

Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa

Lauri Äystö, Pia Högmänder, Päivi Fjäder ja Jani Salminen

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27 / 2022

Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa

Lauri Äystö, Pia Högmander, Päivi Fjäder ja Jani Salminen



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27 | 2022

Suomen ympäristökeskus
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Lauri Äystö, Pia Högmander, Päivi Fjäder ja Jani Salminen
Suomen ympäristökeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Maa- ja metsätalousministeriö
Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Kannen kuva: Lauri Äystö

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke

ISBN 978-952-11-5497-3 (PDF)
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

Julkaisuvuosi: 2022

Tiivistelmä

Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa

Haitallisten aineiden esiintymistä kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa selvitettiin maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa Jätelannoite-hankkeessa. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa lisätietoa kansallisen lannoitelainsäädännön uudistamisen tueksi.

EU:n uusi Lannoitevalmisteasetus (2019/1009) määrittelee laatuksiteerit ja sallitut syötteet EU-lannoitevalmisteille, joille tulee myös taata vapaa liikkuvuus EU-alueella. Asetus rajaa EU-lannoitevalmisteiden sallittujen raaka-aineiden ulkopuolelle useita jäteperäisiä materiaaleja, joita on kuitenkin Suomessa käytetty pitkään lannoitevalmisteina tai niiden raaka-aineina. Tällaiset materiaalit jäävät jatkossa kansallisen lainsäädännön piiriin. Näihin materiaaleihin lukeutuvat mm. yhdyskuntajätevesiliete, lanta ja metsäteollisuuden lietteet.

Suomessa lannoitelainsäädäntö asettaa raja-arvot ja seurantavelvoitteet kahdeksalle lannoitteiden sisältämälle haitalliselle raskasmetallille. EU:n Lannoitevalmisteasetus puolestaan määrittelee laatuksiteerit näiden lisäksi myös muutamille orgaanisille yhdisteryhmille, kuten PCDD/F-, PAH- ja PCB-yhdisteille. Monissa EU-maissa on jo aiemmin sovellettu kansallisia raja-arvoja Lannoitevalmisteasetuksen piiriin kuuluville haitallisille aineille, mutta paikoin myös esim. PFAS- ja LAS-yhdisteille sekä ftalaateille. Lisäksi kirjallisuudessa on nostettu esille monia muita huolta aiheuttavia yhdisteitä.

Tässä työssä kartoitettiin eri maissa lannoitevalmisteille sovellettavia laatuksiteerejä. Näitä verrattiin Suomesta saatavilla olevaan pitoisuusaineistoon. Lisäksi pyrittiin tarkastelemaan missä määrin kirjallisuudessa esille nostettuja yhdisteitä on määritetty suomalaisista materiaaleista. Aineiston saatavuus vaihtelee materiaaleittain. Yhdyskuntajätevesilietteistä ja ruoppausmassoista on saatavilla eniten pitoisuustietoja, kun taas eläinperäisten ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen kohdalla aineistoa on hyvin vähän.

Kirjallisuuden perusteella hankkeessa pyrittiin myös tunnistamaan materiaalikohtaisesti sellaisia haitallisia aineita, joiden esiintymistä kierrätyslannoitevalmisteissa ja niiden raaka-aineissa olisi aiheellista selvittää aiempaa tarkemmin. Tällaisiin yhdisteisiin lukeutuvat mm. metsäteollisuuden lietteiden mahdollisesti sisältämät kvaternaariset ammoniumyhdisteet, eläinperäisten ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen lääke- ja torjunta-ainejäämät, ruoppausmassojen sisältämät organotinat, ja yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämät lääkejäämät, LAS-yhdisteet, siloksaanit ja synteettiset myskit.

Kierrätyslannoitteiden turvallisen käytön edistämiseksi tulisi jatkossa määritellä kriteerit tai raja-arvot ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi. Tämä edellyttää materiaaleihin liittyvien haitta-aineiden ja niiden pitoisuuksien tuntemista. Materiaaleille, joiden sisältämiä haitallisia aineita tai niiden pitoisuustasoa ei tunneta riittävästi, kriteerien asettaminen ja riskien arviointi on vaikeaa. Hallinnollisia vaihtoehtoja koskevia jatkotoimenpiteitä arvioitaessa onkin aiheellista tiedostaa, että ympäristönsuojelun korkean tason ja hyötykäytön edistämisen välillä saattaa olla vaikeasti yhteensovitettavia ristiriitoja.

Asiasanat: hyötykäyttö, kierrätys, orgaaniset lannoitteet, jätevesiliete, lanta, sivutuotteet

Sammandrag

Skadliga ämnen i återvunna gödselmedel och deras råvaror

Denna rapport behandlar förekomsten av skadliga ämnen i återvunna gödselmedel och deras råvaror. Arbetet genomfördes inom ramen för projektet Avfallsgödsel, som finansierades av Jord- och skogsbruksministeriet. Målet med projektet var att producera mer information som stöd för reformen av den nationella gödsellagstiftningen.

EU:s nya förordning om gödselmaterial (2019/1009) fastställer kvalitetskriterierna och de tillåtna flödena för EU-gödselmaterial, som också ska garanteras fri rörlighet inom EU. Förordningen utesluter flera avfallsbaserade material, som dock länge har använts som gödselmaterial eller som råvaror för dessa i Finland, från de tillåtna råvarorna för EU-gödselmaterial. Sådana slags material kommer i fortsättningen att omfattas av den nationella lagstiftningen. Till dessa material hör bland annat kommunalt avloppsslam, gödsel och skogsindustrins slam.

I Finland fastställer gödsellagstiftningen gränsvärden och uppföljningsskyldigheter för åtta skadliga tungmetaller som hittas i gödselmaterial. EU:s förordning om gödselmaterial fastställer kvalitetskriterier utöver för dessa, även för några organiska grupper av föreningar, såsom PCDD/F-, PAH- och PCB-föreningar. I många EU-länder har man redan tidigare tillämpat nationella gränsvärden för de skadliga ämnen som omfattas av förordningen om gödselmaterial, men ställvis också för till exempel PFAS- och LAS-föreningar samt för ftalater. Dessutom har man i litteraturen också lyft fram många andra föreningar som orsakar oro.

I detta arbete kartlade man de kvalitetskriterier som tillämpas på gödselmaterial i olika länder. Man jämförde dem med det material om halter som finns tillgängligt i Finland. Dessutom strävade man efter att granska i vilken mån föreningar som lyfts fram i litteraturen har definierats i finländskt material. Stoffets tillgänglighet varierar från material till material. Det finns mest information om halterna av kommunalt avloppsslam och muddermassor, medan det finns mycket lite material om biflöden från djur och från livsmedelsindustrin.

Utgående från litteraturen strävade man i projektet också efter att materialspecifikt identifiera sådana skadliga ämnen vars förekomst i återvunna gödselmaterial och deras råvaror man skulle ha skäl att utreda noggrannare än tidigare. Till sådana föreningar hör bland annat kvartära ammoniumföreningar som eventuellt finns i skogsindustrins slam, läkemedelsrester och bekämpningsmedelsrester i djurs och livsmedelsindustrins biflöden, muddringsmassornas organotiner och läkemedelsrester i det kommunala avloppsslammet, LAS-föreningar, siloxaner och syntetiska mysker.

För att främja en säker användning av återvunna gödselmedel bör man i fortsättningen fastställa kriterier eller gränsvärden för att förebygga förorening av miljön. Detta förutsätter att man känner till de skadliga ämnena i olika material och deras halter. För material, vars skadliga ämnen eller haltnivåer man inte känner till, är det svårt att fastställa kriterier och bedöma riskerna med dem. När man bedömer de fortsatta administrativa åtgärderna för olika alternativ är det också skäl att vara medveten om att det kan förekomma motstridigheter i samband med samordnandet av en hög nivå på miljöskyddet och främjandet av nyttobruket som är svåra att ihop.

Nyckelord: nyttobruk, återvinning, organiska gödselmedel, avloppsslam, stallgödsel, biprodukter

Abstract

Hazardous substances in recycled fertilisers and their raw materials

This report focuses on the occurrence of hazardous substances in recycled fertilisers and their raw materials. The study was carried out as a part of the project Jätelannoite, funded by the Ministry of Agriculture and Forestry of Finland. The project aimed to produce information to support drafting national fertiliser legislation.

The new EU Fertilising Product Regulation (2019/1009) defines quality criteria and accepted input materials for EU fertilising products, for which free movement within the EU must be ensured. The regulation excludes several waste-based materials from the list of accepted input materials. Many of these materials have been used as raw materials for fertilisers in Finland, and they will remain within the scope of national regulation. These materials include e.g. sewage sludge, manure, and sludges from the forest and paper industry.

The Finnish national fertiliser legislation sets limit values and monitoring obligations for eight hazardous heavy metals. The EU Fertilising Product Regulation sets additional quality criteria for selected groups of organic contaminants, such as PCDD/F, PAH, and PCB substances. Several EU member states have already previously set national limit values for these substances, and in some cases also for PFAS and LAS compounds as well as phthalates. Several other compounds of potential concern have been brought up in the literature.

In this study, we did a review of the chemical quality criteria set for fertilisers in different countries. These criteria were compared to concentration levels in Finnish materials. Additionally, we looked at how extensively the parameters regulated in different countries or brought up in the literature have been measured in Finnish materials. There is great variation between materials in data availability. In general, there is more information available on hazardous substances in sewage sludge and dredged materials than in animal-based by-products and food industry by-products.

Based on the literature, we identified hazardous substances related to different types of recycled fertilisers and their input materials. The occurrence of the identified contaminants in these materials should be investigated more thoroughly. The identified contaminants include e.g. quaternary ammonium compounds potentially present in sludges from the forest and paper industry, residues of pharmaceuticals and pesticides present in animal by-products and food industry by-products, organotin compounds often found in dredged materials, and pharmaceutical residues, LAS compounds, siloxanes and synthetic musks present in sewage sludge.

To promote the safe use of recycled fertilisers and to prevent environmental pollution, quality criteria or limit values for hazardous substances should be developed. This requires knowledge of the contaminants present in different materials, and their concentration levels in those materials. Setting quality criteria and estimating the risks of materials for which such information is not available is challenging. When evaluating different regulatory approaches, it should be noted that there may be severe conflicts between ensuring a high level of environmental protection and promoting the use of recycled fertilisers.

Keywords: utilisation, recycling, organic fertilisers, sewage sludge, manure, by-products

Esipuhe

Euroopan unionin kiertotalouspaketti asettaa kunnianhimoiset tavoitteet materiaalien uudelleenkäytölle ja kierrätykselle sekä kaatopaikalle päätyvän jätteen määrälle. Ravinnekierrätys on yksi keskeinen kiertotalouden osa-alue ja sen edistämiseksi komissio sisällytti kiertotalouspakettiin toimenpiteeksi orgaanisten lannoitevalmisteiden säännösten harmonisoinnin Euroopan Unionin tasolla. EU:n uudessa lannoitevalmisteasetuksessa säädetään lannoitevalmisteiden laatuvaatimusten lisäksi niiden jätteeksi luokittelun päättymisen säännöt. Kansallisesti voidaan lisäksi säätää kotimaisille markkinoille päätyvien lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksista, jätteeksi luokittelun päättymisestä sekä lannoitevalmisteiden käytöstä. Tällaiset kansalliset säädökset ovat tarpeellisia mm. koska joitakin lannoitevalmisteissa hyödynnettäviä materiaaleja syntyy hyvin paikallisesti, mikä vaikuttaa myös valmisteiden markkinoihin.

Kansallisen hyväksynnän piiriin jäävien lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisestä ei toistaiseksi ole olemassa erityissääntelyä. Päätökset jätteeksi luokittelun päättymisestä tehdään tapauskohtaisesti jätelain yleisten säännösten perusteella. Kansallisen sääntelyn mukaisia jätepohjaisia lannoitevalmisteita käytetään yleisesti tuotteen tavoin, vaikka jätelainsäädännön näkökulmasta ne olisivat edelleen jätettä. Tämä voi aiheuttaa hankalia tulkintatilanteita ja epäyhtenäisiä käytäntöjä eri puolilla Suomea. Jäteperäisten lannoitevalmisteiden hyödyntämiselle on kasvava tarve ja materiaalit täyttävät yleensä lannoitevalmisteille asetetut laatuvaatimukset. Hallinnollisten menettelyjen selkeyttäminen, kuten jätteeksi luokittelun päättymisen, edistää osaltaan kiertotaloutta ja luo varmuutta jätepohjaisten materiaalien käytölle.

Lannoitelainsäädännössä turvallisuutta arvioidaan ensisijaisesti elintarviketurvallisuuden sekä eläin- ja kasvinterveyden näkökulmasta. Ympäristö- ja jätelainsäädäntöjen mukaisesti tulee kuitenkin kiinnittää huomiota myös ympäristölle mahdollisesti aiheutuviin haittoihin. Esimerkiksi jätteeksi luokittelun päättymisessä huomiota on kiinnitettävä aiempaa enemmän siihen, että lannoitevalmisteiden käytöstä ei aiheudu haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle. Mahdollisista haitallisista vaikutuksista tarvitaan lisää tietoa useiden lannoitevalmisteissa hyödynnettävien jäteperäisten materiaalien osalta. Tässä raportissa pyritään vastaamaan tähän tietotarpeeseen kokoamalla tietoa lannoitevalmisteissa hyödynnettävien jättemateriaalien mahdollisesti sisältämistä haitta-aineista ja tunnistamalla tietopuutteita.

Raporttia kirjoitettaessa saatiin korvaamatonta apua kierrätyslannoitteiden parissa työskenteleviltä yrityksiltä ja yhdistyksiltä. Lainsäädännön tulkinnassa saatiin lisäksi apua Suomen ympäristökeskuksen ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) asiantuntijoilta ja raportin sisältöön saatiin arvokkaita kommentteja maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön edustajilta. Raportin kirjoittajat kiittävät hankkeen rahoittajia mahdollisuudesta toteuttaa tämä selvitys ja hankkeen toteutuksessa autta-neita toiminnanharjoittajia ja asiantuntijoita heidän antamistaan kommentteista, asiantuntemuksesta ja tausta-aineistoista.

Helsingissä huhtikuussa 2022

Titta Berlin & Lauri Äystö

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract.....	5
Esipuhe.....	7
1 Jätepohjaiset lannoitevalmisteet.....	11
1.1 Tausta ja tarve.....	11
1.2 Jätepohjaisiin lannoitevalmisteisiin liittyvää lainsäädäntöä.....	12
1.2.1 Lannoitevalmisteasetus (2019/1009).....	12
1.2.2 Sivutuoteasetus (1069/2009).....	14
1.2.3 Jätedirektiivi (2008/98/EY).....	17
1.2.4 Lietedirektiivi (86/278/ETY).....	17
1.2.5 Lannoitevalmistelaki (539/2006).....	17
1.2.6 Ympäristönsuojelulaki (527/2014).....	18
1.3 Kuvaus tarkasteluun valituista syötteistä.....	18
1.3.1 Metsäteollisuuden lietteet.....	18
1.3.2 Eläinperäiset sivuvirrat.....	19
1.3.3 Elintarviketeollisuuden sivuvirrat.....	21
1.3.4 Ruoppausmassat.....	21
1.3.5 Yhdyskuntajätevesilietteet.....	22
2 Katsaus hallinnollisiin vaihtoehtoihin.....	24
2.1 Johdanto hallinnollisiin vaihtoehtoihin.....	24
2.2 Ympäristölupamenettely.....	24
2.3 Rekisteröintimenettely.....	25
2.4 Jätteeksi luokittelun päättyminen.....	26
3 Katsaus haitallisten aineiden sääntelyyn ja käsittelyvaatimuksiin Suomessa ja muissa maissa.....	28
3.1 Sääntelyn yleiskuva.....	28
3.2 Materiaalikohtaisia laatu- ja käsittelyvaatimuksia.....	32
3.2.1 Metsäteollisuuden lietteet.....	32
3.2.2 Yhdyskuntajätevesilietteet.....	32
3.2.3 Ruoppausmassat.....	35
3.2.4 Eläinperäiset ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat.....	36
4 Haitalliset aineet jätepohjaisissa lannoitevalmisteissa ja niiden syötteissä.....	38
4.1 Käytetty aineisto.....	38
4.2 Metsäteollisuuden lietteet.....	38
4.3 Eläinperäiset sivuvirrat.....	44
4.4 Elintarviketeollisuuden sivuvirrat.....	47
4.5 Ruoppausmassat.....	48
4.6 Yhdyskuntajätevesilietteet.....	54

5 Huonosti tunnettuja tekijöitä.....	67
5.1 Antimikrobiresistenssi.....	67
5.2 Mikromuovit.....	67
5.3 Huonosti tunnetut kemialliset muuttujat	68
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	71
Lyhenteet	74
Lähteet	76
Liite 1. Lannoitevalmisteasetuksessa haitallisille aineille asetetut laatuvaatimukset.....	84
Liite 2. Kyselyn rakenne.....	85
Liite 3. Yhdyskuntalietteen raskasmetallipitoisuuksia Suomessa	86
Liite 4. Lyhyt kuvaus esille nousseista haitallisista aineista	90

1 Jätepohjaiset lannoitevalmisteet

Kiristyvät tavoitteet kiertotaloudessa ja pyrkimys kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa ohjaavat käyttämään erilaisia resursseja yhä tehokkaammin. Ravinnerikkaita jätemateriaaleja hyödyntämällä voidaan tuottaa esimerkiksi erilaisia lannoitevalmisteita ja vähentää samalla ympäristöön kohdistuvaa ravinnekuormitusta ja neitseellisten luonnonvarojen kulutusta.

1.1 Tausta ja tarve

Suomen hallitus on sitoutunut Itämerisitoumuksella vuodesta 2010 lähtien edistämään ravinteiden kierrätystä (Työryhmämuistio 2011). Ympäristöministeriön, maa- ja metsätalousministeriön, valtiovarainministeriön, työ- ja elinkeinoministeriön ja Business Finlandin toimesta laaditun vision mukaan vuonna 2030 ravinteiden kierrätyksessä on tapahtunut läpimurto (Ympäristöministeriö ym. 2019). Visiossa erilaisten biomassojen ravinteet hyödynnetään tehokkaasti ja ohjauskeinot edistävät ravinteiden kierrätystä samalla kun ravinteiden päästöjä vesistöihin ja ilmaan vähennetään. Myös uutta liiketoimintaa kehitetään ravinteiden kierrätyksen ympärille (Ympäristöministeriö 2015a). Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelmassa (2019–2030) asetettiin puolestaan joukko toimenpiteitä, joilla kyseisen vision tavoitteet saavutetaan vuoteen 2030 mennessä (Ympäristöministeriö ym. 2019). Jotta ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelmassa asetettuihin tavoitteisiin päästään, tulee lainsäädännön tukea jätepohjaisten ravinteiden käyttöä. Tämä myös edellyttää, että jätepohjaisten materiaalien käytön turvallisuus varmistetaan ja niiden sisältämät ravinteet jalostetaan puhtaiksi ja turvallisiksi lopputuotteiksi.

Kierrätyslannoitteita käyttämällä voidaan sulkea ravinnekiertoja. Ravinnekertoisiin jätejakeisiin voi kuitenkin pidettyä myös muita yhdisteitä. Ravinteita kierrätettäessä on riski, että ravinteiden mukana kierrätetään samalla tahattomasti aineita, jotka pitäisi saada poistettua kierrosta. Viime vuosina jätepohjaisten materiaalien, etenkin yhdyskuntajätevesilietepohjaisten lannoitevalmisteiden, hyväksyttävyydestä maataloudessa on käyty paljon keskustelua niin Suomessa kuin Euroopassakin. Yhdyskuntajätevesilietepohjaisten lannoitteiden sisältämät haitta-ainejäämät ja niiden vaikutukset ympäristöön ovat herättäneet huolta päättäjien, toiminnanharjoittajien ja kansalaisten keskuudessa. Useat viljanostajat ovat myös rajoittaneet yhdyskuntajätevesilietettä sisältävillä valmisteilla lannoitetun viljan hyväksymistä raaka-aineeksi (mm. Niittymaa 2017; Saarinen 2017). Tämänhetkisten tutkimusten perusteella nykyiset jätevedenpuhdistusprosessit tai yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmät kykenevät poistamaan vain osan jätevedenpuhdistamoille saapuvista haitallisista yhdisteistä. Huonosti poistuvat yhdisteet voivat kulkeutua puhdistetun jäteveden mukana vesistöihin tai lietteen hyötykäytön seurauksena maaperään.

Jotta ravinteiden ja orgaanisen aineksen palauttaminen jätemateriaaleista takaisin hyötykäyttöön olisi turvallista, tulee materiaaleihin liittyvät riskit tunnistaa, ja tarvittaessa ottaa käyttöön uudenlaisia ratkaisuja näiden riskien hallitsemiseksi. Uusien ja tehokkaampien menetelmien avulla voidaan mm. vähentää haitta-aineiden kulkeutumista ympäristöön.

Jäteperäisten lannoitevalmisteiden hyödyntäminen viherrakentamisessa ja maataloudessa eroavat toisistaan. Viherrakentamisessa materiaaleja voidaan käyttää maatalouskäyttöä suurempina kerta-annoksina. Levitysmäärät pinta-alaa kohden voivat olla huomattavan suuria maatalouskäyttöön verrattuna, jolloin haitta-aineita päätyy kertalevityksessä ympäristöön suurempi määrä (Fjäder 2016). Materiaaliin pidettyneet haitta-aineet voivat siten päätyä suurempina pitoisuuksina myös valumavesien mukana vesistöön ja pohjavesiin. Maataloudessa kertalevitysmäärät ovat pienempiä, mutta toistuvia. Viherrakentamisessa myös jäteperäisten materiaalien sisältämää fosforia päätyy maaperään pinta-alaa kohden enemmän kuin maataloudessa, jolloin vain pieni osa fosforista päätyy kasvien hyödynnettäväksi. Viherrakentaminen ei siten välttämättä hyödynnä jäteperäisten materiaalien sisältämiä ravinteita tehokkaasti.

Tämän johdosta aiemmissa tutkimuksissa ja tässä raportissa on tarkasteltu erityisesti lannoitteina käytettäviä materiaaleja ja niihin liittyviä haitta-aineriskejä, maanparannusaineiden jäädessä vähemmälle huomiolle.

Jäte- tai kierrätysmateriaalipohjaisten lannoitteiden sisältämät haitta-aineet voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle, ihmisterveydelle tai viljeltävälle kasville. Ympäristölle ja ihmisterveydelle koituvia haittoja on pyritty hallitsemaan EU:ssa mm. Lietedirektiivillä (ks. luku 1.2.4) ja kansallisesti Lannoitevalmistelailla (ks. luku 1.2.5). Suomessa voimassa oleva lainsäädäntö asettaa raja-arvoja muutamille haitallisille alkuaineille, mutta ei esim. orgaanisille haitallisille aineille. Tällaisia ovat mm. eläinperäisissä materiaaleissa ja yhdyskuntajätevesilietteissä mahdollisesti esiintyvät lääkejäämät. Viime aikoina on myös havaittu kasvinsuojeluaineiden jäämiä kierrätysmateriaalipohjaisissa luomulannoitteissa (esim. FOR 2021).

Tässä raportissa keskitytään kierrätyslannoitteissa ja niiden syötteissä esiintyviin haitallisiin aineisiin. Koska kierrätyslannoitteet pohjautuvat jossakin prosessissa muodostuvaan jätteeseen tai sivutuotteeseen, eikä tätä materiaalia ole ensisijaisesti suunniteltu lannoitekäyttöön, voi kierrätyslannoitteisiin liittyä haitallisten aineiden aiheuttamia riskejä. Jotta tällaisten materiaalien riskit ympäristölle ja ihmisterveydelle voidaan arvioida ja jotta niitä voidaan hallita, tarvitaan materiaalien tarkastelua. Kuvassa 1 on esitetty mahdollinen kehikko haitallisten kierrätyslannoitteisiin liittyvien riskien tunnistamiseksi.

1.2 Jätepohjaisiin lannoitevalmisteisiin liittyvää lainsäädäntöä

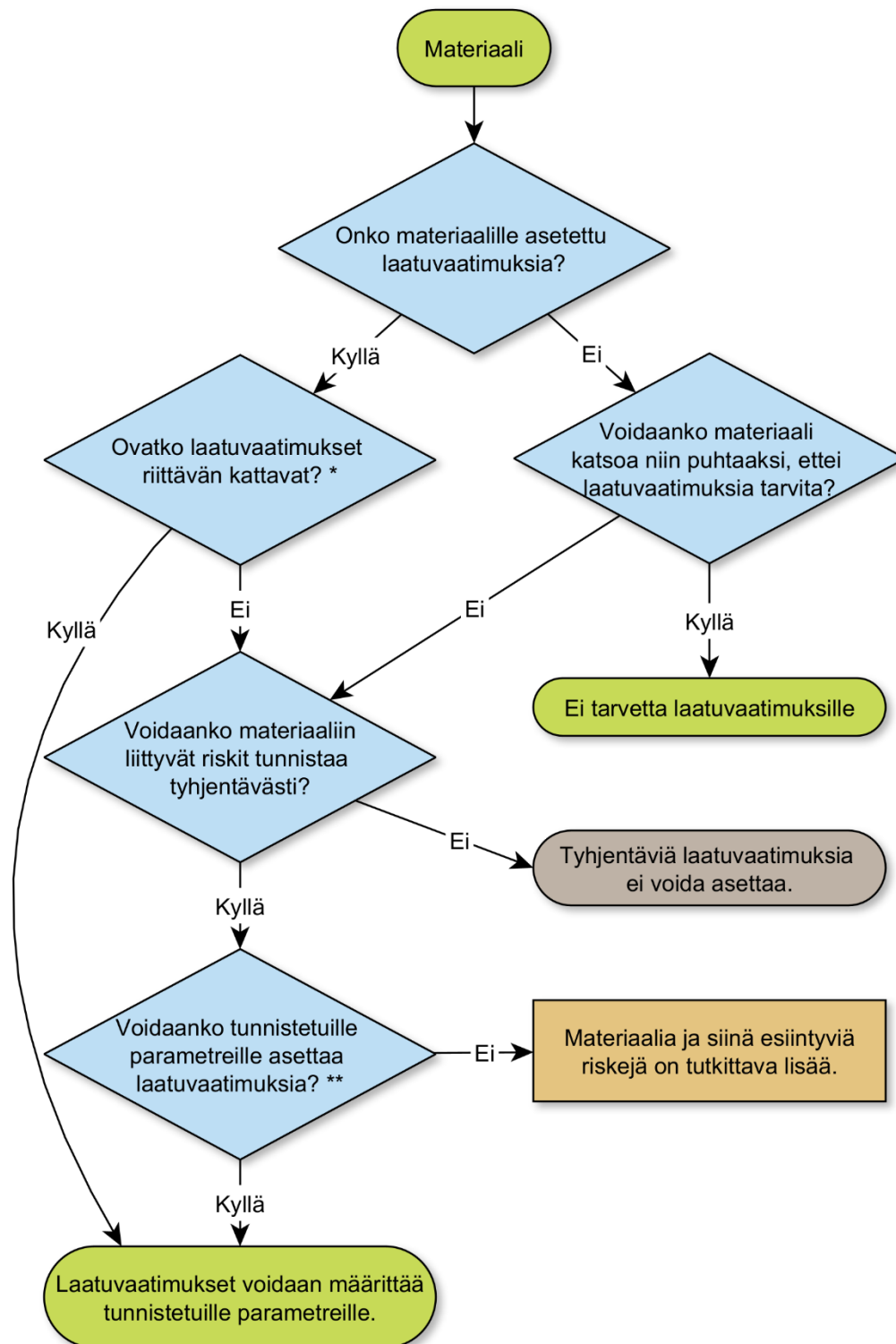
1.2.1 Lannoitevalmisteasetus (2019/1009)

Euroopan parlamentti ja neuvosto antoivat 5.6.2019 asetuksen EU-lannoitevalmisteiden asettamisesta markkinoille (Lannoitevalmisteasetus, EU/2019/1009¹). Asetuksen soveltaminen alkaa porrastetusti kolmessa vaiheessa, joista viimeinen alkaa 16.7.2022. Viimeisessä vaiheessa aletaan soveltaa mm. EU-lannoitevalmisteille asetettuja laatuvaatimuksia. Asetus määrittelee EU-lannoitevalmisteen lannoitevalmisteenä, johon pannaan CE-merkintä, kun se saatetaan markkinoille. Jotta lannoitevalmiste voi saada EU-lannoitevalmisteen statuksen, sen tulee täyttää Lannoitevalmisteasetuksen 4 artiklassa esitetyt vaatimukset. EU-lannoitevalmisteen on täytettävä

- asetuksen liitteessä I tuoteluokille asetetut vaatimukset
- asetuksen liitteessä II ainesosaluokille asetetut vaatimukset, ja
- oltava merkitty asetuksen liitteen III vaatimusten mukaisesti.

Edellisten lisäksi EU-lannoitevalmiste ei saa aiheuttaa riskiä terveydelle, turvallisuudelle eikä ympäristölle. Lannoitevalmisteasetuksen 3 artiklan mukaan EU-lannoitevalmisteille on taattava vapaa liikkuvuus, eivätkä jäsenvaltiot saa asettaa Lannoitevalmisteasetuksen soveltamisalaan kuuluvia esteitä valmisteiden markkinoille saattamiselle. Kuitenkin Lannoitevalmisteasetuksen 38 artiklan mukaisesti, jos jonkin jäsenvaltion markkinavalvontaviranomaisella on riittävät perusteet uskoa, että EU-lannoitevalmiste aiheuttaa riskin ihmisten, eläinten tai kasvien terveydelle tai turvallisuudelle tai riskin ympäristölle, tulee valmisteelle suorittaa arviointi, jossa relevanttien toiminnanharjoittajien on tehtävä yhteistyötä viranomaisten kanssa. Jos EU-lannoitevalmisteeseen havaitaan liittyvän jokin edellä mainituista riskeistä, tulee arvioinnin suorittaneen jäsenvaltion ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin riskin poissulkemiseksi, lannoitevalmisteen poistamiseksi markkinoilta tai valmisteen takaisinvetämiseksi.

¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009, annettu 5 päivänä kesäkuuta 2019, EU-lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä asetuksen (EY) N:o 2003/2003 kumoamisesta. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>



Huomioon otettavia kysymyksiä:

* Kattavatko vaatimukset kaikki relevantit parametrit?
Voidanko olettaa, että materiaaliin ei liity ei-hyväksyttäviä tuntemattomia riskejä?

** Onko olemassa riittävästi tietoa haitallisuudesta?
Onko olemassa menetelmiä vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi?

Kuva 1. Kehikko kierrätysravinteisiin liittyvien riskien hallitsemiseksi.

Lannoitevalmisteasetuksen liite I luokittelee lannoitevalmisteet toimintoperusteisiin tuoteluokkiin (PFC, product function category). Liitteessä II puolestaan on eritelty ainesosaluokat (CMC, component material category), joita EU-lannoitevalmisteissa voidaan hyödyntää. Lannoitevalmisteiden ja ainesosaluokkien ryhmittelyn lisäksi näissä liitteissä asetetaan lisäksi laatuvaatimuksia lannoitevalmisteille ja niiden syötteille. Nämä vaatimukset sisältävät mm. raja-arvoja joillekin haitallisille aineille (ks. tämän raportin Liite 1). Eri CMC:lle sallittuja syötteitä on esitetty Taulukossa 1.

Lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle rajautuvia materiaaleja sisältäviä lannoitevalmisteita ei hyväksytä EU-lannoitevalmisteiksi. Sen sijaan näitä syötemateriaaleja voidaan edelleen käyttää kansallisesti lannoitevalmisteiden valmistukseen. Tällaisten syötteiden ja tuotteiden laatu- ja käsittelyvaatimukset jäävät kansallisen lainsäädännön piiriin.

EU-lannoitevalmisteiden sallittujen syötteiden ulkopuolelle on rajattu laajasti käytettyjä jäte- ja sivutuotepohjaisia syötteitä. Yhdyskunta-, teollisuus- ja ruoppauslietteet on rajattu yksiselitteisesti CMC:n 3 (komposti) ja 5 (muu mädäte kuin tuorekasvimädäte) ulkopuolelle. Yhdyskuntajätevedet ja niiden käsittelyssä syntyvät lietteet sisältyvät kuitenkin luokkiin CMC 12 (saostetut fosfaattisuolat ja johdannaiset) ja 13 (termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit ja johdannaiset).

Lannoitevalmisteasetuksen 42 artiklan mukaan komissio antaa 16.7.2022 mennessä delegoituja säädöksiä CMC 11 koskien. Näiden säädösten valmistelemiseksi EU:n Joint Research Centre (JRC) on tarkastellut CMC 11 soveltuvia sivutuotteita. Työn edetessä Huygens & Saveyn (2021) esittivät asetukseen sisällytettäväksi CMC:n, joka kattaisi korkean puhtausasteen materiaaleja. Tämä luokka (CMC 15) eroaisi CMC 11:sta siten, että siinä missä CMC 11 kattaa vain tiettyjä sivutuotteiksi luettavia jakeita, CMC 15 voisi kattaa myös jätteeksi luettavia korkean puhtausasteen materiaaleja, jotka koostuvat vähintään 95 %:sti ammonium-, sulfaatti- tai fosfaattisuoloista, alkuainerikistä, kalsiumkarbonaateista tai kalsiumoksidista. Tätä raporttia kirjoitettaessa CMC 15 ei ole vielä hyväksytty osaksi EU:n lannoitevalmisteasetusta, vaan esitetyt tiedot perustuvat asetusluonnokseen (European Commission 2021a).

1.2.2 Sivutuoteasetus (1069/2009)

Lannoitevalmisteasetus linkittyy erityisen vahvasti EU:n sivutuoteasetukseen (Sivutuoteasetus, 1069/2009²). Tässä asetuksessa säädetään eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden käytöstä ja käsittelystä. Asetuksen tavoitteena on torjua ja minimoida ihmisten ja eläinten terveydelle aiheutuvat riskit. Asetuksen artiklat 8–10 jakavat erilaiset sivutuotteet luokkiin 1–3. Aineksen aiheuttamat riskit katsotaan sitä suuremmiksi, mitä pienempi sen luokkanumero on. Eri luokkiin kuuluville aineksille on asetettu erilaisia käyttörajoituksia ja käsittelyvaatimuksia. Asetuksen 2 artiklan mukaan luokan 1 aineksen pääasialliset käsittelytavat ovat poltto ja kaatopaikkasijoitus. Luokkien 2 ja 3 aineksia voidaan hyödyntää myös materiaana artikloiden 13 ja 14 mukaisesti.

Sivutuoteasetuksen eläinperäisistä sivutuotteista syötteiksi ainesosaluokkiin 3, 5 ja 11 (direktiivissä 2008/98/EY tarkoitettut sivutuotteet) hyväksytään vain ne jakeet, joille on määritetty valmistuksen päätepiste. Sivutuoteasetus ei nykyisellään määrittele lannoitteina ja maanparannusaineina käytettäville tuotteille valmistusketjun päätepisteitä, eli kaikki tällaiset materiaalit rajautuvat Lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle. Näin ollen Sivutuoteasetuksen soveltamisalaan kuuluvat jakeet, kuten lanta, höyhenjauho ja luujauho eivät sisälly Lannoitevalmisteasetuksen syötteisiin. Lisäksi elintarviketeollisuuden sivuvirroista Lannoitevalmisteasetuksen soveltamisalaan kuuluu vain muutamat yksilöidyt jakeet (ks. Taulukko 1).

² Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj>

Taulukko 1. Lannoitevalmisteasetuksessa (1009/2019) ja komission delegoiduissa asetuksissa (Euroopan komissio 2021a; 2021b; 2021c) sekä asetusluonnoksessa (European Commission 2021a) esitetyt syöterajoitukset. CMC-kohtainen listaus syötteistä ja niiden rajoituksista ei ole tyhjentävä.

CMC	Selite	Sallitut syötteet ja ulosrajaukset
1	Ensiömateriaalista koostuvat aineet ja seokset	<ul style="list-style-type: none"> • Ensiömateriaalit • Ulosrajauksia: <ul style="list-style-type: none"> - Jätedirektiivin (2008/98/EY) mukaiset jätteet, EEJ-statusen saavuttaneet aineet ja sivutuotteet - Sivutuoteasetuksen (1069/2009) tarkoittamat eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet - Polymeerit - Komposti - Määdäte - Ns. STRUBIAS-materiaalit¹⁾, jotka on otettu talteen jätteistä tai jotka ovat direktiivin 2008/98/EY tarkoittamia sivutuotteita.
2	Kasvit, kasvien osat tai kasviuutteet	<ul style="list-style-type: none"> • Kasvit, kasvien osat ja kasviuutteet, joita on käsitelty vain mekaanisesti, kuivaamalla tai uuttaen.
3	Komposti	<ul style="list-style-type: none"> • Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama, syntypaikalla erilliskerätty biojäte • Sivutuoteasetuksen (1069/2009) 32 artiklan tarkoittamat johdetut tuotteet, joille on määritetty valmistusketjun päätepiste • Ulosrajauksia: <ul style="list-style-type: none"> - Mekaanisesti tai muin tavoin yhdyskuntien kotitalousjätejakeesta erotettu orgaaninen jae - Jätevesiliete, teollisuusliete ja ruoppausliete - Sivutuoteasetuksen (1069/2009) soveltamisalaan kuuluvat eläimistä saatavat sivutuotteet, joille ei ole määritetty valmistuksen päätepidettä.
4	Tuorekasvimäädäte	<ul style="list-style-type: none"> • Biokaasun tuotantoon kasvatetut kasvit tai niiden osat • Määdätyksen lisäaineet.
5	Muu määdäte kuin tuorekasvimäädäte	<ul style="list-style-type: none"> • Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama, syntypaikalla erilliskerätty biojäte • Sivutuoteasetuksen (1069/2009) 32 artiklan tarkoittamat johdetut tuotteet, joille on määritetty valmistusketjun päätepiste • Elävät tai kuolleet organismit ja niiden osat käsittelemättöminä tai asetuksen mukaisesti käsiteltyinä • Ulosrajauksia: <ul style="list-style-type: none"> - Mekaanisesti tai muin tavoin yhdyskuntien kotitalousjätejakeesta erotettu orgaaninen jae - Jätevesiliete, teollisuusliete ja ruoppausliete - Sivutuoteasetuksen (1069/2009) soveltamisalaan kuuluvat eläimistä saatavat sivutuotteet, joille ei ole määritetty valmistuksen päätepidettä.
6	Elintarviketeollisuuden sivutuotteet	<ul style="list-style-type: none"> • Elintarviketeollisuuskalkki • Melassi • Vinassi • Rankki • Lämpökäsitellyt kasvit, niiden osat ja kasviuutteet • Juomavedentuotannosta peräisin oleva kalkki.
7	Mikro-organismit	<ul style="list-style-type: none"> • Lannoitevalmisteasetuksen (2019/1009) liitteessä II eritellyt, asetuksen mukaisesti käsitellyt elävät ja kuolleet mikro-organismit.
8	Ravinnepolymeerit	<ul style="list-style-type: none"> • Polymeerit, kun tarkoituksena on kontrolloida ravinteiden vapautumista.
9	Muut polymeerit kuin ravinnepolymeerit	<ul style="list-style-type: none"> • Polymeerit, kun tarkoituksena on toimia pintakäsittelyaineena, parantaa EU-lannoitevalmisteen vedenpidätyskykyä tai vettyvyyttä tai toimia sideaineena.
10	Asetuksessa (EY) n:o 1069/2009 tarkoitetut johdetut tuotteet	<ul style="list-style-type: none"> • Sivutuoteasetuksessa (1069/2009) tarkoitetut johdetut tuotteet, jotka ovat saavuttaneet valmistusketjun päätepidteen.
11	Direktiivissä 2008/98/EY tarkoitetut sivutuotteet	<ul style="list-style-type: none"> • Jätedirektiivissä tarkoitetut sivutuotteet • Ulosrajauksia: <ul style="list-style-type: none"> - Sivutuoteasetuksessa (1069/2009) tarkoitetut eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet - Polymeerit - Komposti - Määdäte - Ns. STRUBIAS-materiaalit, jotka on otettu talteen jätteistä tai jotka ovat direktiivin 2008/98/EY tarkoittamia sivutuotteita.

CMC	Selite	Sallitut syötteen ja ulosrajaukset
12	Saostetut fosfaattisuolat ja johdannaiset	<ul style="list-style-type: none"> • Saostetut fosfaattisuolat, joiden tuottamisessa voidaan käyttää mm. seuraavia syötemateriaaleja <ul style="list-style-type: none"> - Yhdyskuntajäteveden käsittelylaitosten jätevedet ja jätevesiliete - Elintarvikkeiden, juomien, lemmikkieläinten ruokien, eläinten rehun tai maitotuotteiden jalostuksesta peräisin oleva jätevesi ja liete - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama, syntypaikalla erilliskerätty biojäte. • Ulosrajauksia <ul style="list-style-type: none"> - CMC:n piiriin lukeutuvat tuotteet - Aineet ja seokset, jotka, tai joiden lähtöaineet ovat lakanneet olemasta jätettä yhdessä tai useammassa jäsenvaltiossa - Biologisesti hajoamattomat polymeerit - Sivutuoteasetuksessa (1069/2009) tarkoitetut eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet.
13	Termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit tai niiden johdannaiset	<ul style="list-style-type: none"> • Termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit, joiden tuottamisessa voidaan käyttää mm. seuraavia syötemateriaaleja: <ul style="list-style-type: none"> - Elintarviketeollisuudesta peräisin oleva kasviperäinen jäte sekä ensiömassan tuotannon tai massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvä kuituainetta sisältävä kasviperäinen jäte - Biojäte, joka syntyy kierrätystä varten erilliskerätyn jätteen myöhemmässä käsittelyssä, ja jonka polttamisella päästään ympäristön kannalta parhaaseen mahdolliseen tulokseen - Yhdyskuntajäteveden käsittelylaitosten jätevesiliete - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama jäte tietyin rajauksin - Aineet, joita käytetään rauta- ja terästeollisuuden tuotantoprosesseissa. • Ulosrajauksia <ul style="list-style-type: none"> - Sivutuoteasetuksessa (1069/2009) tarkoitetut eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama vaarallinen jäte - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama, syntypaikalla erilliskerätty biojäte.
14	Pyrolyysissa ja kaasutuksessa muodostuvat materiaalit	<ul style="list-style-type: none"> • Pyrolyysissa tai kaasutuksessa muodostuvat materiaalit, joiden tuottamisessa voidaan käyttää mm. seuraavia syötemateriaaleja <ul style="list-style-type: none"> - Elintarviketeollisuudesta peräisin oleva kasviperäinen jäte - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittama, syntypaikalla erilliskerätty biojäte - Pyrolyysissa tai kaasutuksessa käytettävät lisäaineet. • Ulosrajauksia <ul style="list-style-type: none"> - Yhdyskuntien kotitalousjäte - Jätevesiliete, teollisuusliete ja ruoppausliete - sivutuotteet, joille ei ole määritetty valmistuksen päätepestettä.
15 ²⁾	Korkean puhtausasteen talteen otetut materiaalit	<ul style="list-style-type: none"> • Korkean puhtausasteen materiaalit, jotka on otettu talteen jätteistä, jotka syntyvät seuraavissa toiminnoissa <ul style="list-style-type: none"> - Tuotantoprosessi, jossa syötemateriaalina käytetään muita kuin Sivutuoteasetuksen (1069/2009) tarkoittamia eläimistä saatavia sivutuotteita ja niistä johdettuja tuotteita - Jätedirektiivin (2008/98/EY) tarkoittaman, syntypaikalla erilliskerätty biojätteen käsittelyssä muodostuvien kaasumaisten päästöjen ravinnekuormituksen vähentämiseksi suunnitellut prosessit - Jätevesidirektiivin (91/271/EY³⁾ tarkoittaman, yhdyskunta- ja talousjäteveden käsittelyssä muodostuvien kaasumaisten päästöjen ravinnekuormituksen vähentämiseksi suunnitellut prosessit - Lietedirektiivin (86/278/EY) tarkoittaman lietteen, jolla ei ole Jätedirektiivissä (2008/98/EY) tarkoitettuja vaaraominaisuuksia käsittelyssä muodostuvien kaasumaisten päästöjen ravinnekuormituksen vähentämiseksi suunnitellut prosessit.

