteille on ehdotettu erilaisia raja-arvoja kompostimassojen ja mädätteiden end-of-waste -kriteeriksi. Viimeisin ehdotus on ollut 6 mg/kg kuiva-aineessa laskettuna PAH16-yhdisteiden summana. Vaikka raja-arvoa ei ole otettu käyttöön, on kuitenkin hyvä olla tietoinen puhdistamolietteiden PAH-yhdisteiden pitoisuuksista.

Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry:n ja Laki ja Vesi Oy:n PAHPULI-yhteishankkeessa selvitettiin PAH-yhdisteiden esiintymistä kunnallisten jätevedenpuhdistamojen puhdistamolietteissä sekä lietteen jatkokäsittelyjen vaikutuksia pitoisuuksiin. Hanke on saanut rahoitusta Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n Vesihuoltolaitosten kehittämisrahastolta ja Maa- ja vesitekniiikan tuki ry:ltä. Kohdelaitoksiksi valittiin viisi kapasiteetiltaan erikokoista lounaissuomalaista jätevedenpuhdistamoa sekä yksi puhdistamolietteitä jatkojalostava yritys. Laitoksilta otettiin laitosten henkilökuntien toimesta viidet kokoomanäytteet jatkokäsittelytömistä sekä jatkokäsittelyissä olleista puhdistamolietteistä marraskuun 2015 – kesäkuun 2016 välisenä aikana. Näytteistä analysoitiin Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston priorisoimien 16 PAH-yhdisteen pitoisuudet (eli PAH16).

PAH16-ryhmän yhdisteitä esiintyi yleisesti tutkituissa puhdistamolietteissä. Kaikissa tässä tutkimuksessa otetuissa näytteissä havaittiin PAH16-ryhmän yhdisteitä määritysrajat ylittävinä pitoisuuksina vähintään kahden ja keskimäärin 10 yhdisteen osalta. Jatkokäsittelytömiä puhdistamolietteiden osalta näytekohdattaiset PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä <0,16 - 2,0 mg/kg k.a. Jatkokäsittelyissä olleiden puhdistamolietteiden osalta näytekohdattaiset PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä <0,16 – 1,7 mg/kg k.a.

Tulosten perusteella lounaissuomalaisten puhdistamolietteiden PAH-yhdistepitoisuuksien voi katsoa yleisesti olevan kohtuullisella tasolla. Jatkokäsittelyissä olleiden puhdistamolietteiden PAH-yhdistepitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia kuin jatkokäsittelytömissä lietteissä. Erot saattavat selittyä osassa jatkokäsittelyjä seosaineina käytettyjen turpeen ja osin myös hiekan lisäämisellä puhdistamolietteen sekaan sekä myös PAH-yhdisteiden hajoamisella. Hankkeen tarkoituksena oli myös selvittää yksittäisten jatkokäsittelymenetelmien vaikutuksia PAH-yhdistepitoisuuksiin. Näytepitoisuuksien huomattavasta vaihtelusta johtuen tästä ei kuitenkaan saatu luotettavaa tietoa, sillä tulosten perusteella aumoista otettujen osanäytteiden otanta ei mahdollistanut riittävän edustavien kokoomanäytteiden muodostamista.

Hankkeen tuloksia voidaan käyttää arvioitaessa puhdistamolietteiden soveltuvuutta lannoitevalmisteiden raaka-aineiksi ja ravinnon tuotantoon PAH-yhdisteiden osalta.

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Aineisto ja menetelmät	2
2.1. Hankkeen kohdelaitokset	2
2.2 Näytteenotto	3
2.3 Lietenäytteiden käsittely	3
2.4 Tulosten käsittely.....	4
3 Tulokset	4
3.1 Jatkokäsittelymättömien lietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet	4
3.2 Jatkokäsittelyissä olleiden lietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet.....	5
3.3 Yksittäisten PAH16-ryhmän yhdisteiden esiintyminen näytteissä	5
3.4 Jatkokäsittelyjen vaikutukset yksittäisten PAH16-yhdisteiden pitoisuuksiin	6
3.5 Yksittäisten jatkokäsittelyjen vaikutukset puhdistamolietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuuksiin.....	7
4 Tulosten tarkastelu	8
5 Yhteenveto.....	9
Lähteet.....	10
Liite 1.	11

PAH-yhdisteiden pitoisuudet kunnallisten jätevedenpuhdistamojen puhdistamolietteissä –PAHPULI-hankkeen loppuraportti

1 Johdanto

Puhdistamolietteistä valmistetaan monin paikoin maanparannuskompostia tai lannoitteita. Ravinteiden tehokkaalla kierrättämisellä takaisin viljelysmaalle ja ravinnontuotantoon voidaan pienentää vesistöihin kulkeutuvien ravinteiden määriä sekä vähentää tarvetta louhia maaperästä keinolannoitteisiin käytettäviä fosfaattipitoisia mineraaleja. Tulevaisuudessa puhdistamolietteen tehokas kierrättäminen tulee olemaan entistä tärkeämpää Itämeren ja sisävesien rehevöitymisongelmien sekä helposti louhitavien fosfaattivarantojen vähenemisen johdosta.

Puhdistamolietteen kierrätyksen eräänä ongelmana ovat kuitenkin kuluttaja- ja teollisuuslähtöiset orgaaniset haitta-aineet, joita jäteveden sekä puhdistamolietteen on havaittu sisältävän. Useiden puhdistamolietteen sisältämien orgaanisten haitta-aineiden tiedetään mm. olevan potentiaalisesti syöpää ja epämuodostumia aiheuttavia, voivan häiritä hormonitoimintaa ja lisääntymisterveyttä sekä olevan hitaasti hajoavia ja biokertyviä.