- 1) STRUBIAS-materiaaleilla tarkoitetaan struviittia, biohiiltä ja tuhkapohjaisia tuotteita. Lannoitevalmisteasetuksen 42 artikla velvoitti komission arvioimaan tällaisten materiaalien soveltuvuutta EU-lannoitevalmisteiksi ja antamaan delegoituja asetuksia, jos tuotteiden riskittömyydestä ihmisten, eläinten ja kasvien terveydelle sekä turvallisuudelle ja ympäristölle on näyttöä, ja jos niiden avulla varmistetaan maataloudellinen teho. Delegoidut asetukset (Euroopan komissio 2021a, 2021b ja 2021c) annettiin heinäkuussa 2021 ja ne astuvat voimaan 16.7.2022.
- 2) Tätä raporttia kirjoitettaessa CMC 15 ei ole vielä sisällytetty Lannoitevalmisteasetukseen. Tiedot perustuvat asetusluonnokseen (European Commission 2021a).

³ Neuvoston direktiivi 91/271/ETY, annettu 21 päivänä toukokuuta 1991, yhdyskuntajätevesien käsittelystä. <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>

1.2.3 Jätedirektiivi (2008/98/EY)

Jätedirektiivissä (2008/98/EY⁴) on esitetty mm. määritelmät jätteille ja sivutuotteille ja kriteerit jätteeksi luokittelun päättymiselle. Direktiivin 5 artiklan mukaan sivutuotteena voidaan pitää materiaalia, jonka jatkokäyttö on varmaa, jota ei tarvitse käsitellä epätavallisin keinoin hyödyntämisen mahdollistamiseksi ja jonka jatkokäyttö on laillista. Sivutuotteen jatkokäytöstä ei saa aiheutua haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle tai ihmisten terveydelle.

Jätedirektiivin 6 artiklan mukaisesti jätteet voivat lakata olemasta direktiivin määritelmän mukaista jätettä, kun materiaali on käynyt läpi hyödyntämistoimen ja se on kulloinkin oleellisten arviointiperusteiden mukaista. Materiaalin tulee mm. täyttää käyttötarkoituksen tekniset vaatimukset ja tuotteille sovellettavat säännökset ja standardit. Materiaalin käytöstä ei saa aiheutua haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle tai ihmisten terveydelle.

Jätedirektiivi kytkeytyy läheisesti EU komission päätökseen jäteluettelosta (2000/532/EC⁵). Jäteluettelossa on esitetty yhtenäinen luokittelujärjestelmä EU:n alueella syntyville jätteille.

1.2.4 Lietedirektiivi (86/278/ETY)

Lietedirektiivin (86/278/ETY⁶) tavoitteena on säädellä yhdyskuntajätevesilietteen käyttöä maataloudessa siten, että haitalliset vaikutukset maaperään, kasvillisuuteen, eläimiin ja ihmisiin voidaan estää, kuitenkin samalla edistäen materiaalin asianmukaista käyttöä. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi direktiivi asettaa vaatimuksia lietteen hyötykäytölle maataloudessa. Direktiivi mm. asettaa maanviljelyksessä käytetylle lietteelle raja-arvot seitsemälle raskasmetallille (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg ja Cr). Direktiivin mukaan yhdyskuntajätevesilietteet tulee käsitellä materiaalin hygienisoimiseksi ja hajuhaittojen sekä terveysvaarojen vähentämiseksi. Lietedirektiivi kuitenkin myös sallii käsittelemättömän lietteen käytön lannoitteena, edellyttäen että kansallisesti on määritelty ehdot, joiden toteutuessa liete voidaan sijoittaa tai muokata maaperään. Lietedirektiivin uudistaminen on parhaillaan tarkastelussa.

1.2.5 Lannoitevalmistelaki (539/2006)

Lannoitevalmistelain (539/2006⁷) tavoite on edistää hyvälaatuisten, turvallisten ja kasvintuotantoon sopivien lannoitevalmisteiden tarjontaa ja soveltuvien sivutuotteiden hyötykäyttöä kasvintuotannon ja elintarvikkeiden sekä ympäristön laadun turvaamiseksi. Lannoitevalmistelaki mm. esittää määritelmät erilaisille lannoitevalmisteille, kuten lannoitteille, kalkitusaineille, maanparannusaineille ja kasvualustoille.

Lain 5 §:n esittämien yleisten vaatimusten mukaisesti lannoitevalmisteiden on oltava turvallisia, eivätkä ne saa sisältää haitallisia aineita siinä määrin, että käyttöohjeiden mukaisesta käytöstä voi aiheutua vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle tai turvallisuudelle, kasvien terveydelle, tai ympäristölle. Lannoitevalmisteiden raaka-aineiden on oltava turvallisia ja sellaisia, että niistä valmistetut lannoitevalmisteet täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset. Lain 6 §:n mukaan markkinoille saa saattaa vain

⁴ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY, annettu 19 päivänä marraskuuta 2008, jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>

⁵ Komission päätös, tehty 3 päivänä toukokuuta 2000, jätteistä annetun neuvoston direktiivin 75/442/ETY 1 artiklan a alakohdan mukaisen jäteluettelon laatimisesta tehdyn komission päätöksen 943/EY ja vaarallisista jätteistä annetun neuvoston direktiivin 91/689/ETY 1 artiklan 4 kohdan mukaisen vaarallisten jätteiden luettelon laatimisesta tehdyn neuvoston päätöksen 94/904/EY korvaamisesta. <http://data.europa.eu/eli/dec/2000/532/2015-06-01/>

⁶ Neuvoston direktiivi 86/278/ETY, annettu 12 päivänä kesäkuuta 1986, ympäristön, erityisesti maaperän, suojelusta käytettäessä puhdistamolietettä maanviljelyssä. <http://data.europa.eu/eli/dir/1986/278/oj>

⁷ 29.6.2006/539, Lannoitevalmistelaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>

sellaisia lannoitevalmisteita, jotka kuuluvat joko kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon EU:n vuoden 2003 lannoiteasetuksen (2003/2003⁸) tarkoitamiin EY-lannoitteisiin.

Lannoitevalmistelain nojalla on annettu maa- ja metsätalousministeriön (MMM) asetuksia. Tämän raportin kannalta näistä tärkeimmät ovat MMMa 24/11⁹, jossa on määritelty raja-arvot lannoitevalmisteiden sisältämille haitallisille raskasmetalleille ja MMMa 12/12¹⁰ ja 7/13¹¹, jotka mm. säätelevät yhdyskuntajätevesilietteen käyttöä maataloudessa.

Lannoitevalmistelain nojalla annetun MMMa 24/11:n liitteessä IV on asetettu raja-arvoja lannoitevalmisteiden sisältämille haitallisille aineille. Asetus antaa raja-arvot kahdeksalle haitalliselle alkuaineelle (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ja Zn). Voimassa oleva lainsäädäntö ei aseta laatu- tai seurantavaatimuksia MMMa 24/11 liitteen piiriin kuulumattomille haitta-aineille.

1.2.6 Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

Ympäristönsuojelulaki (527/2014¹²) pyrkii mm. ehkäisemään ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäisemään ja vähentämään päästöjä, edistämään luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja ehkäisemään jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia. Lain 6 §:n mukaan toiminnanharjoittajan tulee olla selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista ja -riskeistä sekä niiden hallinnasta.

Ympäristönsuojelulaissa säädetään toiminnoista, jotka vaativat ympäristöluvan tai rekisteröintineettelyn. Lain 27 §:n ja liitteen 1 mukaan jätteiden ammattimainen tai laitosten käsittely edellyttää ympäristölupaa. Eräiden jätteenkäsittelytoimien luvanvaraisuudesta voidaan poiketa lain 32 §:n mukaisesti. Tämän pykälän mukaan ympäristölupaa ei tarvita mm., jos kyseessä on maa- ja metsätaloudessa syntyvän ympäristölle ja terveydelle haitattomista luonnonaineksista koostuvan jätteen käyttö maa- ja metsätaloudessa, tai haitattomaksi käsitellyn jätevesilietteen käyttäminen Lannoitevalmistelain mukaisesti.

1.3 Kuvaus tarkasteluun valituista syötteistä

Tarkasteluun valittiin lannoitevalmisteiden syötteitä, jotka rajautuvat Lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle ja joita Suomessa muodostuu ja mahdollisesti hyödynnettäisiin lannoitevalmisteiden tuotannossa. Syötteitä valikoitiin viidestä eri laajemmasta joukosta, joita on avattu luvuissa 1.3.1–1.3.5.

1.3.1 Metsäteollisuuden lietteet

Metsäteollisuuden lietteitä syntyy Marttisen ym. (2017) mukaan vuosittain n. 580 000 tonnia. Tämän massan on arvioitu sisältävän n. 230 tonnia fosforia ja 1 200 tonnia typpeä. Ravinteiden lisäksi metsäteollisuuden lietteet sisältävät runsaasti kuituja ja orgaanista ainesta.

Metsäteollisuuden sivuvirrat rajautuvat Lannoitevalmisteasetuksen ainesosaluokkien ulkopuolelle sikäli, kun ne luetaan Jätedirektiivin mukaisiksi jätteiksi. Lisäksi ei-enää-jätettä-statuksen (EEJ) saavuttaneet syötteet on rajattu CMC 1:n ulkopuolelle. Jos materiaali luetaan Jätedirektiivin 5 artiklan mukaiseksi sivutuotteeksi, se kuuluu Lannoitevalmisteasetuksen piiriin, ja sitä voidaan käyttää CMC 11

⁸ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 2003/2003, annettu 13 päivänä lokakuuta 2003, lannoitteista. <http://data.europa.eu/eli/reg/2003/2003/oj>

⁹ 1.9.2011, Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista, <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/37638>

¹⁰ 3.5.2012, Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/39202>

¹¹ 27.3.2013, Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/40969>

¹² 27.6.2014/527, Ympäristönsuojelulaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

syötteenä. Tällaisen syötteen tulee olla laillisesti käytettävissä lannoitevalmisteen ainesosana, ilman jatkojalostamista, eikä siitä saa aiheutua haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle tai ihmisterveydelle.

Sivutuotteiksi luettavia metsäteollisuuden virtoja on ainakin meesakalkki. JRC:n ehdotuksen mukaisesti meesakalkki sisältyisi korkean kalsiumkarbonaattipitoisuutensa ansiosta luokkaan CMC 15 (Huygens & Saveyn 2021). Metsäteollisuuden sivutuotteista kuitulietteen JRC on rajannut CMC 11 ulkopuolelle, vedoten mm. lietettä muodostavien prosessien monimuotoisuuteen, mahdollisten haitta-aineiden laajaan kirjoon sekä materiaalille tehtyjen riskinarviointien puuttumiseen (Huygens & Saveyn 2021). Kansallisen sääntelyn piiriin jääviä, tähän tarkasteluun valittuja metsäteollisuuden jakeita ovat kuitulietteen lisäksi pasta- ja siistauslietteet.

Lohinivan ym. (2001) mukaan kuituliete sisältää kuori-, kuitu-, täyte- ja lisäaineita sekä pigmenttejä. Kuituliete muodostuu, kun kuitupitoinen aines erotetaan jätevedestä ennen varsinaista aktiiviliete-prosessia (Viitikko ym. 2018). Kuitu- ja pastalietettä syntyi Matilaisen ym. (2013) mukaan n. 130 000 tonnia vuonna 2012, josta maatalouteen ohjautui 5 %.

Siistauslietteellä tarkoitetaan lietettä, joka muodostuu kierrätyspaperia käsiteltäessä. Liete muodostuu, kun kuidusta poistetaan muita aineita, kuten mustetta, liimaa, täyteaineita ja muovivaikuttajia (Lohiniva ym. 2001). Siistauslietettä voidaan myös seostaa n. 50 % kuiva-ainepitoisuuteen kuivattuihin lietteisiin, jolloin seosta nimitetään kuitusaveksi (Matilainen ym. 2013). Lohinivan ym. (2001) mukaan siistauslietteen lannoitekäyttö ei ole järkevää, ja Matilaisen ym. (2013) mukaan se johdetaan usein maarakentamiseen tai polttoon. Vuonna 2012 siistauslietettä ja kuitusavea muodostui Suomessa n. 270 000 tonnia. Tietävästi Suomessa ei ole käytetty siistauslietettä lannoitevalmisteen valmistukseen.

Metsäteollisuuden lietteiden käyttö lannoitteena maa- ja metsätaloudessa on kasvamassa. Monissa maissa lietteiden sijoittamista kaatopaikoille pyritään vähentämään tai kieltämään kokonaan (Pervaiz & Sain 2015). Esim. USA:ssa jopa 87 % metsäteollisuuden lietteistä sijoitettiin kaatopaikoille vuonna 1979, mutta vuonna 2016 lukema oli enää 52 % (Faubert ym. 2016). Quebecissa Kanadassa metsäteollisuuden lietteistä 29 % sijoitetaan kaatopaikoille, 31 % levitetään maahan, 35 % käytetään energian tuotantoon ja 5 % muuhun toimintaan (Faubert ym. 2016).

1.3.2 Eläinperäiset sivuvirrat

Eläinperäisten sivutuotteiden hyödyntämistä säädellään Sivutuoteasetuksessa. Tämän asetuksen soveltamisalaan kuuluvat syötteen on rajattu Lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle (1 artikla). Sivutuoteasetuksen 2 artiklassa asetuksen soveltamisalaksi on määritelty eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet, joita ei saa, tai joita ei ole tarkoitettu käytettäväksi ihmisravintona. Soveltamisalan ulkopuolelle on saman artiklan 2. kohdassa lisäksi rajattu monia jakeita, mm. raakamaito, joka hyödynnetään alkuperätilalla, simpukoiden kuoret, ym.

Sivutuoteasetuksen piiriin kuuluu, ja siten Lannoitevalmisteasetuksen soveltamisalan ulkopuolelle rajautuu mm. lanta, luujauho sekä muutamia muita eläinperäisiä, Suomessa lannoitteiden valmistuksessa käytettyjä jakeita. Näitä sivutuotteita on esitetty Taulukossa 2. Sivutuoteasetuksen mukaisia aineksia voidaan käyttää ja saattaa markkinoille orgaanisina lannoitteina ja maanparannusaineina asetuksen 32 artiklan mukaisesti. Vaatimuksina näille materiaaleille on esitetty mm. syötteen kuuluminen Sivutuoteasetuksen luokkaan 2 tai 3, ja materiaalin käsittely painesteriloimalla tai muulla hyväksytyllä tavalla ihmisiin ja eläimiin kohdistuvien riskien ehkäisemiseksi. Toisaalta 32 artikla myös sallii mädätysjäännösten ja kompostin käytön orgaanisina lannoitteina ja maanparannusaineina.

Taulukko 2. Eläinperäisiä sivutuotteita ja niiden luokittelu sekä käyttövaihtoehdot Sivutuoteasetuksen (1069/2009) mukaan.

Syöte	Luokka 2	Luokka 3
Lanta	x	
Höyhenjauho	x	x
Lujajauho	x	x
Verijauho	x	x
Lihajauho	x	x
Munankuoret		x
Sallitut hyödyntämistavat		
	<ul style="list-style-type: none"> • Käyttö orgaanisten lannoitteiden tai maanparannusaineiden valmistuksessa ja saattaminen markkinoille Sivutuoteasetuksen 32 artiklan mukaisesti. Materiaali on tarvittaessa painesteriloitava ja lopputuote on merkittävä pysyvästi. • Kompostointi tai muunto biokaasuksi. Syöte on painesteriloitava, ellei kyseessä ole lanta tai muu Sivutuoteasetuksen 13 artiklan 1 kohdan e) alakohdassa mainittu, riskittömäksi katsottu aines. • Levitys käsittelemättömänä maahan, jos kyseessä on lanta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Käsittely ja käyttö orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistukseen 32 artiklan mukaisesti. • Kompostointi tai muuntaminen biokaasuksi. • Käsittely ja käyttö eläinten rehuksi Sivutuoteasetuksen 14 artiklan 1 kohdan d) alakohdan mukaisesti.

Lanta

Sivutuoteasetuksen 2. artiklan 2. kohta luettelee eläimistä saatavia sivutuotteita, joihin Sivutuoteasetusta ei sovelleta. Saman kohdan k) alakohdassa todetaan, että Sivutuoteasetusta ei sovelleta ulosteisiin ja virtsaan, lukuun ottamatta lantaa ja mineralisoitumatonta guanoa. Näin ollen lantaan sovelletaan Sivutuoteasetuksen vaatimuksia. Koska lantaan sovelletaan Sivutuoteasetuksen vaatimuksia, siihen ei sovelleta Lannoitevalmisteasetusta, vaan sen hyödyntäminen lannoitteiden valmistuksessa jää kansallisen lainsäädännön piiriin.

Sivutuoteasetuksessa lanta kuuluu luokan 2 ainekseen. Tämä tarkoittaa, että se on hyödynnettävä 13. artiklassa mainituilla tavoilla. Lannalle on erikseen mainittu hyödyntämistavoiksi käyttö orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistuksessa (d-kohta), kompostointi tai muuntaminen biokaasuksi (e-kohta) ja levittäminen käsittelemättömänä maahan (f-kohta).

Kotieläintuotannossa Suomessa syntyy vuosittain yli 15–17 miljoonaa tonnia lantaa (Ajosenpää ym. 2020; Marttinen ym. 2017). Kierrätyslannoitteiden suurin yksittäinen raaka-ainelähde onkin tuotantoeläinten lanta. Marttisen ym. (2017) mukaan tämä massa sisältää n. 19 000 tonnia fosforia, mikä vastaa n. 74 %:a kaikkien biomassojen fosforista. Vastaavasti lantojen arvioitiin sisältävän n. 76 000 tonnia typpeä, kaikkiaan n. 80 % Suomessa syntyvien biomassojen tyyppästä. Lietelantaa muodostuu vain navetoissa ja sikaloissa, mutta kuivalantaa voi syntyä kaikissa eläinsuojissa. Suurin osa Suomessa tuotettavasta lannasta päättyy maatalouteen lannoitteeksi, osa siitä käytetään viherrakentamiseen tai puutarhassa (Marttinen ym. 2017).

Usein lantaa käytetään lannoitteiden valmistuksessa yhdessä muiden syötteiden kanssa. Lantaa voidaan sisällyttää monien eri tyyppinimiluokkien tuotteisiin. Tällaisia tyyppinimiluokkia ovat 1A7/2 (Eläinperäinen tuhka), 1B1/1 (Orgaaninen eläinperäinen lannoite), 1B1/2 (Teknisesti käsitelty lanta), 3A2/2 (Lantaseos). Lisäksi lantaa voidaan käyttää ainakin tyyppinimien 3A2/1 (Maanparannuskomposti), 3A2/3 (Tuorekomposti) ja 3A5/2 (Mädätysjäännös) syötteenä. Tyyppinimiluokkiin 1B1/2 ja 3A2/2 lukeutuvia tuotteita ohjattiin vuosina 2017–2019 lannoitekäyttöön keskimäärin n. 780 tonnia ja 5 600 tonnia vuodessa.

Höyhenjauho, luujauho, verijauho ja lihajauho

Nämä ainekset lukeutuvat Sivutuoteasetuksen luokan 3 aineksiin (10 artikla, kohdat b, d, e, h, n). Ne voivat kuitenkin lukeutua myös luokan 2 aineksiin esim., jos ne on sekoitettu luokkaan 2 kuuluvan aineksen kanssa (9 artikla, kohta h), tai jos ne ylittävät 9 artiklan kohdassa c) tarkoitetut raja-arvot. Suomessa liha-, veri- ja luujauhoja kuuluvat tyyppinimiluokkaan 1B1/1 (Orgaaninen eläinperäinen lannoite). Höyhenjauho puolestaan kuuluu tyyppinimiluokkaan 1B1/5 (Höyhenjauho). Vuosina 2017–2019 tyyppinimiluokkaan 1B1/1 kuuluvia massoja ohjattiin lannoitekäyttöön keskimäärin n. 2 400 tonnia vuodessa.

Munankuoret

Munankuoria käytetään Suomessa kalkitusaineena (tyyppinimi 2A2/12: Munankuorikalkki). Lannoitekäyttöön ohjatun munankuorikalkin massa on verrattain pieni moniin muihin kierrätyslannoitteisiin nähden. Munankuoret sisältyvät Sivutuoteasetuksen luokan 3 ainekseen.

1.3.3 Elintarviketeollisuuden sivuvirrat

Elintarviketeollisuudessa muodostuu monia ravinteikkaita sivuvirtoja, kuten jätevesilietteitä, melassia, vinassia sekä kasvien osia. Elintarviketeollisuuden jätevesiliete on toistaiseksi rajattu jätevesilietteenä tai teollisuuslietteenä Lannoitevalmisteasetuksen soveltamisalan ulkopuolelle. Koska kyseessä ei ole yhdyskuntajätevesiliete, sitä ei voi hyödyntää CMC 12 tai 13 syötteenä. Elintarviketeollisuuden jätevesilietteet on kuitenkin suunnitelmassa sisällyttää Lannoitevalmisteasetuksen piiriin, eikä niihin paneuduta tässä raportissa tämän enempää. Melassi, vinassi ja kasvien osat sekä tietyt muut elintarviketeollisuuden sivuvirrat sisältyvät Lannoitevalmisteasetuksen CMC 6:een. Suomessa käytettyjä elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, jotka eivät sisälly Lannoitevalmisteasetuksen piiriin on vähän. Niistä kenties tärkein on juuresmulta.

Juuresmulta

Kansallisessa tyyppinimiluettelossa juuresmullalla tarkoitetaan juures- tai juurikasraaka-aineiden mukana tehtaalte tai kuorimoon tulevaa multalietettä tai jätemultaa (Evira 2019). Juuresmulta kuuluu tyyppinimiluokkaan 5A2/3 ja sitä ohjattiin maatalouteen vuosina 2017–2019 keskimäärin 31 000 tonnia vuosittain. Marttisen ym. (2017) mukaan juuresmultaa käytettiin Suomessa vuonna 2015 yhteensä 13 000 t, josta maataloudessa 37 % ja viherrakentamisessa 58 % sekä muussa kuin lannoitevalmistekäytössä 5 %. Tuote soveltuu käytettäväksi kasvualustana viherrakentamisessa ja maisemoinnissa sekä vilja- ja energiakasveille pelloilla, joiden viljelykierrossa ei ole perunaa tai juurikkaita.

1.3.4 Ruoppausmassat

Lannoitevalmisteasetus rajaa ruoppauslietteet ainesosaluokkien ulkopuolelle. Ruoppauslietteitä ei ole määritelty asetuksessa yksiselitteisesti, mutta tässä raportissa niillä on tulkittu tarkoitettavan ruoppausmassoja. Nämä ovat määriteltävissä maajätteinä, jotka ovat syntyneet meren-, järven- tai joenpohjaa

ruopattaessa (Elomaa 2015). Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio (HELCOM) puolestaan määrittelee ruoppausmassat sedimentteinä tai kivinä, joiden seassa on vettä ja orgaanista ainesta, ja jotka poistetaan alueilta, jotka ovat tavallisesti tai säännöllisesti veden peitossa (HELCOM 2015). Jätelakia (646/2011¹³) ei sovelleta pilaantumattomiin ruoppausmassoihin, sikäli kun ne kuuluvat Vesilain (587/2011¹⁴) piiriin. Muut ruoppausmassat puolestaan luetaan jätteiksi (jäteluokat 17 05 05* ja 17 05 06).

Ruoppaustoimet jaetaan yleisesti ylläpito- ja uudisruoppauksiin. Muun muassa satama-alueiden ja laivaväylien tavoitesyvyyden ylläpitämiseksi tehdyt ruoppaukset kuuluvat ensimmäiseen luokkaan, kun jälkimmäiseen kuuluvat esim. uudiskohteen rakentamisen yhteydessä tehtävät ruoppaukset. Ruoppausmassoja voidaan läjittää avoveteen tai maalle, käyttää maarakentamisessa, tai hyödyntää maanparannuksessa. Ruoppausmassoja hyödynnetään useimmiten teknisissä käyttötarkoituksissa maa- ja infrarakentamisessa kuten täyttömaana tai aallonmurtajissa ja tulvavalleissa. Ruoppausmassoja voidaan hyödyntää myös rantojen ylläpitoon, esim. levittämällä hiekkapitoista sedimenttiä eroosiorannalle. Esimerkiksi Japanissa ruoppausmassoista hyödynnetään jopa 90 % teknisissä rakenteissa ja ympäristön kunnostuksessa (DPC 2009). Yhdysvalloissa ruoppausmassojen hyötykäytön osuus on n. 30 % ja osa ruoppausmassoista hyödynnetään maa- ja metsätaloudessa, puutarhoilla sekä viherrakentamisessa (USACE 2007). Ravinteikkaiden ruoppausmassojen käyttö lannoitteina tai maanparannusaineina on vielä hyvin vähäistä, vaikka ruoppausmassojen käytöstä maanviljelyssä on saatu hyviä tutkimustuloksia. Yhdysvalloissa on ehdotettu, että haitta-ainepitoisiakin ruoppausmassoja voitaisiin hyödyntää esim. metsälannoituksessa (USACE 1987).

Ruoppausmassojen lannoitekäyttöä on selvitetty mm. Irlannissa. Harringtonin ja Smithin (2013) mukaan ruoppausmassoja voitaisiin käyttää massan ominaisuuksista riippuen esim. kasvualustoina sellaisenaan, tai sekoittamalla sitä orgaanisiin jätteisiin. US EPA ja USACE (2007) esittivät, että ruoppausmassoja voitaisiin maataloudessa hyödyntää erityisesti pintamaan eroosion ehkäisemiseen ja maaperän laadun parantamiseen. Erityisesti siltistä ja savesta koostuvien, vähän haitta-aineita sisältävien massojen on katsottu soveltuvan maatalouskäyttöön (US EPA & USACE 2007; IADC 2019). Hienojakoisten ruoppausmassojen etuna on korkea ravinnepitoisuus, kun taas karkeampien massojen on katsottu parantavan maan vedenjohtokykyä (USACE 1987). Yhdysvalloissa ruoppausmassoja on hyödynnetty menestyksekkäästi ravinneköyhillä mailla sekä puutarhoissa (US EPA & USACE 2007). Saksassa puolestaan ravinteikkaita sedimenttejä on hyödynnetty Rostockin alueella maataloudessa ja maarakentamisessa (Netzband ym. 2002).

Suomessa ruoppausmassoja ei tiettävästi ole laajamittaisesti hyödynnetty lannoitteina tai maanparannusaineina. Joensuun ym. (2014) mukaan ruoppausmassa sijoittuisi kansallisen lainsäädännön tyyppinimiluokkaan 5A2/1 (Lannoitettu ja/tai kalkittu irtomulta) tai 5A2/7 (Teknisesti käsitelty irtomulta).

1.3.5 Yhdyskuntajätevesilietteet

Yhdyskuntajätevesiliete koostuu jätevedenkäsittelyssä syntyvästä kiintoaineesta. Tässä raportissa yhdyskuntajätevesilietteellä tarkoitetaan kotitalouksien ja kaupunkien jätevedenkäsittelyssä ja sakokai-voissa tai vastaavissa laitteistoissa syntyvää ylijäämälietettä. Suomessa yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla yleisesti käytetyissä prosesseissa jäteveden sisältämä fosfori saostetaan kemiallisesti rauta- tai alumiinikemikaaleilla. Jäteveden sisältämästä tyyppisestä lietteeseen pidätty Lehtorannan ym. (2021) mukaan noin 36 %, kun 64 % haihtuu ilmaan tai päättyy purkuvesistöön. Jätevedenkäsittelyprosessista poistettava ylijäämäliete luetaan jätteeksi ja se kuuluu jäteluokkaan 19 08 05 (asumajätevesien käsittelyssä muodostuvat lietteet). Jätetestuksesta huolimatta, Ympäristönsuojelulain 32 §:n mukaan haitattomaksi

¹³ 17.6.2011/646, Jätelaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

¹⁴ 27.5.2011/587, Vesilaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>

käsiteltäviä yhdyskuntajätevesilietettä voidaan hyödyntää Lannoitevalmistelain mukaisesti ilman erillistä lupaprosessia.

Yhdyskuntajätevesilietteitä on pitkään hyödynnetty maataloudessa ja tähän käytäntöön liittyviä riskejä on pyritty hallitsemaan mm. Lietedirektiivillä. Materiaalin mahdollisesti sisältämien haitallisten aineiden aiheuttamat riskit ja vaikutukset lannoitekäytössä on tiedostettu jo pitkään mahdollisena ongelmana sen lannoitekäytölle.

Marttinen ym. (2017) arvioivat, että asutuksen ja teollisuuden jätevesien käsittelyssä muodostuvat jätevesilietteet sisältäisivät n. 11 % (2 900 tonnia) Suomessa vuotuisin syntyvien biomassojen fosforista ja n. 4 % (3 700 tonnia) tyvestä. Näitä massoja voidaan Suomessa kansallisesti käyttää monien orgaanisten maanparannusaineiden (tyyppinimiluokka 3A2) ja maanparannusaineina sellaisenaan käytettävien sivutuotteiden (tyyppinimiluokka 3A5), mutta myös kompostimullan (tyyppinimi 5A22) raaka-aineina. Toisaalta sakokaivolietettä voidaan kalkkistabiloituna levittää saman tilan pelloille.

Vesilaitosyhdistyksen tekemien selvitysten (Vilpanen & Toivikko 2017; Konola & Toivikko 2019; Vilpanen & Seppälä 2021) mukaan vuosina 2015–2020 jätevedenpuhdistamoilla muodostunutta yhdyskuntajätevesilietettä ohjautui keskimäärin maatalouteen 58 000 t/v, viherrakentamiseen 66 000 t/v ja maisemointiin 7 000 t/v. Kun hyötykäyttökohteita vertaa aiempiin vuosikymmeniin, vaikuttaa erityisesti viherrakentamisen osuus kasvaneen samalla kun kaatopaikkasijoitus on vähentynyt (ks. Taulukko 3.)

Suomessa pitkään käytössä olleet lietepohjaiset lannoitetyypit on rajattu Lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle. Asetus ei kuitenkaan rajoita Lietedirektiivin soveltamista. Lietedirektiivi sallii lietteen hyötykäytön maataloudessa, ja asettaa reunaehdoja, joilla pyritään varmistamaan, että haitalliset vaikutukset ympäristöön ja ihmisiin vältetään. Lannoitevalmisteasetus mahdollistaa yhdyskuntajätevesilietteiden käytön CMC 12 (saostetut fosfaattisuolat) ja 13 (termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit) syötteinä. Yhdyskuntajätevesilietteitä voidaan käyttää raaka-aineena myös European Commission (2021a) luonnoksen mukaisen CMC 15:n tuotannossa.

Taulukko 3. Yhdyskuntajätevesilietteen käyttökohteet Suomessa eri vuosina.

Sijointuskohde	Osuus syntyneestä massasta								
	1977 ^{a)}	1987 ^{b)}	1990 ^{b)}	2015 ^{c)}	2016 ^{c)}	2017 ^{d)}	2018 ^{d)}	2019 ^{e)}	2020 ^{e)}
Maatalous	23 %	49 %	27 %	34 %	41 %	40 %	39 %	47 %	46 %
Viherrakentaminen	8 %	25 %	37 %	47 %	48 %	49 %	49 %	45 %	41 %
Maisemointi	-	-	-	7 %	4 %	4 %	4 %	4 %	7 %
Varasto	21 %	6 %	9 %	8 %	5 %	4 %	4 %	3 %	4 %
Kaatopaikka	48 %	20 %	27 %	-	-	-	-	-	-
Ei tiedossa	-	-	-	4 %	2 %	3 %	4 %	2 %	3 %

a) Vesihallitus 1979

b) Aalto 1992

c) Vilpanen & Toivikko 2017

d) Konola & Toivikko 2019

e) Vilpanen & Seppälä 2021

2 Katsaus hallinnollisiin vaihtoehtoihin

2.1 Johdanto hallinnollisiin vaihtoehtoihin

Jätteen ammatti- tai laitospainainen hyödyntäminen vaatii ympäristölupaa. Tähän pääsääntöön on kuitenkin joitakin poikkeuksia: Ympäristönsuojelulain 32§:n mukaan haitattomaksi käsitellyn jätevesilietteen, sakokaivolietteen, umpisäiliölietteen tai kuivakäymäläjätteen käyttö Lannoitevalmistelain mukaisesti ei vaadi ympäristölupaa. Jätelakia puolestaan ei sovelleta pilaantumattomaan ruoppausmassaan, johon sovelletaan vesilakia ja sen mukaista lupamenettelyä. Lisäksi jätteiden käsittelyyn (sisältäen hyödyntämisen) ei tarvita ympäristölupaa silloin, kun näiden toimintojen ympäristönsuojeluvaatimuksista on säädetty erikseen annetulla valtioneuvoston asetuksella. Näissä tapauksissa on kyse niin sanotusta rekisteröintimenettelystä. On myös mahdollista, että jätteen jätteeksi luokittelu päättyy joko tapauskohtaisella, yhtä toimipaikkaa koskevalla viranomaisen päätöksellä tai toiminnanharjoittajan ottaessa käyttöön kansallisesti tai EU:n laajuisesti säädetty arviointiperusteet tietyn jätteen jätteeksi luokittelun päättymiseksi. Tällöin jäte saa EEJ-statuksen ennen sen hyödyntämistä. Eri menettelyiden yhteisenä tavoitteena on estää ympäristön pilaantumisen vaara tai ympäristöön kohdistuva haitta. Näin ollen menettelystä riippumatta on vastattava samaan peruskysymykseen: Millaiset kriteerit tai raja-arvot jättemateriaalin sisältämille ympäristöhaittaa aiheuttaville ainesosille on annettava, jotta jätteen hyödyntämisestä ei aiheudu ympäristön pilaantumista tai sen riskiä. Etenkin EEJ-menettelyssä kriteerinä on, ettei EEJ-statuksen saavuttanut materiaali saa aiheuttaa myöskään ihmisterveyteen kohdistuvaa haittaa sen uudessa käyttötarkoituksessa. Muu voimassa oleva lainsäädäntö, kuten kasvinterveyslainsäädäntö ja lannoitevalmistelainsäädäntö, asettaa reunaehdot tuotteille, joiden valmistuksessa on käytetty jäteraaka-aineita. Esimerkiksi EEJ-statuksen saaneen betonimurskeen, joka on tarkoitettu käytettäväksi lannoitevalmisteenä, tulee täyttää myös voimassa olevan lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset.

2.2 Ympäristölupamenettely

Ympäristölupamenettelyn oleellinen osa on tapauskohtainen harkinta sen suhteen, voiko jätteen hyödyntämisestä aiheutua ympäristön pilaantumisen vaaraa kohteessa, jossa jätettä on tarkoitus hyödyntää. Ympäristölupaharkinnassa arvioidaan hyödyntämiskohteen olosuhteet ja ympäristöriskit tapauskohtaisesti ja määritetään lupaehdot, joiden puitteissa jätettä voidaan hyödyntää. Ympäristölupa on myös valituskelpoinen ja siihen liittyy seurantavelvoitteita esim. ympäristön tilan ja sen muutosten osalta. Hyödynnettävän jätteen määrästä riippuen, ympäristölupaa haetaan joko kunnalta tai aluehallintovirastolta. Yhdyskunta- tai teollisuusjätevesien käsittelyssä syntyvien lietteiden sekä ruoppausmassojen hyödyntämisen osalta ympäristölupaan saattaa liittyä seuraavia haasteita. Hyödynnettävän materiaalin ympäristökelpoisuudelle tulisi määritellä ehdot (suurimmat sallitut pitoisuudet, liukoisuudet tms.) ympäristölupana osana. Niiden määrittely voisi perustua myös tapauskohtaiseen riskinarviointiin. Käytäntö kuitenkin osoittaa, että esim. rekisteröintimenettelyyn tarkoitettuja raja-arvoja tai raja-arvoja, joita sovelletaan vaapaaseen veteen sijoitettavalle ruoppausmassalle, käytetään laajalti sellaisinaan ympäristölupaa kriteereinä. Näin ollen tapauskohtaisen riskitarkastelun periaate ei toteudu. Keskeinen syy tälle lienee, että riskitarkastelun toteutukseen ja siihen liittyvään laskentaan ei ole valtakunnallista ohjeistusta. Tällöin toiminnanharjoittajilla, ympäristöalan konsulteilla ja ympäristöviranomaisilla ei ole käsitystä siitä, millä periaatteilla, laskennallisilla ja muilla riskinarvioinnin lähtöoletuksilla arviointi tulisi tehdä. Ympäristöluvalla tapahtuvaan hyödyntämiseen liittyy myös yhdenvertaisuuskysymyksiä. On todennäköistä, että hyödyntämisen kriteerit vaihtelisivat olennaisesti käyttötarkoitusten ja -kohteiden samankaltaisuudesta huolimatta.

2.3 Rekisteröintimenettely

Rekisteröintiä on käytetty Suomessa eräiden jätteiden maarakentamisessa ympäristöluvan korvaavana menettelynä vuodesta 2006 alkaen. Valtioneuvoston asetus 843/2017¹⁵ (ns. MARA-asetus), jonka nojalla rekisteröinti tapahtuu, rajaa rekisteröintimahdollisuuden tiettyihin jätenimikkeisiin ja maarakennetyyppeihin (hyödyntämiskohteet, enimmäiskerrosrakenteet ja rakenteiden mittasuhteet), rajaa tietyt alueet (esim. luonnonsuojelualueet, talousveden hankinnan kannalta tärkeät pohjavesialueet ja lasten leikkipaikat) asetuksen soveltamisalan ulkopuolelle ja antaa esim. rakennekohtaiset raja-arvot haitta-aineille sekä laadunvarmistuksen vaatimukset.

MARA-asetuksen kaltainen, rekisteröintimenettelyyn perustuva asetus on annettu myös asfalttiasemille. Tämä asetus (VNa 846/2012¹⁶) sisältää asfalttiasemien ympäristönsuojelua koskevat vaatimukset mukaan lukien asfalttijätteen ja lentotuhkan hyödyntämisen uuden asfaltin raaka-aineena. Asetus määrittelee myös enimmäismäärät asfalttijätteelle (200 000 tonnia/vuosi) ja kivihiilen polton lentotuhkalle (40 000 tonnia/vuosi), joita rekisteröitävällä asfalttiasemalla saa käyttää. Vaikka asetuksessa ei ole kirjausta asfalttijätteen jätteeksi luokittelun päättymisestä, asetus kuitenkin sisältää Jätedirektiivin 6 artiklan tarkoittamiksi arviointiperusteiksi katsottavia elementtejä. Näitä ovat sallitun käyttötarkoituksen määrittely (asfalttimassan valmistus) sekä asetuksen 4 §:ssä syötteille asetetut laatuvaatimukset. Tosiasiallisesti asetuksen mukaisesti hyödynnetyn asfalttijätteen ja lentotuhkan jätteeksi luokittelu päättyy, sillä asfalttiasemalla valmistettu asfaltti saatetaan markkinoille tuotteena.

MARA-asetuksen mukaisesti jätteitä hyödynnettäessä toiminnanharjoittaja tekee rekisteröinti-ilmoituksen, joka sisältää edellä mainittujen tietojen ohella esim. paikkatiedon (koordinaatit) rekisteröivästä maarakenteesta. Asetuksen vaatimusten täytyessä viranomainen (ELY-keskus) rekisteröi ilmoituksen ympäristöhallinnon tietojärjestelmään. Mikäli määrämuotoiset vaatimukset eivät täyty edes siinä tapauksessa, että viranomainen pyytää täydentämään rekisteröinti-ilmoitusta, viranomainen jättää rekisteröinnin tekemättä. Rekisteröinti-ilmoituksesta ei tehdä päätöstä eikä tietojärjestelmään kirjattuun rekisteröintiin liity seurantavelvoitteita. Menettely ei myöskään sisällä lupaharkinnalle ominaista kohdekohtaista arviointia tai lupaehtoja. Rekisteröinti-ilmoituksen tekijän tulee kuitenkin ilmoittaa hyödynnetyn jätteen määrä viranomaiselle.

Rekisteröintimenettelyä voitaisiin soveltaa esim. yhdyskuntajätevesilietteiden ja ruoppausmassajätteiden hyödyntämiseen tilanteissa, joissa niitä hyödynnettäisiin sellaisenaan eikä uusien tuotteiden raaka-aineena. Tällöin asetukseen voitaisiin määritellä sallitut käyttötarkoitukset ja -kohteet sekä ympäristökelpoisuusvaatimukset. Rekisteröintimenettely toimisi väylänä tiedon keräämiselle käyttökohteista (hyödyntämiskohde) ja hyödynnetyn materiaalin laadusta. MARA-asetuksessa keskeinen tavoite on lisäksi säilyttää edellä mainittu tieto, jotta se on löydettävissä siinä vaiheessa, jos rakenne puretaan. Maatalouden lannoitteena käytettävä jäteperäinen materiaali sekoitettaisiin esim. pelloilla peltomaahan, eikä se olisi näin ollen poistettavissa myöhemmin. Rekisteröintimenettely ei soveltuisi jätteille, joita käytettäisiin sellaisten tuotteiden raaka-aineena, jossa jätettä sekoitettaisiin muihin ei-jäteperäisiin materiaaleihin ja jotka saatettaisiin markkinoille tuotteina. Tällaisen käytön rekisteröinti ei olisi tarkoituksenmukaista, sillä ympäristöriskien hallinnan tarve ei kohdistuisi niinkään valmistavien laitosten riittävän ympäristönsuojelun tason määrittämiseen (vrt. asfalttiasemat ja niiden rekisteröintiin liittyvä asetus), vaan jäteperäiseen raaka-aineeseen.

¹⁵ 7.12.2017, Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

¹⁶ 20.12.2012, Valtioneuvoston asetus asfalttiasemien ympäristönsuojeluväestöistä, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120846>

2.4 Jätteeksi luokittelun päätyminen

Jos jätettä hyödynnetään tuotannon raaka-aineena, tulee sen jätteeksi luokittelu ensin päättyä. Esimerkiksi luonnos valtioneuvoston asetukseksi betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteiksi mahdollistaa betonijätteen hyödyntämisen kiviaineksena uuden betonin ja betonituotteiden valmistuksessa sekä lannoitevalmisteena (Betoni EEJ-asetus, luonnos 2020). Samainen asetusluonnos mahdollistaa kiviaineksen jätteeksi luokittelun päättymisen myös sellaiselta betonimurskeelta, jota käytetään kiviaineksena sellaisenaan samaan tapaan kuin MARA-asetuksessa. Maarakentamiseen käytettäväksi tarkoitettulla betonimurskeella ei kuitenkaan ole käyttörajoituksia toisin kuin MARA-asetuksessa, vaan sen rinnastuu mihin tahansa markkinoilla tuotteena olevaan kiviainekseen.