PAH-yhdisteet ovat yksi jätevesissä esiintyvistä lukuisista orgaanisten haitta-aineiden ryhmistä. Yhdisteryhmään kuuluu yli 100 ainetta. PAH-yhdisteet ovat hiilestä ja vedystä koostuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden rakenne muodostuu kahdesta tai useammasta yhteen liittyneestä bentseenirenkaasta. PAH-yhdisteitä syntyy orgaanisten yhdisteiden epätäydellisen palamisen tuloksena. Suurin osa ympäristöstä tavattavista PAH-yhdisteistä on peräisin ihmistoiminnoista, kuten liikenteestä, energiantuotannosta ja teollisista prosesseista, mutta niitä syntyy myös metsä- ja maastopaloissa. Yhdisteiden myrkyllisyys vaihtelee voimakkaasti. Osa PAH-yhdisteistä on havaittu syöpää, solumutaatioita ja sikiövaurioita aiheuttaviksi. Ympäristössä PAH-yhdisteet hajoavat hitaasti. Jätevedenpuhdistamolla osa PAH-yhdisteistä biohajoaa, mutta suurin osa aineista sitoutuu lietteeseen (Vieno, 2015).

Suomessa PAH-yhdisteiden esiintymistä puhdistamolietteissä on tutkittu hyvin rajallisesti. Vikman ym. (2006) raportoivat yhdeksän PAH-yhdisteen summapitoisuuden olleen neljällä suomalaisella, pääasiassa yhdyskuntajätevesiä käsittelevällä jätevedenpuhdistamolla välillä 0,5 – 9,3 mg/kg k.a. Mannio ym. (2011) raportoivat 14 PAH-yhdisteen summapitoisuuden vaihtelevan välillä 0,8 – 5,6 mg/kg k.a. Tutkimuksessa oli mukana 10 jätevedenpuhdistamo. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT on mitannut PAH-yhdisteitä biokaasulaitosten lopputuotteista (Marttinen ym. 2014). Heidän mukaansa PAH16-summa oli korkeimmillaan jopa 21,9 mg/kg k.a. Biokaasulaitoksille johdettiin puhdistamolietteen lisäksi mm. yhdyskuntien lajiteltua biojätettä, elintarviketeollisuuden jätevirtoja sekä eläinten lantaa. PAH16-aineiden lähdettä ei tutkimuksessa voitu kohdistaa mihinkään tiettyyn jättemateriaaliin.

Tässä Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry:n sekä Laki ja Vesi Oy:n PAHPULI-yhteishankkeessa oli tavoitteena selvittää polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen, eli PAH-yhdisteiden esiintymistä kunnallisten jätevedenpuhdistamojen jatkokäsittelyssä ja jatkokäsittelyissä olevissa puhdistamolietteissä sekä jatkokäsittelyjen vaikutuksia pitoisuuksiin. Käytössä olleita lietteen jatkokäsittelytapoja olivat kompostointi, vanhentaminen, jälkikypsytykset ja stabilointi sekä osalla laitoksista myös näitä vaiheita edeltävä mädättäminen. Osassa laitoksista jatkokäsittelyyn lietteeseen sekoitettiin turvetta tai turpeen ja hiekan seosta.

Hanke sai rahoitusta Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n Vesihuoltolaitosten kehittämisrahastolta ja Maa- ja vesitekniikan tuki ry:ltä.

Hankkeen tuloksia voidaan käyttää arvioitaessa puhdistamolietteiden soveltuvuutta lannoitevalmisteiden raaka-aineiksi ja ravinnon tuotantoon PAH-yhdisteiden osalta. Suomessa lannoitevalmistelainsäädäntö asettaa kriteereitä lannoitevalmisteiden käytölle ja levitykselle. Tällä hetkellä lainsäädännössä on annettu raja-arvoja vain eräille metalleille sekä valmisteiden mikrobiologiselle laadulle. Orgaanisille haitta-aineille raja-arvoja ei ole asetettu. Raja-arvoja ei ole myöskään määrätty Euroopan Unionin tasolla. Vuoden 2014 alussa Euroopan komission Joint Research Centre (JRC) julkaisi teknisen raportin (JRC 2014) koskien kompostimassojen ja mädätteen end of waste –kriteereitä. Raportissa ehdotettiin näille ainevirroille PAH16-summapitoisuudelle raja-arvoa 6 mg/kg kuiva-aineessa laskettuna. End of waste –kriteereissä jätteille määritellään kriteerit, joiden täytyttyä jäte voi saada tuotestatuksen. Raja-arvo PAH-yhdisteille ei kuitenkaan ehdotuksesta huolimatta ole tullut voimaan puhdistamolietteistä valmistetuille lannoitevalmisteille.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1. Hankkeen kohdelaitokset

Kohdelaitoksiksi valittiin viisi kapasiteetiltaan erikokoista lounaissuomalaista jätevedenpuhdistamoja sekä yksi puhdistamolietteitä jatkojalostava yritys. Tässä raportissa kohdelaitoksia ei nimetä, vaan ne esitetään tunnistenumeroituina numeroilla 1-6.

Taulukko 1. Näytteenottopisteet ja näytestepistekohtaiset kokoomanäytteiden lukumäärät koko hankkeen ajalta.