Mikäli tavoitteena olisi ottaa käyttöön vain yksi menettely, käytännössä vain jätteeksi luokittelun päättäminen soveltuisi tähän tarkoitukseen. Tämä johtuu useasta syystä. Ensinnäkin yhdyskunta- tai teollista alkuperää olevia jätevesilietteitä käytetään tai käytettäisiin sekä sellaisenaan että muihin materiaaleihin sekoitettuna. Vastaavasti ruoppausmassoja on esitetty hyödynnettäväksi lannoitevalmisteissa muihin materiaaleihin seostettuna (esim. Harrington & Smith 2013). Materiaaleja voitaisiin käsittelyn jälkeen levittää pelloille tai niitä voitaisiin käyttää maanparannusaineiden ja muiden vastaavien useasta eri raaka-aineesta koostuvien lannoitevalmisteiden valmistuksessa. Mikäli jättemateriaali käytettäisiin ainoastaan sellaisenaan, voisi rekisteröintimenettely olla tarkoituksenmukainen vaihtoehto. Tässä tapauksessa ja ympäristökelpoisuudelle asetettujen kriteerien täytyessä, olisi myös syytä arvioida sitä, olisiko ylipäättään tarvetta tietää niiden käyttökohteita. Tällöinkin EEJ-menettely ympäristökelpoisuus-kriteereineen ja sallittujen käyttötarkoitusten määrittelyineen saattaisi siis olla rekisteröintimenettelyä tarkoituksenmukaisempi vaihtoehto.

Kansallinen EEJ-asetus sisältäisi yhtenä arviointiperusteena haitta-aineille ja epäpuhtauksille määritetyt raja-arvot, jotka jätteen on täytettävä, jotta sen jätteeksi luokittelu voi päättyä. Raja-arvojen asettamisen keskeinen lähtökohta on ympäristön ja terveyden kannalta hyväksyttävien riskitasojen määrittely. Esimerkiksi betoni-EEJ-asetuksen valmistelun yhteydessä tuotettiin riskiperusteiset viitearvot, joiden lähtökohtana oli pohjaveden suojeleminen. Toinen lähtökohta on jättemateriaalikohtainen tieto haitta-aineista ja muista epäpuhtauksista. Jättemateriaalit on ensin karakterisoitava ympäristö- tai terveysriskeiltään merkityksellisten haitta-aineiden ja epäpuhtauksien (esim. materiaaliepäuhtaudet) tunnistamiseksi ja niiden pitoisuusvaihtelun arvioimiseksi. Karakterisointi on tehtävä erikseen kullekin jättemateriaalille. Lopullisten raja-arvojen asettamisessa verrataan em. riskiperusteisia viitearvoja ja haitta-aineiden todellisista pitoisuuksista tai liukoisuuksista jättemateriaaleissa (jättemateriaalikohtaiset karakterisointitiedot). Karakterisointi on haastavinta jätteille, jotka voivat sisältää laajan joukon erilaisia haitta-aineita ja epäpuhtauksia, tai joiden koostumus vaihtelee. Jätteille, jotka syntyvät esim. tietyn teollisen prosessin yhteydessä, karakterisointi on lähtökohtaisesti suoraviivaisempaa. Prosessissa käytetyt kemikaalit ja niiden käyttömäärät tunnetaan tai voidaan kohtuullisella vaivalla selvittää. Näin ollen esim. teollisuuslaitoksen jätevesien käsittelyssä muodostuvaan lietteeseen mahdollisesti päätyvät kemikaalit voidaan rajata tunnettuun joukkoon aineita ja yhdisteitä.

Raja-arvojen määrittelyssä myös käyttötarkoitus on oleellinen muuttuja. Mitä herkempi uusi käyttötarkoitus on, sitä tiukemmat raja-arvot on tyypillisesti asetettava. Esimerkiksi betonimursketta koskevassa EEJ-asetuksessa purkuperäisen betonin käyttö ei ole sallittua sellaisten betonimurskeiden valmistuksessa, jotka on tarkoitettu käytettäväksi lannoitevalmisteena. Betonimurskeille asetusluonnoksessa annetut haitta-ainekohtaiset raja-arvot ovat pääosin oleellisesti MARA-asetuksessa annettuja raja-arvoja alhaisempia, koska betonimurskeille, joiden jätteeksi luokittelu on päätynyt, ei ole annettu käyttöpaikkoihin liittyviä rajoituksia esim. maarakentamisen osalta. MARA-asetuksessa talousveden hankinnan kannalta tärkeät pohjavesialueet on rajattu sallittujen käyttökohteiden ulkopuolelle ja tämä on mahdollista, koska käyttökohteet ja niiden sijainti on rekisteröitävä. Sen sijaan EEJ-statuksen saaneen betonimurskeen käyttöön kiviaineksena maarakentamisessa ei sisälly tällaisia velvoitteita eikä siten myöskään käyttöpaikkaa koskevia rajoitteita.

Jos EEJ-asetuksessa asetettuja raja-arvoja tulisi tarpeen lisätä tai muuttaa, se olisi mahdollista ja päivitettyjä raja-arvoja sovellettaisiin niiden astuttua voimaan. Aiemmillä raja-arvoilla EEJ-statuksen saanut materiaali (tuote) ei muuttuisi takaisin jätteeksi. Sikäli siis tilanne vastaisi kemikaali- ja tuotelainsäädäntöä: Kiristyvät rajoitukset koskevat tuotteita, jotka saatetaan markkinoille lainsäädäntömuutoksen jälkeen ottaen huomioon siirtymäsäännökset ja -ajat.

Hallinnollisesta menettelystä riippumatta merkittävimmät ongelmat liittyvät sellaisiin jäteperäisiin materiaaleihin, jotka voivat sisältää laajan kirjon erilaisia kemikaaleja ja haitta-aineita perinteisistä epäorgaanisista haitta-aineista, kuten raskasmetalleista, kuluttajakemikaaleihin, lääkeaineisiin ja mikro-muoveihin. Näin ollen voi olla haasteellista asettaa ympäristökelpoisuusraja-arvoja, jotka takaisivat sekä riittävän ympäristön- ja terveydensuojelun tason että mahdollistaisivat hyötykäytön edistämisen. Tämä kysymys tulee vastattavaksi hallinnollisesta menettelystä riippumatta ja on siksi ensiarvoisen tärkeä. Hallinnollisia vaihtoehtoja koskevia jatkotoimenpiteitä arvioitaessa on perusteltua ottaa huomioon vaihtoehto, että em. syistä riittävän ympäristönsuojelun tason ja hyötykäytön edistämisen välillä saattaa olla vaikeasti yhteensovittavissa olevia ristiriitoja.

3 Katsaus haitallisten aineiden sääntelyyn ja käsittelyvaatimukseen Suomessa ja muissa maissa

3.1 Sääntelyn yleiskuva

Erilaisten materiaalien sisältämien haitallisten aineiden pitoisuuksia ohjataan monilla asetuksilla ja suosituksilla. Esimerkiksi ruoppausmassojen sisältämien haitta-aineiden määriä tarkkaillaan Suomessa Ruoppaus- ja läjitysohjeen mukaisesti (Ympäristöministeriö 2015b). Toisaalta maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksia säädelään kansallisesti PIMA-asetuksella (VNa 214/2007¹⁷). Tiettyjen maarakentamisessa käytettyjen jätteiden haitta-ainepitoisuuksia säädelään käyttökohdetyypeittäin MARA-asetuksella (ks. luku 2). MARA-asetus antaa raja-arvot 24:lle kemialliselle parametrille, joihin lukeutuu metallien lisäksi mm. polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), polyklooratut bifenyylit (PCB) ja fenoliset yhdisteet. Edellä mainitut asetukset ja ohjeet on kuitenkin räätälöity tiettyjä käyttötarkoituksia varten, eivätkä niiden soveltamisalat kata lannoitekäyttöä. Esimerkiksi MARA-asetuksen raja-arvot perustuvat riskiperusteiseen laskentamenettelyyn, joka pohjaa rakennekohtaisiin reunaehtoihin. Raja-arvoja ei voi suoraan soveltaa hyötykäyttöön, joka ei noudata raja-arvojen johtamismenettelyn reunaehdoja. Raja-arvoja tarkasteltaessa onkin ensiarvoisen tärkeää tiedostaa, mihin käyttöön ja millä reunaehdoilla arvot on luotu.

Edellä mainituista spesifeistä ohjeista ja asetuksista poiketen, joitain jätteille asetettuja raja-arvoja voidaan soveltaa myös lannoitekäyttöön ohjattaville tai ohjattaviksi suunnitelluille massoille. Esimerkiksi POP-asetuksessa (2019/1021¹⁸) jätteille asetettuja raja-arvoja voidaan soveltaa arvioitaessa jätteen käsittelyvaatimuksia tai sen soveltuvuutta uudelleenhyödynnettäväksi. Asetuksessa annetaan raja-arvot ns. POP-yhdisteiden (Persistent Organic Pollutant) pitoisuuksille jätteissä. POP-asetuksessa on määritetty raja-arvoja myös tuotteiden sisältämälle tahattomalle POP-pitoisuudelle. Tätä UTC-raja-arvoa (Unintentional Trace Concentration) voidaan soveltaa sellaisille materiaaleille/tuotteille, joiden jätetatus on päättynyt ja ne määritellään tuotteiksi. Joitakin POP-asetuksessa säädettyjä raja-arvoja on esitetty Taulukossa 4.

Pääsääntönä kierrätetyt tai muutoin hyödynnetyt materiaalit, jotka eivät ole enää jätettä, on REACH-asetuksen (EU) 1907/2006¹⁹ mukaisesti rekisteröitävä samojen vaatimusten mukaisesti kuin mikä tahansa kemiallinen aine, ellei niihin ole sovellettavissa erikseen asetuksessa säädettyä vapautusta rekisteröintivelvollisuudesta. Jätteeseen ei sovelleta REACH-asetuksen rekisteröintivelvollisuutta, lupamenettelyä tai rajoituksia. Mikäli jätteeksi luokitellun aineen tai esineen jätteeksi luokittelu päättyy EEJ-menettelyn kautta siitä voi tulla REACH-asetuksen mukainen aine, joka puolestaan vaatii REACH-asetuksen mukaisen rekisteröinnin (Kinnunen ja Pirkkamaa 2020). Näin ollen REACH-asetuksen mukaiset velvoitteet tulisi jatkossa arvioida näiden kansallisen sääntelyn piiriin jäävien jättepohjaisten lannoitteiden osalta, mikäli ne tuotteistetaan.

¹⁷ 1.3.2017, Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>

¹⁸ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1021, annettu 20 päivänä kesäkuuta 2019, pysyvistä orgaanisista yhdisteistä. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1021/oj>

¹⁹ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1907/2006, annettu 18 päivänä joulukuuta 2006, kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH), Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, direktiivin 1999/45/EY muuttamisesta sekä neuvoston asetuksen (ETY) N:o 793/93, komission asetuksen (EY) N:o 1488/94, neuvoston direktiivin 76/769/ETY ja komission direktiivien 91/155/ETY, 93/67/ETY, 93/105/EY ja 2000/21/EY kumoamisesta. <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj>

Taulukko 4. POP-asetuksessa (2019/1021) asetettuja raja-arvoja.

POP-yhdiste	Jäteraja-arvo		UTC-raja-arvo
	Nykyinen ^{a)}	V. 2021 esitys ^{b)}	
HBCDD	1 000 mg/kg ¹⁾	500 mg/kg	100 mg/kg
SCCP	10 000 mg/kg	1 500 mg/kg	10 000 mg/kg
PCB	50 mg/kg ²⁾	50 mg/kg	-
PCDD/F	15 µg TEQ/kg ³⁾	5 µg TEQ/kg	-
ΣBDE	1 000 mg/kg	500 mg/kg tai 200 mg/kg	500 mg/kg ⁴⁾
TetraBDE	-	-	10 mg/kg ⁵⁾
PentaBDE	-	-	10 mg/kg ⁵⁾
HeksaBDE	-	-	10 mg/kg ⁵⁾
HeptaBDE	-	-	10 mg/kg ⁵⁾
DekaBDE)	-	-	10 mg/kg ⁵⁾
Dikofoli	-	50 mg/kg	-
Pentakloorifenoli	-	100 mg/kg	5 mg/kg
PFOA ja sen suolat	-	1 mg/kg	0,025 mg/kg
PFOA:n kaltaiset yhdisteet	-	40 mg/kg	1 mg/kg
PFOS	50 mg/kg	-	10 mg/kg
Endosulfaani	50 mg/kg	-	-
Heksaklooributadieeni	100 mg/kg	-	-
Polyklooratut naftaleenit	10 mg/kg ⁶⁾	-	-
Klordaani	50 mg/kg	-	-
DDT	50 mg/kg	-	-
Heksakloorisykloheksaanit, ml. lindaani	50 mg/kg	-	-
Dieldriini	50 mg/kg	-	-
Endriini	50 mg/kg	-	-
Heptakloori	50 mg/kg	-	-
Heksaklooribentseeni	50 mg/kg	-	-
Klordekoni	50 mg/kg	-	-
Aldriini	50 mg/kg	-	-
Pentaklooribentseeni	50 mg/kg	-	-
Mireksi	50 mg/kg	-	-
Toksafeeni	50 mg/kg	-	-
Heksabomibifenyyl	50 mg/kg	-	-

a) POP-asetus, 2019/1021

b) European Commission 2021b

1) "Heksabromisyklododekaanilla" tarkoitetaan heksabromisyklododekaania, 1,2,5,6,9,10-heksabromisyklododekaania ja sen tärkeimpiä diastereoisomeerejä; α-heksabromisyklododekaania, β-heksabromisyklododekaania ja γ-heksabromisyklododekaania.

2) Laskuissa on käytettävä eurooppalaisissa standardeissa EN 12766–1 ja EN 12766–2 vahvistettua laskentamenetelmää.

3) Raja-arvo lasketaan PCDD:nä ja PCDF:nä toksisuusekvivalenssikertoimien (TEF) mukaisesti.

4) Raja-arvoa sovelletaan seoksiin ja esineisiin.

5) Raja-arvoa sovelletaan REACH-asetuksen (EU/1907/2006) tarkoitamiin aineisiin.

6) Polyklooratuilla naftaleeneilla tarkoitetaan naftaleenirengsrakenteeseen perustuvia kemiallisia yhdisteitä, joissa yksi tai useampi vetyatomi on korvattu klooriatomeilla.

Sivutuoteasetuksen mukaisten eläinperäisten sivutuotteiden osalta on otettava huomioon, että ne on rajattu Jätedirektiivin ja jätelain soveltamisalan ulkopuolelle (lukuun ottamatta poltettaviksi, kaatopaikalle sijoitettaviksi tai käytettäväksi biokaasu- tai kompostointilaitoksissa meneviä eläinperäisiä sivutuotteita). Eläinperäiset sivutuotteet voivat kuitenkin olla jätettä, jos jätteen perusmääritelmä täyttyy. Niiden käsittelyssä noudatetaan tuolloin kuitenkin jätelain (646/2011) sijasta Sivutuoteasetuksen määräyksiä. Niille ei siis tarvitse tehdä EEJ-päätöstä, joka perustuu jätelakiin. On kuitenkin huomioitava, että mikäli Sivutuoteasetuksen tarkoittama eläimistä saatava sivutuote käsitellään lannoitteeksi kompostoimalla tai polttamalla, se kuuluukin jätelain soveltamisalaan, ja tuotteistaminen tarvitsee EEJ-

päätöksen. Jatkossa eläinperäisten sivutuotteiden osalta olisi tarpeen selvittää myös, mitä vaatimuksia tuotteistamiselle lannoitekäyttöön tulee Sivutuoteasetuksesta.

Mikäli kansallisen sääntelyn piiriin jääville materiaaleille päädyttäisiin jatkossa määrittelemään jätteen luokittelun päättymisen kriteerit jätelain muutoksen (714/2021²⁰) 5 b §:n mukaisesti, tulisi niiden osalta ottaa huomioon myös REACH-asetuksen haitallisia aineita koskevien liitteiden XIV ja XVII velvoitteet. Liitteessä XIV on määritelty luvanvaraiset aineet ja liitteessä XVII puolestaan kuvattu tiettyjen vaarallisten aineiden, seosten ja esineiden valmistuksen, markkinoille saattamisen ja käytön rajoituksia. Etenkin näiden REACH-asetuksen liitteessä XIV ja soveltuvin osin liitteessä XVII mainittujen yhdisteiden sekä POP-asetuksessa esiintyvien yhdisteiden osalta kansallisen sääntelyn piiriin jäävien tuotteiden haitta-ainekoostumus tulisi tuntea. On myös huomioitava, että uusia aineita tulee jatkuvasti rajoitusten piiriin. Samoin luvanvaraisten aineiden luettelo REACH-asetuksen liitteessä XIV täydentyy säännöllisesti.

Suomessa lannoitteiden sisältämien haitallisten aineiden määrää säädellään Lannoitevalmistelain nojalla annetuilla MMM:n asetuksilla (ks. luku 1.2.5). MMM:n asetuksessa lannoitevalmisteista (MMM: 24/11) säädetään lannoitteiden ja kalkitusaineiden sisältämistä haitallisten metallien pitoisuuksista. Näiden lisäksi asetuksen muutokset (MMM: 12/12 ja MMM: 7/13) asettavat rajat yhdyskuntajätevesilietteen maatalouskäytöstä aiheutuvalla haitallisten metallien enimmäiskuormitukselle ja maaperän ominaisuuksille alueilla, joilla yhdyskuntajätevesilietettä hyödynnetään.

Tätä raporttia kirjoitettaessa Suomessa lannoitevalmisteista vaaditaan määritettäväksi vain haitallisia metalleja (MMM: 24/11). Lannoitelainsäädäntöä ollaan kuitenkin uudistamassa. Lakiluonnoksen perustelumuiotiossa (MMM 2021) esimerkkinä haitallisista aineista on esitelty mm. haitallisia metalleja, POP-yhdisteitä ja lääkeaineita. Tulevaisuudessa jää nähtäväksi, mille aineille asetetaan raja-arvoja tai määritysvelvoitteita. MMM: 24/11:n kattamat metallit Suomessa ja muissa maissa sovellettavine raja-arvoineen on esitetty Taulukossa 5.

Maataloudessa käytettävän yhdyskuntajätevesilietteen raskasmetallipitoisuuksien enimmäistaso on EU-alueella asetettu Lietetdirektiivissä. Monissa EU-jäsenmaissa raskasmetalleille sovelletaan kansallisesti kuitenkin tätä tiukempia raja-arvoja (esim. Collivignarelli ym. 2019). Kansallisia raja-arvoja on viime vuosina kerätty useisiin julkaisuihin (esim. Berninger ym. 2017; Collivignarelli ym. 2019; SOU 2020; Gianico ym. 2021; HELCOM 2021a). Vaikka näitä koosteita on tehty tiheästi, esitetyissä arvoissa on jonkin verran vaihtelua julkaisujen välillä. Gianico ym. (2021) huomautti, että kansallisten raja-arvojen suuri vaihtelu pirstaloi yhdyskuntajätevesilietteen maatalouskäytön sääntelyä. Tätä lisää havaintomme mukaan myös se, että yhdyskuntajätevesilietteen maatalouskäytön sääntelyn taso vaihtelee maittain. Monissa maissa (kuten Suomessa) on asetettu yleiset kemialliset laatuvaatimukset kaikille lannoitteille, raaka-aineeseen katsomatta. Joissain maissa (kuten Saksassa) on kuitenkin asetettu spesifejä, ainoastaan yhdyskuntajätevesilietteen maatalouskäyttöön sovellettavia laatuvaatimuksia, jotka täydentävät tai kiristävät lannoitteille yleisesti sovellettavia vaatimuksia. Tarkasteluun valituille syötteille ei ole yhdyskuntajätevesilietettä lukuun ottamatta asetettu syötekohtaisia rajoituksia meillä eikä muualla.

²⁰ 15.7.2021/714, Laki jätelain muuttamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210714>

Taulukko 5. Kansallisia laatuvaatimuksia yhdyskuntajätevesilietteen ja muiden lannoitevalmisteiden maatalouskäyttöle.

Metalli	Liete-direktiivi ^{a)}	Suomi ^{b)}	Ruotsi ^{c)}	Viro ^{d)}	Saksa	Tanska ^{d)}	Norja ^{f)}	USA ^{g)}	Kanada ^{h)}	Venäjä ⁱ⁾	Suomi, Laatu-lannoite ^{j)}
As	–	25	–	–	40 ^{e)}	-	-	75	13–75	2,0/10	25
Cd	20–40	1,5	2	20	10 ^{d)}	0,8	0,4–5	85	3–20	2/15	1
Cu	1 000–1 750	600	600	1 000	900 ^{e)}	1 000	50–1 000	4 300	400	132/750	500
Ni	30–400	100	50	300	80 ^{e)}	30	20–80	420	62–180	80/200	50
Pb	750–1 200	100	100	750	150 ^{e)}	120	40–200	840	150–500	130/250	70
Zn	2 500–4 000	1 500	800	2 500	4 000 ^{e)}	4 000	150–1 500	7 500	700–1 850	220/1 750	1 000
Hg	16–25	1	2,5	16	1 ^{e)}	0,8	0,2–5	57	0,8–5	2,1/7,5	0,75
Cr	–	300	100	1 000	900 ^{d)} ; 2 ^{e)} 1)	100	50–150	3 000	210	90/500	200

a) 86/278/ETY

b) MMMa 24/11

c) SFS nr: 1998:944²¹

d) Collivignarelli ym. 2019

e) Roskosch & Heidecke 2019

f) SOU 2020

g) US EPA 1994. Osavaltioilla voi olla vielä tiukempia laatuvaatimuksia. Lisäksi rajoituksia kg/ha ja mg/kg/kk sekä kg/ha/vuosi.

h) Camberato ym. 2006

i) HELCOM 2021a

j) Laatulannoite-laatu järjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille, Suomen biokierto & biokaasu ry 2020

1) Raja-arvo 2 mg/kg ka asetettu kuuden arvoiselle kromille (Cr(VI)).

Lainsäädännön asettamien vaatimusten lisäksi haitallisia aineita on Suomessa huomioitu kierrätyslannoitevalmisteille kehitetyssä laatu järjestelmässä (Laatulannoite, Suomen Biokierto & Biokaasu ry 2020). Tämä vapaaehtoinen laatu järjestelmä edellyttää jäseniään määrittämään laatu merkityistä materiaaleista tavallista laajempaa haitta-ainejoukkoa. Järjestelmän Laatulannoite-sertifikaatti on myönnetty tällä hetkellä kahdeksalle lannoitevalmisteelle kolmelta eri valmistajalta. Määritettäviin parametreihin kuuluu Taulukon 5 metallien lisäksi PAH16²², PCB, perfluorioktaanisulfonihappo (PFOS) ja perfluorioktaanihappo (PFOA), lääkeaineet, polybromatut difenyylicetterit (PBDE), polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit (PCDD/F) sekä kuluttajatuotteissa esiintyvät haitalliset yhdisteet.

Lannoitevalmisteasetus asettaa haitallisiin aineisiin liittyviä laatuvaatimuksia joidenkin ainesosa-luokkien syönteille. Kompostin (CMC 3) ja muun kuin kasviperäisen mädätteen (CMC 5) syönteet ja lopputuotteet saavat sisältää enintään 6 mg/kg ka PAH16-yhdisteitä. Lisäksi edellä mainitut kompostit ja mädätteet saavat sisältää enintään 3 g/kg ka makroskooppisia, yli 2 mm:n muovikappaleita. CMC 13 ja 14 materiaalit puolestaan saavat sisältää 6 mg/kg ka PAH16 ja 20 ng TEQ/kg ka PCDD/F. Lisäksi CMC 14:lle on asetettu raja-arvo PCB6:lle. Näitä raja-arvoja sovelletaan Lannoitevalmisteasetuksen

²¹ 25.6.1998, Förordning (1998:944) om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter, <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=1998:944>

²² PAH16 on Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston (US EPA) v. 1976 kokoama lista tarkkailtavista PAH-yhdisteistä. Yhdisteet valittiin silloin saatavilla olleiden analyysimenetelmien ja standardiaineiden sekä aiempien havaintojen ja yhdisteiden haitallisuuden perusteella (Keith 2015). PAH16 sisältyy naftaleeni, asenaftyleeni, asenafteeni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, fluorantreeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni, kryseeni, bentso(b)fluorantreeni, bentso(k)fluorantreeni, bentso(a)pyreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, dibentso(a,h)antraseeni ja bentso(ghi)peryleeni.

mukaisesti vain materiaaleille, jotka lukeutuvat näiden CMC-luokkien syötteisiin. Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut raja-arvot on esitetty Liitteessä 1.

3.2 Materiaalikohtaisia laatu- ja käsittelyvaatimuksia

3.2.1 Metsäteollisuuden lietteet

Itämeren alueella HELCOM on suositellut, ettei muita kuin asumajätevesien käsittelyssä syntyviä lietteitä käytettäisi lannoitteina, ellei niiden turvallista käyttöä voida varmentaa (HELCOM 2017). Tämä suositus rajaisi lannoitekäytön ulkopuolelle mm. metsäteollisuuden lietteet, ellei niiden hyödyntämisen haitattomuutta voida varmentaa. HELCOMin ohjeessa (2017) ei esitetä menetelmiä haitattomuuden varmentamiseksi, vaan viitataan kansallisesti tai kansainvälisesti asetettuihin haitallisten aineiden raja-arvoihin.

Metsäteollisuuden lietteiden ravinne-, raskasmetalli- ja orgaanisten aineiden pitoisuudet vaihtelevat huomattavasti riippuen käytetystä raaka-aineesta ja käsittelyprosessista (Camberato ym. 1997). Korkeat raskasmetallipitoisuudet ja hajuhaitat hankaloittavat metsäteollisuuden lietteiden käyttöä lannoitteena ja maanparannusaineena. Kanadassa metsäteollisuuden lietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä alhaisempia kuin yhdyskuntajätevesilietteissä. Metsäteollisuuden lietteiden käyttö maanparannusaineena Kanadassa onkin sallittua, jos raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä raja-arvoja (Camberato ym. 2006). Raja-arvot ovat tiukemmat Kanadassa kuin USA:ssa (ks. Taulukko 5). USA:ssa yksittäiset osavaltiot voivat päättää kansallisia arvoja tiukemmat rajat. Raskasmetallien lisäksi raja-arvoja on asetettu ainakin PCDD/F-yhdisteille (USA, Maine < 27 ng TEQ/kg (Camberato ym. 2006) ja Quebec, Kanada 17 ng TEQ/kg (Environnement Québec 2004)).

Tutkimusten mukaan metsäteollisuuden lietteitä voidaan yhdistää erilaisiin teollisuuden sivuvaikevirtoihin ja käyttää metsä- tai peltolannoitteena (Lindh ym. 2001; Gagnon ym. 2010; Mäkelä ym. 2012). Kompostointia käytetään yleisesti parantamaan metsäteollisuuden lietteiden laatua ennen lannoitekäyttöä.

3.2.2 Yhdyskuntajätevesilietteet

Lietedirektiivi asettaa perustason yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelylle ja hyödyntämiselle maataloudessa EU-alueella (ks. Taulukko 5 ja Luku 1.2.4). Lietedirektiivin kattamien seitsemän raskasmetallin lisäksi monissa EU-maissa on asetettu raja-arvoja joillekin orgaanisten haitallisten aineiden ryhmille maataloudessa käytettävässä yhdyskuntajätevesilietteessä tai siitä jalostetuissa tuotteissa. Collivignarellin ym. (2019) mukaan raja-arvoja on asetettu useimmiten PCB- ja PAH-yhdisteille. Muutamissa maissa on asetettu raja-arvoja myös PCDD/F-yhdisteille, nonyylibentseenille (NP) sekä niiden etoksylaateille (NPEO), adsorboituville organohalogeeneille (AOX), lineaarisille alkyylibentseenisulfonaateille (LAS) ja di(2-etyyliheksyyli)ftalaatille (DEHP) (Collivignarelli ym. 2019). Eri maissa yhdyskuntajätevesilietteiden tai niistä prosessoitujen lannoitevalmisteiden sisältämille orgaanisille haita-aineille sovellettavia raja-arvoja on esitetty Taulukossa 6.

Itämeren alueella HELCOM on antanut suosituksen lietteen käsittelystä (HELCOM 2017). Suosituksen mukaan käsittelemätöntä lietettä ei tulisi käyttää. Haitallisten metallien ja muiden säädeltyjen aineiden pitoisuudet käytettävissä materiaaleissa eivät saa ylittää kansallisesti tai kansainvälisesti asetettuja raja-arvoja. Suosituksen mukaan lietettä ei myöskään tulisi käyttää talousveden tuotantoon käytetyillä alueilla, ja levitysmäärän tulisi olla korkeintaan 5 kuivatonna kolmen vuoden välein, ellei kansallisessa lainsäädännössä muuta säädetä.

Taulukko 6. Yhdyskuntajätevesilietteen maatalouskäytössä orgaanisille haitallisille aineille sovellettavia raja-arvoja. Lähde: Collivignarelli ym. 2019, ellei toisin ole mainittu.

Muuttuja	PCB	AOX	LAS	DEHP	NP/NPE	PAH	PFAS	Öljyhiilivedyt ^{a)}	PCDD/F
Yks.	mg/kg ka								ng TEQ/kg ka ¹⁾
Saksa ^{b)}	0,1 ²⁾	400	–	–	–	1 ³⁾	0,1 ⁴⁾	–	30
Ranska ^{a)}	0,8 ⁵⁾	–	–	–	–	2–5 ⁶⁾	–	–	–
Italia	0,8	–	–	–	–	6	–	1 000 ⁷⁾	25
Itävalta	0,2–1	500	–	–	–	6	–	–	50–100
Ruotsi	0,4 ⁵⁾	–	–	–	50	3 ⁸⁾	–	–	–
Portugali	0,8	–	5 000	–	450	6	–	–	100
Tanska	0,2 ⁵⁾	–	1 300	50	10	3 ⁸⁾	–	–	–
Belgia	0,6–0,8 ⁵⁾	–	–	–	–	3–20	–	–	20
Luxemburg	0,2 ⁹⁾	–	–	–	–	20 ¹⁰⁾	–	–	20
Unkari	1 ⁵⁾	–	–	–	–	10 ¹⁰⁾	–	4 000 ¹¹⁾	–
Tsekki	0,6 ⁵⁾	500	–	–	–	10 ¹²⁾	–	–	–
Romania	0,8 ⁵⁾	500	–	–	–	5 ¹³⁾	–	–	–
Slovakia	0,8 ⁵⁾	500	–	–	–	6 ¹⁴⁾	–	–	–
Kroatia	0,2 ¹⁵⁾	–	–	–	–	–	–	–	100

a) Gianico ym. 2021

b) Roskosch & Heidecke 2019

1) PCDD/F:n raja-arvo on ilmoitettu toksisuusevivalentteina (TEQ).

2) Sovelletaan erikseen kongeneereille PCB 25, 52, 101, 138, 153, 180.

3) Raja-arvo asetettu bentso(a)pyreenille.

4) Kahden PFAS-yhdisteen (PFOS ja PFOA) summalle

5) Seitsemän PCB-yhdisteen summalle (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180)

6) Kolmen säännellyn PAH-yhdisteen (fluoranteeni (5 mg/kg ka), bentso(b)fluoranteeni (2,5 mg/kg ka) ja bentso(a)pyreeni (2 mg/kg ka)) raja-arvojen vaihteluväli.

7) Sovelletaan öljyhiilivedyille C10-C40, raja-arvo asetettu yksikössä mg/kg tp.

8) Sovellettava raja-arvo riippuu jätevedenpuhdistamon asukasvastineluvusta.

9) Kuuden PCB-yhdisteen summalle (PCB 28, 52, 101, 138, 153 ja 180)

10) 16 PAH-yhdisteen summalle (naftaleeni, asenaftyleeni, asenaftteeni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, fluoranteeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni), dibentso(a,h)antraseeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni) ja bentso(ghi)peryleeni)

11) Sovelletaan öljyhiilivedyille C5-C40.

12) 12 PAH-yhdisteen summalle (antraseeni, bentso(a)antraseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni, bentso(ghi)peryleeni, fenantreeni, fluoranteeni, kryseeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni ja pyreeni)

13) 11 PAH-yhdisteen summalle (antraseeni, bentsoantraseeni, bentsofluoranteeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni, bentso(ghi)peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, fenantreeni ja pyreeni)

14) 11 PAH-yhdisteen summalle (asenaftteeni, fluoreeni, fenantreeni, fluoranteeni, pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(j)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni, bentso(ghi)peryleeni ja indeno(1,2,3-cd)pyreeni)

15) Viiden PCB-yhdisteen summalle (PCB 28, 52, 101, 141, 180)

Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelymenetelmiä ovat esim. kompostointi, mädätys, kemiallinen stabilointi (kalkkistabilointi), aerobinen stabilointi, pastörinti, fermentointi, terminen kuivaus, terminen hydrolyysi. Yleisemmin käytettyjä menetelmiä ovat mädätys, kompostointi ja kemiallinen stabilointi. Usein käytetään myös menetelmien yhdistelmiä.

Monilla EU-mailla on rajoitteita käsittelemättömän lietteen käytöstä. **Suomessa** käsittelemättömän lietteen käyttö ei ole mahdollista voimassa olevan Lannoitevalmistelain mukaisesti. Useimmista muista jätemateriaaleista poiketen yhdyskuntajätevesilietteen hyödyntäminen ei edellytä ympäristölupamenettelyä, vaan haitattomaksi käsiteltyä yhdyskuntajätevesilietettä voidaan Ympäristönsuojelulain 32 §:n mukaan hyödyntää Lannoitevalmistelain mukaisesti. Voimassa olevan lannoitelainsäädännön mukaan yhdyskuntajätevesilietettä voidaan käyttää maataloudessa vain, jos se täyttää tyyppinimiluettelon luokille 3A5 tai 1B4 asetetut vaatimukset (MMM 7/13). Näihin tyyppinimiluokkiin kuuluvien massojen mahdollisia käsittelytapoja ovat mm. kalkkistabilointi (3A5/1), mädättäminen (3A5/2), lahottaminen (3A5/3) ja kemiallinen hapetus (3A5/7). Maanparannusaineena ja multatuotteena lietettä voidaan puolestaan käyttää, jos tuote täyttää tyyppinimiluokille 3A2 tai 5A2 asetetut vaatimukset, jolloin vaadittuja

käsittelyjä voivat olla mm. mädätys ja kompostointi (3A2/1 ja 3A2/3) tai kemiallinen hydrolyysi ja hygienisointi (3A2/6). Voimassa oleva lainsäädäntö ei suoraan aseta lietteen käytölle enimmäismäärää, vaan se määräytyy materiaalin ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksien mukaan.

Esimerkiksi **Ruotsissa** käsittelemättömä lietettä voi käyttää maataloudessa, jos se sekoitetaan maahan 24 tunnin kuluessa levittämisestä eikä käyttö aiheuta haittaa paikallisille asukkaille. Maata saa käyttää laitumena ja rehusadon korjaamiseen aikaisintaan kymmenen kuukauden kuluttua lietteen levittämisestä (SNFS 1994:2²³, 6 §). Myös levityksen vuosikohtainen maksimi on määrätty (738 kg kuiva-ainetta/ha/vuosi) (European Commission 2012). Ruotsissa on vuodesta 2008 ollut käytössä jätevedenpuhdistamojen REVAQ-sertifiointijärjestelmä, joka pyrkii vähentämään jätevesiin päätyvien haitallisten aineiden määrää ja parantamaan sekä jäteveden että jätevesilietteiden laatua (Svensk Vatten 2022). Sertifiointi takaa lietteen laadunvarmistuksen, ja nykyään lähes kaikki maataloudessa käytettävä jätevesiliete on REVAQ-sertifioitua (REVAQ 2020).

Virossa käsittelemättömän lietteen käyttö on rajattu viherrakentamiseen ja silloinkin liete tulee muokata maahan tai peittää kahden päivän sisällä (European Commission 2012). Virossa yhdyskuntajätevesilietteiden sallittuja käsittelytapoja ovat anaerobinen ja aerobinen stabilointi, kemiallinen- ja lämpökäsittely, mineralisaatio ja näiden yhdistelmät (RT I, 19.12.2015, 8²⁴). Levitettävän lietteen enimmäismäärää ei ole rajoitettu.

Suomen lisäksi käsittelemättömän yhdyskuntajätevesilietteen käyttö lannoitteena on kielletty mm. **Norjassa, Tanskassa, Saksassa, Belgiassa, Italiassa, Portugalissa ja Espanjassa. Sveitsissä** yhdyskuntajätevesilietteen käyttö maataloudessa sellaisenaan on kielletty vuonna 2005 säädetyssä kemikaaliasetuksessa (SR 814.81²⁵). Sveitsin lannoiteasetuksessa (SR 916.171²⁶) jätevesiliete mainitaan yhtenä kierrätyslannoitteiden mahdollisista raaka-aineista. Kemikaaliasetus säättää tiukat rajat kierrätyslannoitteiden raskasmetallipitoisuuksille (esim. Cd 1 mg/kg, Hg 1 mg/kg, Ni 30 mg/kg ja Pb 120 mg/kg).

Norjassa noin 70 % yhdyskuntajätevesilietteistä kierrätetään lannoitteiksi (Eriksen ym. 2009). Liete tulee käsitellä ja stabiloida niin, ettei tuotteesta aiheudu hajua tai muita ympäristöhaittoja varastoinnin ja käytön aikana. Norjassa käytettyjä yhdyskuntajätevesilietteen käsittelytapoja ovat kompostointi, kalkkistabilointi, pastörointi, mädätys, hydrolyysi, terminen kuivaus, kalkkistabilointi ja vanhentaminen sekä edellisten yhdistelmät. Yhdyskuntajätevesilietettä saa käyttää vain tiettyjen kasvien viljelyyn. Määräysten mukaan yhdyskuntajätevesiliete on sekoitettava maaperään välittömästi ja viimeistään 18 tuntia levityksen jälkeen. Viheralueilla ja yksityisissä puutarhoissa yhdyskuntajätevesilietettä saa käyttää vain osana muuta maa-ainesta niin, että sen osuus saa olla korkeintaan 30 til-%. Lietevalmisteet on jaettu erilaisiin luokkiin riippuen niiden raskasmetallipitoisuuksista. Korkeimman laatuluokan (luokka 0) tuotteiden levitysmääriä ei ole rajoitettu. Luokan I - tasoista tuotetta saa levittää 40 t ka/ha ja luokka II tasoista tuotetta 20 t ka/ha pelloille tai viheralueille. Luokka III-tasoista tuotetta saa levittää vain viheralueille. (Eriksen ym. 2009)

Tanskassa yhdyskuntajätevesilietteet stabiloidaan, kompostoidaan tai pastöroidaan ennen peltolevitystä, ja sen levittäminen on rajoitettu enintään seitsemään tonniin kuiva-ainetta hehtaaria kohden (Hari & Riiko 2016). Raja-arvoja on asetettu raskasmetalleille ja orgaanisille haitta-aineille (LAS, PAH, nonyyliifenolit, DEHP ja PCB) (ks. Taulukot 5 ja 6).

Saksassa yhdyskuntajätevesiliete yleensä mädätetään ja kuivataan termisesti tai kalkkistabiloidaan ja vanhennetaan ennen levittämistä. Yhdyskuntajätevesilietettä voidaan levittää maa- ja

²³ 30.5.1994, Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket, <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/nfs/1994/snfs1994-02k.pdf>

²⁴ 19.12.2015, Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded, <https://www.riigiteataja.ee/akt/119122015008>

²⁵ 18.5.2005, Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV), <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de>

²⁶ 10.1.2001, Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Dünger-Verordnung, DüV), <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2001/105/de>

puutarhatalouskäytössä oleville maille enintään viisi tonnia kuiva-ainetta hehtaaria kohti kolmen vuoden aikana (European Commission 2012). Vuonna 2017 voimaan astuneen jätevesilietteen hyödyntämistä säätelevän asetuksen (AbfKlärV²⁷) mukaan Saksassa tullaan rajoittamaan lietteen maatalouskäyttöä. Vuodesta 2029 alkaen maataloudessa voidaan hyödyntää vain alle 100 000 AVL jätevedenpuhdistamoilla muodostuvaa lietettä. Vuoden 2032 alusta rajoitus laajenee kattamaan kaikki yli 50 000 AVL laitokset, jonka jälkeen tätä suuremmilla laitoksilla muodostuvan lietteen fosfori tulee ottaa talteen (ESPP 2017).

Belgiassa liittovaltion laki lannoitteiden, maanparannusaineiden ja kasvualustojen kaupasta sallii käsitellyn yhdyskuntajätevesilietteen käytön. Sallittuja yhdyskuntajätevesilietteen käsittelytapoja ovat kompostointi, kemiallinen tai aerobinen stabilointi, pastörinti, fermentointi ja terminen kuivaus. Käsiteltyä lietettä ei saa levittää alle kuuden viikon sisällä siitä, kun maata käytetään laiduntamiseen tai rehun korjaamiseen (European Commission 2012). Flanderin alueella vaatimukset ovat muuta maata tiukempia. Raskasmetallien ja orgaanisten haitallisten aineiden raja-arvot ovatkin siellä niin tiukat, että lietteen tai lietepohjaisten lannoitevalmisteiden käyttö ei ole alueella käytännössä mahdollista (Berninger ym. 2017).

Kanadassa ei ole yhtenäisiä säädöksiä lietteen laadulle tai käsittelyvaatimuksille, vaan ne vaihtelevat provinssittain (McCarthy 2015). Sääntely perustuu raskasmetallien ja patogeenien määrän rajoittamiseen. Käsitellyn lietteen levitysmäärille on asetettu rajoituksia lietteen ja maaperän laadusta riippuen (enintään 25 t/ha/v ka).

3.2.3 Ruoppausmassat

Ruoppausmassojen läjittämistä avoveteen on ohjeistettu sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeella (Ympäristöministeriö 2015b). Ohjeessa määritellään ohjeelliset pitoisuustasot, joita käytetään ruoppausmassojen läjityskelpoisuuden arvioinnissa. Kun läjitys tehdään maalle, voidaan soveltaa PIMA-asetuksessa esitettyjä ohjearvoja. Häkkisen ym. (2020) mukaan myös ruoppausmassojen maalle sijoittamiseen on toisinaan käytetty EU:n Liedirektiivissä asetettuja raskasmetallien raja-arvoja. Ruoppausmassojen hyödyntämistä maarakentamiskäytössä puolestaan tultaneen sääntelemään tulevilla MASA-asetuksella (MASA-asetus, luonnos 2019).

Suomessa ruoppausmassojen sisältämiä haitallisia aineita määritetään pääsääntöisesti Ympäristöministeriön (2015b) antaman ohjeen mukaisesti. Ohjeessa tunnistetut haitalliset aineet eivät ota kantaa massan hyötykäytön turvallisuuteen, ainoastaan massan läjityskelpoisuuteen silloin, kun läjitys tapahtuu merialueelle. Ohjeessa määritellyt näytteenottomenetelmät ja raja-arvot eivät ole laillisesti sitovia.

Itämeren alueella ruoppausmassojen käsittelyä ja analysointia ohjaa myös HELCOMin (2015) antama suositus ruoppausmassojen hallinnasta. Ohjeistus suosii ruoppausmassojen hyötykäyttöä aina kun mahdollista, mutta ei ota kantaa massan lannoitekäyttöön. Jäsenmaat raportoivat HELCOMille vuosittain tietoja ruoppausmassojen sisältämisestä haitallisista aineista (Taulukon 5 metallit, PCB7, PAH16 ja tributyylitina (TBT)). Ohjeistuksen mukaan haitta-ainemäärittämisä ei tarvitse tehdä silloin kun kyseessä on:

- a) aiemmin koskematon geologinen materiaali,
- b) ruoppausmassa, joka koostuu lähes yksinomaan hiekasta, sorasta ja kivistä tai
- c) ruoppausmassa, joka on peräisin alueelta, joka ei ole altistunut merkitykselliselle haitta-ainekuormitukselle ja ruopattava massa on enintään 10 000 tonnia.

Ympäristöministeriön (2015b) antama ohje määrittelee raja-arvoja, joiden perusteella arvioidaan ruoppausmassojen meriläjityskelpoisuutta. Toisaalta HELCOMille tehtävä raportointi pyrkii ensisijaisesti kartoittamaan haitta-aineiden kuormaa meriympäristöön. Edellä mainitut sääntelykeinot eivät ota kantaa ruoppausmassojen käyttöön lannoitteina tai lannoitevalmisteiden raaka-aineina. EU ei ole

²⁷ 27.9.2017, Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017. BGBl. I, S. 3465-3512, http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl117s3465.pdf

asettanut ruoppausmassojen haitallisille aineille viitearvoja. EU:n alueella ruoppausmassojen hyödyntämiseen liittyvät tavoitteet ja ohjauskäytännöt sekä vaatimukset ruoppausmassoista tehtäville haitta-ainetutkimuksille vaihtelevat paljon maittain. Kansalliset säännökset ja haitallisten aineiden viitearvot säätelevät koko ruoppaustoimintaa ruoppauksesta läjittämiseen, mutta erillisiä haitallisten aineiden raja-arvoja esim. lannoitekäytölle ei ole asetettu.

Välimeren alueen maissa ruoppausta tai ruoppausmassojen käsittelyä ei ole säännelty kansallisessa lainsäädännössä. Esimerkiksi Kreikassa ruoppausmassat luokitellaan jätteeksi, joka vaikeuttaa ruoppausmassojen hyödyntämistä. Ranskassa ruoppausmassoja on käytetty maanparannusaineena. Tärkein ruoppaustoimintaa säätelevä asiakirja Välimeren alueella on Barcelonan yleissopimuksen pöytäkirja, jonka avulla pyritään ehkäisemään Välimeren pilaantumista. Barcelonan yleissopimus ei kuitenkaan ohjaa ruoppausmassojen käyttöä maalla. HELCOM-sopimus ohjeistaa ruoppaustoimintaa ja mereen läjitystä vastaavasti Itämeren alueella ja OSPAR-sopimus Koillis-Atlantilla.

Euroopan Unioni kannustaa etsimään uusia vaihtoehtoja ruoppausmassojen hyötykäyttöön. AGRI-SED-projektissa (LIFE 17/ENV/IT/000269) tuotettiin kompostoimalla yhdessä ruoppausmassaa ja kasviperäistä viherjätettä Technosol-maa-ainesta. Tätä maa-ainesta on tarkoitus käyttää paitsi maa-alueilla myös EU:n alueella markkinoitavien koristekasvien kasvattamiseen (Macci ym. 2018).

Yhdysvalloissa on pyritty kehittämään kilpailukykyisiä ja laadukkaita lannoitustuotteita ruoppaus-sedimenteistä, joissa on kyetty hyödyntämään myös haitta-ainepitoisiakin sedimenttejä (Harrington & Smith 2013). Hyötykäyttöön ohjattavien ruoppausmassojen kemiallisen laadun varmistamiseksi Yhdysvalloissa on suositeltu määritettäväksi mm. massan suolaisuus, rikkipitoisuus, metallien kokonaispitoisuudet (Taulukon 5 metallit ja Ag), klooratut pestisidit sekä PAH-, PCB- ja PCDD/F-yhdisteet (Brandon & Price 2007).

3.2.4 Eläinperäiset ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat

Eläinperäisten sivuvirtojen käsittelyvaatimuksista on säädetty EU-tasolla Sivutuoteasetuksessa (ks. luku 1.2.2) ja sitä täydentävässä täytäntöönpanoasetuksessa (142/2011²⁸). Lannoitevalmisteasetuksen voimaantulo ei vaikuta näiden asetusten soveltamiseen. Sivutuoteasetus täytäntöönpanoasetuksineen asettaa siis jatkossakin sitovat vaatimukset eläinperäisten sivutuotteiden käsittelylle.

Sivutuoteasetus asettaa eri luokkiin kuuluville aineksille erilaiset käsittelyvaatimukset. Luokkaan 1 kuuluvaa ainesta ei Sivutuoteasetuksen mukaan voida hyödyntää lannoitevalmisteiden valmistuksessa. Luokkaan 2 ja 3 kuuluvia aineksia puolestaan voidaan hyödyntää lannoitevalmisteiden tuotannossa tai sellaisenaan lannoitteina.

Luokkaan 2 ja 3 kuuluvien aineiden hävittämisestä ja käytöstä säädetään Sivutuoteasetuksen artikloissa 13 ja 14. Näihin luokkiin kuuluvia aineksia voidaan käyttää orgaanisten lannoitteiden tai maanparannusaineiden valmistuksessa, kun ne saatetaan markkinoille Sivutuoteasetuksen 32 artiklan mukaisesti. Ne voidaan myös kompostoida tai muuntaa biokaasuksi. Luokkaan 2 kuuluva, orgaanisten lannoitteiden tai maanparannusaineiden valmistuksessa hyödynnettävä materiaali on painesteriloitava tarvittaessa ja merkittävä pysyvästi. Kompostoitava tai biokaasuksi muutettava luokan 2 materiaali on puolestaan painesteriloitava aina silloin kun kyseessä ei ole lanta, ruoansulatuskanavan sisältö, maito tai ternimaito, johon ei katsota sisältyvän tartuntatautien leviämisenriskiä. Edellä mainittuja luokan 2 ja 3 materiaaleja voidaan levittää myös käsittelemättöminä maahan.

Sivutuoteasetuksen artiklan 32 mukaisesti luokan 2 ja 3 aineksista voidaan johtaa orgaanisia lannoitteita ja maanparannusaineita silloin, kun ne on tuotettu painesterilointia koskevien vaatimusten

²⁸ Komission asetus (EU) N:o 142/2011, annettu 25 päivänä helmikuuta 2011, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveysturvassäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1069/2009 täytäntöönpanosta sekä neuvoston direktiivin 97/78/EY täytäntöönpanosta tietyjen näytteiden ja tuotteiden osalta, jotka vapautetaan kyseisen direktiivin mukaisista eläinlääkärintarkastuksista rajatarkastusasemilla. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/142/oj>

mukaisesti, tai kun ihmisille ja eläimille aiheutuvat terveysriskit on muuten ehkäisty. Edellisestä poiketen, mädätysjäännöstä ja kompostia voidaan saattaa markkinoille ja käyttää orgaanisina lannoitteina ja maanparannusaineina.

Tekniset vaatimukset painesteriloinnille on asetettu Sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoasetuksessa. Käsittelyssä materiaali tulee hienontaa alle 50 mm partikkelikokoon ja kuumennettava yli 133 °C sisälämpötilaan vähintään 20 minuutin ajaksi vähintään 3 baarin paineessa.

Sivutuoteasetuksessa säädettyt käsittelyvaatimukset tähtäävät materiaalien hygieenisen laadun varmistamiseen. Sivutuoteasetus ei aseta kriteerejä materiaalien mahdollisesti sisältämille haitallisille aineille.

Luvussa 1.3.3 mainittu juuresmulta tulee Suomessa käsitellä siten, että se täyttää tyyppinimiluokan 5A2/3 vaatimukset. Mahdollisia käsittelytapoja ovat kompostointi tai vanhentaminen vähintään 2–5 vuotta, juuresmullan alkuperästä riippuen. Käsittelyillä pyritään tuhoamaan taudinaiheuttajat, rikkakasvien siemenet ja kasvintuhoojat. Materiaalille sovellettava varoaika on kolme vuotta.

4 Haitalliset aineet jätepohjaisissa lannoitevalmisteissa ja niiden syötteissä

Työn tavoitteena oli tunnistaa jäteperäisissä lannoitteissa esiintyviä haitallisia aineita materiaaliakohtaisesti. Lisäksi tarkasteltiin, miten suomalaisista materiaaleista olemassa oleva analyysiaineisto suhteutuu kirjallisuudessa ja muiden maiden laatukriteereissä nouseviin parametreihin.

4.1 Käytetty aineisto

Projektin tavoitteiden saavuttamiseksi käytiin läpi erilaisista kierrätyslannoitteista ja haitallisista aineista julkaistuja raportteja ja tieteellisiä artikkeleja sekä tehtiin tietopyyntö Ruokavirastolle suomessa syntyvistä materiaaleista. Ruokaviraston aineiston perusteella tunnistettiin tärkeimpiä toimijoita kullekin relevantille tyyppinimiluokalle. Näitä yrityksiä lähestyttiin kyselyllä, jossa tiedusteltiin mm. mitä jakeita he käyttävät kierrätyslannoitteiden valmistuksessa, missä laajuudessa haitallisia aineita on määritetty tuotteista tai niiden lähtöaineista, ja onko materiaaleihin liittyen tunnistettu joitain riskiaineita. Kyselyn rakenne on esitetty Liitteessä 2.

Muutamien suomalaisten toimijoiden kanssa järjestettiin tapaamisia, joissa keskusteltiin heidän käsittelemistään materiaaleista ja teettämästään analytiikasta. Näissä keskusteluissa nousi toistuvasti esiin näkemys, että nykyistä laajemmat, hyvin perustellut haitta-aineille asetettavat raja-arvot ja määrittämisvelvoitteet olisivat tervetulleita. Näiden koettiin voivan ohjata markkinoita ja tuotekehitystä sekä vähentää materiaaleihin liittyviä epäluuloja. Toisaalta raja-arvoista keskusteltaessa nostettiin esiin riittävien siirtymäaikaisten tärkeys. Jos laatukriteerit olisivat ennakoimattoman tiukat tai tulisivat voimaan liian nopeasti, ei toiminnanharjoittajilla olisi välttämättä mahdollisuutta mukauttaa toimintaansa.

Muutamit yritykset toimittivat tekemiensä haitta-ainekartoitusten tuloksia hankkeen luottamukselliseksi tausta-aineistoksi. Näiden kartoitusten tuloksia sekä kirjallisuudessa julkaistua aineistoa on käsitelty anonyymisti alaluvuissa 4.2–4.6.

4.2 Metsäteollisuuden lietteet

Metsäteollisuuden lietteiden koostumus riippuu käytettävästä prosessista ja laitoksen toiminnoista. Esimerkiksi siistauslietteen koostumus riippuu käsiteltävästä kierrätyspaperista. Lietteiden käyttökelpoisuus maataloudessa tai kompostoinnin syötteenä riippuu massan koostumuksesta, kuten ravinteiden ja haitallisten aineiden pitoisuuksista. Suhrin ym. (2015) mukaan paperiteollisuuden lietteet eivät yleensä sisällä yhdyskuntajätevesilietteitä enempää haitallisia aineita. Kuokkasen ym. (2008) havaintojen mukaan metsäteollisuuden lietteeseen pidättyneet metallit ovat lisäksi heikkoliukoisessa muodossa, ja niiden vapautuminen tavallisissa ympäristön olosuhteissa on vähäistä.

Laitoksilla syntyy monilta ominaisuuksiltaan yhdyskuntajätevesilietteeseen verrattavaa lietettä. Paperiteollisuuden lietteiden hyödyntämiseen maataloudessa tai kompostoinnissa liittyy kuitenkin samoja epävarmuuksia kuin yhdyskuntajätevesilietteisiin: orgaaniset ja epäorgaaniset haitalliset aineet. Metsäteollisuuden lietteet poikkeavat yhdyskuntajätevesilietteistä mm. siten, että ne sisältävät puuaineksesta irtoavia yhdisteitä, kuten ligniiniyhdisteitä (Lohiniva ym. 2001).

Koska metsäteollisuuden lietteet muodostuvat hallitusta teollisesta prosessista, jossa käytetään vain hyvin rajallista joukkoa kemiallisia yhdisteitä, metsäteollisuuden lietteissä esiintyvien haitallisten aineiden kattava tunnistaminen pitäisi olla mahdollista laitos- tai prosessikohtaisesti. Metsäteollisuuden lietteiden sisältämän haitallisten aineiden kirjon voidaan olettaa olevan suppeampi kuin esim. yhdyskuntajätevesilietteiden. Jos metsäteollisuuden jätevesiä käsittelevälle puhdistamolalle ei johdeta muiden

teollisuudenalojen jätevesiä, hulevesiä, eikä merkittäviä määriä mustia jätevesiä, laitoksella syntyvän lietteen voidaan olettaa sisältävän vähemmän näistä lähteistä yhdyskuntajätevesilietteiin päätyviä haitallisia aineita. Täten metsäteollisuuden lietteissä voidaan olettaa esiintyvän verrattain vähäisesti esim. kotitalouksista peräisin olevia yhdisteitä, kuten lääkeaineita.

Massa- ja paperiteollisuudessa käytettävistä yhdisteistä monilla on kuitenkin ympäristön kannalta hankalia ominaisuuksia. Lohiniva ym. (2001) mukaan metsäteollisuuden lietteet voivat sisältää mm. organoklooriyhdisteitä. Joitakin teollisuudenalalla käytettyjä kemikaaleja on esitetty Taulukossa 7. Esimerkiksi laajasti käytetty kelatoiva yhdiste EDTA on ympäristössä pitkäikäinen. Vieno ja Arjonen (2021) havaitsivat aineen poistuvan huonosti kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla. Suhrin ym. (2015) mukaan on kuitenkin löydettävissä myös esimerkkejä jätevedenpuhdistamoista, joilla EDTA:n poistuma on korkea (n. 90 %). Vienon ja Arjosen tekemän mallinnuksen mukaan yhteensä n. 40 % EDTA:sta voi pidäytyä raaka- ja biolietteeeseen. Koska EDTA:ta käytetään yleisesti massa- ja paperiteollisuudessa, sitä voi päätyä myös prosesseissa muodostuviin lietteisiin.

Muun muassa väriaineissa ja limanpoistossa käytetyt kvaternaariset ammoniumyhdisteet ovat ryhmä kationisina pintakäsittelyaineina käytettyjä yhdisteitä, joilla on antimikrobisia ominaisuuksia. Yhdisteet pidäytyvät tehokkaasti kiintoaineeseen, kuten lietteeseen tai maaperään. Jotkut kvaternaarisista ammoniumyhdisteistä on tunnistettu ympäristössä haitallisiksi, ja niiden on epäilty edistävän antimikrobiresistenssin kehittymistä (Mulder ym. 2018). Yhdisteiden käyttäytymistä maaperässä ei tunneta hyvin (Mulder ym. 2018), mutta ne hajoavat hitaasti anaerobisissa oloissa (Kaj ym. 2014). Kiintoainehakuisuutensa takia lietteiden mukana maaperään levitettyjen kvaternaaristen ammoniumyhdisteiden ei oleteta pilaavan pintavesiä, vaan pysyvän maaperässä.

Kloorivalkaisua käyttävän sellu- ja paperiteollisuuden lietteissä on havaittu dioksiinijäämiä, etenkin TCDD:a (2,3,7,8-tetraklooridibentso-p-dioksiini) (Thiel ym. 1989; Krouskop ym. 1991; Thacker ym. 2007). TCDD on myrkyllistä aikuisille eläimille ja lintujen alkioille (Eisler 1986; Nosek ym. 1993). Pitoisuudet ovat kuitenkin yleensä niin pieniä, ettei lietteen käytön metsätalouslannoitteena ole havaittu vaikuttavan haitallisesti eliöihin (esim. Vera & Servello 1994). Maatalousalueilla TCDD:n on kuitenkin havaittu kerääntyvän kastematoihin (Reinecke & Nash 1984). Metsäteollisuudessa siirryttiin 1990-luvun jälkeen laajasti kloorittomaan valkaisuun. Kloorivalkaisua käytetään kuitenkin edelleen esim. Intiassa (Thacker ym. 2007). Vuonna 2006 paperimassasta valkaistiin maailmanlaajuisesti 88 % klooridioksidilla, 5 % valkaistiin täysin kloorivapaasti ja 6 % valkaistiin edelleen kloorikaasulla (Axegård 2019).

Kuituliete

Kuituliete sisältää puuperäisiä aineita, kuten kuituja, ligniiniä, selluloosaa ja kuorimassaa. Ojasen ym. (2001) mukaan kuituliete voi lisäksi sisältää prosessikemikaaleja. Tällaisiksi luetaan mm. paperin täyteaineet ja päällystyspasta.

Kenties laajin ja tuorein katsaus kuitulietteen mahdollisesti sisältämään haitallisiin aineisiin on tehty osana Lannoitevalmisteasetusta. Huygensin ja Saveynin (2021) mukaan kuitulietettä muodostuu monista eri prosesseista, ja se voi sisältää erityyppisiä lietteitä. Kuituliete voi sisältää mm. PAH-yhdisteitä ja organoklooriyhdisteitä. Kuitulietteiden hyötykäytössä tulisi lisäksi kiinnittää erityistä huomiota lisäaineisiin, jotka on suunniteltu biologisesti aktiivisiksi, kuten biosideihin, desinfiointiaineisiin ja limanestoaineisiin. Jos mukana on lietettä musteenpoisto- tai kierrätyspaperiprosesseista, lopputuotteessa voi olla korkeita raskasmetallipitoisuuksia.

Siistausliete

Siistausliete sisältää paperin täyte- ja väriaineita sekä liimoja ja sen koostumus riippuu suuresti prosessissa käytetyn kierrätyspaperin koostumuksesta ja käytetystä prosessista (Deviatkin ym. 2015). Jos muste sisältää raskasmetalleja, ne voivat päätyä lietteeseen (Lohiniva ym. 2001). Siistauslietteessä tavanomaisesti esiintyviä haitta-aineiden pitoisuuksia on esitetty Taulukossa 8.

Taulukko 7. Joitakin massa- ja paperiteollisuudessa käytettyjä kemikaaleja ja niiden ympäristöhaittoja. Mukailtu lähteestä Suhr ym. 2015.

Käyttötarkoitus	Esimerkkiaineita	Mahdollisia haittoja
Massaliimat	<ul style="list-style-type: none"> • Vahaemulsiot • Synteettiset yhdisteet, esim. <ul style="list-style-type: none"> - Alkyyliketeenidimeeri - Maleiinihappoanhydridikopolymerit 	Jotkut käytetyistä yhdisteistä ovat myrkyllisiä bakteereille
Märkäljuutta parantavat aineet	<ul style="list-style-type: none"> • Ureaformaldehydipolymeeri • Melamiiniformaldehydipolymeeri • Epikloorihydriini 	Tavallisesti myrkyllisiä bakteereille, jotkut käytetyistä yhdisteistä sisältävät AOX:a
Väriaineet	<ul style="list-style-type: none"> • Atsoyhdisteet • Kvaternaariset ammoniumyhdisteet 	Jotkut käytetyistä yhdisteistä ovat pysyviä ja myrkyllisiä sekä saattavat sisältää raskasmetalleja
Rasvan- ja vedenkestävyyttä parantavat yhdisteet	<ul style="list-style-type: none"> • PFAS 	Pysyviä ja biokertyviä
Biosidit ja limanpoistoaineet	<ul style="list-style-type: none"> • Organobromiyhdisteet • Kvaternaariset ammoniumyhdisteet • Vetyperoksidi 	Jotkut käytetyistä yhdisteistä sisältävät AOX:a ja ovat myrkyllisiä

Taulukko 8. Haitta-aineiden tavanomaisia pitoisuuksia siivouslietteessä ja yhdyskuntajätevesilietteessä.

Parametri	Yks.	Siivousliete	Yhdyskuntajätevesiliete
Cd	mg/kg ka	<0,10–1,54 ^{a)}	<0,10 ^{a)} ; 0,20–1,7, mediaani 0,55 ^{b)}
Hg	mg/kg ka	<0,10–0,89 ^{a)}	<0,10 ^{a)} ; 0,11–1,0, mediaani 0,32 ^{b)}
Cu	mg/kg ka	64–350 ^{a)}	40 ^{a)} ; 91–580, mediaani 220 ^{b)}
Zn	mg/kg ka	34–1 300 ^{a)}	250 ^{a)} ; 230–990, mediaani 360 ^{b)}
Pb	mg/kg ka	9,5–79 ^{a)}	30 ^{a)} ; 5,0–82, mediaani 15 ^{b)}
Ni	mg/kg ka	5,0–31 ^{a)}	10 ^{a)} ; 7,7–69, mediaani 16 ^{b)}
Cr	mg/kg ka	4,8–97 ^{a)}	10 ^{a)} ; 8,5–104, mediaani 27 ^{b)}
PCB	µg/kg ka	<LOQ–95 ^{a)}	5,0 ^{a)} ; 30–107 ^{c)}
Kloorifenolit	µg/kg ka	<LOQ–75 ^{a)}	120 ^{a)}
Haittava kiintoaine	% kiintoaineesta	LOQ–64 ^{a)}	48 ^{a)}

a) Suhr ym. 2015

b) YLVA, V. 2004–2021 raportoidut pitoisuudet. Esitetty vaihteluväli kuvaa 90 % raportoiduista tuloksista.

c) Mehtonen ym. 2012

Siistauslietteessä esiintyvät raskasmetallien pitoisuudet ovat sinkkiä lukuun ottamatta suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteissä tavanomaisesti havaittujen pitoisuuksien vaihteluvälin rajoissa. Tosin yhdyskuntajätevesilietteissä esiintyvät mediaanipitoisuudet useimmille metalleille ovat Suhrin ym. (2015) ilmoittamien siistauslietteen raskasmetallipitoisuuksien vaihteluvälin alapäässä. Suhrin ym. (2015) ilmoittamien pitoisuuksien nojalla on perusteltua olettaa, että siistauslietteiden Cd- ja Cu-pitoisuudet voivat ylittää Lannoitevalmisteasetuksessa muutamille PFC:lle asetetut raja-arvot (ks. Liite 1). Jos pitoisuuksia puolestaan verrataan Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limitedin (2019) johtamiin mädätteiden ja kompostien maatalouskäytön viitearvoihin, huomataan että Hg:lle esitetty viitearvo (0,2 mg/kg ka) ylittyy.

Siistauslietteeseen voidaan olettaa liittyvän yhdyskuntajätevesilietteitä suurempia raskasmetallien aiheuttamia riskejä. Koska siistauslietteen koostumus riippuu kierrätyspaperin laadusta, ei materiaaliin liittyviä haitta-aineita voida tunnistaa tyhjentävästi. Kierrätyspaperi voi sisältää paperin lisäaineita ja prosessikemikaaleja, mutta myös paperiin sen käytön ja kierrätyksen aikana tarttuneita kemikaaleja. Huygens ja Saveyn (2021) tuovat esille myös kierrätyspaperiin liittyvän ongelman: jos kierrätyspaperia tuodaan maahan EU:n ulkopuolelta, se voi sisältää EU:ssa rajoitettuja kemikaaleja kuten nonyyli-fenoleja ja ftalaatteja.

Pastaliete

Matilaisen ym. (2013) mukaan pastaliete sisältää paperin ja kartongin päällystämiseen käytettyjä täyte- ja päällysteaineita sekä kuitua. Täyteaineina käytetään mm. kaoliinia, talkkia ja kalsiumkarbonaattia. Lisäaineina voidaan käyttää myös mm. titaanidioksidia ja muovipigmenttejä (Mörsky 2015). Titaanidioksidia voidaan käyttää paperiteollisuudessa nanopartikkelimuodossa. Titaanidioksidinanopartikkelien on tunnistettu voivan aiheuttaa riski maaperä- ja vesiympäristöissä sekä kertyä kasveihin (Vijayaraj ym. 2018).

Pinnoitusaineina puolestaan voidaan Suhrin ym. (2015) mukaan käyttää mm. märkälujuutta parantavia yhdisteitä, pigmenttejä ja limanestoaineita. Limanestoaineet ovat biosideja, joita käytetään ehkäisemään ja torjumaan liman muodostumista prosesseissa. Biosidit, limanestoaineet mukaan lukien, on suunniteltu tappamaan eliöitä. EU-alueella on hyväksytty limantorjuntakäyttöön yhteensä viisi biosidia (ECHA 2022). Nämä yhdisteet on esitelty Taulukossa 9. Jos pastaliete muodostuu rasvan- tai vedenkestävän paperin valmistuksesta, materiaali voi sisältää lisäksi mm. PFAS-yhdisteitä. Nämä yhdisteet ovat ympäristössä hyvin pitkäikäisiä. Niiden kulkeutuvuus maaperässä riippuu mm. hiiliketjun pituudesta.

Taulukko 9. EU-alueella limantorjuntaan hyväksytyt yhdisteet.

Yhdiste	CAS-numero	Huomioita
Metyyli-isotiatsolinoni	2682-20-4	ECHA (2017) arvioi yhdisteen voivan aiheuttaa riskin maaperäympäristössä lietteen levityksen seurauksena. Yhdisteelle arvioitujen lyhyiden puoliintumisaikojen (0,15–0,51 vrk) perusteella maaperävai- kutusten ja pohjaveden pilaantumisen riskit arvioitiin kuitenkin epätodennäköisiksi.
Akroleiini	107-02-8	Akroleiinia käytetään ensisijaisesti öljyteollisuudessa, eikä ECHA:n (2009) riskitarkastelu kata käyttöä paperiteollisuudessa. ECHA (2009) ei katsonut akroleiinia päätyvän maaperään, eikä maaperäriskejä arvioitu.
Glutaraali	111-30-8	Glutaraalin on arvioitu voivan aiheuttaa riskin maaperälle ja pohjavedelle lietteiden hyödyntämisen seurauksena (ECHA 2014).
Metyylikloori-isotiatsolinonin ja metyyli-isotiatsolinonin seos	55965-84-9	ECHA (2015) arvioi pohjaveden pilaumisriskin vähäiseksi, koska yhdisteet eivät ole maaperässä pitkäikäisiä. Maaperään ei arvioitu kohdistuvaksi merkittäviä riskejä.
Peretikkahappo	79-21-0	Yhdiste arvioitiin ympäristössä nopeasti hajoavaksi (ECHA 2016), eikä sen arvioitu aiheuttavan merkittävää riskiä maaperässä.

Suomalaisten materiaalien laatu

Metsäteollisuuden lietteistä on Suomessa tutkittu erityisesti raskasmetallien pitoisuuksia. Kirjallisuudessa esitettyjä arvoja on esitetty Taulukossa 10. Kirjallisuudessa esitetty aineisto on monilta osin vanhaa, sijoittuen jopa 1990-luvulle. Kirjallisuudessa esitetyt pitoisuudet alittavat lannoitelainsäädännössä (MMM 24/11) ja Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut raja-arvot lähes aina. Satunnaisia kansallisten raja-arvojen ylityksiä Cd:n ja Ni:n pitoisuuksissa on raportoitu, ja yksittäisissä näytteissä Hg on ollut raja-arvon tasolla. Lisäksi Lindh ym. 2001 raportoivat tuhka-biolieterakeista nikkelpitoisuuksia, jotka ylittävät Lannoitevalmisteasetuksen mukaiset orgaanisille lannoitevalmisteille (PCF:t 1A, 1B, 3A) sovellettavat nikkeliarajat (50 mg/kg ka). Hg:n pitoisuus suomalaisissa materiaaleissa ylittää toisinaan Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limitedin (2019) johtaman viitearvon (0,2 mg/kg ka).

Lohinivan ym. (2001) ja Halmisen (1986) mukaan metsäteollisuuden lietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat yhdyskuntajätevesilietteitä alhaisemmat. Taulukossa 10 esitetyt pitoisuudet ovat kuitenkin samalla tasolla kuin yhdyskuntajätevesilietteistä 2000-luvulla havaitut (ks. Liite 3). Metsäteollisuuden lietteiden kadmiumpitoisuudet ovat jopa jokseenkin korkeammat kuin yhdyskuntajätevesilietteissä.

Muita haitallisia aineita suomalaisista metsäteollisuuden lietteistä on määritetty vain harvoin. Eräs suomalainen yritys on kartoittanut metsäteollisuuden lietteistä orgaanisia haitta-aineita perinteisten raskasmetallien lisäksi. Näissä kartoituksissa on tarkasteltu mm. PAH- ja PCDD/F-yhdisteiden esiintymistä materiaaleissa. Yrityksen tekemissä kartoituksissa PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet pääosin alle määritysrajan, muutamia yhdisteitä (bentso(a)antraseeni, fenantreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni ja naftaleeni) lukuun ottamatta. Kun tuloksista lasketaan PAH16-pitoisuus konservatiivisena upper bound-arvona, olettaen että määritysrajan alittaneet tulokset ovat määritysrajan tasolla, näytteiden PAH16-pitoisuus on suuruusluokaltaan 1 mg/kg ka. Pitoisuustaso alittaa EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa säädetyn raja-arvon 6 mg/kg ka sekä eri maissa yhdyskuntajätevesilietteilte sovelletut raja-arvot (ks. Taulukko 6).

Samassa aineistossa esitetyt PCDD/F-yhdisteiden upper bound pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin HSY:n (2021), Mehtosen ym. (2012) ja Nakarin ym. (2011) yhdyskuntajätevesilietteistä raportoidut pitoisuudet. Upper bound-pitoisuudet alittivat EU:n Lannoitevalmisteasetuksen CMC 13:lle ja 14:lle asettaman pitoisuusrajan (20 ng TEQ/kg) ja eri maissa yhdyskuntajätevesilietteilte säädetty laatu-kriteerit (20–100 ng TEQ/kg).

Saatavilla oleva suomalainen aineisto ei analysoitujen parametrien osalta osoita merkittäviä riskejä olemassa olevien raja-arvojen ylittymiselle. Aineistoa on kuitenkin saatavilla vain muutamista näytteistä ja harvoille parametreille. Materiaaleista on määritetty lannoitelainsäädännössä säädeltyjä raskasmetalleja, mutta muita parametreja vain harvoin. Esimerkiksi kirjallisuudessa esiin nousevien kvaternaaristen ammoniumyhdisteiden, PFAS-yhdisteiden, limanestoaineiden ja biosidien esiintymistä suomalaisissa metsäteollisuuden lietteissä ei tiettävästi ole kartoitettu.

Tunnistetut parametrit

Metsäteollisuuden prosesseissa käytetään kymmeniä mahdollisesti ympäristössä haitallisia yhdisteitä. Yhdisteitä, jotka tulisi ottaa huomioon materiaalin lannoitekäyttöä edistettäessä on esitelty Taulukossa 11. Kunkin laitoksen lietteissä esiintyvät haitalliset aineet riippuvat kuitenkin suuresti käytetyistä prosesseista ja raaka-aineista. Tästä syystä lietteissä mahdollisesti esiintyvät yhdisteet tulisi tunnistaa ja kartoittaa laitos- tai prosessikohtaisesti. Tämän kartoituksen avulla voitaisiin arvioida mitkä yhdisteistä esiintyvät laitoksen materiaaleissa huolta aiheuttavina pitoisuuksina.

Koska siistauslietteen sisältämiä haitallisia aineita ei voida tunnistaa tyhjentävästi, sen hyödyntäminen lannoitevalmisteiden syötteenä ei ole järkevää. Muita metsä- ja paperiteollisuuden lietteitä, kuten pasta- ja kuitulietettä hyödynnettäessä tulee huomioida käytettävä prosessi ja kemikaalit.

Taulukko 10. Metsäteollisuuden lietteistä määritettyjä raskasmetallipitoisuuksia. Lannoitelainsäädännössä asetetut raja-arvot ylittävät arvot on esitetty lihavoituina.

Metalli (mg/kg ka)	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Primääriliete a)	-	0,0–2,5	-	3,4–31	0,0–0,2	7,0–26,7	0,0–15,5	-
Bioliete a)	<5	0,5–4	9,3–60	17–65	-	7–40	5–13	90–510
Liete b)	<2	0,3	8	6,5		3	6,5	11,9
Bioliete c)	-	0,11	2,87	-	-	3,46	<10	61,4
Tuhka-bio- liete-rae c)	-	9,29–14,7	12–79,9	-	-	70,3–79,9	23,1–29,4	
Bioliete d)	-	0,6–0,9	16–22	25–43	0,6	6–11	0,3–4,3	-
Sellutehtaan sekaliete d)	-	-	38,4	22,9	0,09	-	13,5	-
Siistausliete d)	-	0,03–0,1	17–116	38–253	<1,0	10–231	1,2–5,5	-
Kuituliete e)	2,25	0,354	15	25,9	1	13	12,5	85,2
Ravinne- kuitu e)	1,44	0,445	26,8	13	0,11	16	2,97	241
Kuivusavi e)	<1,03	0,145	10,9	8,76	-	3,18	5,19	24,2
Primääriliete e)	2,23	0,16	36,7	168	-	16,4	7,19	133
Primääriliete f)	<5–8,8	0,12–0,61	<3–31	2,8–7	<0,07	<3–14	<2–2,4	<5,0–90
Sekaliete e)	7–10	<0,1– 5,7	<3,0–36	5,2–19	<0,07–0,08	<3,0	<2,0–8,5	18–350
Kuitusavi f)	<5,0–5,7	<0,1	<3,0–10	110–170	<0,07	<3,0–3,7	6,0–6,4	28–39
Sellutehtaan 1 sekaliete g)	0,72	1,9	10,48	19,93	-	7,21	7,71	305,61
Sellutehtaan 2 sekaliete g)	0,17	0,21	2,19	5,42	-	1,31	1,56	44,75
MMMa 24/2011	25	1,5	300	600	1	100	100	1 500
(EU) 2019/1009	40	1,5–2,0	400 ¹⁾	300–600	1	50–100	120	800–1 500

a) Ojanen 2001

b) Kuokkanen ym. 2008

c) Lindh ym. 2001

d) Lohiniva ym. 2001

e) Kapuinen ym. 2020

f) Matilainen ym. 2013

g) Huopana ym. 2014

1) Kromin kokonaispitoisuudelle asetettua raja-arvoa sovelletaan ainoastaan CMC 13 materiaaleja sisältäville lannoitevalmisteille. Heksavalentille kromille (Cr(VI)) sovelletaan raja-arvoa 2 mg/kg ka.

Taulukko 11. Metsäteollisuuden lietteissä esiintyviä haitallisia aineita, joiden esiintyminen ja riskit tulisi selvittää ennen materiaalin hyödyntämistä lannoitevalmisteiden raaka-aineena.

Yhdiste / yhdisteluokka	
Biosidit	PAH-yhdisteet
Kvaternaariset ammoniumyhdisteet	PFAS-yhdisteet
Limanestoaineet	Raskasmetallit
Organoklooriyhdisteet	Titaanidioksidi

4.3 Eläinperäiset sivuvirrat

Eläinperäisissä sivuvirroissa voi esiintyä ympäristöstä, eläinten ravinnosta, tai sivuvirran käsittelyketjusta peräisin olevia haitallisia aineita. Lantaketjulle erityisen tärkeä haitta-aineiden lähde on eläinten ravinto. Historiallisesti eri puolilla maailmaa eläinten ravintoon on lisätty erilaisia yhdisteitä tautien ennaltaehkäisemiseksi, ravinnon hyötysuhteen parantamiseksi ja kasvun nopeuttamiseksi. Tällaisia rehujen lisäaineita ovat mm. arseeniyhdisteet arsaniilihappo ja roksarsoni, jotka voivat päätyä eläinten jätösten mukana viljelymaahan. Kyseisiä yhdisteitä ei käytetä Suomessa, mutta sama kulkeutumisketju toteutuu monille muille haitallisille aineille, esim. lääkaineille. Eläinperäisten sivuvirtojen, erityisesti lannan epäpuhtauksia voivat aiheuttaa myös lietteen tai kuivalannan seassa olevat paalimuovit ja -verkot yms. sinne kuulumattomat esineet.

Kun tuotantoeläintä lääkitään, erittyä sen ulosteeseen ja virtsaan lääkettä, jotka voivat päätyä lannan mukana pelloille (Singer ym. 2016). Suomessa lääkittyjen eläinten lannat levitetään pääosin käsittelemättöminä kasviravinteiksi pelloille. Lypsykarjan lietelannasta mitatut antibioottipitoisuudet ovat verrattain matalia, sillä lietelantaan sekoittuvat pesuvedet sekä lääkitsemättömien eläinten lanta laimentavat pitoisuuksia (Aarnio ym. 2019). Peltovetyksen seurauksena luonnoneläimet, kasvit ja ihmiset voivat kuitenkin altistua lannan mukana mahdollisesti leviävälle antibioottijäämille ja resistenteille suolistobakteereille. Tiettyt lääkkeet hajoavat hitaasti maaperässä ja ovat haitallisia maaperän mikrobeille (Ylivainio ym. 2020, Vieno ym. 2018). Lääkkeitä voi päätyä myös muihin jakeisiin kuin eläinten lantaan. Esimerkiksi EU-alueella eläinlääkinnässä kiellettyjen nitrofuraaniantibioottien on havaittu voivan kertyä kananmunien kuoriin (McCracken & Kennedy 2007).

Tutkimuksissa on mm. todettu eläinten loislääkkeiden vähentävän laidunalueilla lantaa hajottavien eliöiden aktiivisuutta. Nautojen lääkitsemisen antibiooteilla ja muilla mikrobilääkkeillä on jopa todettu lisäävän lannan metaanipäästöjä (Hammer ym. 2016).

Eläimen omistajan tulee noudattaa tuotantoeläimelle annettavalle lääkkeelle määrättyjä varoaikoja mm. eläimen teurastamisen ja elintarvikkeena käytön osalta, mutta lannan käytölle ei kuitenkaan ole asetettu varoaikoja. Peltovetyksen kautta lääkkeitä voi myös päätyä elintarvikkeetjuun ja sellaisenaan syötäviin kasviksiin. Lannan prosessoinnilla voidaan mahdollisesti hajottaa lääkeyhdisteitä haittommampaan muotoon tai tuhota resistentejä bakteereja ennen lannan lannoitekäyttöä.

Skotlannissa on arvioitu, että suurimmat riskit ympäristölle aiheutuvat eläinlääkkeinä käytetyistä mikrobilääkkeistä ivermektinista ja tetrasykliinistä (SEPA 2014). Todennäköisimpiä lääkkeitä suomalaisissa lantatuotteissa ovat mikrobilääkkeet, joita vuonna 2020 käytettiin Suomessa eläinten hoitamiseen 8 900 kg (FINRES-Vet 2020). Eniten käytettiin penisilliini G-antibioottia (3 800 kg), seuraavaksi eniten tetrasykliinejä (1 800 kg) sekä sulfonamideja ja trimetopriimiä (1 600 kg). Hyvin kiintoainehaikuisiksi ja maaperässä pitkäikäisiksi tunnettuja fluorikinoloneja käytettiin Suomessa vuonna 2020 vain 70 kg.

Lantatuotteiden antibioottijäämiä Suomesta, Ruotsista ja Saksasta kerätyistä naudan-, sian- ja kananlantänäytteistä on tutkittu myös BONUS PROMISE -hankkeessa (Bloem & Lehmann 2016). Sianlanta sisälsi antibiootteja kanan- ja naudanlanta useammin. Sianlannasta löydettiin yleisimmin oksitetrasykliiniä (korkein pitoisuus 7 800 µg/kg ka). Oksitetrasykliini esiintyi myös naudanlantänäytteissä

tarkastelluista yhdisteistä korkeimpana pitoisuutena (korkein pitoisuus 1 100 µg/kg ka). Kananlannassa esiintyi eniten siprofloksasiinia, enrofloksasiinia ja tetrasykliiniä, joista korkeimpana pitoisuutena mitattiin enrofloksasiinia (8 600 µg/kg ka). Bloehmin ja Lehmannin (2016) raportoimat pitoisuudet ovat samalla tasolla tai korkeampia kuin Suomessa yhdyskuntalietteissä havaitut.

Eläinperäisissä lannoitevalmisteissa ja niiden raaka-aineissa on viime aikoina tunnustettu myös torjunta-ainejäämiä. Ruotsissa markkinoilla olevista lantatuotteista on havaittu pyralideihin lukeutuvia kasvinsuojeluaineita aminopyralidia ja klopyralidia. Kananlantavalmisteissa klopyralidin havaitut pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 12–100 µg/kg. Naudanlannassa on puolestaan havaittu sekä aminopyralidia (170 µg/kg) että klopyralidia (450 µg/kg) (FOR 2021). Hubbard ym. (2022) havaitsivat Yhdysvalloissa tekemässään elintarviketeollisuuden jätevesikartoituksessa maito- ja lihateollisuuden jätevesissä glyfosaatin muuntumistuotetta aminometyylifosfonihappoa (AMPA). Kirjoittajien mukaan tämä indikoi eläinten rehun sisältävän jäämiä glyfosaatista ja AMPAsta.

Suomalaisten materiaalien laatu

Suomalaisten lantaa syötteenä käyttäviä kierrätyslannoitteiden ja -maanparannusaineiden metalli- ja raskasmetallipitoisuuksia on esitetty Taulukossa 12. Näissä näytteissä lannoitelainsäädännön asettamat metalliraja-arvot alittuvat pääasiassa selkeästi. Nikkelin raja-arvo ylittyy yksittäisessä näytteessä.

Marttinen ym. (2014) tutkivat erilaisten orgaanisten haitta-aineiden (PCDD/F, PCB, PBDE, HBCDD, TBBPA, PAH, PFAS, DEHP, LAS ja AOX) esiintymistä biokaasulaitosten käsittelyjäännöksistä. Tutkittuja haitta-aineita löytyi niin yhdyskuntajätevesiliete- kuin biojäte- ja elintarviketeollisuuden sivutuote- ja lantapohjaisistakin lopputuotteista. Eläinten lannan osuus mädätteen syötteenä kuitenkin korreloi vahvasti mädätysjäännöksen tetrasykliinipitoisuuden kanssa.

Lannan lääkeainepitoisuuksia on kartoitettu Suomessa yksittäisissä hankkeissa (esim. Aarnio ym. 2019; Ruuskanen ym. 2016). Ruuskanen ym (2016) eivät havainneet tutkimiaan antibiootteja (bentsyyli-penisilliini, kloksasilliini, tetrasykliini ja tylosiini) tarkastelemiensa nauta- ja sikatilojen lannoisissa. Bloehmin ja Lehmannin (2016) tekemässä Ruotsin, Saksan ja Suomen kattaneessa kartoituksessa sianlannan korkeimmat oksitetrasykliinipitoisuudet (7 800 µg/kg ka) havaittiin Suomesta. Aarnio ym. (2019) puolestaan määrittivät fluorikinoloneihin lukeutuvan enrofloksasiinin ja sen muuntumistuotteena muodostuvan siprofloksasiinin sekä tetrasykliineihin lukeutuvan oksitetrasykliinin esiintymistä nautojen sonnassa ja virtsassa sekä näistä muodostuneessa liete- ja kuivikelannassa. Aarnion ym. (2019) mukaan lääkittyjen nautojen sonnassa ja virtsassa mikrobilääkkeiden pitoisuudet ovat hyvin korkeita. Nämä ai- neet voivat esiintyä korkeina pitoisuuksina kuivikelannassa. Kuivikelantanäytteissä havaittiin enimmäkseen 140 µg/kg tp. enrofloksasiinia ja siprofloksasiinia yhdisteiden summapitoisuutena. Oksitetrasykliinipitoisuudet vaihtelivat kuivikelannassa välillä 31–91 µg/kg tp. Lääkinnän aikana nautojen sonnasta havaittiin 300–13 000 µg/kg tp. ja virtsasta 1 300–130 000 µg/kg enrofloksasiinia ja siprofloksasiinia. Vastaavat arvot oksitetrasykliinille olivat 7 400–11 000 µg/kg tp. ja 610 000 µg/kg. Ek Henning ym. (2020) esittivät siprofloksasiinin haitattomaksi arvioiduksi pitoisuudeksi maaperäympäristössä (PNEC_{-maa}) 3,6 µg/kg ka.