Laitos:	Näytteenottopisteet:	Näytteitä kpl
1	puskurisäiliö ennen sterilointia	5
	mädätetty ja linkokuivattu liete	5
	jälkistabiloitu liete	5
2	linkokuivattu liete	5
3	suotonauhapuristimella kuivattu liete	5
	kompostoitu liete	5
4	mädätykseen menevä sekaliete	5
	mädätetty linkokuivattu liete	5
	vanhennettu liete, auma 1	3
	vanhennettu liete, auma 2	4
5	vanhennettu liete, auma 3	1
	suotonauhakuivattu liete	5
	turpeen kanssa kompostoitu ja 0,5 vuotta jälkikypsytetty liete, auma 1	3
6	turpeen kanssa kompostoitu ja 0,5 vuotta jälkikypsytetty liete, auma 2	2
	linkokuivattu liete	5
	NÄYTTEITÄ YHTEENSÄ	63

2.2 Näytteenotto

Laitoksilta otettiin laitosten henkilökuntien toimesta kaikkiaan viidet kokoomanäytteet jatkokäsittelmättömistä sekä jatkokäsittelyissä olleista puhdistamolietteistä. Näytteenotot ajoittuivat marraskuulle 2015 sekä tammi-, maaliskuu-, touko- ja kesäkuulle 2016.

Hihnaa pitkin tai ruuvilla kulkevista lietteistä muodostettiin kokoomanäytteet ottamalla työpäivän aikana kolmet osanäytteet. Aumoissa olleista kuivatuista tai jatkokäsittelyissä olleista lietteistä kokoomanäytteet muodostettiin viidestä kohtaa aumaa otetuista osanäytteistä. Näytteet otettiin yhden litran polyeteeni-muoviastioihin.

Samoista jatkokäsittelyissä olleista lieteaumoista otettiin eri näytekerroksilla toistuvasti näytteitä. Tällöin yksittäisten jatkokäsittelyaumojen osalta muodostui näytesarjoja, joiden näytemäärä vaihteli välillä 1-5 näytettä auman poiskuljetuksen ajankohdasta riippuen.

2.3 Lietenäytteiden käsittely

Lietenäytteet noudettiin näytteenoton jälkeen kohdelaitoksilta Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n tai Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry:n henkilökunnan toimesta. Näytteet toimitettiin pakastettuina analysoinnista vastanneelle ALS Finland Oy:lle. Näytteet homogenisoitiin ennen analysointia.

Näytteistä analysoitiin seuraavien Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston priorisoimien 16 PAH-yhdisteen pitoisuudet:

- 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

Lisäksi näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuudet.

2.4 Tulosten käsittely

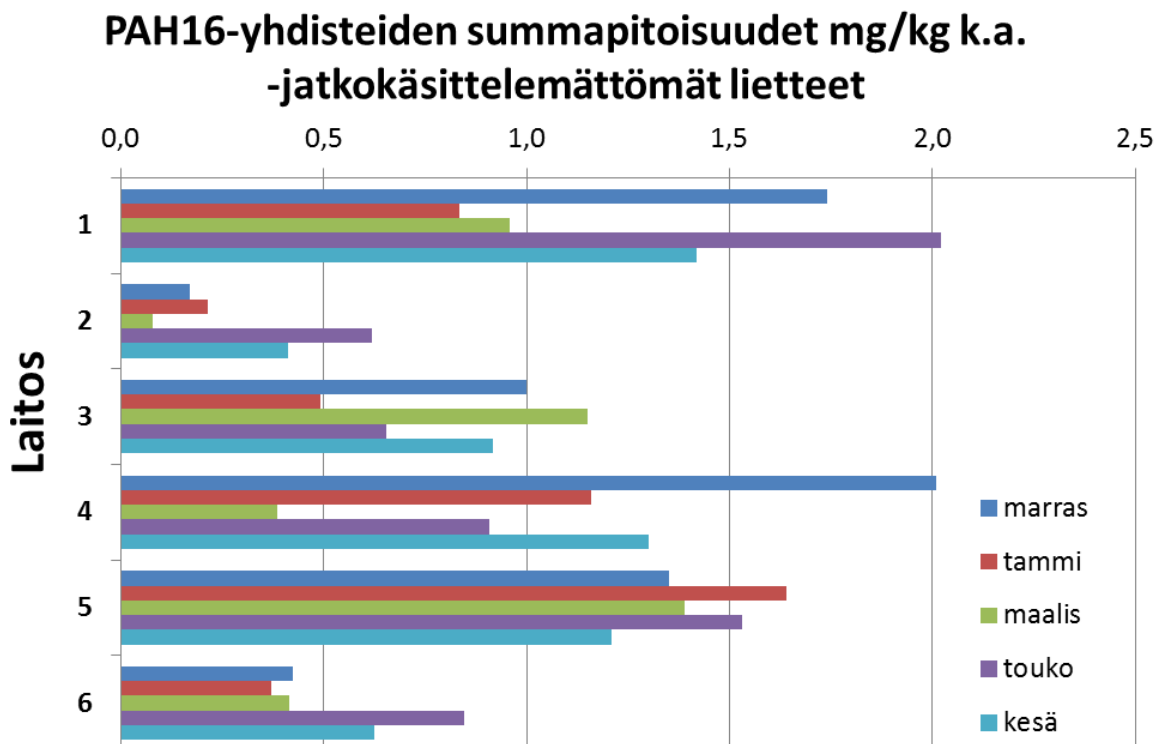
PAH16-yhdisteiden summapitoisuuksien sekä yksittäisten PAH-yhdisteiden keskimääräisten pitoisuuksien laskennassa on tässä raportissa käytetty määrittäjärajaa alittavien yksittäisten PAH-yhdistepitoisuuksien arvoina pitoisuutta 0 mg/kg kuiva-ainetta. PAH16-yhdisteiden summapitoisuuksien määrittäjärajan alittavien näytteiden osalta pitoisuusarvoina on käytetty 50 % määrittäjärajan arvosta.

Tulosten tarkastelussa on jätetty epätodennäköisenä huomioimatta laitoksen 1 osalta yhdestä näytteestä mitattu poikkeuksellisen korkea naftaleenipitoisuus (1,28 mg/kg k.a.).

3 Tulokset

3.1 Jatkokäsittelimättömien lietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet

Jatkokäsittelimättömien puhdistamolietteiden osalta näytekohtaiset PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä <0,160 - 2,0 mg/kg k.a. (kuva 1). Kaikkien jatkokäsittelimättömien näytteiden summapitoisuuksien keskiarvo oli 0,94 mg/kg k.a. Laitoskohtaisesti lasketut keskimääräiset summapitoisuudet vaihtelivat välillä 0,31-1,4 mg/kg k.a..



Kuva 1. Jatkokäsittelimättömistä puhdistamolietteistä otettujen näytteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet.

3.2 Jatkokäsittelyissä olleiden lietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet

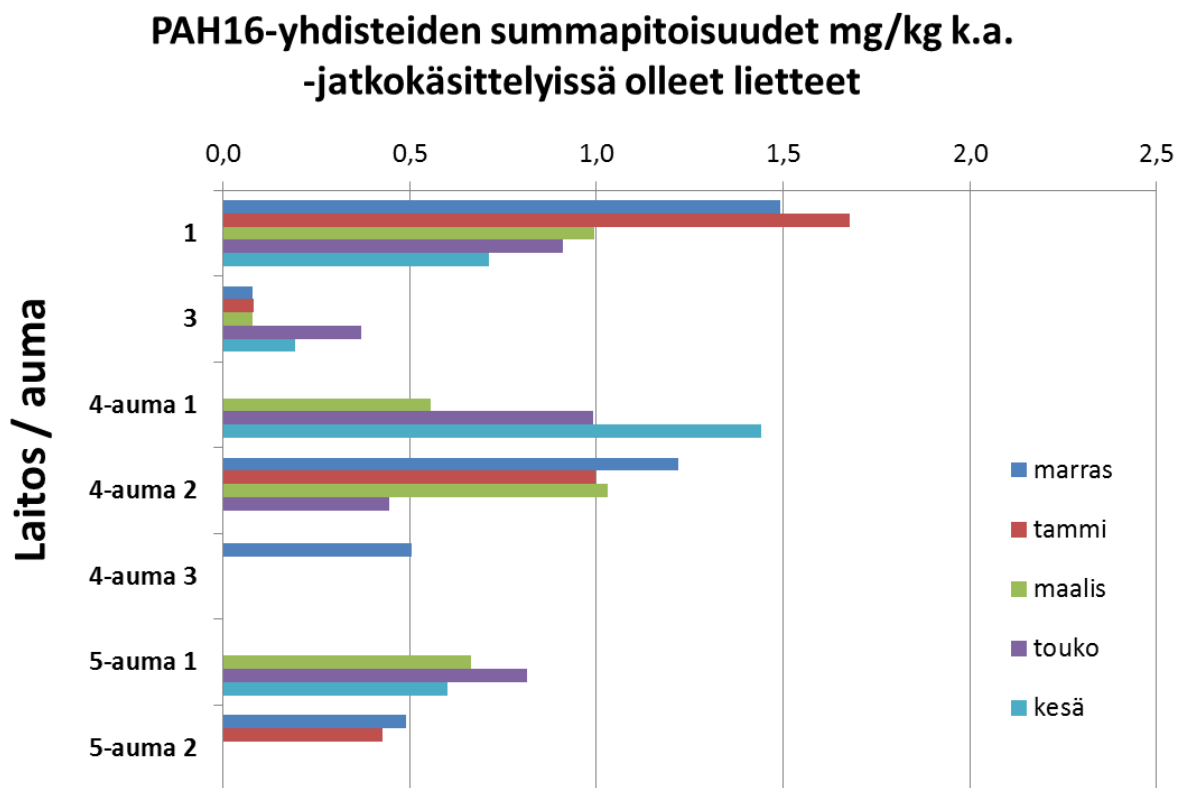
Jatkokäsittelyissä olleiden puhdistamolietteiden osalta näytekohtaiset PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä <math><0,160 - 1,7 \text{ mg/kg k.a.}</math> (kuva 2). Kaikkien jatkokäsittelyissä olleiden näytteiden summapitoisuuksien keskiarvo oli 0,73 mg/kg k.a. Laitoskohtaisesti lasketut keskimääräiset summapitoisuudet vaihtelivat välillä 0,17-1,2 mg/kg k.a..

Edellä olevassa tarkastelussa on huomioitu jatkokäsittelyjen loppuvaiheissa (kompostointi, vanhentaminen, jälkikyvytys ja stabilointi) olevista lietteistä otettujen näytteiden tulokset, mutta ei välivaiheiden lietteistä otettuja näytteitä, joita ovat mädätetyistä linkokuivatuista lietteistä otetut näytteet.