Muurinen (2017) on tutkinut antibioottiresistenssigeenejä tuotantoeläinten tuoreessa ja talven yli varastoidussa lannassa sekä maaperässä lannanlevityksen jälkeen. Vaikka antibioottien käyttö tuotantoeläimillä on Suomessa vähäistä, löytyi tutkittujen karja- ja sikatilojen eläinten lannasta antibioottiresistenssigeenejä. Bakteerien antiresistenssigeenit myös rikastuivat lannan talvivarastoinnin aikana. Vastaavaa on havaittu myös Yhdysvalloissa tutkittaessa yhdyskuntajätevesilietteiden säilytystä. Antibioottiresistenssigeenit eivät olleet maaperään päädyttyään kovin pitkäikäisiä. Heti levityksen jälkeen maaperästä löytyi antibioottiresistenssigeenejä, mutta määrät laskivat jo 6 viikon jälkeen levityksestä.

Taulukko 12. Kierrätyslannoitteiden ja maanparannusaineiden sisältämiä metallipitoisuuksia.

Tuote	Raaka-aine(et)	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
		mg/kg ka							
Agra Organic 8-4-4 ^{a)}	lihaluujauho, kananlanta, vinanssi, natriumbooraksi			0,095		3,9			52,3
Agra Organic 8-4-8 ^{a)}	lihaluujauho, kananlanta, kaliumsulfaatti, verijauho, höyhenjauho, vinanssi, natriumbooraksi			0,095		3,9			52,3
Broilerhyvä ^{a)}	broilerin lanta ja lintujen kuivikkeena ollut turve, käsitelty kompostoimalla	5,26	0,07	0,17		79	2,1	6,7	470
Hankkijan Luomulannoite 4-1-3 ^{a)}	kananlanta, hygienisoitu lämpökäsitellyllä, lääkeainevapaa								405
Luomukymppi A, 2021 ^{b)}	erilliskerätty biojäte, kasvipohjaiset jätteet, kaupan entiset elintarvikkeet, teurasjäte (lk. 3) ja karjanlanta	<5,3	0,12	0,29	9,5	51	<2,1	12	180
Luomukymppi B, 2021 ^{b)}	erilliskerätty biojäte, kasvipohjaiset jätteet, kaupan entiset elintarvikkeet, teurasjäte (lk. 3) ja karjanlanta	<5,2	0,07	0,15	4,6	22	<2,1	3,6	71
Nurmikymppi A, 2020 ^{b)}	erilliskerätty biojäte, kasvipohjaiset jätteet, kaupan entiset elintarvikkeet, teurasjäte (lk. 3), karjanlanta, rasvalietteet ja puhdistamoliete (< 10 %)	<5,3	0,13	0,40	17	99	2,2	140	290
Peltokymppi A, 2021 ^{b)}	erilliskerätty biojäte, kasvipohjaiset jätteet, kaupan entiset elintarvikkeet, teurasjäte (lk. 3), karjanlanta, rasvalietteet ja puhdistamoliete	<5,3	0,18	0,62	19	140	2,5	23	430
MMMa 24/11		25	1,0	1,5	300	600	100	100	1 500
EU:n Lannoitevalmisteasetus		40	1,0	1,5–3		200–600	120	50–100	800

a) <https://kierratyslannoitteet.wordpress.com/lannoitetaulukko/>

b) BioKymppi 2021

Lääkejäämien lisäksi eläinperäisistä lannoitevalmisteista ja niiden raaka-aineista on Suomessa määritetty kasvinsuojeluaineita. Eräs yritys on määrittänyt markkinoilla olevista tuotteista sekä tuotantonsa raaka-aineista klopyralidia, diuronia ja glyfosaattia sekä sen muuntumistuotetta aminometyylifosfonihappoa (AMPA). Kotimaisista kanankakkavalvasteista havaitut klopyralidipitoisuudet ovat olleet suuruusluokkaa 50–200 µg/kg. Jäämiä on havaittu sekä broilerin että munituskanojen lannasta. Yrityksen tekemien selvitysten mukaan aineen pitoisuus broilerin lannassa vaihtelee suuresti tilojen välillä (<10–200 µg/kg). Klopyralidin jäämille ei ole asetettu raja-arvoja. Recycled Organics Unitin (2006) mukaan klopyralidin pitoisuustasot, joilla ei vielä havaita haitallisia vaikutuksia vaihtelevat kasvikohtaisesti suuresti, mutta ovat alimmillaan alle 1 µg/kg. AMPAa ja glyfosaattia havaittiin lähes kaikissa analysoiduissa broilerinlantapohjaisissa tuotteissa. Glyfosaatin pitoisuustasot olivat näytteissä suuruusluokaltaan 200–800 µg/kg ja AMPA:n 150 µg/kg. Diuronia lantapohjaisista tuotteista ei pääsääntöisesti havaittu.

Tunnistetut parametrit

Tärkeimpiä haitta-aineparametreja eläinperäisissä sivutuotteissa ovat eläinten lääkinnässä ja ravinnon lisäaineina käytetyt yhdisteet. Erityistä huomiota tulee kiinnittää antibioottijäämiin lannassa. Tuoreiden, Suomessa ja Ruotsissa tehtyjen havaintojen valossa eläinperäisten sivuvirtojen sisältämiä torjunta-ainejäämiä tulisi kartoittaa aiempaa kattavammin.

4.4 Elintarviketeollisuuden sivuvirrat

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat voidaan olettaa monilta osin kemiallisesti verrattain puhtaiksi. Moniin elintarviketeollisuuden sivuvirtoihin, kuten juuresmultaan liittyvät riskit ovat ensisijaisesti mikrobiologisia. Elintarviketeollisuuden sivuvirrat voivat kuitenkin sisältää mm. kasvinsuojeluaineita. Muun muassa Ruotsissa havaittiin vuonna 2020, että joidenkin luomulannoitteiden käyttö heikensi kasvien kasvua. Havainto yhdistettiin lopulta kasvinsuojeluaineina käytettyihin pyralideihin. Nilsson (2021) raportoi klopyralidia havaitun lähes kaikista analysoiduista lannoitenäytteistä, havaittujen pitoisuuksien vaihdella välillä 0,10–3,0 mg/kg. Yhtenä pyralidin lähteenä esitettiin luomulannoitteissa käytetty vinassi. Vinassia muodostuu mm. sokerijuurikkaan tuotannossa, jolloin sokerijuurikkaan kasvatuksessa käytetyt kasvinsuojeluaineet voivat siirtyä lannoitevalmisteseen.

Hubbardin ym. (2022) mukaan elintarviketeollisuuden jätevesien haitta-ainekoostumus poikkeaa yhdyskuntajätevesistä ja hulevesistä. He kartoittivat 576 orgaanisen haitta-aineen esiintymistä 23 yhdysvaltalaisen elintarviketeollisuuslaitoksen jätevesissä. Tarkastellut haitta-aineet oli jaettu yhdeksään ryhmään, mm. torjunta-aineisiin, VOC-yhdisteisiin ja lääkeaineisiin. Tarkastellut laitokset toimivat erilaisilla elintarviketeollisuuden aloilla, mm. vihannesten ja hedelmien prosessoinnissa ja lihantuotannossa. Tarkastelluista haitta-aineista 184 havaittiin vähintään yhdellä laitoksella. Korkeimpina ryhmäkohtaisina summapitoisuuksina Hubbardin ym. (2022) kartoituksessa esiintyivät VOC-yhdisteet (0,036–200 µg/l, keskiarvo 17 µg/l), PFAS-yhdisteet (0,0011–190 µg/l, keskiarvo 8,0 µg/l), torjunta-aineet (0,020–60 µg/l, keskiarvo 4,8 µg/l) ja lääkeaineet (0,0081–33 µg/l, keskiarvo 2,2 µg/l). Antibioottijäämiä havaittiin yleisimmin teurastamoiden jätevesissä. Korkein raportoitu PFAS-pitoisuus havaittiin soijapapujen ja öljykasvien jalostuslaitokselta otetussa näytteessä. Muissa näytteissä keskipitoisuus oli tasolla 0,027 µg/l. Tämä pitoisuus on samalla tasolla kuin Junttilan ym. (2021) kahdelta suomalaiselta jätevedenpuhdistamolta havaitsemat pitoisuudet (0,0033–0,10 µg/l, keskiarvo 0,035 µg/l). Kemiallisten parametrien lisäksi Hubbard ym. (2022) kartoittivat näytteistä antimikrobiresistenssiä. Resistenssiä havaittiin kaikkien laitostyyppien jätevesistä.

Sayed ym. (2021) kartoittivat torjunta-aineiden esiintymistä Belgiassa sijaitsevien perunoita ja muita vihanneksia käsittelevien laitosten jätevesissä. Näytteistä määritettiin 111 eri torjunta-ainetta, joista 45 havaittiin vähintään yhdessä näytteessä. Korkeimpina pitoisuuksina havaittiin terbutylatsiinia, klorprofaamia ja boskalidia. Näistä kahta ensimmäistä havaittiin jokaisessa perunoiden prosessoinnissa muodostuneessa jätevesinäytteessä. Terbutylatsiinin yhdeksi mahdolliseksi lähteeksi perunoiden prosessointiketjuun esitettiin viljelykierron muissa vaiheissa kasvatettujen kasvien (maissi) suojele. Kirjoittajat painottivat, että torjunta-ainejäämät voivat vaikeuttaa jätevesijakeiden kierrättämistä, minkä takia vesien laatua tulisi tarkkailla.

Hubbard ym. (2022) ja Sayed ym. (2021) tarkastelivat jätevesien koostumusta. Tällaiset tarkastelut eivät suoraan kerro mahdollisesti lannoitteina tai niiden raaka-aineina käytettävien sivuvirtojen ja jätteidensä laadusta. Tarkastelu kuitenkin todentaa, että havaittuja aineita voi esiintyä elintarviketeollisuudessa. Enemmän aineistoa tarvittaisiin siitä, esiintyykö näitä aineita ravinnerikkaissa, lannoitteina tai niiden raaka-aineina käytettävissä jakeissa.

Suomalaisten materiaalien laatu

Elintarviketeollisuuden sivuvirroista ei tiettävästi ole tehty laajoja haitta-ainekartoituksia Suomessa. Eräs suomalainen toimija on kuitenkin määrittänyt kotimaisista biojätteistä mm. PAH-, PCB-, PCDD/F- ja PFAS-yhdisteitä sekä raskasmetalleja. Raskasmetallien pitoisuudet alittivat voimassa olevan lannoitelainsäädännön (MMM 24/2011) asettamat raja-arvot selvästi. Muista tarkastelluista yhdisteistä havaittiin ainoastaan kolme PCDD/F-yhdistettä. Ryhmän summapitoisuus oli 9,7 ng TEQ/kg, kun se laskettiin konservatiivisesti upper bound-arvona, olettaen määritysrajan alittaneiden yhdisteiden pitoisuuden olevan määritysrajan tasolla. EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa CMC 13 ja 14 asetettu raja-arvo (20 ng TEQ/kg) alittui selkeästi. Tulosten mukaan biojätteet täyttävät lannoitteille sovellettavat laatuksiteerit analysoitujen parametrien osalta. Kartoituksen näytemäärä oli kuitenkin äärimmäisen alhainen ja lisää aineistoa tarvittaisiin edustavan laadun arvioimiseksi.

Joistakin Suomessa markkinoilla olevista vinassia sisältävistä lannoitevalmisteista on havaittu kloporyalidin jäämiä. Näiden pitoisuudet ovat olleet alle 5 µg/kg. Melassileikkeistä on puolestaan havaittu näihin nähden n. satakertaisia pitoisuuksia kloporyalidia. Suomessa havaitut kloporyalidin pitoisuudet ovat Nilssonin (2021) Ruotsissa raportoiman pitoisuusvälin (100–3 000 µg/kg) alapäässä. Melassi ja vinassi sisältävät EU:n Lannoitevalmisteasetuksen piiriin. Asetuksessa ei säädetä raja-arvoja kloporyalidin tai muiden kasvinsuojeluaineiden pitoisuuksille. Recycled Organics Unitin (2006) mukaan kloporyalidille herkät kasvit voivat kärsiä jo alle 1 µg/kg pitoisuudessa. Tuon viitearvon ylittyminen on sekä suomalaisen että ruotsalaisen (Nilsson 2021) aineiston mukaan tavallista. Aineistoa on kuitenkin vain yksittäisistä näytteistä muutamista valmisteista. Kasvinsuojeluainejäämien edustavan tason arvioimiseksi tarvittaisiin nykyistä enemmän aineistoa.

Tunnistetut parametrit

Kirjallisuudessa nousee esiin erityisesti torjunta-aine- ja lääkeainejäämien esiintyminen elintarviketeollisuuden sivuvirroissa. Näitä aineita voi esiintyä erityisesti elintarviketeollisuuden jätevesiperäisissä jakeissa. Hubbardin ym. (2022) kartoituksen mukaan näissä jakeissa voi esiintyä myös PFAS-yhdisteitä, jotka ovat ympäristöön päätyessään hyvin pitkäikäisiä ja mahdollisesti kertyviä. Jos kasvintuotannossa käytetään torjunta-aineita, voidaan myös juuresmullan olettaa sisältävän näiden jäämiä.

4.5 Ruoppausmassat

Ruoppausmassat voivat sisältää sekä luontaisesti esiintyviä että ihmistoiminnasta vapautuvia haitallisia aineita. Sedimenttiin voi varastoitua pitkän ajan kuluessa päästettyjä haitta-aineita, jolloin haitallisten aineiden esiintyminen sedimenteissä voi heijastaa historiallisia päästöjä. Vaikka jonkun aineen käyttö olisi lakannut ja sen pitoisuus olisi sedimentin pintakerroksessa lähellä luonnontilaista, pitoisuudet syvemmissä sedimenttikerrostumissa voivat olla huomattavasti korkeampia.

Muun muassa Logemann ym. (2022) ovat havainneet useiden haitallisten aineiden (mm. PAH-, PCB-, PBDE- ja PFAS-yhdisteet) pitoisuuksien olevan tuoreissa sedimenttikerroksissa aikaisempaa alhaisempia. Logemannin ym. Skagerrakin alueella tekemässä kartoituksessa 11 PAH-yhdisteen summapitoisuus oli korkeimmillaan 1,8 mg/kg ka. PCB7:n pitoisuus puolestaan oli enimmillään 3,6 µg/kg ka. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet olivat enimmillään n. 0,64 µg/kg ka, kun korkeimpana pitoisuutena havaitun PFOS:a havaittiin enimmillään 0,25 µg/kg ka. Nämä pitoisuustasot alittavat Lannoitevalmisteasetuksessa (ks. Liite 1) ja kansallisissa lainsäädännöissä sovelletut raja-arvot (ks. Taulukko 6). PAH- ja PCB-yhdisteiden korkeimmat pitoisuudet havaittiin n. 20–30 cm syvyydessä, kun PFAS-yhdisteiden pitoisuushuippu oli vain n. 5 cm syvyydessä.

Jos ruoppausmassa on peräisin alueelta, joka ei ole altistunut ihmisperäiselle kemikaalikuormitukselle, voidaan massan olettaa sisältävän ensisijaisesti vain luontaisesti esiintyviä haitta-aineita. HELCOMin (2021b) mukaan vuonna 2020 Itämeren alueella meriläjitetystä ruoppausmassoista 44 % syntyi

ylläpitoruoppauksista. Tällaiset massat ovat peräisin mm. satama-alueilta ja laivaväyliltä ja sisältävät todennäköisesti ihmistoiminnasta peräisin olevia haitallisia aineita. Ihmisperäisten haitallisten aineiden esiintymiseen vaikuttaa mm. aineen käyttökohde, -tapa ja -määrä. Haitallisten aineiden päästölähteitä sedimentteihin ovat tyypillisesti olleet mm. teollisuus, satamat, telakat ja jätevedenpuhdistamot (Jaakkonen 2011). Toisaalta Yhdysvalloissa sedimenttien sisältämien haitallisten aineiden lähteiksi on tunnistettu myös hulevedet ja lumen läjitys (USACE 1987).

Ihmisperäisten aineiden lisäksi sedimenteissä voi esiintyä haitallisia aineita myös luontaisesti. Raskasmetalleja esiintyy sedimenteissä luontaisesti alhaisina pitoisuuksina, mutta niitä on voinut vapautua sedimentteihin myös ihmistoiminnan seurauksena. Toisaalta sedimenteissä voi esiintyä sulfidisavikerrostumia. Näissä esiintyy korkeita pitoisuuksia rikkiä ja metalliyhdisteitä. Sulfidisavisedimenttien joutuessa kosketukseen ilmakehän hapen kanssa sulfidi hapettuu sulfaatiksi. Hapan sulfaatti muodostaa maaperässä happamia suotovesiä ja vapauttaa maaperästä metalleja.

Ruoppausmassojen meriläjityskelpoisuuden arvioimiseksi massoista on ohjeistettu Itämeren alueella määritettäviksi raskasmetalleja (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn ja As), PCB7, PAH16 ja tributyylitina (HELCOM 2015). HELCOMin ohjeistuksen mukaan kuormitushistorian perusteella tulee myös määrittää mm. organokloori- ja organofosfaattipestisidejä, PCDD/F-yhdisteitä, ftalaatteja ja öljyhiilivetyjä. Myös Yhdysvalloissa on ruoppausmassojen tunnistettu voivan sisältää öljyhiilivetyjä. Lisäksi merialueilta peräisin olevan ruoppausmassan suolapitoisuuden on havaittu voivan haitata kasvien kasvua (USACE 1987). Ek Henningin ym. (2020) havaintojen mukaan sedimenteissä voi esiintyä lääkeaineita. Tällaisia, yhdyskuntajätevesistä peräisin olevia haitta-aineita voidaan kuitenkin perustellusti olettaa esiintyvän vain alueilla, jotka vastaanottavat käsiteltyjä jätevesiä.

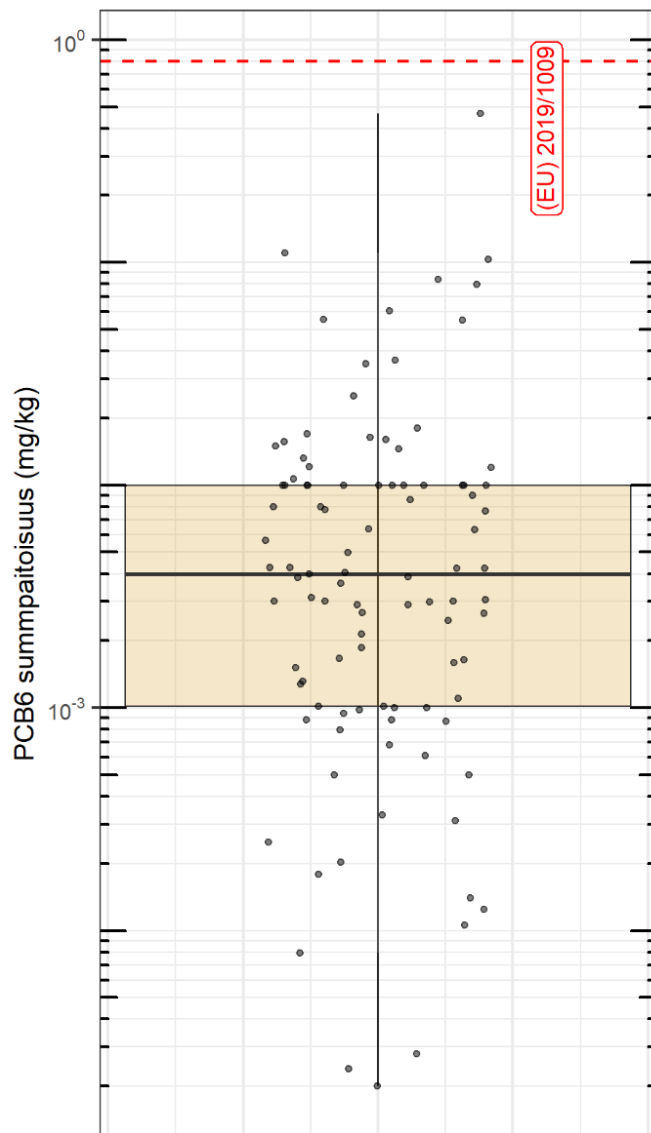
Suomalaisten materiaalien laatu

Suomessa on määritetty haitallisten aineiden pitoisuuksia ruoppausmassoissa ja sedimenteissä erityisesti ruopattujen massojen läjityskelpoisuuden arvioimiseksi, mutta myös tutkimushankkeissa ja osana velvoitetarkkailua. Muun muassa Vallius (2014) on kartoittanut raskasmetallien esiintymistä Itämeren sedimenteissä. Kun Valliuksen (2014) raportoimia Itämeren sedimenttien raskasmetallipitoisuuksia vertaa EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa asetettuihin raja-arvoihin, näyttävät ylitykset todennäköisimmiltä kadmiumille ja arseenille. Sedimenttien Cd-pitoisuus oli Valliuksen kartoituksessa enimmillään n. 6 mg/kg ka ja As:n pitoisuus oli n. 100 mg/kg ka. Kadmiumille Lannoitevalmisteasetuksessa asetettu raja-arvo (1,5 mg/kg ka) voi Valliuksen (2014) tulosten mukaan ylittyä moninkertaisesti, erityisesti keskisen ja itäisen Suomenlahden sedimenteissä. Suomenlahden läntisemmissä osissa ja Pohjanlahdella ylitykset ovat puolestaan harvinaisempia. Valliuksen (2014) tulosten perusteella Pohjanlahden sedimenteissä puolestaan arseenin pitoisuusrajan (40 mg/kg ka) voidaan olettaa ylittyvän yleisesti. Toisaalta itäisen Suomenlahden sedimenteissä Hg-pitoisuus on Valliuksen mukaan enimmillään n. 0,5 mg/kg ka. Tämä alittaa Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut raja-arvot, mutta ylittää Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limitedin (2019) johtaman viitearvon 0,2 mg/kg ka. Joensuun ym. (2014) ja Ajosenpään (2014) selvityksissä havaitut sedimenttien raskasmetallipitoisuudet alittivat kansallisessa lannoitelainsäädännössä (MMM 24/2011) ja Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut pitoisuusrajat selkeästi.

Raskasmetallien lisäksi ruoppausmassoista on määritetty orgaanisia haitallisia aineita. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä kertymärekisteri (KERTY) sisältää tietoja sedimenttien haitallisista aineista sedimenteissä. KERTY-rekisterin tiedoissa painottuvat kohteet, joihin kohdistuu erityistä kuormitusta. Aineisto on valtaosin lähtöisin velvoitetarkkailuista, joiden tuottamassa aineistossa korostuvat näytepaikat, joilta tarkasteltavia aineita oletetaan löytyvän. Tästä syystä KERTY-aineiston pitoisuustasojen voidaan olettaa olevan korkeampia kuin edustavat, ympäristössä laajasti vallitsevat pitoisuustasot. Jos jollekin parametrille asetettu raja-arvo alittuu KERTY-aineistossa, voidaan sen lähtökohtaisesti olettaa alittuvan myös vähemmän kuormitetuilta alueilta ruopattavissa massoissa.

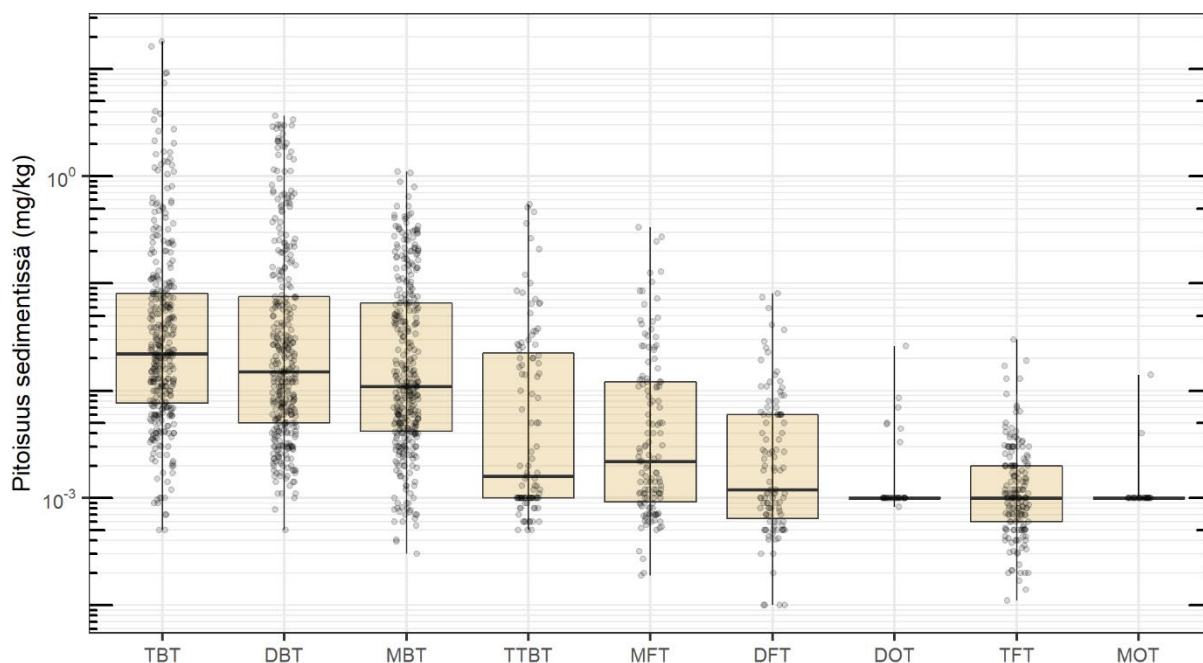
KERTY-aineiston PCB-pitoisuudet alittavat aina EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa PCB6:lle asetetut raja-arvot (0,8 mg/kg) (ks. Kuva 2). Jos pitoisuuksia verrataan eri maissa jätevesilietteil-

kansallisesti asetettuihin raja-arvoihin, voidaan huomata, että nekin alittuvat lähes aina. Tiukin näistä raja-arvoista on Luxemburgissa, missä yhdyskuntajätevesilietelle sovelletaan raja-arvoa 0,2 mg/kg (ks. Taulukko 6). KERTY-aineistossa sedimentin PCB6-pitoisuus ylittää tämän rajan yhdessä näytteessä.



Kuva 2. PCB6 summapitoisuudet suomalaisissa sedimenteissä. Määrittämissä tuloksissa on käsitelty nollina. (Aineiston lähde: KERTY-rekisteri)

Ruoppausmassoissa esiintyy yleisesti myös organotinoja. Organotinojen pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä on esitetty Kuvassa 3. Näiden yhdisteiden pitoisuuksille lannoitevalmisteissa tai niiden syötteissä ei ole asetettu kansallisia tai kansainvälisiä kriteerejä. Hollannissa on kuitenkin johdettu viitearvoja kolmelle organotinayhdisteelle maaperän ja pohjaveden suojelemiseksi (van Herwijnen 2012). Yhdisteille esitetyt, maaperäeliöiden suojelemiseksi johdetut viitearvot on esitetty Taulukossa 13. Tributyyliini (TBT) on KERTY-aineiston perusteella korkeimpina pitoisuuksina suomalaisissa sedimenteissä esiintyvä organotina. Yhdisteen pitoisuus ylittää Hollannissa ehdotetun raja-arvon noin kolmanneksessa (34 %) näytteistä. Jos suomalaisia ruoppausmassoja hyödynnettäisiin lannoitevalmisteina tai niiden raaka-aineina, tulisi seurantavelvoitteen ja raja-arvon asettamista TBT:lle tarkastella.



Kuva 3. Organotinojen pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä. Määrittärajän alittaneet tulokset on käsitelty nollina. Yhdisteiden lyhenteet on esitetty sivulla 74. (Aineiston lähde: KERTY-rekisteri)

Taulukko 13. Organotinoille johdettuja maaperäeliöiden suojelun viitearvoja.

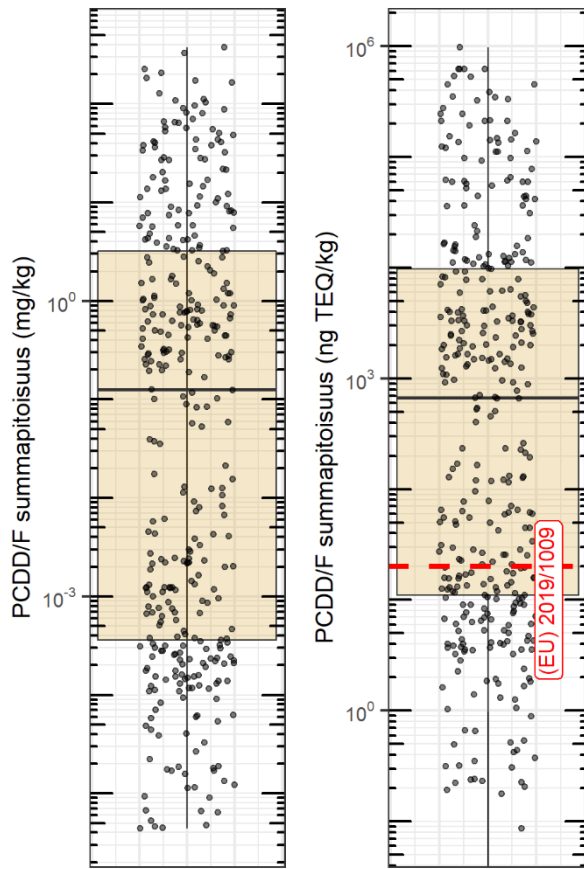
Yhdiste	Viitearvo ^{a)}	Tavanomaiset pitoisuudet Suomessa ^{b)}
		mg/kg
DBT	28	0,0018–1,9, mediaani: 0,015
TBT	0,052	0,0021–1,33, mediaani: 0,022
TFT	0,24	0,00023–0,0064, mediaani: 0,0010

a) van Herwijnen 2012

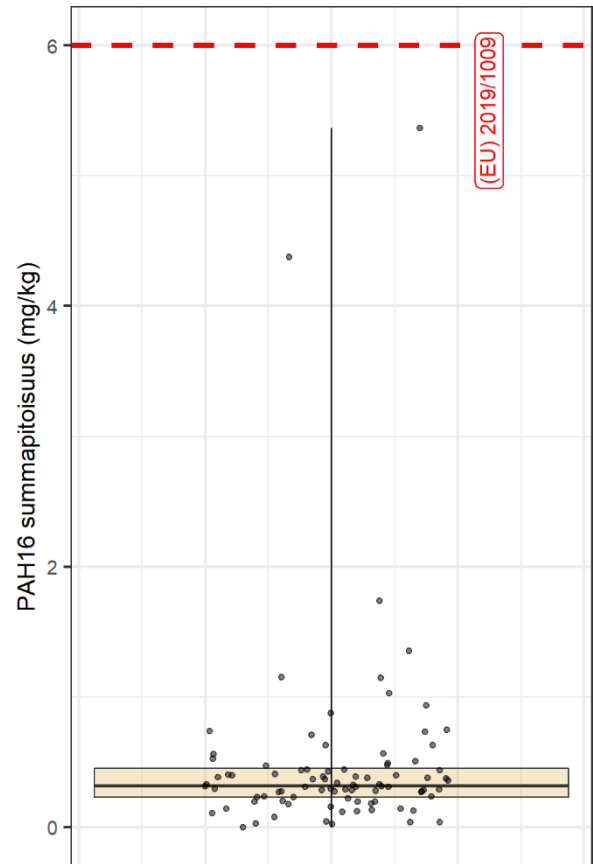
b) KERTY-rekisteri. Esitetty vaihteluväli kuvaa 90 % raportoiduista arvoista.

PCDD/F-yhdisteiden pitoisuudet suomalaisissa sedimenteissä sijoittuvat KERTY-rekisterin tietojen mukaan valtaosin (90 % näytteistä) välille 0,50–210 000 ng TEQ/kg (mediaani 670 ng TEQ/kg). EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa CMC:lle 13 ja 14, sekä Belgiassa ja Luxemburgissa yhdyskuntajätevesilietteilte sovellettu raja-arvo 20 ng TEQ/kg ylittyy 67 %:ssa näytteistä. PCDD/F-yhdisteiden pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä on esitetty Kuvassa 4. Jos sedimenttien lannoitekäyttöä pyritään lisäämään, tulee niiden PCDD/F-pitoisuudelle asettaa seurantavelvoite ja raja-arvo.

Sedimenttien keskimääräinen PAH16-pitoisuus KERTY-rekisterin aineistossa on 0,49 mg/kg. Kor-kein rekisteröity pitoisuus on ollut 5,4 mg/kg. PAH16-pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä on esitetty Kuvassa 5. Kaikissa KERTY-rekisterin näytteissä, joissa on määritetty kaikki PAH16:n komponentit, Lannoitevalmisteasetuksessa säädetty raja-arvo (6 mg/kg ka) alittuu. Ruotsissa ja Tanskassa kansallisesti sovellettu raja-arvo (3 mg/kg ka) ylittyy kahdessa näytteessä (n. 2,2 % aineistosta). Bentso(a)pyreenin keskipitoisuus aineistossa on 0,072 mg/kg. Enimmillään pitoisuus on ollut 0,89 mg/kg. Raportoidut pitoisuudet alittavat Saksassa ja Ranskassa kansallisesti yhdyskuntajätevesilietteilte sovelletut raja-arvot (1 mg/kg ka ja 2 mg/kg ka). Fluoranteenin ja bentso(b)fuoranteenin pitoisuudet ovat olleet keskimäärin 0,12 ja 0,14 mg/kg, ja enimmillään 0,94 ja 1,2 mg/kg. Molemmat yhdisteet alittavat niille Ranskassa sovellettavat raja-arvot (5 mg/kg ka ja 2,5 mg/kg ka).



Kuva 4. PCDD/F-yhdisteiden pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä. Määritysrajan alittaneet tulokset on käsitelty nolliina. (Aineiston lähde: KERTY-rekisteri)



Kuva 5. PAH16-pitoisuuksia suomalaisissa sedimenteissä. Määritysrajan alittaneet tulokset on käsitelty nolliina. (Aineiston lähde: KERTY-rekisteri)

Sedimenteistä määritettyjen PFAS-yhdisteiden pitoisuudet alittavat Saksassa yhdyskuntajätevesilietteille sovelletun raja-arvon 100 µg/kg ka selkeästi. Saksassa PFAS-raja-arvoa sovelletaan kahdelle yhdisteelle: PFOS:lle ja PFOA:lle. Näiden yhdisteiden summapitoisuudet KERTY-rekisterin aineistossa ovat vaihdelleet välillä 0,020–12 µg/kg (keskiarvo 0,97 µg/kg). Raunion (2022) mukaan 18 PFAS-yhdisteen summapitoisuudet Ahvenkoskenlahden sedimenteissä vaihtelivat välillä 1,6–5,3 µg/kg.

Haitallisten aineiden pitoisuudet sedimenteissä heijastavat niiden päästöjä ympäristöön ja pysyvyyttä. Pitkäikäiset aineet, joiden päästöt ovat vähentyneet viime vuosina voivat esiintyä sedimenteissä korkeampina pitoisuuksina syvemmissä kerroksissa, kun viime aikoina päästettyjen yhdisteiden pitoisuudet ovat pääsääntöisesti korkeimmat sedimentin pintakerroksessa. Muun muassa Raunio (2022) havaitsi PAH-yhdisteiden pitoisuuksien kasvavan Ahvenkoskenlahden sedimenteissä syvempiin kerroksiin mentäessä. PFAS-yhdisteille havainto oli päinvastainen.

Ruoppausmassojen haitta-ainepitoisuudet voivat vaihdella alueellisesti huomattavasti. Jaakkonen (2011) tunnisti alue- ja toimialakohtaisesti sisämaan sedimenteissä esiintyviä haitallisia aineita. Yleisimmin havaittuihin haitta-aineisiin lukeutui rakasmetallien lisäksi PAH- ja PCB-yhdisteet, öljyhiilivedyt sekä organotina- ja organoklooriyhdisteet. Siinä missä rannikkovesien organotinat yhdistetään yleisesti alusten pohjamaalien antifouling-maaleihin, sisävesissä organotinoinen esiintymistä on selitetty yhdisteiden käytöllä esim. paperiteollisuudessa (Jaakkonen 2011). Jaakkosen tunnistamia parametreja mahdollisesti pilaantuneissa sedimenteissä on esitelty vesienhoitoalueittain Taulukossa 14.

Taulukko 14. Sisävesien sedimenteistä tunnistettuja haitallisia aineita. Muokattu lähteestä Jaakkonen 2011.

Vesienhoitoalue	Alue	As	Cr	DDT	Hg	Kloorifenolit	Liimat	Organoklooriyhdisteet	Organotinat	Pb	PCB	PCDD/F	PFAS	Raskasmetallit	Suoja-aineet	TBT	Zn	Öljyt
Vuoksen VHA	Etelä-Saimaa, Riutanselkä ja Päihäniemenselkä				x			x								x		
	Etelä-Saimaa, Kolarinlahti		x		x													
	Huruslahti ja Haukivesi				x						x					x		
	Hiitolanjoki				x													
	Juojärven reitti ja Kallaveden-Sorsaveden alue	x												x				
	Viinijärven-Höytiäisen alue ja Pielisen reitti	x												x				
	Pielisen Pyhäselkä					x		x										
Outokummun Sysmäjärvi	x												x					
Kymijoen-Suomenlahden VHA	Kymijoki				x	x		x	x		x	x						
	Päijänne (Pohjois-Päijänne, keskinen Päijänne, Jämsänjoki)				x			x	x		x							
	Jyväsjärvi				x		x	x	x		x			x				x
	Lohjanjärvi				x		x	x	x						x			
	Vihtajärvi				x					x				x				
	Orijärvi ja Määrjärvi													x				
Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren VHA	Tampereen Pyhäjärvi	x			x			x	x		x		x	x				x
	Näsijärvi		x					x			x			x				
	Kokemäenjoki				x									x				
	Vanajavesi				x			x	x		x						x	
	Mäntän alapuolinen vesistö			x	x			x	x		x							
	Kernaalanjärvi										x							
Oulujoen-Iljoen VHA	Kajaaninjoki - Oulujärvi				x			x	x		x							
	Pyhäjärvi													x				
	Kalajoki													x				
	Nuasjärvi													x				
Kemijoen VHA	Kemijärvi				x			x	x									
	Kemijoki																	
	Hepolahti													x				
	Seurujoki													x				

Tunnistetut parametrit

Ruoppausmassojen haitta-ainekoostumus riippuu suuresti ruopatun alueen käyttö- ja kuormitushistoriasta. Ruoppausmassoissa voi kuitenkin esiintyä myös ihmistoiminnasta riippumattomia haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja ja sulfidisavia. Joidenkin metallien, erityisesti Cd:n ja As:n pitoisuudet sedimenteissä voivat ylittää Lannoitevalmisteasetuksen raja-arvot. Sulfidisavien esiintyminen massassa puolestaan laskee maaperän pH:ta, johtaen haitallisten metallien vapautumiseen. Merisedimenttien tapauksessa myös massan suolapitoisuus täytyy huomioida (esim. Burt 1996).

Jos sedimentti on lähtöisin alueelta, joka on ihmistoiminnan välittömässä vaikutuspiirissä, tulisi materiaalista määrittää sedimenteissä yleisesti esiintyvien haitallisten aineiden, kuten PCB- ja PCDD/F-yhdisteiden sekä organotinojen pitoisuudet. Lisäksi ruoppauskohteen käyttö- ja kuormitushistorian perusteella on aiheellista pyrkiä tunnistamaan muita materiaalin mahdollisesti sisältämiä haitallisia aineita.

Koska ruoppausmassoissa tiedetään esiintyvän jätevedenpuhdistamoiden läpi kulkeutuvia ja teollisuudesta ja satama- ja telakkatoiminnasta peräisin olevia haitallisia aineita, tulisi ruoppausmassojen lannoitekäyttöä tarkastella ensisijaisesti sellaisten massojen osalta, jotka ovat peräisin tällaisten toimintojen vaikutuspiirin ulkopuolelta. Muuttujia, joiden esiintyminen materiaalissa olisi aiheellista selvittää ennen käyttöä lannoitevalmisteina on listattu taulukossa 15.

Taulukko 15. Ruoppausmassoissa esiintyviä haitallisia aineita, joiden esiintyminen ja riskit tulisi selvittää ennen materiaalin hyödyntämistä lannoitevalmisteiden raaka-aineena.

Yhdiste / yhdisteluokka	
Organotinat	Raskasmetallit
PAH-yhdisteet	Öljyhiilivedyt
PCB-yhdisteet	Ruopatun alueen kuormitustietojen perusteella
PCDD/F-yhdisteet	tunnistettavat muut aineet

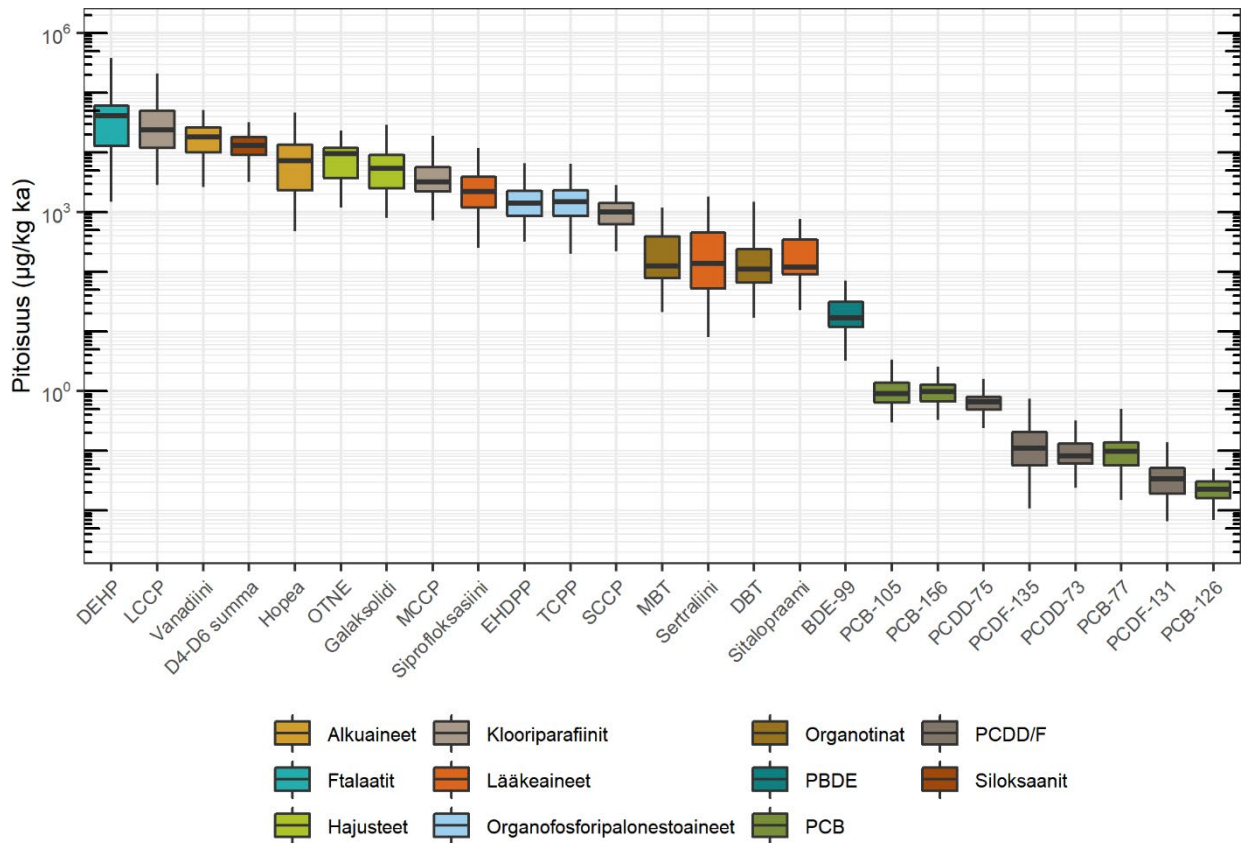
4.6 Yhdyskuntajätevesilietteet

Yhdyskuntajätevesilietteistä tehdyissä kartoituksissa on keskitytty useimmiten itse lietteen koostumuksen tarkasteluun. Siitä valmistettujen lannoitteiden koostumusta on tutkittu huomattavasti harvemmin.

Yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämiä haitallisia aineita on säädelty eri maissa muita jäteperäisiä lannoiteraaka-aineita kattavammin (ks. Taulukot 5 ja 6). Yleisesti säädeltyjen haitallisten metallien lisäksi yhdyskuntajätevesilietteeseen tiedetään pidättyvän monia muitakin epäorgaanisia ja orgaanisia haitallisia aineita. Muun muassa organoklooriyhdisteiden, PAH-yhdisteiden ja ftalaattien pitoisuuksia suositeltiin seurattavaksi Suomessakin jo 1990-luvun alussa (Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosasto ym. 1991). Näiden lisäksi mm. Aalto (1992) tunnisti yhdyskuntajätevesilietteissä maaperään mahdollisesti päätyviksi aineiksi mm. nonyylifenolit ja niiden etoksylaattit sekä organotinayhdisteet. Huomionarvoisiksi tunnistettujen yhdisteiden lista on viime vuosina kasvanut mm. PFAS-yhdisteillä, bromatuilla palonestoaineilla sekä lääkeaineilla (esim. Vieno ym. 2018; Ylivainio ym. 2020).

Yhdyskuntajätevesilietteeseen pidättyy enimmäkseen kiintoaineeseen hakeutuvia yhdisteitä, mutta lietteissä havaitaan yleisesti myös vesiliukoisia yhdisteitä. Lietteeseen pidättyvät haitalliset aineet päätyvät jätevesiin puhdistamon viemäriverkostoon liittyneistä toiminnoista kuten kotitalouksista, teollisuudesta ja mahdollisesti hulevesistä. Yhdyskuntajätevesilietteen sisältämien yhdisteiden lähteiden ja käytötarkoitusten laajan kirjon takia yhdisteiden kattava tunnistaminen on vaikeaa.

Yhdyskuntajätevesilietteiden haitallisia aineita on kartoitettu pitkään ja kattavasti Ruotsissa, missä lietteistä on havaittu yleisesti mm. hajusteissa käytettyjä synteettisiä mysejä (OTNE ja galaksolidi), organofosforipalonestoaineita (TCPP ja EHDPP) sekä siloksaaneja (D4, D5, D6). Ruotsissa vuosina 1997–2014 toteutettujen kartoitusten tuloksia on esitetty Kuvassa 6. Kirjallisuudessa on nostettu huomionarvoisten kemiallisten parametrien listalle myös nanopartikkelit, kuten nanohopea (esim. Fijalkowski ym. 2017).



Kuva 6. Yhdyskuntajätevesilietteistä Ruotsissa v. 1997–2014 havaittuja yhdisteitä ja niiden pitoisuustasoja. Lyhenteet on esitetty sivulla 74. (Aineiston lähde: IVL & Naturvårdsverket 2019)

Yhdyskuntajätevesilietteiden käytölle maataloudessa ja viherrakentamisessa on tehty riskitarkasteluja mm. Suomessa (Äystö 2014; Vieno ym. 2018; Ylivainio ym. 2020), Kanadassa (McCarthy ym. 2015) ja Norjassa (Eriksen ym. 2009). Yhdyskuntajätevesilietteen käytön aiheuttamien riskien arvioinnille ei ole yhtenäisiä vakiintuneita menetelmiä. Monissa riskitarkasteluissa (mm. Eriksen ym. 2009; Vieno ym. 2018; Ylivainio ym. 2020) tarkastelua on kuitenkin tehty EU:ssa kasvinsuojeluaineille käytettyjä laskennallisia menetelmiä soveltaen. Näiden tarkastelujen pohjalta riskiä aiheuttaviksi tunnistettuja yhdisteitä on esitetty Taulukossa 16. Riskitarkastelujen heikkoudeksi on luettava mm. se, että ne keskittyvät aina vain verrattain hyvin tunnettuihin yhdisteisiin, jolloin tarkastelusta karsiutuu pois ne yhdisteet, joille tarvittavia lähtötietoja ei ole vielä saatavilla. Toisaalta perinteinen riskinarviointitekniikka, jossa tietyssä ympäristönosassa arvioitua pitoisuutta verrataan johonkin vertailutasoon, on myös todettu riittämättömäksi hyvin pitkäikäisille ja ympäristössä kulkeutuville yhdisteille (esim. Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited 2019; Ylivainio ym. 2020).

Taulukko 16. Yhdyskuntajätevesilietteen lannoitekäytössä riskiä aiheuttavia yhdisteitä Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Skotlannissa ja Kanadassa toteutettujen riskitarkastelujen mukaan.

Yhdiste	Ryhmä	Yhdiste	Ryhmä
17 α -etinyyliestradioli ^{a)}	Hormoni	Gemfibrotsiili ^{a)}	Lääkeaineet
17 β -estradioli ^{b)}	Hormoni	Ibuprofeeni ^{a), b)}	Lääkeaineet
4-nonyylifenoli ^{c), d), e), f)}	Fenoliset yhdisteet	Karbamatsepiini ^{b), c)}	Lääkeaineet
4-oktyylifenoli ^{c), d), e)}	Fenoliset yhdisteet	LAS ^{d), e), f)}	Lineaariset alkyylibentseenisulfonaatit
Atsitromysiini ^{a)}	Lääkeaineet	Karbamatsepiini ^{b), c)}	Lääkeaineet
Bentso(a)pyreeni ^{f)}	PAH-yhdiste	Metoprololi ^{b)}	Lääkeaineet
Bisfenoli-A ^{c)}	Fenoliset yhdisteet	Norfloksasiini ^{b), c)}	Lääkeaineet
D5 ^{e)}	Siloksaanit	Ofloksasiini ^{b), c)}	Lääkeaineet
DEHP ^{e)}	Ftalaatit	PFOS ^{c), g)}	PFAS
Diklofenaakki ^{b), c)}	Lääkeaineet	Propranololi ^{c)}	Lääkeaineet
Doksisykliini ^{c)}	Lääkeaineet	SCCP ^{e)}	Klooriparafiinit
EHDPP ^{e)}	Organofosforipalonestoaineet	Siprofloksasiini ^{b), c), e)}	Lääkeaineet
Estroni ^{c)}	Hormonit	TBBPA ^{c)}	Bromatut palonestoaineet
Fenbendatsoli ^{c)}	Lääkeaineet	Tetrasykliini ^{b), c)}	Lääkeaineet
Fenoli ^{f)}	Fenoliset yhdisteet	Tonalidi ^{e), f)}	Synteettiset myskit
Flubendatsoli ^{c)}	Lääkeaineet	Triklosaani ^{b), c), f)}	Biosidit
Fluoksetiini ^{c)}	Lääkeaineet	Trikresyylifosfaatti ^{e)}	Organofosforipalonestoaineet
Furosemiidi ^{a), c)}	Lääkeaineet		
Galaksolidi ^{e), f)}	Synteettiset myskit		

- a) McCarthy ym. 2015
b) Ylivainio ym. 2020
c) Vieno ym. 2018
d) Eriksen ym. 2009
e) Sternbeck ym. 2013
f) SEPA 2014
g) Jensen ym. 2012

Joillekin haitallisille aineille on esitetty kirjallisuudessa viitearvoja, jotka pyrkivät minimoimaan lietteiden käytöstä aiheutuvat riskit. Näiden viitearvojen johtamisessa sovelletut menetelmät ja tarkastelun päätepisteet vaihtelevat. Siinä missä Ylivainio ym. (2020) esittivät alustavia riskiperusteisia viitearvoja riskiä aiheuttaville haitallisille aineille, keskittyen maaperän suojeluun, Sternbeck ym. (2013) johtivat vastaavia arvoja myös ihmisterveyden ja pintavesien laadun varmistamiselle. Näitä viitearvoja on esitetty esimerkinomaisesti Taulukossa 17.

Taulukko 17. Esimerkinomaisia kirjallisuudessa esitettyjä riskiperusteisia viitearvoja yhdyskuntajätevesilietteen lannoitekäytölle.

Yhdiste	Riskiperusteinen viitearvo (mg/kg ka)
Bentso(a)pyreeni	0,43 ^{a)} 0,52 ^{b)}
Bentso(ghi)peryleeni	1,3 ^{a)} 1,6 ^{b)}
Triklosaani	0,0058 ^{b)} 0,011 ^{a)}
17β-estradioli	0,00097 ^{b)} 0,0039 ^{a)} 0,0004 ^{c)} 0,000001 ^{d)}
Diklofenaakki	0,030 ^{a)} 0,0080 ^{b)} 1 300 ^{e)}
Siprofloksasiini	0,50 ^{a)} 0,57 ^{b)} 160 ^{e)}
PCDD/F	0,003 ^{e)} 0,0001 ^{f)} 0,00085 ^{g)} 0,00026 ^{h)} 0,00025 ⁱ⁾
PFOS	0,12 ^{e)} 0,16 ^{f)} 0,03 ^{g)} 0,4 ^{h)} 0,01 ⁱ⁾

- a) Ylivainio ym. 2020. Oletettu lietelevitys 5 t/ha/v, tarkastelun päätepiirteenä maaperäeliöt.
b) Ylivainio ym. 2020. Oletettu lietelevitys 20 t/ha/5 v, tarkastelun päätepiirteenä maaperäeliöt.
c) Vieno ym. 2018. Peltoviljely
d) Vieno ym. 2018. Viherrakentaminen
e) Sternbeck ym. 2013. Lannoitekäyttö pellolla, tarkastelun päätepiirteenä maaperäeliöt.
f) Sternbeck ym. 2013. Lannoitekäyttö pellolla, tarkastelun päätepiirteenä vesieliöt.
g) Sternbeck ym. 2013. Lannoitekäyttö metsässä, tarkastelun päätepiirteenä maaperäeliöt.
h) Sternbeck ym. 2013. Lannoitekäyttö metsässä, tarkastelun päätepiirteenä vesieliöt.
i) Sternbeck ym. 2013. Lietteen käyttö kasvualustana, tarkastelun päätepiirteenä maaperäeliöt.

Taulukossa 17 esitetyt arvot osoittavat, että tavoitearvoja lietteen sisältämille haitallisille aineille pystytään laskemaan. Arvoja vertailemalla on kuitenkin ilmeistä, että tarkastelutavan valinta, tarkastelun reunaehtojen määrittäminen ja tarkastelussa käytetty yhdistekohtainen aineisto vaikuttavat suuresti viitearvoon. Viitearvojen soveltuvuuden arvioimiseksi on ensiarvoisen tärkeää ymmärtää, miten ne on johdettu (esim. Reinikainen 2007). Viitearvoja ei myöskään tule välttämättä sellaisenaan soveltaa raja-arvoina, vaan niiden ensisijainen arvo on raja-arvojen johtamisen apuna.

Joissain julkaisuissa (esim. Marttinen ym. 2014 ja Eriksen ym. 2009) lääkeaineiden pitoisuuksia maaperässä on verrattu ns. cut-off-arvoon 100 µg/kg. Tämä arvo on Euroopan lääkeviraston (EMA) asettama viitearvo, jota käytetään lääkevalmisteiden riskinarvioinnissa. Jos lääkeaineen arvioitu

pitoisuus maaperässä ei ylitä tasoa 100 µg/kg, lääkevalmisteelle ei EMA:n ohjeen mukaisesti tarvitse tehdä yksityiskohtaista ympäristöriskinarviointia (EMEA 2000). Esitetty lähestymistapa perustuu oletukseen, että lääkeaineet eivät aiheuta haittavaikutuksia maaperässä 100 µg/kg pitoisuuden alapuolella. Tuoreissa julkaisuissa on kuitenkin esitetty PNEC-arvoja, jotka alittavat tuon rajan selkeästi. Esimerkiksi Ek Henningin ym. (2020) 83:lle lääkeaineelle esittämät PNEC-arvot vaihtelivat välillä 0,1 ng/kg–100 mg/kg ka. Esitetyistä PNEC-arvoista 29 % oli EMAn esittämää viitearvoa alhaisempia.

Yhdyskuntajätevesilietteen haitta-ainekoostumus riippuu laitokselle johdettavista jätevesistä. Yhdyskuntaliete sisältää läpileikkauksen yhteiskunnan nyt ja aiemmin käyttämistä yhdisteistä. Käytössä yhä olevia yhdisteitä vapautuu jätevesiin esimerkiksi teollisuudesta ja kotitalouksista, mutta käytöstä jo poistettujakin yhdisteitä tulee jätevedenpuhdistamoille. Näitä aineita voi vapautua esim. pitkäikäisistä tuotteista, joissa yhdisteitä on aikaisemmin käytetty. Kirjallisuudessa on esitetty joitain aikasarjoja, joiden mukaan tiettyjen haitallisten aineiden pitoisuudet ovat laskeneet viime vuosikymmeninä. Esimerkiksi dioksiinien pitoisuuksien on esitetty laskeneen saksalaisissa (Fijalkowski ym. 2017) ja ruotsalaisissa (Olofsson ym. 2012) lietteissä.

Koska yhdyskuntajätevesiliete ei muodostu teollisesta tai muunlaisesta prosessista, jossa prosessin syötteet olisivat selvärajaisesti tunnistettavissa, ei materiaalin sisältämiä haitallisia aineita voida tunnistaa yleisellä tasolla kattavasti. Materiaalin on kuitenkin tunnistettu sisältävän monia yhdisteitä kyllin korkeina pitoisuuksina aiheuttamaan riskiä materiaalin hyötykäytössä (ks. Taulukko 16). Kirjallisuudessa on viime aikoina nostettu esiin myös lietteen käsittelyssä käytettyihin kemikaaleihin liittyviä huolia. Esimerkiksi yleisesti lietteen käsittelyssä käytettyjen polymeerien mahdolliset ympäristövaikutukset tunnetaan huonosti. Muun muassa polyakryyliamidin tiedetään kuitenkin pidättävän tehokkaasti maapartikkeleihin. Hennecke ym. (2018) arvioivat polyakryylimidin puoliintumisajaksi maaperässä 5,4 vuotta.

Koska yhdyskuntajätevesilietteiden haitta-ainekoostumusta on vaikeaa, ellei mahdoton ennakoita, on kartoituksia ehdotettu toteutettavan non-target kartoituksina. Tällaisilla kartoituksilla olisi mahdollista tunnistaa näytteessä esiintyviä yhdisteitä perinteistä yhdistekohtaista määrittystä laajemmin. Menetelmän heikkoutena on tulosten epäkvantitatiivisuus. Wluka ym. (2021) tunnistivat non-target menetelmällä lietenäytteistä yhdyskuntajätevesilietteissä tavallisesti esiintyvien yhdisteiden lisäksi myös yhdisteitä, joita materiaalista on määritetty vain harvoin. Näihin yhdisteisiin lukeutui mm. synteettisiä hajusteita ja lääketuotannossa käytettyjä yhdisteitä, joille kirjoittajat katsoivat tarvittavan tarkempaa vaikutusten arviointia. Wlukan ym. (2021) työ todentaa sen, että lietteissä esiintyy aiemmin huonosti tunnettuja yhdisteitä.

Suomalaisten materiaalien laatu

Luvuissa 4.2–4.5 tarkasteltuihin materiaaleihin verrattuna yhdyskuntajätevesilietteitä on tutkittu Suomessa runsaasti. Yhdyskuntajätevesilietteissä esiintyvät raskasmetallipitoisuudet ylittävät vain harvoin lannoitelainsäädännössä raskasmetalleille asetetut raja-arvot. Voimassa olevassa lannoitelainsäädännössä asetettujen raja-arvojen ylittymistiheys on esitetty Taulukossa 18. Metallit, jotka tavallisimmin ylittävät raja-arvot, ovat Cd ja Hg. Näiden metallien raja-arvo ylittyi puhdistamolta lähtevässä lietteessä useammin kuin yhdessä näytteessä 20:stä. Aiempina vuosikymmeninä (1970–1990 luvuilla) havaittu yhdyskuntajätevesilietteen raskasmetallipitoisuuksien jyrkkä lasku (esim. Vesilaitosyhdistys 2020) on YLVA-rekisterin aineiston perusteella pysähtynyt ja viime vuosina pitoisuudet ovat olleet vakaat. Vuoden 2004 jälkeen raportoituja lietteen raskasmetallipitoisuuksia on esitetty Liitteessä 3. Vaikka raskasmetallien pitoisuudet alittavat lannoitelainsäädännön asettamat raja-arvot pääosin selkeästi, metallipitoisuudet yhdyskuntajätevesilietteitä sisältävissä lannoitevalmisteissa voidaan olettaa vieläkin alhaisemmiksi. Kun yhdyskuntajätevesilietettä käsitellään esim. kompostoimalla, lietteeseen sekoitetaan tukiaineita kuten hiekkaa tai turvetta, mitkä laimentavat lietteeseen pidättyneiden haitallisten aineiden pitoisuuksia.

Taulukko 18. Raskasmetallien pitoisuuksia suomalaisissa yhdyskuntalietteissä

Raskasmetalli	Tavallinen pitoisuustaso yhdyskuntajätevesilietteisissä (mg/kg) ^{a) 1)}	Raja-arvo (mg/kg) ^{b)}	Ylitysten osuus näytteistä (näytteiden lkm)
As	1,2–9,0, mediaani: 3,8	25	0 % (294)
Cd	0,20–1,7, mediaani: 0,55	1,5	7,8 % (1 715)
Cr	8,5–100, mediaani: 27	300	2,7 % (1 593)
Cu	91–580, mediaani: 220	600	4,9 % (1 536)
Hg	0,11–1,0, mediaani: 0,32	1	6,4 % (1 703)
Ni	7,7–69, mediaani: 24	100	1,9 % (1 545)
Pb	5,0–82, mediaani: 15	100	3,8 % (1 694)
Zn	230–990, mediaani: 460	1 500	2,6 % (1 523)

a) YLVA

b) MMMa 24/2011

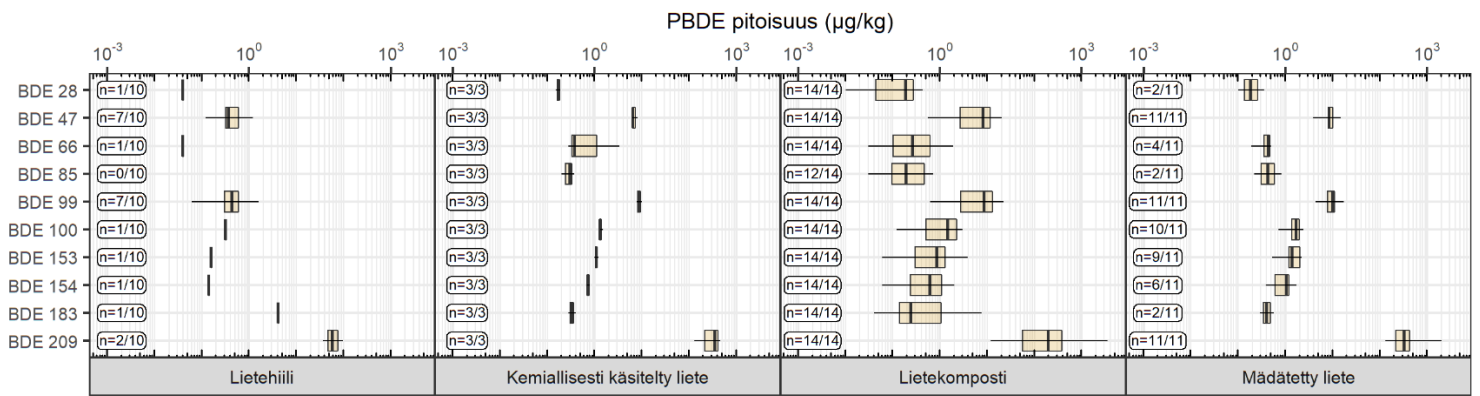
1) Esitetty vaihteluväli kuvaa 90 % vuosina 2004–2021 raportoiduista arvoista.

Raskasmetallien lisäksi Suomessa on määritetty lietteistä muutamien orgaanisten haitta-aineryhmien esiintymistä. Näissä kartoituksissa on painotettu PBDE-, PFAS- ja PAH-yhdisteitä sekä lääkeaineita. Harvemmin kartoitettuihin yhdisteisiin lukeutuvat mm. PCDD/F- ja PCB-yhdisteet sekä ftalaatit.

Lannoitevalmisteiden tai yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämien PBDE-yhdisteiden pitoisuuksille ei ole asetettu raja-arvoja, mutta POP-jäteraja-arvot koskevat näitäkin yhdisteitä. Jäteraja-arvo on tällä hetkellä PBDE-yhdisteille 1000 mg/kg, mutta sen laskemista on esitetty ensin 500 mg/kg ja viiden vuoden kuluttua tasolle 200 mg/kg (European Commission 2021b). Ympäristössä pitkäikäisinä näihin yhdisteisiin on kuitenkin tunnistettu liittyvän riski yhdisteiden kertymisestä maaperään lietelevitysten toistuessa (esim. Ylivainio ym. 2020). Yhdisteitä on kartoitettu Suomessa yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta lähtevästä lietteestä (esim. Mannio ym. 2011; Mehtonen ym. 2012), mädätetystä lietteestä (esim. Ylivainio ym. 2020; HSY 2021) sekä eri tavoin tuotetuista lietevalmisteista (Ylivainio ym. 2020). HSY:n (2021) kartoituksessa selvitettiin lisäksi pyrolyysin vaikutuksia monien haitallisten aineiden, mukaan lukien PBDE-yhdisteiden pitoisuuksiin.

Saatavilla olevan aineiston perusteella POP-asetuksessa PBDE:lle säädetyt jäte- ja UTC-raja-arvot alittuvat suomalaisissa lietteissä selkeästi. Mannion ym. (2011) kartoituksessa yhdeksän tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja deka-BDE:n summapitoisuudet vaihtelivat välillä 0,63–7,3 µg/kg ka. Mehtosen ym. (2012) kartoituksessa samojen yhdisteiden pitoisuudet puolestaan vaihtelivat välillä 290–640 µg/kg ka (keskiarvo 450 µg/kg ka). Ylivainion ym. (2020) kartoituksessa perinteisin tavoin valmistetuissa lietevalmisteissa (mädätys, kompostointi ja/tai kemiallinen käsittely) yhdeksän tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja deka-BDE:n summapitoisuudet vaihtelivat välillä 14–3 500 µg/kg ka (keskiarvo 440 µg/kg ka). HSY:n (2021) selvityksessä 15 tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja deka-BDE:n upper bound-summapitoisuudet vaihtelivat välillä 160–2 000 µg/kg ka (keskiarvo 530 µg/kg ka). Näin ollen pitoisuudet alittavat selkeästi PBDE-yhdisteiden summalle asetetun POP-jäteraja-arvon 200 mg/kg ka ja yksittäisille bromausasteille asetetut UTC-raja-arvot (10 mg/kg).

Kuvassa 7 on esitetty muutamien usein määritettyjen PBDE-yhdisteiden pitoisuustasoja eri tavoin käsitellyissä yhdyskuntajätevesilietteisissä. Ylivainion ym. (2020) toteuttama kartoitus oli toistaiseksi maantieteellisesti kattavin Suomessa tehty selvitys PBDE-yhdisteiden esiintymisestä lietevalmisteissa. Yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat huomattavasti näytteiden välillä. Kaikissa 19 näytteessä BDE 209 oli vallitseva yhdiste. Sen osuus kokonaispitoisuudesta oli näytteestä riippuen 87–99 %. Korkein PBDE-yhdisteiden summapitoisuus (3 500 µg/kg ka) havaittiin lietekompostista, jossa liete oli seostettu hakkeeseen ja turpeeseen. Syötteenä käytetyn lietteen PBDE-pitoisuuden voidaan olettaa olleen huomattavasti tätä korkeampi.



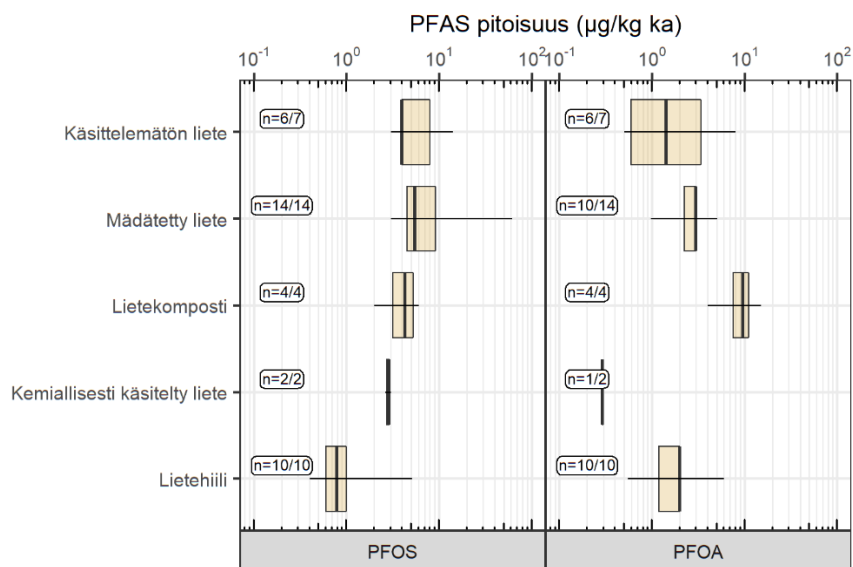
Kuva 7. Muutamien PBDE-yhdisteiden pitoisuuksia eri tavoin käsitellyissä suomalaisissa yhdyskuntalietteissä. Näytemäärä on esitetty muodossa määritysrajan ylitykset/kaikki analyysit. Vaihteluväliviiva kuvaa havaittujen pitoisuuksien ääriarvoja. (Aineiston lähteet: HSY 2021 ja Ylivainio ym. 2020)

PFAS-yhdisteiden pitoisuuksille ei ole asetettu EU-tasolla raja-arvoja, mutta Saksassa sovelletaan kansallisesti raja-arvoa 100 µg/kg ka kahden PFAS-yhdisteen (PFOA ja PFOS) summalle. Toisaalta POP-asetuksessa säädetty jäteraja-arvot 1 mg/kg PFOA:lle ja sen suoloille sekä 40 mg/kg PFOA:n kaltaisille yhdisteille. PFOA:lle ja PFOS:lle sovellettavat UTC-raja-arvot ovat 0,025 mg/kg ja 10 mg/kg.

Suomesta julkaistuja PFOS ja PFOA-pitoisuuksia on esitetty Kuvassa 8. PFOA-pitoisuudet suomalaisissa lietteissä ovat vaihdelleet eri kartoituksissa välillä 0,60 ja 0,90 µg/kg (Huhtala ym. 2011), 1,2–2,1 µg/kg ka (Mehtonen ym. 2012), 0,50–8,0 µg/kg ka (keskiarvo 2,7 µg/kg ka) (Vieno 2015) ja 2,0–5,0 µg/kg ka (keskiarvo 3,2 µg/kg ka) (HSY 2021). Ylivainio ym. (2020) puolestaan havaitsivat mädätetyssä lietteessä PFOA:a 0,97 µg/kg ka. Kompostoidussa lietteessä pitoisuus oli Ylivainion ym. (2020) mukaan 9,2 µg/kg ka, kun Vienon (2015) havaitsema huippupitoisuus oli 15 µg/kg ka. Havaitut pitoisuudet alittavat POP-asetuksessa PFOA:lle asetetut raja-arvot.

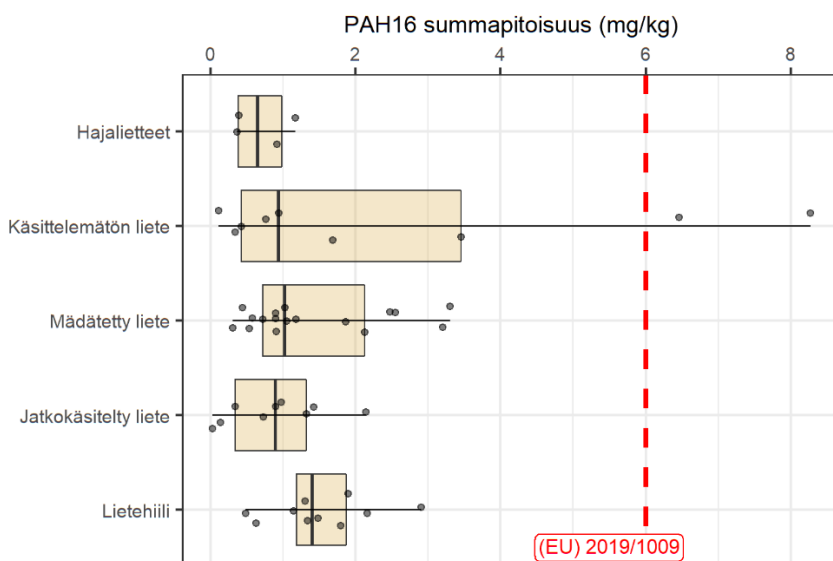
Vastaavasti PFOS:n pitoisuudet suomalaisissa lietteissä vaihtelivat COHIBA-hankkeessa 16 ja 110 µg/kg ka (Huhtala ym. 2011), Mehtosen ym. (2012) kartoituksessa välillä 6,1–8,1 µg/kg ka ja Vienon (2015) mukaan välillä 3,0–14 µg/kg ka. Määtetyssä lietteessä PFOS-pitoisuudet ovat vaihdelleet HSY:n (2021) ja Vienon (2015) kartoituksissa väleillä 4,0–12 µg/kg ka ja 3,0–62 µg/kg ka. Suomessa havaitut PFOS-pitoisuudet alittavat selkeästi POP-asetuksessa asetetun raja-arvon 10 µg/kg.

PFOS:n ja PFOA:n summapitoisuus suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteissä on vaihdellut välillä 4,0–22 µg/kg ka (Vieno 2015), kun vastaava pitoisuus lietemädätteessä on vaihdellut välillä 4,0–63 µg/kg ka (Vieno 2015). Lietekompostissa pitoisuudet olivat Vienon (2015) kartoittamissa muutamissa näytteissä enimmillään 20 µg/kg ka, kun pyrolysoidussa lietteessä pitoisuudet ovat olleet matalampia, vaihdellen välillä 1,6–6,7 µg/kg ka (HSY 2021). Raportoidut pitoisuudet alittavat Saksassa summaparametrille sovelletun raja-arvon 100 µg/kg ka.



Kuva 8. Suomesta raportoituja PFOA- ja PFOS-pitoisuuksia eri tavoin käsitellyissä yhdyskuntalietteissä. Näytemäärä on esitetty muodossa määritysrajan ylitykset/kaikki analyysit. Vaihteluväliviiva kuvaa havaittujen pitoisuuksien ääriarvoja. (Aineiston lähteet: HSY 2021, Ylivainio ym. 2020, Vieno 2015)

Suomessa raportoituja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia on esitetty Kuvassa 9. PAH16-pitoisuus on vaihdellut Suomessa käsittelemättömissä lietteissä välillä 0,23–8,3 mg/kg ka (Jantunen ym. 2016 ja Vieno 2015). Määtetyssä lietteessä pitoisuuksien hajonta (0,30–3,5 mg/kg ka, Vieno 2015 ja HSY 2021) on ollut hieman vähäisempää. Kompostoimalla ja kemiallisesti käsittelemällä valmistetuissa lietevalmisteissa pitoisuudet ovat puolestaan vaihdelleet välillä 0,17–2,2 mg/kg ka (Jantunen ym. 2016). Käsittelemättömiä lietteitä lukuun ottamatta Suomesta ei ole raportoitu PAH16-arvoja, jotka ylittäisivät Lannoitevalmisteasetuksessa asetetun raja-arvon 6 mg/kg ka. Bentso(a)pyreenin pitoisuudet (0,010–0,66 mg/kg ka, Ylivainio ym. 2020 ja Vieno 2015) alittavat myös Saksassa (1 mg/kg ka) ja Ranskassa (2 mg/kg ka) yhdisteelle sovellettavat raja-arvot. Fluoranteenin ja bentso(b)fluoranteenin pitoisuudet ovat suomessa vaihdelleet eri tavoin käsitellyissä lietteissä väleillä 0,010–0,67 mg/kg ka (Jantunen ym. 2016 ja Ylivainio ym. 2020) ja 0,010–1,2 mg/kg ka (Jantunen ym. 2016 ja Vieno 2015). Yhdisteet alittavat Ranskassa niille sovellettavat raja-arvot 5 mg/kg ka ja 2,5 mg/kg ka.



Kuva 9. PAH16 summapitoisuus suomalaisissa käsittelemättömissä ja käsitellyissä lietteissä. Määritysrajan alittaneet tulokset on käsitelty nollina. (Aineiston lähteet: HSY 2021, Ylivainio ym. 2020, Jantunen ym. 2016, Vieno 2015)

Ftalaattien pitoisuuksia yhdyskuntajätevesilieteteissä on tarkasteltu Suomessa muutamissa hankkeissa. Eri tavoin käsitellyistä yhdyskuntajätevesilieteteistä on Suomessa havaittu useimmiten DEHP:ia, di-isobutyyliftalaattia (DIBP) ja dibutyyliftalaattia (DBP). Näistä yhdisteistä ainoastaan DEHP:lle on asetettu raja-arvoja lannoitekäytössä (ks. Taulukko 6). Määdetyssä lietteessä DEHP-pitoisuudet ovat Suomessa vaihdelleet viime vuosina välillä 10–21 mg/kg ka (Vieno 2015, HSY 2021). Pitoisuudet käsittelemättömässä lietteessä vaihtelivat Vienon (2015) mukaan välillä 6,6–26 mg/kg ka ja kuivatussa, puhdistamolta lähtevässä lietteessä Mehtosen ym. (2012) mukaan välillä 5,0–24 mg/kg ka. Vaikka 2000-luvulla julkaistut pitoisuudet ovat melko yhtenäisiä eri tutkimusten välillä, Kasurisen ym. (2014) mukaan DEHP-pitoisuudet suomalaisissa lietteissä olivat 1990-luvulla huomattavasti korkeampia, jopa 180 mg/kg. HSY:n (2021) selvityksessä yhdyskuntajätevesilietettä pyrolysoimalla tuotetussa lietehiilessä puolestaan havaittiin DEHP:ia 0,38–4,2 mg/kg ka. Viime vuosilta saatavilla olevan aineiston mukaan DEHP:in pitoisuus suomalaisissa yhdyskuntajätevesilieteteissä alittaa Tanskassa sovellettavan raja-arvon 50 mg/kg.

Lääkeaineita on Suomessa kartoitettu viime vuosina eri tavoin käsitellyissä yhdyskuntajätevesilieteteissä. Kartoituksiin sisällytetyt lääkeaineet ovat valikoituneet saatavilla olevan analytiikan perusteella. Lääkeaineita on Suomenkin markkinoilla satoja, ja vain murto-osalle niistä on saatavilla kaupallista analytiikkaa. Lannoitevalmisteiden tai yhdyskuntajätevesilieteteiden lääkejäämille ei ole asetettu pitoisuusraja-arvoja.

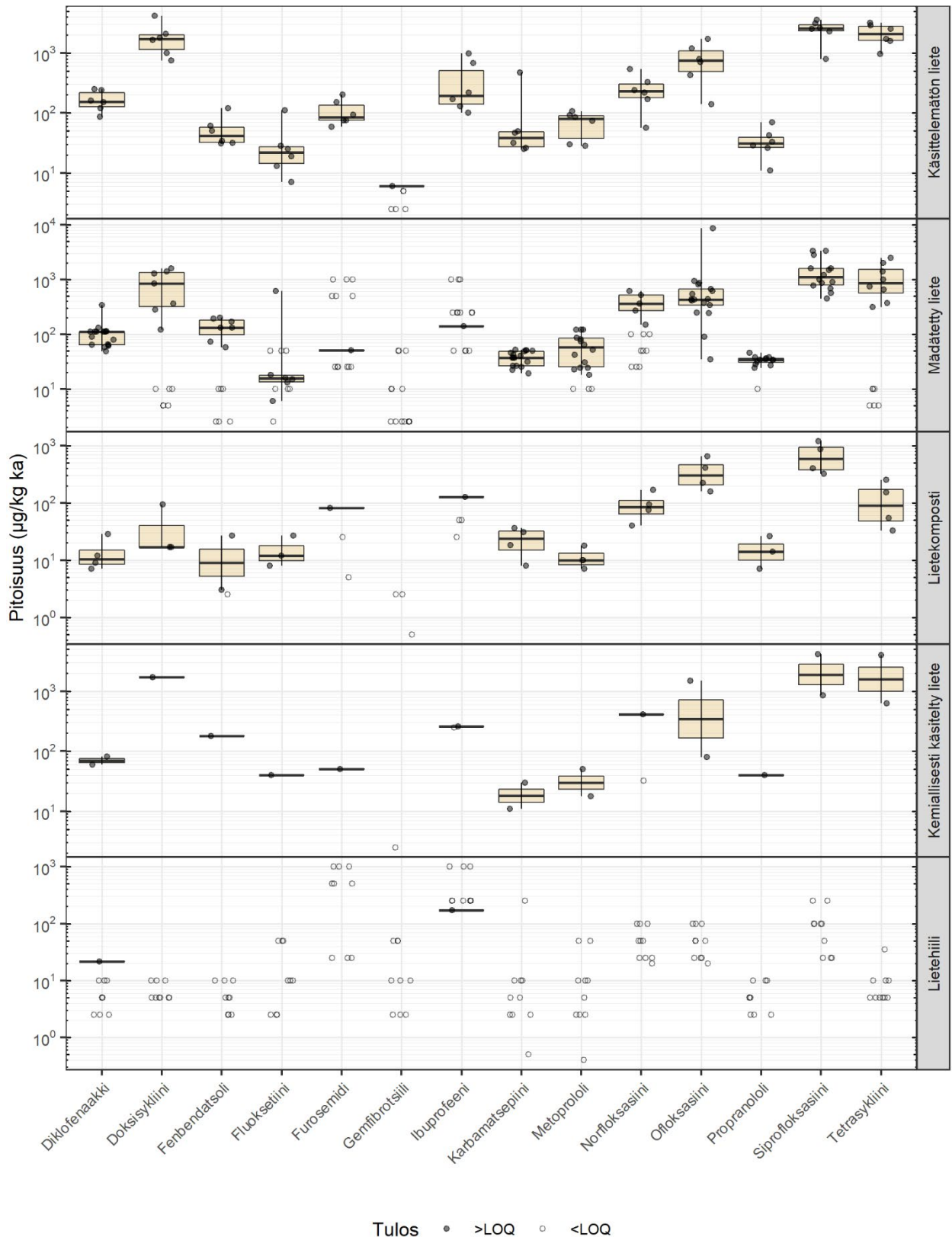
Suomalaisissa yhdyskuntajätevesilieteteissä ja eri tavoin käsitellyissä lietteissä on kartoitettu monia Taulukossa 16 esitetyjä riskiä aiheuttaviksi tunnistettuja lääkeaineita. Näiden lääkeaineiden pitoisuuksia on esitetty Kuvassa 10.

Diklofenaakille kirjallisuudessa esitetyt riskiperusteiset viitearvot (ks. Taulukko 17) vaihtelevat lähteestä ja johtamistavasta riippuen välillä 8–1 300 000 µg/kg ka (Ylivainio ym. 2020 ja Sternbeck ym. 2013). Suomessa raportoidut pitoisuudet käsittelemättömässä lietteessä ovat vaihdelleet välillä 86–250 µg/kg ka (Vieno 2015). Määdetyssä ja kompostoidussa lietteessä pitoisuudet ovat puolestaan vaihdelleet välillä 49–340 µg/kg ka (Vieno 2015 ja Ek Henning ym. 2020) ja 7,0–29 µg/kg ka (Vieno 2015 ja Ylivainio ym. 2020). Ylivainion ym. (2020) diklofenaakille arvioima tiukin riskiperusteinen viitearvo (8 µg/kg ka) on ylittynyt kolmessa neljästä kompostinäytteestä. Käsittelemättömässä ja määdetyssä lietteessä myös Ylivainion ym. (2020) esittämä viitearvo 30 µg/kg ka ylittyy kaikissa näytteissä. Sternbeckin ym. (2013) esittämä viitearvo (1 300 000 µg/kg ka) alittuu kaikissa näytteissä selkeästi.

Ylivainio ym. (2020) arvioivat diklofenaakin voivan ylittää PNEC-tasot maaperässä lietteen maatalouskäytön seurauksena. Riskien arvioimiseksi tarvittaisiin kuitenkin nykyistä kattavampaa tietoa lietevalmisteissa vallitsevista diklofenaakkipitoisuuksista. Esimerkiksi lietekomposteista on saatavilla mitaustuloksia ainoastaan neljästä näytteestä, kattaen vain yhden toimijan tuottaman materiaalin.

Siprofloksasiinille on arvioitu riskiperusteiseksi viitearvoksi lietteen maatalouskäytössä 50–160 000 µg/kg ka (ks. Taulukko 17). Käsittelemättömässä ja määdetyssä lietteissä pitoisuudet ovat vaihdelleet Suomessa väleillä 800–3 600 µg/kg ka (Vieno 2015) ja 450–3 300 µg/kg ka (HSY 2021 ja Vieno 2015). Ylivainion ym. (2020) esittämä viitearvo 50 µg/kg ka on ylittynyt kaikissa näytteissä, joissa yhdisteen pitoisuus on ylittänyt määritysrajan. Määritysraja on ylittynyt kaikissa muissa tarkastelluissa näytteissä, paitsi pyrolysoiduissa lietenäytteissä.

Ylivainion ym. (2020) riskitarkastelussa otettiin huomioon haitallisten aineiden kertyminen maaperään lietelevityksen toistuessa. Siprofloksasiinilla oli tarkastelluista lääkeaineista suurin taipumus kertyä maaperään levitysten toistuessa. Yhdisteen aiheuttamien riskien arvioimiseksi tarvittaisiin nykyistä kattavampaa tietoa yhdisteen pitoisuuksista lietevalmisteissa.



Kuva 10. Lääkeaineiden pitoisuuksia eri tavoin käsitellyissä suomalaisissa yhdyskuntalietteissä. Vaakaviiva ja tummennettu alue kuvaavat havaittujen pitoisuuksien mediaania ja 50 % tuloksista. Pystyviiva kuvaa havaittujen pitoisuuksien vaihteluväliä. Pisteet kuvaavat yksittäisiä mittaustuloksia. Tuloksen alltaessa määrittäysrajan (LOQ) arvona on käytetty määrittäysrajan puolikasta. (Aineiston lähteet: HSY 2021, Ek Henning ym. 2020, Ylivainio ym. 2020, Vieno 2015)

Tukholman yleissopimuksen (32/2004²⁹) mukaan sopimusosapuolten tulee kehittää toimintasuunnitelma (National Action Plan eli NAP) liitteen C yhdisteiden (tahattomasti tuotetut yhdisteet) päästöjen tunnistamiseksi, luonnehtimiseksi ja vähentämiseksi sekä laatia arvio lainsäädännön ja politiikan tehokkuudesta. Tukholman sopimuksen kansallisessa toimeenpanosuunnitelmassa (Seppälä ym. 2012; Suomen ympäristökeskus 2017; 2021) ja toimintasuunnitelmassa on mainittu yhtenä kansallisena toimenpide-ehdotuksena POP-yhdisteiden (PCDD/F, PCB, HCB, PeCB, HCBd, PCN) määrittäminen yhdyskuntajätevesilietteilissä ja niihin liittyvien riskien täsmentäminen maatalouskäytössä. Tällaisia kartoituksia ei Suomessa ole vielä tehty, vaikka viime vuosina onkin useiden muiden POP-yhdisteiden esiintymistä yhdyskuntajätevesilietteilissä selvitetty. PCDD/F-yhdisteitä on määritetty yhdyskuntajätevesilietteilistä hankeluonteisesti muutamissa hankkeissa tällä vuosituhanella (Nakari ym. 2011; Mehtonen ym. 2012; HSY 2021). HSY:n (2021) selvityksen PCDD/F-yhdisteiden upper bound-pitoisuus vaihteli mädätetyssä yhdyskuntajätevesilietteilissä välillä 5,5–10 ng TEQ/kg ka. Yhdeksästä analysoidusta mädätetyksestä havaittujen PCDD/F-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä 3,4–7,2 ng TEQ/kg ka. Nakarin ym. (2011) selvityksessä korkein suomalaissa lietteissä havaittu PCDD/F-pitoisuus oli 3,8 ng TEQ/kg. Mehtosen ym. (2012) kartoituksessa PCDD/F ja DL-PCB upper bound-summapitoisuus vaihteli välillä 3,6–5,0 ng TEQ/kg ka (keskiarvo 4,3 ng TEQ/kg ka). Suomalaisista yhdyskuntajätevesilietteilistä raportoidut PCDD/F-pitoisuudet alittavat POP-asetuksessa asetetut jäteraja-arvot (15 000 ng TEQ/kg suunniteltu laskettavaksi 5 000 ng TEQ/kg), eri maissa yhdyskuntajätevesilietteilille sovelletut raja-arvot (20–100 ng TEQ/kg) ja EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa CMC 13:lle ja 14:lle asetetun raja-arvon (20 ng TEQ/kg ka). Saatavilla olevan aineiston perusteella PCDD/F-yhdisteiden pitoisuustasot yhdyskuntajätevesilietteilissä täyttävät EU:n Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut ja muissa maissa sovelletut laatukriteerit. Mittausaineistoa yhdisteiden esiintymisestä suomalaisissa lietteissä tai niistä valmistetuissa lannoitevalmisteissa on kuitenkin hyvin vähän, jolloin edustavan pitoisuustason arviointi on epävarmaa.

Heksabromosyklododekaania (HBCDD) on määritetty Suomessa yhdyskuntajätevesilietteilistä tai niistä valmistetuista lannoitevalmisteista vain harvoin. Vienon (2015) selvityksessä HBCDD:n upper bound-pitoisuudet vaihtelivat käsittelemättömissä lietteissä välillä 0,033–0,076 mg/kg ka (keskiarvo 0,046 mg/kg ka). Mädätetyissä lietteissä havaitut pitoisuudet puolestaan vaihtelivat välillä 0,011–0,051 mg/kg ka (keskiarvo 0,025 mg/kg ka). Happokäsitellyissä ja kompostoiduissa lietevalmisteissa havaittiin HBCDD:a 0,0040–0,025 mg/kg ka (keskiarvo 0,013 mg/kg ka). HSY:n (2021) selvityksessä vain yhdessä lietenäytteessä yhdeksästä havaittiin HBCDD:a. Pitoisuus näytteessä oli 0,0092 mg/kg ka. HSY:n tutkimuksessa määrittämisraja oli korkeampi kuin Vienon (2015) tutkimuksessa. HSY:n raportoitua tuloksista laskettava keskimääräinen upper bound-summapitoisuus on 0,24 mg/kg ka. Mehtosen ym. (2012) mukaan suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden lietteen HBCDD-pitoisuus vaihteli 2000-luvun lopussa välillä 0,16–0,22 mg/kg ka. HBCDD:lle ei ole asetettu raja-arvoa EU:n lannoitevalmisteasetuksessa tai kansallisissa lainsäädännöissä. Saatavilla olevan aineiston perusteella suomalaiset yhdyskuntajätevesilietteiliset alittavat POP-asetuksessa jätteille (1000 mg/kg) ja tahattomille jäämille (100 mg/kg) säädetyt raja-arvot selvästi. HBCDD:n jäteraja-arvonlaskemista 500 mg/kg suunnitellaan parhaillaan.

SCCP:a on määritetty suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteilistä vain hyvin harvoin. COHIBA-hankkeessa analysoiduissa kahdessa näytteessä pitoisuudet olivat 4,9 ja 11,6 mg/kg (Huhtala ym. 2011). Mannion ym. (2011) lietenäytteissä SCCP:n pitoisuudet olivat kolmessa näytteessä alle 0,3 mg/kg ka. Kasurisen ym. (2014) mukaan SCCP:sta yhdyskuntajätevesilietteilissä on äärimmäisen vähän tutkimustietoa. Yhdistettä on kartoitettu yhdyskuntajätevesilietteilistä Ruotsissa (IVL & Naturvårdsverket 2019, ks. Kuva 6), missä pitoisuuden 90 %:n vaihteluväli on ollut 0,29–2,4 mg/kg ka (mediaani 1,0 mg/kg ka). Brandsman ym. (2017) havaintojen mukaan australialaisissa lietteissä SCCP:n pitoisuudet ovat

²⁹ 22.5.2001, Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus, <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sops-teksti/2004/20040034>

enimmillään suuruusluokkaa 1,4 mg/kg ka. Nämä pitoisuudet alittavat selvästi POP-asetuksessa asetetut jäteraja-arvot 10 000 mg/kg. Jäte raja-arvon laskemista 1 500 mg/kg suunnitellaan parhaillaan.

Pentakloorifenolia (PCP) havaittiin Vienon (2015) kartoituksessa käsittelemättömissä lietteissä enimmillään 0,070 mg/kg ka. Upper bound-keskiarvo oli 0,065 mg/kg ka. Määdetyissä ja kompostoiduissa lietteissä pitoisuus oli kaikissa näytteissä <0,02 mg/kg ka. Pentakloorifenolille esitetty POP-jäteraja-arvo 100 mg/kg ka (European Commission 2021b) ja UTC-raja 5 mg/kg alittuvat suomalaisessa aineistossa.

Yhdyskuntajätevesilietteistä on määritetty satunnaisesti myös joidenkin muiden POP-yhdisteiden pitoisuuksia. Mannio ym. (2011) kartoittivat orgaanisten haitallisten aineiden esiintymistä kymmenellä suomalaisella yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla. Esimerkiksi heksasykloheksaanin (HCH) neljän isomeerin (α -, β -, γ - ja δ -HCH) yhdistekohtaiset pitoisuudet vaihtelivat lietenäytteissä välillä <0,02–4,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka. Korkeimpana pitoisuutena esiintyi δ -HCH, josta käytetään myös nimeä lindaani. Mannion ym. (2011) raportoimien keskipitoisuuksien summa oli 2,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka, kun huippupitoisuuksien summa oli 6,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka. Heksaklooributadieenin (HCBd) pitoisuudet samassa kartoituksessa vaihtelivat välillä 0,010–4,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka. Pentaklooribentseeniä (PeCB) puolestaan havaittiin 0,080–1,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka ja Heksaklooribentseeniä (HCB) 0,35–5,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ka. Huhtala ym. (2011) puolestaan havaitsivat analysoimisensa kahdessa lietenäytteessä endosulfaania 1,5 mg/kg. Jäteraja-arvoksi on POP-asetuksessa säädetty HCBd:lle 100 mg/kg ja HCH:lle, PeCB:lle, HCB:lle ja endosulfaanille kullekin 50 mg/kg. Mannion ym. (2011) ja Huhtalan ym. (2011) kartoituksissa POP-asetuksen raja-arvot alittuvat näille viidelle yhdisteelle.

Suomessa yhdyskuntajätevesilietteiden haitallisia aineita tarkastelleet hankkeet ovat keskittyneet muutamiin yhdisteryhmiin. Yleisimmin tutkittuja aineryhmiä ovat olleet PBDE-, PFAS- ja PAH-yhdisteet sekä lääkeaineet. Nämä aineryhmät edustavat vain pientä joukkoa niistä aineista, joita lietteissä tiedetään esiintyvän, ja joita esim. Ruotsissa on lietteistä kartoitettu. Yksittäisissä kartoituksissa on tehty pienimuotoisia selvityksiä muutamien harvemmin määritettyjen parametrien, kuten LAS-yhdisteiden ja siloksaanien esiintymisestä. Tutkimusten ulkopuolelle ovat rajautuneet täysin mm. synteettiset myskit kuten OTNE ja galaksolidi sekä organofosforipalonestoaineet.

Suomessa on määritetty yhdyskuntajätevesilietteistä vain hyvin harvoin LAS-yhdisteitä. Erään puhdistamon lietteessä on havaittu hiiliketjultaan 10–14 pituisten LAS-yhdisteiden summapitoisuudeksi n. 2 000 mg/kg ka. Pitoisuustaso ylittää Tanskassa yhdyskuntajätevesilietteilte sovelletun raja-arvon (1 300 mg/kg ka), mutta alittaa Portugalissa sovellettavan raja-arvon (5 000 mg/kg ka). LAS-pitoisuuksien on myös havaittu vaihtelevan huomattavasti laitoksen lietteissä. Muun muassa undekyylibentseenisulfonaatin (LAS C11) pitoisuuden havaittiin vaihtelevan muutamista muutamiin satoihin mg/kg ka. LAS-yhdisteiden on tunnistettu voivan aiheuttaa riskiä lietettä hyödynnettäessä (Eriksen ym. 2009, Sternbeck ym. 2013, SEPA 2014).

Siloksaaneja puolestaan on kartoitettu 2000-luvun alussa viiden suomalaisen jätevedenpuhdistamon lietteessä. Korkeimpana pitoisuutena tarkastelluilla laitoksilla havaittiin D5:a, jonka pitoisuudet vaihtelivat välillä 21–89 mg/kg ka (Kaj ym. 2005). Pohjoismaisen kartoituksen korkein yhdyskuntajätevesilietteilteistä havaittu D5:n pitoisuus havaittiin Suomessa. Sekä siloksaanien että LAS-yhdisteiden edustavien pitoisuustasojen selvittämiseksi tarvitaan nykyistä kattavampia kartoituksia. Erityisesti yhdisteiden pitoisuuksia lannoitteina käytetyissä materiaaleissa, kuten eri tavoin käsitellyissä yhdyskuntajätevesilietteilteissä tulisi selvittää. Lisäksi erilaiset muoveissa pehmittiminä käytetyt yhdisteet kuten ftalaatit on varsin laaja joukko yhdisteitä, joiden esiintymistä ei liioin ole kattavasti selvitetty. Osa ftalaateista lukeutuu mm. REACH:n määrittelemiksi liitteen XIV luvanvaraisiksi aineiksi.

Tunnistetut parametrit

Yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämiä haitallisia aineita ei voida tunnistaa eikä niiden pitoisuustasoja voida ennakoita kattavasti. Tästä syystä materiaalin lannoitekäytön haitattomuutta ei nykyisellään voida todentaa. Jos lannoitekäyttöä kuitenkin halutaan edistää, tulisi raja-arvoja ja määritysvelvoitteita asettaa

kattavasti niille muuttujille, joita materiaalin on tunnistettu sisältävän, ja joiden on arvioitu aiheuttavan riskejä hyötykäytössä. Tällaisia aineita ja aineryhmiä on esitetty Taulukossa 19.

Taulukko 19. Joitakin yhdyskuntajätevesilietteissä tunnistettavissa olevia haitallisia aineita, jotka tulisi ottaa huomioon materiaalin lannoitekäyttöä edistettäessä.

Yhdiste / yhdisteluokka	
Bromatut palonestoaineet	Lääkeaineet
Fenoliset yhdisteet	Organofosforipalonestoaineet
Ftalaatit	PFAS-yhdisteet
Hormonit	Siloksaanit
Klooriparafiinit	Synteettiset hajusteet (ml. synteettiset myskit)
LAS-yhdisteet	

5 Huonosti tunnettuja tekijöitä

Tässä luvussa on lyhyesti esitelty sellaisia tekijöitä, joiden aiheuttamat haitat ja riskit ovat toistaiseksi tuntemattomia tai huonosti tunnettuja. Jotta niihin liittyviä riskejä voitaisiin arvioida nykyistä paremmin ja jätöpohjaisiin lannoitteisiin liittyviä epäluuloja näiltä osin hälventää, tulisi tutkimusta kohdentaa jatkossa aiempaa enemmän näihin muuttujiin.

5.1 Antimikrobiresistenssi

Antimikrobiresistenssi on ympäristössä luontaisesti esiintyvä ominaisuus. Ongelmaksi antimikrobiresistenssi voi muodostua, jos resistentit mikrobit ja resistenssigeenit yleistyvät ympäristössä. Resistenssistä muodostuu terveysriski, jos taudinaiheuttajamikrobit saavat perimäänsä resistenssigeenejä. Resistenssigeenien yleistymistä edistää osaltaan mikrobien altistuminen valintapainetta aiheuttaville kemikaaleille. Antimikrobiresistenssiä edistäviä kemikaaleja ovat mm. antibiootit, biosidit ja raskasmetallit. Näiden aineiden päästöt voivat vaikuttaa mikrobipopulaatioihin, mutta antimikrobiresistenssin yleistyminen voi myös heikentää lääkehoidon tehoa, aiheuttaen merkittäviä ongelmia ihmisten hyvinvoinnille.

Muun muassa yhdyskuntajätevesilietteisissä ja eläinten lannoissa tiedetään esiintyvän monia antibiootteja. Näiden lisäksi yhdyskuntajätevesilietteen on arvioitu voivan toimia antimikrobiresistenssigeenien lähteenä maaympäristöön. Sun ym. (2015) mukaan kompostointi ei vähennä resistenssigeenien esiintymistä. Toisaalta Bondarczukin ym. (2016) tekemän katsauksen mukaan jätevesilietteen korkeat antibioottipitoisuudet, yhdistettyinä korkeisiin raskasmetallipitoisuuksiin, voivat edistää resistenssigeenien leviämistä lietteen sisältämien mikrobien välillä. VKM:n (2020) toteuttamassa tarkastelussa käytettyä jaottelua soveltaen antimikrobiresistenssin aiheuttamat riskit voidaan jakaa kahteen osaan:

- Ihmiset voivat altistua jäteperäisten materiaalien sisältämille resistentille bakteereille
- Jäteperäisten materiaalien sisältämät kemikaalit, kuten antibioottijäämät, raskasmetallit ja biosidit, voivat aiheuttaa valintapainetta, joka edistää resistenssin yleistymistä.

Jäteperäisten lannoitteiden sisältämät antibioottijäämät hajoavat ympäristössä ajan myötä, mutta raskasmetallit eivät. Niiden aiheuttama valintapaine voi siis olla antibioottijäämiä pitkäaikaisempi. Bondarczuk ym. (2016) suosittelivat, että yhdyskuntajätevesilietteen lannoitekäytöstä aiheutuvat resistenssigeenien ja resistenttien bakteerien aiheuttamat riskit tulisi arvioida. Tämä suositus voidaan ulottaa yhdyskuntajätevesilietteisistä myös muihin mahdollista valintapainetta aiheuttaviin jäteperäisiin lannoitteisiin, kuten eläinten lantoihin.

VKM:n (2020) mukaan ulkotiloissa (kylmässä) kompostointi ja vanhentaminen eivät riitä yhdyskuntajätevesilietteen hygienisoimiseksi, eivätkä perinteiset lietteenkäsittelymenetelmät ole tehokkaita resistenssigeenien poistamisessa. Rutgerssonin ym. (2020) tutkimuksessa resistenttien bakteerien tai resistenssigeenien määrien ei havaittu kasvavan maaperässä yhdyskuntajätevesilietteilä lannoittamisen seurauksena. Kirjallisuudessa on kuitenkin esitetty ristiriitaisia tuloksia aiheeseen liittyen (VKM 2020).

5.2 Mikromuovit

Mikromuoveilla tarkoitetaan hyvin pienikokoisia muovihuikkasia. Mikromuovitutkimus on edennyt nopeasti 2000-luvun kuluessa. Vaikka mikromuoveille ei ole vielä muodostunut vakiintunutta määritelmää, niillä tarkoitetaan käytännössä yleisimmin kuitenkin alle 5 mm:n kokoisia synteettisiä tai puolisynteettisiä polymeerihiukkasia. Mikromuoveja päätyy ympäristöön ja erilaisiin jätevesiin useista lähteistä. Tällaisia voivat olla esim. tuotteisiin tarkoituksellisesti lisättyjen mikromuovihiukkasten päästöt, tuotteiden käytön aikana tapahtuva kuluminen, ympäristöön päätyneen isomman muoviroskan hajoaminen sekä erilaiset tahattomat päästöt (Fjäder ym. 2022).

Jätevedenpuhdistamoille tulevat mikromuovit poistuvat valtaosin jäteveden puhdistusprosessissa (99 %) ja näistä hiukkasista 80 % on havaittu pidättyvän lietteeseen (Talvitie ym. 2017). Valtaosa jäteveden mikroroskasta oli erilaisia kuituja, ja synteettisistä kuiduista yleisimpiä olivat polyesterikuidut (Fjäder ym. 2022). Lietteen käsittely kompostoimalla tai mädättämällä ei vaikuta materiaalin sisältämien mikromuovien massaan. Käsittelyt voivat puolestaan rapauttaa muovia ja edistää sen hajoamista pienemmiksi hiukkasiksi.

Maaperän osalta yhdyskuntajätevesilietteen on arvioitu olevan yksi merkittävimmistä mikromuovilähteistä (Nizzetto ym. 2016; Ng ym. 2018; Corradini ym. 2019; Xu ym. 2020). Arvioiden mukaan Euroopassa noin 63 000–430 000 tonnia mikromuoveja päätyy yhdyskuntajätevesilietteen hyötykäytön mukana vuosittain maatalousmaahan (Nizzetto ym. 2016). Tanskassa on puolestaan arvioitu, että vuosittain peltomaahan päätyy lietelevityksen seurauksena yli 3 000 tonnia mikromuovia (Danish EPA 2017). Arvioissa on paljon vaihtelua riippuen mm. siitä kuinka suuria mikromuovikappaleita on tutkittu.

Toisaalta yhdyskuntajätevesilietteen lannoitekäyttö on vain yksi mahdollinen mikromuovien lähde peltomaahan. Muita mahdollisia lähteitä ovat mm. muut lannoitteet tai kasteluedessä olevat epäpuhtaudet sekä katekalvot, säilörehupaalit ja muut maassa käytettävät muovituotteet, kun ne ajan myötä haperuvat tai kun niitä rasitetaan mekaanisesti (Fjäder ym. 2022). Esimerkiksi sian lannalla lannoittamisen on havaittu voivan kasvattaa maaperän mikromuovimääriä (Yang ym. 2021). Myös työkonien maalinpinnoista tai renkaista voi irrota mikromuoveiksi luokiteltavia hiukkasia. Lisäksi Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) on arvioinut muoviin kapseloitujen hidasliukoisten lannoitteiden, torjunta-aineiden tai siementen olevan merkittävä mikromuovilähde maaperään Euroopassa. ECHA on esittänyt tällaisten tarkoituksellisesti tuotteisiin lisättyjen mikromuovien käytön rajoittamista (Fjäder ym. 2022).

Muovien haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia selvitettiin Suomen ympäristökeskuksen ja Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen yhteishankkeessa MYSTEERI (Fjäder ym. 2022). Hankkeessa todettiin, että mikromuovit voivat muuttaa maaperän ominaisuuksia, jotka puolestaan saattavat heijastua edelleen maaperän prosesseihin, mikrobiyhteisöjen rakenteeseen sekä kasvien kasvuun ja ravinteidenottoon (Fjäder ym. 2022). MYSTEERI-hankkeen selvityksen perusteella mikromuovien oli joissakin tutkimuksissa todettu vaikuttavan haitallisesti maaperäeliöiden lisääntymiseen, kasvuun ja/tai selviytymiseen. Esimerkiksi Kwakin ja Anin (2021) mukaan mikromuovit voivat maaperässä vaikuttaa lierojen lisääntymiskykyyn. Toisaalta tutkimuksessa myös havaittiin mikromuovien hienontuvan lierojen aineenvaihdunnassa aiempaa pienemmiksi partikkeleiksi. Yangin ym. (2021) mukaan partikkelien rapautuminen jatkuu maaperässä.

Mikromuovien vaikutukset maaperäeläinten elinkykyyn tai poikastuottoon olivat kuitenkin yleensä olleet lieviä tai ilmenneet vain osalla tutkittuja eliöitä vasta korkeilla pitoisuuksilla (Fjäder ym. 2022). Hankkeessa myös todettiin, että tutkimukset ovat yleensä olleet suhteellisen lyhytkestoisia, eikä monen sukupolven yli yltäviä vaikutuksia maaperäeläinpopulaatioihin vielä tiedetä. Mikromuovien lyhytkestoisienkin altistusten on todettu aiheuttavan mm. biokemiallisia ja immunologisia vasteita sekä muutoksia maaperäeliöiden energiavaroissa. Mikromuovien on havaittu myös estävän tiettyjen eliöiden liikkumista maaperässä sekä vaurioittavan ruoansulatusjärjestelmää. Maaperäeläimet voivat toisaalta myös kuljettaa mikromuoveja maaperässä sekä pilkkoa niitä toiminnallaan pienemmiksi sekä toimia mikromuovien reittinä maanpäälliseen ravintoverkkoon (Fjäder ym. 2022).

5.3 Huonosti tunnetut kemialliset muuttajat

Kemikaalien ympäristöhaittoja pyritään sääntelemään lainsäädännöllä. Jotta yhdiste päätyisi lainsäädännön piiriin, siihen tulee pääsääntöisesti liittyä tunnistettuja riskejä tai vaaraominaisuuksia. Riskinarviointien perusteella mahdollisesti haitallisia aineita voidaan priorisoida esim. vertaamalla ympäristössä esiintyviä pitoisuuksia haitattomaksi arvioituihin pitoisuuksiin. Yangin ym. (2022) toteuttamassa tällaisessa tarkastelussa vesiympäristöille korkeimman prioriteetin aineiksi tunnistettiin mm. antibiootteja (sulfametoksatsoli, ofloksasiini, erytromysiini, klaritromysiini, ym.), muita lääkkeitä (diklofenaakki,

parasetamoli, kofeiini, karbamatsepiini, ym.), hormoneja (estroni, estradioli, etinyyliestradioli), torjunta-aineita (diuroni, diatsinoni, ym.) sekä eri käyttötarkoituksissa käytettyjä yhdisteitä kuten PFOS ja nonyylifenoli. Yangin ym. priorisoinnissa verrattain korkealle nousi myös yksi synteettinen myski, galak-solidi.

Jos yhdistettä ei kuitenkaan tunneta kattavasti, sen aiheuttamia riskejä ei voida arvioida. Myös erityisesti lannoitevalmisteiden sisältämien haitallisten aineiden riskinarvioinnille ensiarvoisen tärkeä aineisto kemikaalien vaikutuksista maaperässä on vähäistä.

Myös haitallisten aineiden kulkeutumiskeinot ympäristössä ja kiertotaloudessa tunnetaan vielä vaja-vaaisesti. Muun muassa erilaisten torjunta-aineiden esiintyminen kierrätyslannoitteissa on noussut keskusteluun viime vuosina. Niitä on tunnistettu päätyneen tuotteisiin kasvintuotannon jätteistä ja eläinten lannoista. Muunlaisia haitallisia aineita komposteihin ja mädätteisiin voi päätyä esim. hulevesien hallinnassa käytetyistä kosteikoista ja pidätysaltaista. Näissä on usein runsaasti kasvillisuutta, joka sitoo itseensä hulevesien ravinteita ja haitallisia aineita sekä pidättää kiintoaineen mukana kulkevia yhdisteitä altaiden pohjalle sedimentoituvaan materiaaliin. Kun näitä altaita huolletaan, eli niitetään kasvillisuutta tai ruopataan pohjaa, saattavat näihin materiaaleihin pidättyneet haitalliset aineet päätyä uudelleen kiertoon, mikäli ne päätyvät kompostointiin tai mädätykseen.

Kemiallisen analytiikan kehittyessä viime vuosina ja vuosikymmeninä, ympäristössä on havaittu yhä laajempi joukko erilaisia yhdisteitä. Grandjean ym. (2011) havaitsivat, että vuosina 2000–2009 julkaistuissa tieteellisissä artikkeleissa korostui pieni yhdistejoukko. Tieteellisessä kirjallisuudessa painotettiin yhdisteet, joita oli tutkittu jo pitkään. Tutkimuksia, jotka keskittyivät sääntelyn kannalta tärkeisiin, huonosti tunnettuihin yhdisteisiin julkaistiin puolestaan vähemmän. Grandjean ym. (2011) arvelivat, että syynä tähän voi olla edelleen jatkuva altistus pitkään tutkituille yhdisteille, tai tutkijoiden taipumus keskittyä aineisiin, joita on helppo tutkia koska niille on saatavilla analytiikkaa, ne tunnetaan jo ennestään, ja joiden tutkimusta rahoitetaan.

Kristianssonin ym. (2021) bibliometrisen tutkimuksen mukaan lääkeaineisiin liittyvien julkaisujen määrä on kasvanut vuodesta 2000 alkaen, kun esim. kasvinsuojeluaineisiin liittyvien julkaisujen määrä on laskenut. Selvityksen mukaan tutkimus on kuitenkin edelleen keskittynyt suurelta osin vain verrattain suppeaan yhdistejoukkoon, kuten raskasmetalleihin. Tuhansien ympäristössä esiintyvien yhdisteiden joukosta vain 65 yhdistettä riittää kattamaan puolet tieteellisessä kirjallisuudessa esitetystä tutkimuksesta.

Tutkimuksen painottuminen harvoin parametreihin ja materiaaleihin on havaittavissa myös Suomessa. Siinä missä yhdyskuntajätevesilietteitä on tutkittu viime vuosina enenevässä määrin (esim. Ylivainio ym. 2020; Vieno ym. 2018; Fjäder 2016), muut jäteperäiset lannoitevalmisteet ja niiden syötteen ovat jääneet vähälle huomiolle. Myös yhdyskuntajätevesilietteissä tarkastelu on keskittynyt hyvin suppeaan ainejoukkoon, kattaen pääsääntöisesti vain PFAS- ja PBDE-yhdisteet sekä lääkeaineet.

Uusien aineiden nousu tutkimuksen ja edelleen sääntelyn piiriin voi johtaa niiden päästöjen ja ympäristöesiintyvyyden vähenemiseen. Tämä prosessi on kuitenkin hidas, ja erityisesti pitkäikäisten yhdisteiden tapauksessa käytön vähenemisen näkyminen kuormituksessa tai ympäristöesiintyvyydessä voi näkyä vasta vuosien jälkeen. Tätä raporttia kirjoitettaessa vesipolitiikan puitedirektiivin (VPD, 2000/EY/60³⁰) nojalla annettavalle neljännelle tarkkailulistalle on ehdotettu sisällytettäväksi mm. siloksaanit D4, D5 ja D6, joita tiedetään esiintyvän myös yhdyskuntajätevesilietteissä (Gomez Cortes ym. 2022). Vastaavasti listalle on ehdotettu lisättäväksi useita teollisissa sovelluksissa ja aurinkorasvoissa käytettyjä UV-suoja-aineita, joista osaa harkitaan sisällytettäväksi Tukholman sopimuksen piiriin.

Yksittäisten kemiallisten yhdisteiden sääntely ei kuitenkaan aina takaa ympäristönsuojelun hyvää tasoa. Monia jo kiellettyjä tai rajoitettuja yhdisteitä on korvattu uusilla kemikaaleilla. Useimpien tällaisten korvaavien yhdisteiden mahdollisia riskejä ja esiintymistä kierrätysmateriaaleissa ei vielä tunneta.

³⁰ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23 lokakuuta 2000, yhteisön vesipolitiikan puitteista. <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

Esimerkiksi palonestoaineina aiemmin käytettyjä PBDE-yhdisteitä on korvattu laajasti mm. halogenoituilla yhdisteillä, kuten tetrabromibisfenoli-A:lla (TBBPA), dekabromidifenyylietaanilla (DBDPE), tris(1,3-dikloroisopropyli)fosfaatilla (TDCPP) ja Dekloraani plus:lla, joiden ympäristöriskejä tai esiintymistä kierrätysmateriaaleissa ei tunneta kattavasti.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

EU:n uusi Lannoitevalmisteasetus asettaa vaatimukset ns. EU-lannoitevalmisteille. Näiden lannoitevalmisteiden raaka-aineina voidaan käyttää ainoastaan asetuksen mukaisia materiaaleja. Asetuksessa sallittujen raaka-aineiden ulkopuolelle jää useita jäteperäisiä materiaaleja, joista monia on pitkään hyödynnetty Suomessa lannoitteina sellaisenaan tai jatkoprosessoituina. Tällaisten materiaalien lannoitekäytön sääntely jää kansallisen lainsäädännön piiriin.

Kansallisen lannoitelainsäädännön mukaan lannoitteiden käytöstä ei saa aiheutua vaaraa ihmisten, eläinten tai kasvien terveydelle tai ympäristölle. Toisaalta myös Ympäristönsuojelulain 32 §:n tarkoittama vapautus ympäristöluvanvaraisuudesta koskee haitattomaksi käsitellyn yhdyskuntajätevesilietteen Lannoitevalmistelain mukaista käyttöä. Sen arvioiminen, aiheuttaako lannoitteiden käyttö edellä mainittua vaaraa, kuten myös sen määrittäminen, milloin yhdyskuntajätevesiliete on käsitelty haitattomaksi, edellyttää materiaalin koostumuksen tuntemista ja sen mahdollisesti sisältämien haitallisten aineiden tunnistamista.

Jäteperäisten materiaalien hyödyntäminen lannoitevalmisteina tai niiden raaka-aineina edistäisi kiertotaloutta, sillä niiden sisältämät ravinteet saataisiin hyödynnettyä uudelleen. Monien tarkasteltujen materiaalien, kuten yhdyskuntajätevesilietteiden ja ruoppausmassojen lannoitekäytöstä onkin dokumentoitu monia positiivisia kokemuksia. Jäteperäisiä materiaaleja ei kuitenkaan ole alun perin suunniteltu eikä valmistettu lannoitevalmisteiksi tai niiden raaka-aineiksi, vaan ne ovat tuotantoprosessien sivuvirtoja tai jätteitä. Tällaiset materiaalit voivat sisältää myös sellaisia kemiallisia yhdisteitä, joita lannoitteiden ei toivota sisältävän ja jotka voivat aiheuttaa riskejä ympäristöön päätyessään. Vaarojen ehkäisemiseksi kansallisessa lainsäädännössä on tarkoituksenmukaista asettaa riittävät ja perustellut laatuvaatimukset jätöpohjaisille lannoitteille.

Voimassa oleva suomalainen lannoitelainsäädäntö on asettanut raja-arvoja ja määritysvelvollisuuksia ainoastaan kahdeksalle haitalliselle raskasmetallille. Näiden lisäksi Lannoitevalmisteasetus asettaa EU-lannoitevalmisteille ja niiden raaka-aineille raja-arvoja mm. kuudenarvoiselle kromille sekä PCB-, PAH- ja PCDD/F-yhdisteille. Monissa maissa sovelletaan kansallisia laatuksiteerejä edellä mainittujen haitta-aineiden lisäksi myös esim. LAS-yhdisteille, alkyylifenoleille ja PFAS-yhdisteille. Lannoitevalmisteasetuksessa asetetut raja-arvot ovat samalla tasolla kuin eri maissa kansallisesti sovelletut raja-arvot.

Raja-arvoja on eri maissa asetettu useimmiten haitallisille raskasmetalleille. Raskasmetalleihin ei liity samanlaista uutuusarvoa kuin niin kutsuttuihin nouseviin haitallisiin aineisiin, kuten lääkeaineisiin. Raskasmetallit kuitenkin säilyttävät merkityksensä, sillä niitä esiintyy monissa materiaaleissa ja ne ovat todistetusti haitallisia. Ne voivat joissain tapauksissa myös kertyä satokasveihin kasvattaen ihmisten haitta-ainealtistusta. Muut haitalliset aineet, joille on asetettu laatuvaatimuksia EU-tasolla tai kansallisissa lainsäädännöissä, kuten PCDD/F-, PAH- ja PFAS-yhdisteet on tunnistettu kirjallisuudessa huomionarvoisiksi. Kirjallisuudessa nousee kuitenkin esiin muutamia aineryhmiä, joille raja-arvoja ei ole asetettu. Tällaisia ovat esim. metsäteollisuuden lietteiden mahdollisesti sisältämät kvaternaariset ammoniumyhdisteet, eläinperäisten ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen lääke- ja torjunta-ainejäämät, ruoppausmassojen sisältämät organotinat, ja yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämät lääkejäämät, siloksaanit, bisfenoli-A, bromatut palonestoaineet ja synteettiset myskit.

Suomalaisista lannoitteina tai niiden raaka-aineina käytetyistä materiaaleista on määritetty lainsäädännössä mainittujen raskasmetallien pitoisuuksia. Muiden haitallisten aineiden esiintymistä on pääsääntöisesti määritetty vain yksittäisissä hankkeissa. Saatavilla olevan aineiston määrä vaihtelee huomattavasti materiaali- ja haitta-ainekohtaisesti. Selvästi eniten aineistoa on olemassa yhdyskuntajätevesilietteistä ja ruoppausmassoista, kun taas kotimaisen aineiston määrä on hyvin vähäinen etenkin eläinperäisistä ja elintarviketeollisuudessa muodostuvista sivuvirroista.

Yhdyskuntajätevesilietteistä on määritetty Suomessa kymmeniä tai satoja erilaisia orgaanisia haitallisia aineita. Näistä muutamien on arvioitu voivan aiheuttaa ympäristöriskejä lietteen hyötykäytön seurauksena. Vaikka yhdyskuntajätevesilietteistä on määritetty verrattain laajaa haitta-ainejoukkoa, kartoitetut aineet kattavat vain pienen murto-osan niistä aineista, joita lietteissä tiedetään kirjallisuuden perusteella esiintyvän. Yhdyskuntajätevesilietteiden tutkimukset ovat Suomessa keskittyneet viime aikoina PFAS- ja PBDE-yhdisteisiin sekä lääkeaineisiin, kun kartoitusten ulkopuolelle ovat jääneet lähes täysin mm. LAS-yhdisteet, siloksaanit, bisfenoli-A ja synteettiset myskit. Tällaisiin verrattain vähän tutkittuihin haitallisiin aineisiin tulisi kiinnittää huomiota yhdyskuntajätevesilietteen lannoitekäyttöä edistettäessä. Toisaalta myös tiukasti säänneltyjä haitallisia aineita, kuten PCDD/F- ja PCB-yhdisteitä on määritetty vain harvoin, eikä esimerkiksi SCCP-yhdisteitä juuri lainkaan.

Suomessa tehtyjen, yhdyskuntajätevesilietteisiin ja niistä valmistettuihin lannoitevalmisteisiin keskittyneiden kartoitusten perusteella haitallisten aineiden pitoisuudet voivat myös vaihdella huomattavasti näytteiden tai havaintopaikkojen välillä. Tämä hankaloittaa edustavien pitoisuustasojen arviointia ja haitta-ainekoostumuksen ennakointia. Koska yhdyskuntajätevesilietteet sisältävät läpyleikkauksen yhteiskunnassa käytössä olevista mutta myös aiemmin käytössä olleista haitallisista aineista, materiaalin sisältämien haitallisten aineiden kattava tunnistaminen ja priorisointi ei ole mahdollista ilman nykyistä laajempia kartoituksia.

Yhdyskuntajätevesilietteistä poiketen, metsäteollisuuden lietteet muodostuvat teollisissa prosesseissa. Tällä tavoin syntyvän materiaalin voidaan ennakoita sisältävän pääasiassa vain sellaisia kemiallisia yhdisteitä, joita laitoksen prosesseissa käytetään. Metsäteollisuudessa käytetyt prosessit vaihtelevat kuitenkin laitosten välillä. Tästä syystä metsäteollisuuden lietteiden sisältämät haitalliset aineet tulisi ensisijaisesti pyrkiä tunnistamaan laitos- tai prosessikohtaisesti. Huomionarvoisia haitallisia aineita voivat olla esim. PFAS-yhdisteet, kvaternaariset ammoniumyhdisteet, organoklooriyhdisteet sekä erilaiset biosidit ja limanestoaineet.

Eläinperäisiin ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoihin on tunnistettu liittyvän monia mikrobiologisia riskejä, joita on pyritty hallitsemaan mm. materiaalien käsittelyvelvoitteilla ja muulla lainsäädännöllä. Materiaalien sisältämiä haitallisia aineita on Suomessa kartoitettu vain vähän, mutta esim. eläinten lannan tiedetään voivan sisältää lääkkeitä. Toisaalta elintarviketeollisuuden sivuvirroissa on meilläkin havaittu torjunta-ainejäämiä. Kansainvälisissä tarkasteluissa elintarviketeollisuuden jätevesien on lisäksi havaittu sisältävän laajan kirjon muitakin haitallisia aineita, kuten PFAS-yhdisteitä.

Ruoppausmassojen sisältämät haitalliset aineet riippuvat suuresti ruopattusta alueesta. Jos ruoppausmassa on peräisin ihmisvaikutuksen välittömän vaikutuksen ulkopuolella olevan vesialueen uudisruoppauksesta, materiaalista on perusteltua tarkastella vain raskasmetallien ja mahdollisesti sulfidien esiintymistä. Lisäksi, jos ruopattu alue on merialue, tulee arvioida voiko ruoppausmassan suolapitoisuus aiheuttaa haittaa lannoitekäytössä. Välittömän ihmisvaikutuksen, kuten jätevesi- tai teollisuuspäästöjen piirissä olevilta vesialueilta ruopattavien massojen haitta-aineet tulee tunnistaa alueen käyttö- ja kuormitushistorian perusteella. Esimerkiksi satama-alueiden sedimenteistä on Suomessa havaittu raskasmetallien lisäksi organotinayhdisteitä ja PAH-yhdisteitä. Paperiteollisuuden alapuolisissa sedimenteissä on puolestaan havaittu elohopeaa, organoklooriyhdisteitä, PCB-yhdisteitä ja organotinoja. Lannoitekäyttöä edistettäessä tulisi ensisijaisesti keskittyä kuormituslähteiden ulottumattomissa olevilta alueilta peräisin olevien ruoppausmassojen käyttöön.

Tunnistettujen kemiallisten muuttujien lisäksi kirjallisuudessa nousee toistuvasti esiin myös uusia muuttujia, joihin liittyvät riskit täytyisi pystyä arvioimaan kierrätysmateriaalien lannoitekäytön edistämiseksi ja turvallisuuden varmentamiseksi. Tällaisiin tuntemattomiin muuttujiin lukeutuvat esim. antimikrobiresistenssin yleistyminen sekä mikromuovit. Näiden aiheuttamien riskien arvioimiselle ei ole olemassa vakiintuneita menetelmiä. Lisäksi haitallisten aineiden tarkastelu on yleensä keskittynyt hyvin suppeaan ainejoukkoon, eikä tarkastelun ulkopuolelle jääneiden, etenkin nousevien, aineiden aiheuttamia riskejä tunneta.

Jätepohjaisten lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden laadun paremman tuntemuksen edistämiseksi tarvittaisiin nykyistä kattavampia kartoituksia. Tätä tavoitetta tukisi mm. Tukholman sopimuksen kansallisessa toimeenpano- ja toimintasuunnitelmassa mainittu kansallinen selvitys Tukholman sopimuksen liitteen C mukaisten aineiden pitoisuuksista yhdyskuntajätevesilietteissä.

Jätepohjaisia materiaaleja voitaisiin hyödyntää lannoitevalmisteina tai niiden raaka-aineena ainakin kolmen erilaisen hallinnollisen vaihtoehdon kautta: ympäristölupamenettelyn, rekisteröintimenettelyn tai EEJ-menettelyn kautta. Kaikkien näiden tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista. Hallinnollisesta menettelystä riippumatta tulee siis määritellä kriteerit tai raja-arvot ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi. Tämä edellyttää yhtäältä em. materiaalien sisältämien haitta-aineiden ja materiaaliepäpuhauksien pitoisuuksien ja pitoisuusvaihteluiden tuntemista. Toisaalta on määriteltävä sellaiset pitoisuudet, liukoisuudet tmv., joilla jätepohjaisen materiaalin käytöstä ympäristölle aiheutuvat riskit voidaan hallita joko tapauskohtaisesti (ympäristölupa) tai yleisesti (rekisteröintimenettely, EEJ-asetus).

EEJ-menettelyn seurauksena materiaalit siirtyisivät jätelainsäädännöstä tuotelainsäädännön piiriin, mikä tarkoittaisi mm. POP-asetuksen sekä REACH-asetuksen mukaisten rekisteröinti- ja lupamenettelyiden sekä rajoitusten huomioimista. Näin ollen tämän raportin Luvussa 4 esille nostettujen haitallisten aineiden lisäksi olisi tarkoituksenmukaista kartoittaa myös POP-asetuksen ja Tukholman sopimuksen (liite C) sekä REACH-asetuksen (liite XIV) piiriin kuuluvien yhdisteiden esiintymistä lannoitteina tai niiden raaka-aineina hyödynnettävissä jättemateriaaleissa.

Hankkeen aikana toiminnanharjoittajien kanssa käydyissä keskusteluissa tuli toistuvasti esille, että nykyistä laajemmat haitta-aineisiin liittyvät määrittelyvelvoitteet ja raja-arvot olisivat tervetulleita. Ne loisivat ennakoitavuutta jäteperäisten materiaalien markkinoille ja voisivat parantaa toiminnan imagoa. Mahdollisten raja-arvojen ja määrittelyvelvoitteiden tulisi kuitenkin olla hyvin perusteltavissa tutkitulla tiedolla. Raja-arvojen toimeenpanolle tulisi myös olla riittävät siirtymäajat. Tällöin materiaalien tuottajilla olisi mahdollisuus mukauttaa toimintaansa muuttuvaan sääntelyyn.

Tässä hankkeessa tarkastellut hallinnolliset vaihtoehdot kiteytyvät siihen, miten jäteperäisen materiaalin hyödyntämisestä aiheutuvat haitat voidaan estää. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan laatu-kriteerejä, eli haitta-ainekohtaisia raja-arvoja, mutta myös materiaalien nykyistä parempaa tuntemusta. Nykyisellään esim. EEJ-menettelyn vaatima materiaalien karakterisointi on varsin haastavaa vaihtelevan, huonosti tunnetun ja vaikeasti ennakoitavan haitta-ainekoostumuksen materiaaleille, kuten yhdyskuntajätevesilietteille. Materiaalille, jonka sisältämiä haitallisia aineita tai niiden pitoisuustasoja ei tunneta riittävästi, ei voida asettaa kemiallisia kriteereitä, joiden täytyessä materiaali voitaisiin arvioida haitattomaksi, koska yhdisteitä, joille nuo kriteerit tulisi asettaa ei tunneta. Jos tällaisten materiaalien lannoitekäyttöä edistetään, tulee huomioida, että materiaalin tuntemus kasvaa ajan myötä. Tällöin on tärkeää, että haitta-aineiden raja-arvoja ja määrittelyvelvoitteita voidaan päivittää joustavasti.