3.3 Yksittäisten PAH16-ryhmän yhdisteiden esiintyminen näytteissä

PAH16-ryhmän yhdisteitä esiintyi yleisesti tutkituissa puhdistamolietteissä. Kaikissa tässä tutkimuksessa otetuissa näytteissä havaittiin PAH16-ryhmän yhdisteitä määritysrajat ylittävänä pitoisuuksina vähintään kahden ja keskimäärin 10 yhdisteen osalta.

Keskimäärin korkeimpina pitoisuuksina havaittiin pyreeniä, jota jatkokäsittelemättömät puhdistamolietteet sisälsivät 0,21 mg/kg k.a. ja jatkokäsittelyissä olleet lietteet 0,17 mg/kg k.a.. Muita PAH-yhdisteitä korkeampina pitoisuuksina esiintyivät pyreenin lisäksi myös fenantreeni, fluoranteeni, naftaleeni ja bentso(b)fluoranteeni (kuva 3).



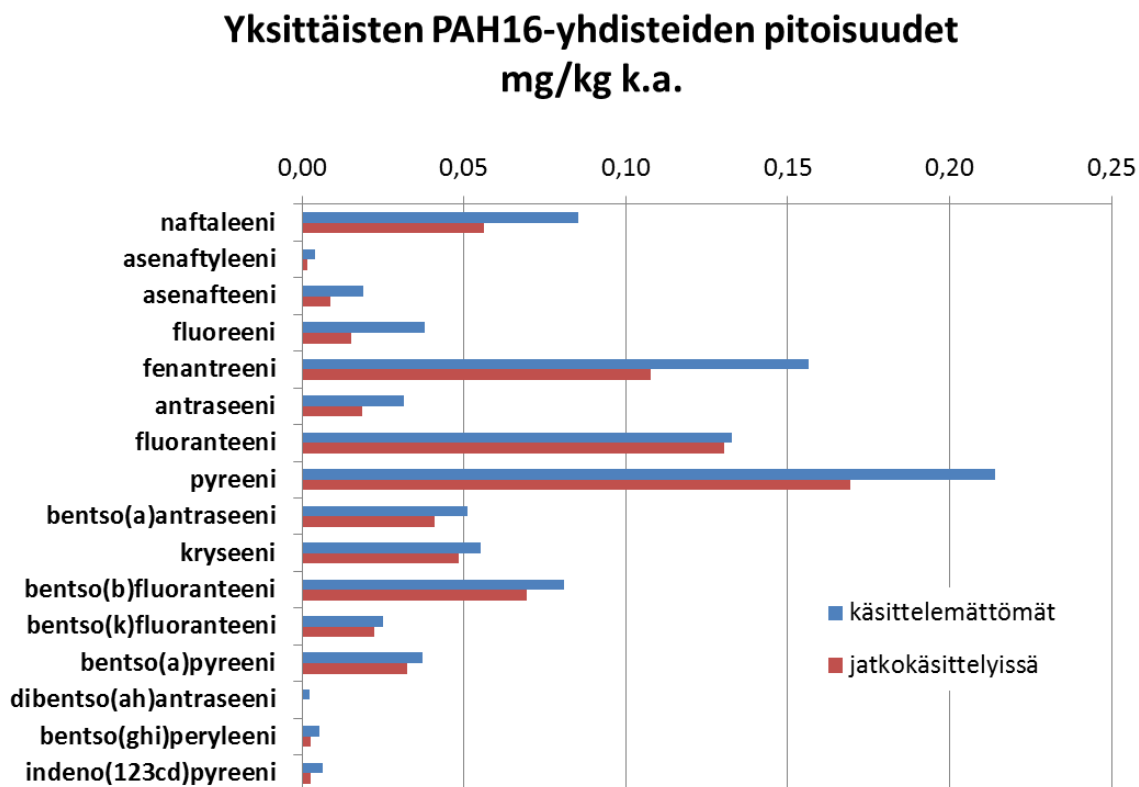
Kuva 2. Jatkokäsittelyjen loppuvaiheissa olleista puhdistamolietteistä otettujen näytteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet.

Liitteessä 1 on esitetty näytteistä analysoitujen PAH16-ryhmän yhdistekohtaisten pitoisuuksien keskiarvot sekä minimi- ja maksimi-arvot käsittelemättömille sekä jatkokäsittelyjen väli- ja loppuvaiheissa olleille lietteille. Jatkokäsittelyjen välivaiheissa olleet lietteet olivat tässä tutkimuksessa mädätettyjä linkokuivattuja lietteitä.

3.4 Jatkokäsittelyjen vaikutukset yksittäisten PAH16-yhdisteiden pitoisuuksiin

Jatkokäsittelyjen loppuvaiheissa olleiden lietteiden yksittäisten PAH-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet olivat alhaisempia kuin jatkokäsittelemättömien lietteiden vastaavat pitoisuudet (kuva 3). Tällöin tarkasteluun on sisällytetty jatkokäsittelemättömistä ja jatkokäsittelyjen loppuvaiheissa olleista lietteistä otettujen näytteiden tulokset kaikkien laitosten ja jatkokäsittelytyyppien osalta. Jatkokäsittelyjen välivaiheissa (mädätetyt linkokuivatut lietteet) olevista lietteistä otettuja näytteitä ei ole sisällytetty tähän tarkasteluun.

Mahdollisia alhaisempiin PAH-yhdistepitoisuuksiin johtaneita syitä olivat osassa jatkokäsittelyjä seosaineina käytettyjen turpeen ja osin myös hiekan lisääminen käsiteltävän puhdistamolietteen sekaan sekä myös PAH-yhdisteiden hajoaminen jatkokäsittelyjen aikana.



Kuva 3. Yksittäisten PAH16-yhdisteryhmän yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (mg/kg k.a.) jatkokäsittelemättömistä (n=30) ja jatkokäsittelyissä olleista (n=23) lietteistä otetuissa näytteissä.

3.5 Yksittäisten jatkokäsittelyjen vaikutukset puhdistamolietteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuuksiin

Näytekohtaisten PAH16-yhdisteiden summapitoisuuksien suuren vaihtelun johdosta tulokset olivat yksittäisten jatkokäsittelyjen pitoisuusvaikutusten suhteen epävarmoja ja osin myös ristiriitaisia. Tulosten perusteella aumoista otettujen osanäytteiden otanta ei mahdollistanut riittävän edustavien kokoomänäytteiden muodostamista. Analyysituloksia on yksittäisten jatkokäsittelyjen osalta esitetty taulukossa 2 sekä jäljempänä.

Taulukko 2. Jatkokäsittelyissä olleista lieteaumoista otettujen näytesarjojen PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet ensimmäisten ja viimeisten näytteiden osalta, edellä mainittujen summapitoisuuksien prosentuaaliset erot sekä näytteenottojen ajalliset erot.

Laitos	Käsittelymenetelmä	ensimmäisen näytteen pitoisuus, mg/kg k.a.	viimeisen näytteen pitoisuus, mg/kg k.a.	ero, %	ajallinen ero, kuukautta
1	jälkistabilointi	1,5	0,71	-53	7
3	kompostointi	<0,16	0,19	-	7
4 / auma 1	vanhentaminen	0,56	1,4	+150	3
4 / auma 2	vanhentaminen	1,2	0,45	-63	6
5 / auma 1	kompostointi ja jälkikypsytytys	0,66	0,60	-9	3
5 / auma 2	kompostointi ja jälkikypsytytys	0,49	0,43	-12	2

Laitos 1, jälkistabiloitava liete

Laitoksen 1 osalta kaikki jälkistabiloinnissa olleesta lietteestä otetut viisi näytettä otettiin samasta aumasta. Näytesarjan viimeisen näytteen PAH16-yhdisteiden summapitoisuus oli 53 prosenttia alhaisempi kuin samasta aumasta seitsemän kuukautta aiemmin otetun ensimmäisen näytteen vastaava pitoisuus. Korkeimmat summapitoisuudet esiintyivät näytesarjan kahdessa ensimmäisessä näytteessä. Auma oli ollut stabiloitumassa ennen tutkimuksen alkua jo kaksi vuotta, joten PAH-yhdisteiden pitoisuudet eivät todennäköisesti ole voineet laskea ainakaan kyseisellä nopeudella.

Laitos 3, kompostoitava liete

Myös laitoksen 3 osalta kaikki kompostoinnissa olleesta lietteestä otetut viisi näytettä otettiin samasta aumasta. Näytesarjan kahden viimeisen näytteen PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet olivat lievästi korkeammat kuin kolmen ensimmäisen näytteen. Kaikki havaitut pitoisuudet olivat kuitenkin alhaisia ja pitoisuserojen voi olettaa johtuvan näyteotannan aiheuttamasta vaihtelusta. Pitoisuuksien alhaisuus saattaa pitkälti selittyä laitoksella 3 kompostoitavaan lietteeseen sekoitettavalla hiekalla. Lietettä oli myös kompostoitu tutkimuksen alussa jo neljän vuoden ajan.

Laitos 4, vanhennettava liete

Laitoksen 4 osalta vanhennettavana olleesta lietteestä otettiin näytteitä hankkeen aikana kolmesta erikäisestä aumasta. Uusimmasta aumasta saatiin hankkeen aikana kolme näytettä kolmen kuukauden ajalta. Toiseksi uusimmasta aumasta saatiin neljä näytettä kuuden kuukauden ajalta. Vanhimmasta aumasta saatiin hankkeen alussa marraskuussa 2015 yksi näyte ennen sen kuljettamista käyttöön. Uusimmasta aumasta otetun näytesarjan viimeisen näytteen PAH16-yhdisteiden summapitoisuus oli 150 prosenttia korkeampi kuin samasta aumasta kolme kuukautta aiemmin otetun ensimmäisen näytteen summapitoisuus. Sen sijaan toiseksi uusimmasta aumasta otetun viimeisen näytteen pitoisuus oli 63 % alhaisempi kuin kuusi kuukautta aiemmin otetussa ensimmäisessä näytteessä.

Laitos 5, kompostoitu jälkikypsyttävä liete

Laitoksen 5 osalta kompostoidun ja jälkikypsyttävänä olleen lietteen näytteet otettiin kahdesta erikäisestä aumasta. Nuoremasta aumasta saatiin kolmen kuukauden ajalta kolme näytettä ja vanhemmasta aumasta kahden kuukauden ajalta kaksi näytettä. Molemmista aumoista viimeisimpinä otettujen näytteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet olivat lievästi alhaisemmat kuin ensimmäisissä näytteissä. Nuoremmasta auman osalta korkein PAH16-yhdisteiden summapitoisuus löytyi kuitenkin näytesarjan keskimmaisesta toukokuun näytteestä.

4 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa mitattuja pitoisuuksia verrattiin aiempiin mittauksiin suomalaisissa ja pohjoismaisissa puhdistamolietteissä (Kasurinen ym. 2014, Marttinen ym. 2014, Vieno 2015, Mannio ym. 2011) sekä yhteiseurooppalaisen tutkimuksen tuloksiin (Tavazzi ym. 2012). Suomessa ja muissa Pohjoismaissa tehtyjen tutkimusten tuloksia on koottu taulukkoon 3. Tuloksista nähdään, että keskimääräiset PAH16-summapitoisuudet vaihtelevat jonkin verran Suomessakin tehdyissä tutkimuksissa. Tämä johtuu todennäköisesti vähäisestä näytemäärästä, jolloin yksittäiset korkeat tai matalat pitoisuudet vaikuttavat merkittävästi keskiarvoon. Ruotsissa on toteutettu pitkäaikaista PAH-yhdisteiden seuranta lietteistä ja siellä on Kasurinen ym. (2014) mukaan todettu joidenkin PAH-yhdisteiden pitoisuuksien pienentyneen viimeisen 20 vuoden aikana. Suomessa on tehty niin vähän mittauksia, ettei vastaavaa arviota aineiden pitoisuuksien muutoksista voida tehdä. PAH16- summapitoisuudet Pohjoismaissa ovat kuitenkin samalla tasolla. Euroopan mittakaavassa PAH-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelevat suuresti, mikä on nähtävillä taulukossa 4 esitetyissä tuloksissa. Korkeimmillaan PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat yli kymmenkertaiset Suomessa mitattuihin maksimipitoisuuksiin verrattuna.

Suomessa PAH-yhdisteiden esiintymistä puhdistamolietteissä on tutkittu hyvin rajallisesti. Vikman ym. (2006) raportoivat yhdeksän PAH-yhdisteen summapitoisuuden olleen neljällä suomalaisella, pääasiassa yhdyskuntajätevesiä käsittelevällä jätevedenpuhdistamolla välillä 0,5 – 9,3 mg/kg k.a.

Taulukko 3. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa mitattuja keskimääräisiä PAH16-summapitoisuuksia.

Maa	Näytteenottovuosi	Lietetyyppi	PAH16-summa (mg/kg k.a.)	Lähde
Suomi	2015–2016	Käsitlemätön	0,94	Tämä tutkimus
Suomi	2015–2016	Käsitelty	0,73	Tämä tutkimus
Suomi	2014	Käsitlemätön	2,99	Vieno (2015)
Suomi	2014	Mädätetty	0,95	Vieno (2015)
Suomi	2014	Kompostoitu	0,65	Vieno (2015)
Suomi	2010–2012	Mädätysjäännös	2,11	Marttinen ym. (2014)
Ruotsi	Ei tiedossa	Ei tiedossa	1,4	Kasurinen ym. (2014)
Tanska	Ei tiedossa	Ei tiedossa	3,3	Kasurinen ym. (2014)
Norja	Ei tiedossa	Ei tiedossa	2,0	Kasurinen ym. (2014)

Taulukko 4. Tässä tutkimuksessa mitattujen lietteiden PAH-aineiden minimi- ja maksimipitoisuudet (mg/kg k.a.) sekä vertailuna yhteiseurooppalaisen tutkimuksen (Tavazzi ym. 2012) julkaisemat käsittelemättömien lietteiden pitoisuudet.

	Käsittelemättömät lietteet (tämä tutkimus)	Jatkokäsittelyissä olleet lietteet (tämä tutkimus)	Tavazzi ym. 2012 ¹⁾
naftaleeni	<0,010–0,666	<0,010–0,375	-
asenaftyleeni	<0,010–0,029	<0,010–0,025	-
asenafteeni	<0,010–0,081	<0,010–0,052	-
fluoreeni	<0,010–0,122	<0,010–0,063	-
fenantreeni	0,038–0,473	<0,010–0,312	0,030–5,55
antraseeni	<0,010–0,128	<0,010–0,085	<mr–0,72
fluoranteeni	0,018–0,305	0,010–0,302	0,035–3,22
pyreeni	0,042–0,617	0,016–0,367	0,047–2,64
bentso(a)antraseeni	<0,010–0,130	<0,010–0,088	<mr–1,83
kryseeni	0,010–0,135	<0,010–0,102	<mr–2,02
bentso(b)fluoranteeni	<0,010–0,264	<0,010–0,161	<mr–1,92
bentso(k)fluoranteeni	<0,010–0,096	<0,010–0,044	0,010–1,05
bentso(a)pyreeni	<0,010–0,114	<0,010–0,094	0,019–1,48
dibentso(ah)antraseeni	<0,010–0,053	<0,010–<0,015	<mr–0,55
bentso(ghi)peryleeni	<0,010–0,100	<0,010–0,037	<0,030–1,34
indeno(123cd)pyreeni	<0,010–0,145	<0,010–0,037	0,024–1,40

¹⁾ 32 lietenäytettä 15 eri maasta

5 Yhteenveto

Tulosten perusteella lounaisuomalaisten puhdistamolietteiden PAH-yhdistepitoisuuksien voi katsoa yleisesti olevan kohtuullisella tasolla. Laitoksilla jatkokäsittelyissä olleista lietteistä sekä vielä jatkokäsittelemättömistä puhdistamoprosesseista poistetuista lietteistä otettujen näytteiden PAH16-yhdisteiden summapitoisuudet alittivat kaikkien näytteiden osalta selvästi Euroopan unionin jätevesilietteille aiemmin kaavaileman End-of-waste –raja-arvon 6 mg/kg k.a..

Jatkokäsittelyissä olleissa puhdistamolietteissä havaitut PAH-yhdistepitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia kuin jatkokäsittelemättömien lietteiden pitoisuudet. Tämä saattaa selittyä seosaineina käytettyjen turpeen ja osin myös hiekan lisäämisellä käsiteltävien puhdistamolietteiden sekaan, mutta myös yhdisteiden hajoaminen on mahdollista. Myös yksittäisten jatkokäsittelymenetelmien vaikutuksia PAH-yhdistepitoisuuksiin selvitettiin hankkeessa, mutta näytepitoisuuksien vaihtelusta johtuen niiden pitoisuusvaikutuksista ei kuitenkaan voitu tehdä johtopäätöksiä.

Puhdistamolietteissä esiintyvien haitta-ainepitoisuuksien ja niiden alentamiseen tähtäävien käsittelyjen tutkimiseen on jatkossakin tarvetta. Tutkittaessa puhdistamolietteiden jatkokäsittelymenetelmien vaikutuksia lietteiden haitta-ainepitoisuuksiin tulisi tarkkailtavia liete-eriä seurata jatkokäsittelyn alusta lähtien. Nyt saadun kokemuksen perusteella kokoomanäytteet tulisi paremman edustavuuden saavuttamiseksi muodostaa suuremmasta määrästä osanäytteitä kuin tässä tutkimuksessa tehtiin. Seurannan alkuvaiheessa on myös suositeltavaa ottaa tutkittavana olevasta liete-erästä rinnakkaisia kokoomanäytteitä, jotta voidaan saada käsitys kokoomanäytteiden pitoisuuksien hajonnasta.

Joni Holmroos
toiminnanjohtaja

Matti Jantunen
projektityöntekijä

Niina Vieno
osakas, vesiasiantuntija

Lähteet

JRC 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Report EU 26425 EN. Joint Research Centre. Ladattavissa: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87124.pdf>.

Kasurinen, V., Munne, P., Mehtonen, J., Türkmen, A., Seppälä, T., Mannio, J., Verta, M. ja Äystö, L. 2014. Orgaaniset haitta-aineet puhdistamolieteeissä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2014.

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

Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. ja Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. BIOSAFE-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 135.

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.

Vieno, N. 2015. Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalieteeissä. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Julkaisu 73/2015.

Vikman, M., Kapanen, A. ja Itävaara, M. 2006. Orgaaniset haitta-aineet jätevesilieteeissä. Vesitalous 3/2006.

LIITTEET: PAH16-ryhmän yhdistekohtaiset pitoisuuksien keski-, minimi- ja maksimiarvot.

Liite 1.

Näytteistä analysoitujen PAH16-ryhmän yhdistekohtaisten pitoisuuksien keskiarvot sekä minimi- ja maksimi-arvot (mg/kg k.a.) käsittelemättömille sekä jatkokäsittelyjen väli- ja loppuvaiheissa olleille lietteille. Jatkokäsittelyjen välivaiheissa olleet lietteet olivat tässä tutkimuksessa mädätettyjä linkokuivattuja lietteitä.

	jatkokäsittelemättömät lietteet			jatkokäsittelyissä olleet lietteet			Jatkokäsittelyjen välivaiheet (mädätetyt linkokuivatut lietteet)		
	ka	min	maks	ka	min	maks	ka	min	maks
naftaleeni	0,085	<0,010	0,666	0,056	<0,010	0,375	0,198	0,022	0,481
asenaftyleeni	0,004	<0,010	0,029	0,002	<0,010	0,025	0,002	<0,010	0,018
asenafteeni	0,019	<0,010	0,081	0,009	<0,010	0,052	0,039	<0,010	0,109
fluoreeni	0,038	<0,010	0,122	0,015	<0,010	0,063	0,054	0,012	0,126
fenantreeni	0,156	0,038	0,473	0,108	<0,010	0,312	0,206	0,104	0,380
antraseeni	0,031	<0,010	0,128	0,019	<0,010	0,085	0,049	0,016	0,123
fluoranteeni	0,133	0,018	0,305	0,131	0,010	0,302	0,169	0,077	0,352
pyreeni	0,214	0,042	0,617	0,169	0,016	0,367	0,201	0,122	0,353
bentso(a)antraseeni	0,051	<0,010	0,130	0,041	<0,010	0,088	0,056	0,016	0,130
kryseeni	0,055	0,010	0,135	0,049	<0,010	0,102	0,060	0,022	0,152
bentso(b)fluoranteeni	0,081	<0,010	0,264	0,069	<0,010	0,161	0,074	0,032	0,152
bentso(k)fluoranteeni	0,025	<0,010	0,096	0,022	<0,010	0,044	0,030	<0,010	0,070
bentso(a)pyreeni	0,037	<0,010	0,114	0,032	<0,010	0,094	0,038	0,017	0,083
dibentso(ah)antraseeni	0,002	<0,010	0,053	0,000	<0,010	<0,015	0,000	<0,010	<0,070
bentso(ghi)peryleeni	0,005	<0,010	0,100	0,003	<0,010	0,037	0,001	<0,010	0,010
indeno(123cd)pyreeni	0,007	<0,010	0,145	0,003	<0,010	0,037	0,001	<0,010	0,011
PAH16 SUMMA	0,94	<0,160	2,0	0,73	<0,160	1,7	1,2	0,53	2,3