Lyhenteet

Ag	Hopea
AMPA	Aminometyylifosfonihappo, glyfosaatin muuntumistuote
AOX	Adsorboituvat organohalogeenit
As	Arseeni
AVL	Asukasvastineluku
BBP	Butyylibentsyyliiftalaatti
BDE	Bromattu difenyylietteri
CAS-numero	Kemiallisten yhdisteiden tunnistenumerojärjestelmä (chemical abstract service)
Cd	Kadmium
CMC	Ainesosaluokka (component material category)
Cr	Kromi
Cu	Kupari
D4	Oktametyylisyklotetrasiloksaani
D5	Dekametyylisyklopentasiloksaania
D6	dodekametyylisykloheksasiloksaani
DBDPE	Dekabromidifenyylietaani
DBP	Dibutyyliftalaatti
DBT	Dibutyylitina
DDT	Diklooridifenyyli trikloorietaani
DEHP	Dietyyliheksyyliiftalaatti
DFT	Difenyylitina
DIBP	Di-isobutyyliftalaatti
DOT	Dioktyylitina
ECHA	Euroopan kemikaalivirasto
EDTA	Etyleenidiamiinitetraetikkahappo
EEJ-status	Ei-enää-jätettä-status
EHDPP	2-etyyliheksyyliidifenyyli fosfaatti
HBCDD	Heksabromosyklo dodekaani
HCB	Heksaklooribentseeni
HCBD	Heksaklooributadieeni
HCH	Heksakloorisykloheksaani
HELCOM	Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio
Hg	Elohopea
JRC	Joint research centre
LCCP	Pitkäketjuiset, yli 17 hiiliatomia sisältävät klooriparafiinit
LOQ	Määrittäysraja (limit of quantification)
MBT	Monobutyylitina
MFT	Monofenyylitina
MCCP	Keskipitkät, 14-17 hiiliatomia sisältävät klooriparafiinit
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
MOT	Mono-oktyylitina
NAP	National action plan
Ni	Nikkeli
NP	Nonyylifenoli
NPE	Nonyylifenolietoksyalaatti
OTNE	Tetrametyyliasetyylioktahydronaftaleeni, syntettilinen hajuste
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt

PAH16	16 PAH-yhdisteen (naftaleeni, asenaftyleeni, asenafteeni, fluoreeni, fenantreeni, ant-raseeni, fluoranteeni, pyreeni, bent-so(a)antraseeni, kryseeni, bentso(b)fuoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, dibetso(a,h)antraseeni ja bentso(ghi)peryleeni) summapitoisuus
Pb	Lyijy
PCB	Polykloorattu bifenyylä
PCB6	PCB-kongeneerien 28, 52, 101, 138, 153 ja 180 summapitoisuus
PCB7	PCB-kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 summapitoisuus
PCDD/F	Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit
PCN	Polyklooratut naftaleenit
PCP	Pentakloorifenoli
PeCB	Pentaklooribentseeni
PFOA	Perfluorioktaanihappo
PFAS	Per- ja polyfluoratut alkyylilyhdisteet
PFOS	Perfluorioktaanisulfonihappo
PFC	Toimintoperusteinen tuoteluokka (product function category)
PNEC	Haitattomaksi arvioitu pitoisuus (predicted no-effect concentration)
SCCP	Lyhytketjuiset, 10-13 hiiliatomia sisältävät klooriparafiinit
TBT	Tributyylä
TBBPA	Tetrabromibisfenoli-A
TEQ	Toksisuusekvivalentti
TEF	Toksisuusekvivalenttikerroin
TFT	Trifenyylitina
TTBT	Tetrabutyylitina
TCDD	2,3,7,8-tetraklooridibentso-p-dioksiini
TCPP	Tris(2-kloori-1-metyylietyyli)fosfaatti
TDCPP	Tris(1,3-dikloroisopropyli)fosfaatti
UTC-raja	POP-asetuksessa tahattomille jäämille (unintended trace concentration) sovellettava raja-arvo
UVCB	Koostumukseltaan tuntematon tai vaihteleva aine, kompleksi reaktiotuote tai biologinen materiaali (Substance of Unknown or Variable composition, Complex reaction product or Biological material)
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compound)
YLVA	Ympäristönsuojelun valvonnan sähköinen asiointijärjestelmä
Zn	Sinkki

Lähteet

- Aalto, J. 1992. Selvitys yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolietteliden haitallisista orgaanisista yhdisteistä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 358. 159 s. ISBN 951-47-5561-8.
- Aarnio, M., Myllyniemi, A.-L., Nykäsenoja, S., Raatikainen, M., Koivisto, P., Tuominen, P., Suomi, J., Cheung, S.M., Luostarinn, S., Ervasti, S., Lehtoranta, S., Rintamäki, H. & Grönroos, J. 2019. Mikrobilääkeresistenssi ja -jäämät nautatiloilla – vaikutukset ympäristöön ja terveyteen (NAMI). Ruokaviraston tutkimuksia 4/2019. 98 s. ISBN 978-952-358-008-4.
- Ajosenpää, T. 2014. Suunnittelulla ja ruo'on hyötykäytöllä tehokkuutta rantojen hoitoon. Tuloksia ja kokemuksia VELHO-hankkeesta. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 55/2014. 112 s. ISBN 978-952-314-057-8.
- Ajosenpää, H., Ajosenpää, T. & Paananen, S. 2020. Lanta tehokkaaseen käyttöön – Lannasta maanparannusta ja ravinteita kasvinviljelytiloille. ProAgria hankejulkaisut -sarja. Pro Agria Länsi-Suomi.
- Axegård, P. 2019. The effect of the transition from elemental chlorine bleaching to chlorine dioxide bleaching in the pulp industry on the formation of PCDD/Fs. *Chemosphere* 236. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124386>
- Berninger, K., Pihl, T., Kasanen, P., Mikola, A., Tynkkynen, O. & Vahala, R. 2017. Jätevesien fosfori hyötykäyttöön – teknologioita ja ohjauskeinoja. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 62/2017. 70 s. ISBN 978-952-287-447-4.
- Betoni EEJ-asetus, luonnos 2020. Valtioneuvoston asetus arviointiperusteista sen määrittämiseksi milloin betonimurske lakkaa olemasta jätettä. Luonnos 11.9.2020. Saatavilla verkossa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=189148dd-8b4a-43d0-8f04-cf992bb736cc> [Viitattu 14.2.2022]
- BioKymppi 2021. Tuoteselosteet. Verkko-osoite: https://bio10.fi/?page_id=143 [Viitattu 9.3.2022]
- Bloem, E. & Lehmann, L. 2016. Report on contamination of P-rich waste materials with organic xenobiotics. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Saatavilla verkossa: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- Bondarczuk, K., Markowicz, A. & Piotrowska-Seget, Z. 2016. The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environ. Int.* 87, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.11.011>
- Brandon, D.L. & Price, R.A. 2007. Summary of Available Guidance and Best Practices for Determining Suitability of Dredged Material for Beneficial Uses. US Army Corps of Engineers, Dredging Operations and Environmental Research Program. ERDC/EL TR-07-27. 102 s.
- Brandtsma, S.H., Van Mourik, L., O'Brien, J.W., Eaglesham, G., Leonards, P.E.G., De Boer, J., Gallen, C., Mueller, J., Gaus, C. & Bogdal, C. 2017. Medium-Chain Chlorinated Paraffins (CPs) Dominate in Australian Sewage Sludge. *Environ. Sci. Technol.* 51, 3364–3372. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05318>
- Burt T.N. 1996. Guidelines for the beneficial use of dredged material. Report SR 488. November 1996. 111 s.
- Camberato, J.J., Vance, E.D. & Someshwar, A.V. 1997. Composition and land application of paper manufacturing residuals. Pages 185-202 in J.E. Rechcigl & H.C. MacKinnon, eds. *Agricultural uses of by-products and wastes*. ACS Symposium Series 668. Washington, D.C.
- Camberato, J.J., Gagnon, B., Angers, D.A., Chantigny, M.H. & Pan, W.L. 2006. Pulp and paper mill by-products as soil amendments and plant nutrient sources. *Can. J. Soil Sci.* 86, 641–653. <https://doi.org/10.4141/S05-120>
- Collivignarelli, M.C., Abbà, A., Frattarola, A., Miino, M.C., Padovani, S., Katsoyiannis, I. & Torretta, V. 2019. Legislation for the reuse of biosolids on agricultural land in Europe: Overview. *Sustain.* 11, 1–22. <https://doi.org/10.3390/su11216015>
- Corradini F., Meza P., Eguiluz R., Casado F., Huerta-Lwanga E. & Geissen V. 2019. Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Sci. Total Environ.* 671: 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- Danish EPA 2017. Microplastic in Danish wastewater. Sources, occurrences and fate. Environmental Project No 1906. Toim. Vollertsen, J. ja Hansen, A.A. The Danish Environmental Protection Agency. 37 s. + liitt. 17 s.
- Deviatkin, I., Kujala, A. & Horttanainen, M. 2015. Deinking sludge utilization possibilities: technical, economic, and environmental assessments. Report on responsibilities of LUT Energy in EMIR project, 2012–2014. LUT Scientific and Expertise Publications, Tutkimusraportit – Research Reports 37. 80 s. ISBN 978-952-265-770-1.
- DPC 2009. Challenging the Industry. Panama Report, Dredging and Port Construction Magazine 5/2009.
- Dubascoux, S., Lespes, G., Denaix, L. & Gautier, M.P. 2008. Kinetic monitoring of trisubstituted organotins in soil after sewage sludge application. *Appl. Organomet. Chem.* 22, 481–487. <https://doi.org/10.1002/aoc.1421>

- ECHA 2009. Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I to Directive 98/8/EC. Assessment Report. Acrolein. Product-type 12 (Slimicide). October 2009, UK.
- ECHA 2014. Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Evaluation of active substances. Assessment Report. Glutaraldehyde. Product-type 2,3,4,6,11,12 (Private area and public health area disinfectants and other biocidal products; Veterinary hygiene biocidal products; Food and feed area disinfectants; In-can preservatives; Preservatives for liquid-cooling and processing systems; Slimicides). 30.9.2014, eCA Finland.
- ECHA 2015. Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Evaluation of active substances. Assessment Report. C(M)IT/MIT. Product-type 12 (Biocide for use as Slimicides). April 2015, France.
- ECHA 2016. Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Evaluation of active substances. Assessment Report. Peracetic acid. Product-types 11 and 12 (Preservatives for liquid cooling and processing systems, Slimicides). August 2016, Finland)
- ECHA 2017. Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Evaluation of active substances. Assessment Report. 2-Methyl-2H-isothiazol-3-one. Product type 12 (slimicides). April 2017, Slovenia.
- ECHA 2022. Information on biocides. Verkkosivu: <https://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/biocidal-active-substances> [Viitattu 12.1.2022]
- Eisler, R. 1986. Dioxin hazards to fish, wildlife, and invertebrates: synoptic review. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 85(1.8). 37 pp.
- Ek Henning, H., Putna-Nimane, I., Kalinowski, R., Perkola, N., Bogusz, A., Kublina, A., Haiba, E., Barda, I., Karkovska, I., Schütz, J., Mehtonen, J., Siimes, K., Nyhlén, K., Dzintare, L., Äystö, L., Sinics, L., Laht, M., Lehtonen, M., Stapf, M., Stridh, P., Poikâne, R., Hoppe, S., Lehtinen, T., Kögma, V., Junttila, V. & Leisk, Ü. 2020.. Pharmaceuticals in the Baltic Sea Region – emissions, consumption and environmental risks. Report no. 2020:28, Länsstyrelsen Östergötland, Linköping. 192 s. + liitt. 149 s. Saatavilla verkossa: <https://www.lansstyrelsen.se/4.f2dbbcc175974692d268b9.html>
- Elomaa, T. 2015. Kartoituis Kaakois-Suomen jäteliettestä, lietteen tuottajista ja käsittelymenetelmistä. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- EMA 2000. VICH Topic GL6 (Ecotoxicity Phase I). Guideline on environmental impact assessment (EIAS) for veterinary medicinal products -Phase I. The European Agency of the Evaluation of Medicinal Products. European Medicines Agency. Saatavilla verkossa: http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2009/10/WC500004394.pdf
- Environnement Québec 2004. Guidelines for the beneficial use of fertilizing residuals. Reference criteria and regulatory standards. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction du milieu rural, Québec, QC. 127 pp.
- US EPA 1994. Land Application of Sewage Sludge – A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503. EPA/831-B-93-002b. Saatavilla verkossa: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/land-application-sewage-sludge.pdf>
- Eriksen, G.S., Amundsen, C.E., Bernhoft, A., Eggen, T., Grave, K., Halling-Sørensen, B., Källqvist, T., Sogn, T. & Sverdrup, L. 2009. Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soils. Opinion from the Panel on Contaminants in the Norwegian Scientific Committee for Food Safety. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM), Oslo, Norja. 208 s. + liitt. 32 s.
- ESPP 2017. New sewage sludge ordinance passed the German cabinet. Uutinen 18.1.2017. <http://www.phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news/1395-new-sewage-sludge-ordinance-passed>
- Euroopan komissio 2021a. Komission delegoitu asetus (EU) .../... Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1009 liitteiden II ja IV muuttamisesta saostettujen fosfaattisuolojen ja -johdannaisien lisäämiseksi EU-lannoitevalmisteiden ainesosaluokaksi. Bryssel 5.7.2021, C(2021) 4743 final.
- Euroopan komissio 2021b. Komission delegoitu asetus (EU) .../... Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1009 liitteiden II, III ja IV muuttamisesta termisessä hapetuksessa muodostuvien materiaalien ja niiden johdannaisien lisäämiseksi EU-lannoitevalmisteiden ainesosaluokaksi. Bryssel 6.7.2021, C(2021) 4751 final.
- Euroopan komissio 2021c. Komission delegoitu asetus (EU) .../... Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1009 liitteiden II, III ja IV muuttamisesta pyrolyysissa ja kaasutuksessa muodostuvien materiaalien lisäämiseksi EU-lannoitevalmisteiden ainesosaluokaksi. Bryssel 7.7.2021, C(2021) 4764 final.
- European Commission 2021a. Commission delegated regulation (EU) .../... of XXX amending Annexes II, III and IV to Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council for the purpose of adding recovered high purity

materials as a component material category in EU fertilizing products. Brussels 2021, draft. Ref. Ares(2021)7643119 – 10/12/2021

European Commission 2021b. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Annexes IV and V to Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants. Brussels, 28.10.2021, COM(2021) 656 final. 2021/0340 (COD).

European Commission 2012. Final implementation report for the sewage sludge directive 86/278/EEC. 30 January 2012. Preparation of implementation reports on waste legislation, including the Waste Shipment Regulation. Service request under the framework contract No. ENV.G.4/FRA/2007/0066. Consortium ESWI Expert Team to Support Waste Implementation. <http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/reporting/pdf/Annex%202-1%20Sewage%20Sludge.pdf>

Ekira 2019. Kansallinen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelo. Konsolidoitu versio 22.11.2019. Saatavilla verkossa: https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyypinimiluettelo_konsolidoitu_22_11_2019.pdf [Viitattu 19.8.2021]

Faubert, P., Barnabé, S., Bouchard, S., Coté, R. & Villeneuve, C. 2016. Pulp and paper mill sludge management practices: What are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions? Resources, Conservation and Recycling 108, 107–133. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.007>

Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A. & Kacprzak, M.J. 2017. The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. J. Environ. Manage. 203, 1126–1136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.068>

Fjäder, P. 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit. RUSSOA I-III Loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2016. 58 s. + liitt. 7 s. ISBN 978-952-11-4652-7.

Fjäder P., Korkalainen M., Kauppi S., Lehtiniemi M., Salminen J., Selonen S., Setälä O., Sillanpää M., Sorvari J., Suikkanen S., Talvitie J., Turunen T., Virkkunen H., Ala-Ketola U. 2022. Muovien haitalliset ympäristö- ja terveysvaikutukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2022.

FINRES-Vet 2020, Finnish Veterinary Antimicrobial Resistance Monitoring and Consumption of Antimicrobial Agents. Finnish Food Authority publications 6/2021. 50 s. + liitt. 14 s. ISBN 978-952-358-029-9.

FOR 2021. Fritidsodlingens riksorganisation. Analys av påsjord och organiska gödselprodukter. <https://for.se/2021/07/29/analys-av-pasjord-och-organiska-godselsprodukter/>. [Viitattu 30.11.2021]

Gagnon B, Ziadi, N., Cote, C. & Foisy, M. 2010. Environmental impact of repeated applications of combined paper mill biosolids in silage corn production. Can. J. Soil Sci. 90 (1), 215–227. <http://dx.doi.org/10.4141/CJSS09055>

Gianico, A., Braguglia, C.M., Gallipoli, A., Montecchio, D. & Mininni, G. 2021. Land application of biosolids in Europe: Possibilities, con-strains and future perspectives. Water 13(1), 103. <https://doi.org/10.3390/w13010103>

Gomez Cortes, L., Marinov, D., Sanseverino, I., Cuenca, A.N., Niegowska, M., Porcel Rodriguez, E., Stefanelli, F. & Lettieri, T. 2022. Selection of substances for the 4th Watch List under the Water Framework Directive. JRC Technical Report. Draft.

Grandjean, P., Eriksen, M.L., Ellegaard, O. & Wallin, J.A. 2011. The Matthew effect in environmental science publication: A bibliometric analysis of chemical substances in journal articles. Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source 10, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-96>

Halminen, J. 1986. Metsäteollisuuden jätevesilietteiden kompostointi. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 2. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki 1986. ISBN 951-46-9629-8.

Hammer T.J., Fiere, N., Hardwick, B., Simojoki A., Slade E., Taponen J., Viljanen H. & Rosli, H. 2016 Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. Proc R Soc B. 2016; 283: 1831. <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2016.0150>

Hari, L. & Riiko, K. 2016. Ravinnekierätyksen eurokiemuroita. Baltic Sea Action Group 2016.

Harrington, J. & Smith, G. 2013. Guidance to the Beneficial Use of Dredge Material in Ireland. Cork Institute of Technology. October 2013. 96 s.

HELCOM 2015. HELCOM Guidelines for Management of Dredged Material at Sea. Adopted by HELCOM 36-2015 on 4 March 2015 and amended by HELCOM 41-2020 on 4 March 2020. Saatavilla verkossa: <https://helcom.fi/media/publications/HELCOM-Guidelines-for-Management-of-Dredged-Material-at-Sea.pdf> [Viitattu 28.9.2021]

HELCOM 2017. HELCOM Recommendation 38/1, Sewage sludge handling. Adopted 1 March 2017. Saatavilla verkossa: <https://helcom.fi/media/recommendations/Rec-38-1.pdf> [Viitattu 18.1.2022]

HELCOM 2021a. Sewage sludge handling in the Baltic Sea region in 2018. 15 s.

- HELCOM 2021b. Draft BSEFS for Depositing of dredged material in the Baltic Sea. Document 3-2, Twelfth online expert meeting on dredging and depositing activities in the Baltic Sea, 15.3.2021.
- Hennecke, D., Bauer, A., Herrchen, M., Wischerhoff, E. & Gores, F. 2018. Cationic polyacrylamide copolymers (PAMs): environmental half life determination in sludge-treated soil. *Environ. Sci. Eur.* 30. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0143-3>
- HSY 2021. Hiiltämällä jätevesilietteen ravinteet kiertoon – Lietehiilihanke. Loppuraportti. 39 s. + liitt. 15 s.
- Hubbard, L.E., Kolpin, D.W., Givens, C.E., Blackwell, B.R., Bradley, P.M., Gray, J.L., Lane, R.F., Masoner, J.R., McCleskey, R.B., Romanok, K.M., Sandstrom, M.W., Smalling, K.L. & Villeneuve, D.L. 2022. Food, Beverage, and Feedstock Processing Facility Wastewater: a Unique and Underappreciated Source of Contaminants to U.S. Streams. *Environ. Sci. Technol.* 56, 1028–1040. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06821>
- Huhtala S., Munne P., Nakari T., Nuutinen J., Perkola N., Sainio P., Schultz E. & Schultz L. 2011. WP3 Innovative Approaches to Chemical Controls of Hazardous Substances. National Report Finland. COHIBA -project (Control of Hazardous Substances in the Baltic Sea Region).
- Huopana, T., Raatikainen, O., Kolehmainen, M., Janhunen, M. & Antikainen, E. 2014. Palveluliiketoimintaa metsäteollisuuden lietteistä – METLI. Loppuraportti 15.10.2014.
- Huygens & Saveyn 2021. Technical proposals for by-products and high purity materials as component materials for EU Fertilizing Products. Interim Report (report v3), dated 14/06/2021.
- Häkkinen, J., Pyy, O. & Salmnen, J. 2020. Selvitys kansainvälisistä käytännöistä ruoppausmassojen hallinnassa ja hyödyntämisessä. CircVol-projektin taustaselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2020. 61 s. + liitt. 2 s. ISBN 978-952-11-5231-3.
- Jaakkonen, S. 2011. Sisävesien pilaantuneet sedimentit. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2011. 49 s. ISBN 978-952-11-3881-2.
- Jensen, J., Ingvertsen, S.T. & Magid, J. 2012. Risk evaluation of five groups of persistent organic contaminants in sewage sludge. The Danish Environmental Protection Agency. Environmental Project No. 1406 2012.
- Joensuu I., Myllyviita, T., Vilppo, T. & Huttunen, M. 2014. Järeeästi järviruo’osta pohjamutia myöten. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 46/2014. 92 s. ISBN 978-952-11-4418-9.
- IADC 2019. Facts about dredged material as a resource. Saatavilla verkossa: <https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2017/03/FA2019-05-Dredged-Material-as-a-Resource.pdf> [Viitattu 28.9.2021]
- IVL & Naturvårdsverket 2019. Miljöövervakningsdata Screening av miljögifter. Verkkosivu: <https://dvsb.ivl.se/dvss/Data-Select.aspx> [Viitattu 1.10.2021]
- Jantunen, M., Vieno, N. & Holmroos, J. 2016. PAH-yhdisteiden pitoisuudet kunnallisten jätevedenpuhdistamojen puhdistamolietteisissä-PAHPULI-hankkeen loppuraportti, 15.12.2016. 13 s. + liitt. 1 s. Saatavilla verkossa: <https://www.lsvsy.fi/wp-content/uploads/2017/06/PAHPULI-hankkeen-loppuraportti-15.12.2016.pdf> [Viitattu 7.2.2022]
- Junttila, V., Vahtera, H., Männynsalo, J., Virkkunen, H., Högmander, P., Perkola, N. & Mehtonen, J. 2021. Vantaanjoen PFAS-hanke - Loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 89/2021. 66s. + liitt. 10 s.
- Kaj, L., Schlabach, M., Andersson, J., Cousins, A.P., Schmidbauer, N. & Brorström-Lundén, E. 2005. Siloxanes in the Nordic environment. *TemaNord* 2005:593. 65 s. + liitt. 27 s. <https://doi.org/10.6027/TN2005-593>
- Kaj, L., Wallberg, P. & Brorström-Lundén 2014. Quaternary ammonium compounds – Analyses in a Nordic cooperation on screening. *TemaNord* 2014:556. 79 s. ISBN 978-92-893-3814-1.
- Kapuinen, P., Korpinen, R., Palojärvi, A. & Niemeläinen, O. 2020. Kuitulietettä peltoon ravinteiden välittäjäksi syksystä seuraavalle kasvukaudelle (Peltokuitu). Ympäristöministeriön Raki-ohjelman hanke. Loppuraportti 31.12.2020.
- Keith, L.H. 2015. The Source of U.S. EPA’s Sixteen PAH Priority Pollutants. *Polycycl. Aromat. Compd.* 35, 147–160. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.892886>
- Kinnunen R., Pirkkamaa J. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisessä – selvitys. Winto Better World.
- Konola, I. & Toivikko, S. 2019. Yhdysuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 57. 27 s. ISBN 978-952-6697-53-6.
- Kristiansson, E., Coria, J., Gunnarsson, L. & Gustavsson, M. 2021. Does the scientific knowledge reflect the chemical diversity of environmental pollution? – A twenty-year perspective. *Environ. Sci. Policy* 126, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.09.007>

- Krouskop, D.J. & Ayers, K.C. 1991. Multimedia sampling for dioxin at a strip mine reclaimed with sludge from bleached kraft wastewater treatment. Pages 761-775 in TAPPI Proc. Environmental Conference. TAPPI Press, Atlanta, Ga.
- Kuokkanen, T., Nurmesniemi, H., Pöykiö, R., Kujala, K., Kaakinen, J. & Kuokkanen, M. 2008. Chemical and leaching properties of paper mill sludge. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 20, 111–122. <https://doi.org/10.3184/095422908X324480>
- Kwak, J.I. & An, Y.J. 2021. Microplastic digestion generates fragmented nanoplastics in soils and damages earthworm spermatogenesis and coelomocyte viability. *J. Hazard. Mater.* 402, 124034. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124034>
- Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. 84s. ISBN978-952-11-5390-7.
- Lindh, T., Isännäinen, S., Mursunen, H., Rantala, P.-R., Ollila, S. & Kaunisto, S. 2001. Metsäteollisuuden tuottaman tuhkan ja biolietteen käsittely metsälannoitteeksi. VTT Energian raportteja 10/2001. Jyväskylä 2001, 57 s. + liitt. 8 s.
- Logemann, A., Reininghaus, M., Schmidt, M., Ebeling, A., Zimmermann, T., Wolschke, H., Friedrich, J., Brockmeyer, B., Pröfrock, D. & Witt, G. 2022. Assessing the chemical anthropocene – Development of the legacy pollution fingerprint in the North Sea during the last century. *Environ. Pollut.* 302, 119040. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119040>
- Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2081. 146 s. + liitt. 11 s. ISBN 951–38–5796–4.
- Mannio, J., Mehtonen, J., Londesborough, S., Grönroos, M., Paloheimo, A., Kögäs, P., Kalevi, K., Erkomaa, K., Huhtala, S., Kiviranta, H., Mäntykoski, K., Nuutinen, J., Paukku, R., Piha, H., Rantakokko, P., Sainio, P. & Welling, L. 2011. Vesiympäristölle haitallisten teollisuus- ja kuluttaja-aineiden kartoitus (VESKA 1). Suomen ympäristö 3/2011. 64 s. + liitt. 30 s. ISBN 978-952-11-3830-0.
- Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. BIOSAFE-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 135. 70 s. + liitt. 87 s. ISBN: 978-952-487-519-6
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turto, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiaho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 46 s. ISBN: 978-952-326-437-3
- MASA-asetus, luonnos 2019. Valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. Saatavilla verkossa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/ParticipationNonJsShowReport?proposalId=1c6a5969-09d7-4c75-8c80-b405b7063b42>. [Viitattu 19.1.2022]
- Matilainen, M., Pisto, S., Rinnepelto, P., Kinnunen, N. 2013. Metsäteollisuuden ravinteet – Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina. Apila Group Oy Ab. Joensuu 2013. Saatavilla verkossa: <http://www.apilagroup.fi/wp-content/uploads/2016/06/Metsteollisuuden-ravinteet-Selvitys.pdf>
- McCarthy, L., H., Loyo-Rosales, J., E., Raby, M., Payne, M., Huber, A., Lavery, J., Caputa, K., Taylor, L. & Falls, A. 2015. Risks Associated with Municipal Biosolids Application to Agricultural Lands in Canada – Literature Review, March 2015. Canadian Municipal Water Consortium, Canadian Water Network. 148 s. + liitt. 61 s.
- McCracken, R.J. & Kennedy, D.G. 2007. Detection, accumulation and distribution of nitrofurans residues in egg yolk, albumen and shell. *Food Addit. Contam.* 24, 26–33. <https://doi.org/10.1080/02652030600967214>
- Mehtonen, J., Mannio, J., Kalevi, K., Huhtala, S., Nuutinen, J., Perkola, N., Sainio, P., Pihlajamäki, J., Kasurinen, V., Koponen, J., Paukku, R. & Rantakokko, P. 2012. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden esiintyminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla ja kaatopaikoilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2012. 58 s. + liitt. 13 s. ISBN 978-952-11-4117-1
- MMM 2021. Hallituksen esitys eduskunnalle lannoitelainiksi ja siihen liittyviksi laeiksi. Luonnos 25.11.2021. VN/21657/2020.
- Mulder, I., Siemens, J., Sentek, V., Amelung, W., Smalla, K. & Jechalke, S. 2018. Quaternary ammonium compounds in soil: implications for antibiotic resistance development. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 17, 159–185. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9457-7>
- Muurinen, J. 2017. Antibiotic resistance in agroecosystems. Academic Dissertation. Department of Food and Environmental Sciences, University of Helsinki, 19/2017.
- Mäkelä, M., Harju-Oksanen, M.-L., Watkins, G., Ekroos, A. & Dahl, O. 2012. Feasibility assessment of inter-industry solid residue utilization for soil amendment—Trace element availability and legislative issues. *Resources, Conservation and Recycling* 67, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.012>

- Mörsky, J. 2015. Täyteaineen annostelu ja retentio kartongin valmistuksessa. Opinnäytetyö. Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. 32 s. Saatavilla verkossa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060111596>
- Nakari, T., Schultz, E., Sainio, P., Munne, P., Bachor, A., Kaj, L., Madsen, B. K., Pockeviciute, D., Pöllumäe, A., Strake, S., Volkov, E. & Zielonka, U. 2011. Cohiba Work package 3: Innovative approaches to chemicals control of hazardous substances. Final report, Finnish Environment Institute SYKE.
- Netzband, A., Hakstege, A.L. & Hamer, K. 2002. Treatment and Confined Disposal of Dredged Material. Dutch- German Exchange on Dredged Material. Part 2: Treatment and Confined Disposal of Dredged Material. September 2002
- Ng, E.-L., Huerta Lwanga, E., Eldridge, S.M., Johnston, P., Hu, H.-W., Geissen, V. & Chen, D. 2018. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment* 627:1377-1388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>
- Niittymaa, V. 2017. Viljanostajat panivat puhdistamolietteen pannaan – viranomaiset sallivat peltokäytön. Maaseudun tulevaisuus 17.11.2017. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.213811> [Viitattu 15.3.2022]
- Nizzetto L., Futter M. & Langaas S. 2016. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environ. Sci. Technol.* 50: 10777–10779. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04140>
- Nilsson, U. 2021. Rester av bekämpningsmedel i växtnäring. Slutrapport om skador på växter orsakade av växtnäring. FOR – Fritidsodlingens riksorganisation. 24 s. Saatavilla verkossa: https://for.se/wp-content/uploads/2021/07/Slutrapport_klopyralid_FOR_2021_webb-1.pdf. [Viitattu 27.1.2022]
- Nosek, J.A., Craven, S.R., Karasov, W. H. & Peterson, R. E. 1993. 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin in Terrestrial Environments: Implications for Resource Management. *Wildlife Society Bulletin*, Vol. 21, (2), pp. 179-187.
- Ojanen, P. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut 223. ISBN 952-11-0922-X. 64 s.
- Olofsson, U., Bignert, A. & Haglund, P. 2012. Time-trends of metals and organic contaminants in sewage sludge. *Water Res.* 46, 4841–4851. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.048>
- Pervaiz, M. & Sain, M., 2015. Recycling of Paper Mill Biosolids: A Review on Current Practices and Emerging Biorefinery Initiatives. *CSAWAC* 43 (6) 787-966. <https://doi.org/10.1002/clen.201400590>
- Raunio, J. 2022. PCDD/F- ja elohopeapitoisuudet Kymijoen edustan merialueella – Pitkän aikavälin muutokset ja ennusteet. Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 555/2022. 15 s. + liitt. 85 s.
- Recycled Organics Unit 2006. Risk Management Tools for the Recycled Organics Industry. Department of Environment and Conservation, The university of New South Wales. 54 s. + liitt. 3 s. ISBN 1-74137-981-4.
- Reinecke, A. J. & R. G. Nash. 1984. Toxicity of 2,3,7,8-TCDD and short-term bioaccumulation by earthworms (*Oligochaeta*). *Soil Biol. Biochem.* 16:45-49.
- Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. 90 s. + liitt. 71 s. ISBN 978-952-11-2732-8.
- REVAQ 2020. Årsrapport 2020. <https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/wp-content/uploads/2021/11/Revaq-Arsrapport-2020-1.pdf>
- Roskosch, A. & Heidecke, P. 2019. Sewage Sludge Disposal in the Federal Republic of Germany. German Environment Agency 2019. 101 s. ISSN 2363-632X.
- Rutgersson, C., Ebmeyer, S., Lassen, S.B., Karkman, A., Fick, J., Kristiansson, E., Brandt, K.K., Flach, C.F. & Larsson, D.G.J. 2020. Long-term application of Swedish sewage sludge on farmland does not cause clear changes in the soil bacterial resistome. *Environ. Int.* 137, 105339. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105339>
- Ruuskanen, M., Muurinen, J., Meierjohan, A., Pärnänen, K., Tamminen, M., Lyra, C., Kronberg, L. & Virta, M. 2016. Fertilizing with Animal Manure Disseminates Antibiotic Resistance Genes to the Farm Environment. *J. Environ. Qual.* 45, 488–493. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.05.0250>
- Saarinen, E. 2017. Viisas viljelijä kaipaa tuotekehittyjä kierrätyslannoitteita. *Uusi-uutiset* 31.3.2017. <https://www.uusi-uutiset.fi/viisas-viljelijä-kaipaa-tuotekehittyjä-kierrätyslannoitteita/> [Viitattu 15.3.2022]
- Sayed, A., Chys, M., De Rop, J., Goeteyn, L., Spanoghe, P. & Sampers, I. 2021. Pesticide residues in (treated) wastewater and products of Belgian vegetable- and potato processing companies. *Chemosphere* 280, 130619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130619>
- SEPA 2014. Assessment of Risks to Soil Quality and Human Health from Organic Contaminants in Materials Commonly Spread on Land in Scotland: Final Report. Scottish Environment Protection Agency. 71 s + liitt. 7 s.

- Seppälä T., Häkkinen E., Munne P., Vikström L., Pyy O., Jouttijärvi T., Mehtonen J., Johansson M. 2012. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan Tukholman yleissopimuksen velvoitteiden kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma (NIP). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 23/2012. 57 s. + liitt. 10 s. ISBN 978-952-4093-8.
- Singer, A.C., Shaw, H., Rhodes, V. & Hart, A. 2016. Review of Antimicrobial Resistance in the Environment and Its Relevance to Environmental Regulators. *Frontiers in Microbiology* 7: 1728–1750.
<https://dx.doi.org/10.3389%2Ffmicb.2016.01728>
- SOU 2020. Hållbar slamhantering: Betänkande från utredningen om en giftfri och circular återföring av fosfor från avloppsslam. SOU 2020:3. Statens offentliga utredningar.
- Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M.R., Santonja, G.G., Roudier, S. & Sancho, L.D. 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. JRC Science and Policy Reports. Report EUR 27235 EN. 866 s. ISBN 978-92-79-48167-3.
- Suomen Biokierto & Biokaasu ry 2020. LARA laaturavinnehanke – laatuajrjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille. Laatuakäsi- kirja, Kansallinen laatuajrjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille. Versio 2.1.
- Su, J.Q., Wei, B., Ou-Yang, W.Y., Huang, F.Y., Zhao, Y., Xu, H.J., Zhu & Y.G. 2015. Antibiotic Resistome and Its Association with Bacterial Communities during Sewage Sludge Composting. *Environ. Sci. Technol.* 49, 7356–7363.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01012>
- Sternbeck, J., Österås, A. & Allmyr, M. 2013. Riskbedömning av fosforrika fraktioner vid återförsel till åker- och skogsmark samt vid anläggande av etableringsskikt. Rapport. WSP Environmental. 89 s.
- Suomen ympäristökeskus 2017. Tukholman sopimuksen kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma 2017 luonnos. Ympäristöministeriö. Luonnos 26.8.2021.
- Suomen ympäristökeskus 2021. Tukholman sopimuksen kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma. Ympäristöministeriö. Luonnos 26.8.2021
- Svensk Vatten 2022. Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering. <https://www.svenskvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/> [Viitattu 21.3.2022]
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M. & Koistinen, A. 2017. How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Res.* 109, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>
- Thacker, N.P., Nitaware, V. C., Swaphnes, Das, S. K. & Devotta, S. 2007. Dioxin formation in pulp and paper mills of India. *Environ Sci Pollut Res Int.* 14(4):225–6. <https://doi.org/10.1065/espr2007.02.386>
- Thiel, D.A., Martin, S.G., Duncan, J.W. & Lance, V. R. 1989. The effects of a sludge containing dioxin on wildlife in pine plantations. *TAPPI Journal* 72(1):94-99.
- Työryhmämuistio 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Työryhmämuistio mmm 2011:5. Saatavilla verkossa: https://mmm.fi/documents/1410837/1724539/trm2011_5.pdf/6ce8eaf4-63d0-4f1d-9379-60ff6896214d
- USACE 1987. Beneficial uses of dredged material. EM 1110-2-5026. 30 June 1987.
- USACE 2007. The Role of the Federal Standard in the Beneficial Use of Dredged Material from U.S. Army Corps of Engineers New and Maintenance Navigation Projects - Beneficial Uses of Dredged Materials. U.S. Army Corps of Engineers and U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA-848-B-07-002.
- US EPA & USACE 2007. Identifying, Planning, and Financing Beneficial Use Projects Using Dredged Material – Beneficial use Planning Manual. EPA842-B-07-001. 114 s.
- Vallius, H. 2014. Heavy metal concentrations in sediment cores from the northern Baltic Sea: Declines over the last two decades. *Mar. Pollut. Bull.* 79, 359–364. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.017>
- van Herwijnen, R. 2012. Environmental risk limits for organotin compounds. RIVM report 607711009/2012. 54s + liitt. 20 s.
- Vera, C.J. & Servello, F.A., 1994. Effects of paper mill sludge in spruce-fir forests on wildlife in Maine. *J. Wildl. Manag.* 58 (4), 719–727. <http://dx.doi.org/10.2307/3809686>
- Vesihallitus 1979. Jätevesilietteen hyötykäyttösuunnitelmien yhteenvetoraportti. Tiedotus 177. 60 s + liitt. 29 s. ISBN 951-46-4437-9.
- Vesilaitosyhdistys 2020. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. 51 s. ISBN 978-952-6697-91-8. Saatavilla verkossa: https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_2020_linkit_1.pdf [Viitattu 2.2.2022]
- Vieno, N. & Arjonen, M. 2021. Uudet haitalliset aineet suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 70. 79 s. + liitt. 93 s. ISBN 978-952-6697-67-3.

- Vieno, N., Sarvi, M., Salo, T., Rämö, S. & Ylivainio, K. 2018. Puhdistamolietteiden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamat riskit Puhdistamolietteiden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamat riskit lannoitekäytössä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2018. 105 s. + liitt. 24 s. ISBN 978-952-326-661-2.
- Vieno, N. 2015. Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä. Julkaisu 73/2015. 95 s. + liitt. 26 s. ISBN 978-952-7019-4.
- Vilpanen, M. & Seppälä, P. 2021. Yhdysuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 71. 28 s. ISBN 978-952-6697-68-0.
- Vilpanen, M. & Toivikko, S. 2017. Yhdysuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. 38 s. ISBN 978-952-6697-35-2.
- Viitikko, K., Kunnas, L., Laurinsilta, E., Kauppila, R., Shortemeyer, M. & Erlingsson, M. 2018. Kierrätysravinnepohjaisten lannoitevalmisteiden kehittäminen ja käyttökokeilu. RAKI 2 loppuraportti 1.12.2016-31.12.2018.
- Vijayaraj, V., Liné, C., Cadarsi, S., Salvagnac, C., Baqué, D., Elger, A., Barret, M., Mouchet, F. & Larue, C. 2018. Transfer and Ecotoxicity of Titanium Dioxide Nanoparticles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems: A Microcosm Study. Environ. Sci. Technol. 52, 12757–12764. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02970>
- VKM, Wasteson, Y., Blix, H. S., Joner, E., Madslie, E.-H., Ottoson, J., Sørum, H., Uhl, W., Yazdankhah, S., Bergh, Ø., Eklo, O. M., Nielsen, K. M., & Trosvik, P. 2020. Assessment of the impact of wastewater and sewage sludge treatment methods on antimicrobial resistance. Scientific opinion of the Panel on Microbial Ecology of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2020: 08, ISBN: 978-82-8259-346-5, ISSN: 2535-4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway.
- Wluka, A.-K., Huang, Y., Coenen, L., Dsikowitzky, L. & Schwarzbauer, J. 2021. Structural diversity of organic contaminants in sewage sludge : a comparison of sewage fingerprints from Germany and China. Discov. Water. <https://doi.org/10.1007/s43832-021-00004-4>
- Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited 2019. Digestate and Compost as Fertilisers: Risk Assessment and Risk Management Options. Final Report of the European Commission. Doc. Ref. 40039CL003i3.
- Xu, B., Liu, L., Cryder, Z., Huang, D., Lu, Z., He, Y., Wang, H., Lu, Z., Brookes, P.C., Tang, C., Gan, J. & Xu, J. 2020. Microplastics in the soil environment: Occurrence, risks, interactions and fate – A review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 50: 2175–2222. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694822>
- Yang, J., Li, R., Zhou, Q., Li, L., Li, Y., Tu, C., Zhao, X., Xiong, K., Christie, P. & Luo, Y. 2021. Abundance and morphology of microplastics in an agricultural soil following long-term repeated application of pig manure. Environ. Pollut. 272, 116028. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116028>
- Yang, Y., Zhang, X., Jiang, J., Han, J., Li, W., Li, X., Mei, K., Leung, Y., Snyder, S.A. & Alvarez, P.J.J. 2022. Which Micropollutants in Water Environments Deserve More Attention Globally? Environ. Sci. Technol. 2022, 56, 1, 13–29. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04250>
- Ylivainio, K., Äystö, L., Fjäder, P., Suominen, K., Lehti, A., Perkola, N., Ranta, J., Meriläinen, P., Välttilä, V. & Turtola, E. 2020. Jätevesilietteen pitkäkestoinen fosforilannoitusvaikutus ja yhteys ympäristö- ja ruokaturvallisuuteen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2020. 120 s. ISBN 978-952-380-018-2.
- Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosasto, Vesi- ja ympäristöhallitus & Lääkintöhallitus 1991. Ympäristönsuojeluosasto 1991. Puhdistamolietteen käyttö maanviljelyssä. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston ohje 4/1991. 43 s. ISBN 95147-3652-5.
- Ympäristöministeriö 2015a. Visio ravinteiden kierrättämisestä vuonna 2030. Saatavilla verkossa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B4EB88458-05F9-4C23-B55A-704076D96D85%7D/138945> [Viitattu 22.3.2022]
- Ympäristöministeriö 2015b. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015. 72 s. ISBN 978-952-11-4449-3.
- Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriö, Valtiovarainministeriö 2019. Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelma 2019-2030 “Kokeiluista tuloksiin – ravinteiden kierrätyksestä arkea”
- Äystö, L. 2014. Puhdistamolietteen sisältämien orgaanisten haitta-aineiden käyttäytyminen suomalaisilla maatalousmailla. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Bio- ja Ympäristötieteellinen tiedekunta, Ympäristötieteiden laitos. Saatavilla verkossa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20180115168>

Liite 1. Lannoitevalmistasetuksessa haitallisille aineille asetetut laatuvaatimukset.

Parametri	Yksikkö	Orgaaninen lannoite	Orgaaninen kivennäis-lannoite	Epäorgaaninen pääravinnelannoite	Epäorgaaninen hivenravinnelannoite	Kalkitusaine	Orgaaninen maanparannus-aine	Epäorgaaninen maanparannus-aine	Kasvualusta	Kasvibiostimulantti	Komposti	Muu mädäte kuin tuorekasvi-mädäte	Saostetut fosfaattisuolat ja johdannaiset	Termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit ja niiden johdannaiset	Pyrolyysissa ja kaasutuksessa muodostuvat materiaalit
		1A	1B	1C(I)	1C(II)	2	3A	3B	4	6	3 ^{a)}	5 ^{a)}	12 ^{b)}	13	14
As	mg/kg ka	-	-	40	1000 ^{c)}	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As (epäorg.)	mg/kg ka	40	40	-	-	-	40	40	40	40	-	-	-	-	-
Cd	mg/kg ka	1,5	3 / 60 ^{d)}	3 / 60 ^{d)}	200 ^{c)}	2	2	1,5	1,5	1,5	-	-	-	-	-
Cl	g/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30 ^{e)}	30 ^{e)}
Cr	mg/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400 ^{e)}	-
Cr (VI)	mg/kg ka	2	2	2	-	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-
Cu	mg/kg ka	300	600 ^{f)}	600 ^{f)}	-	300	300	300	200	600	-	-	-	-	-
Hg	mg/kg ka	1	1	1	100 ^{c)}	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Ni	mg/kg ka	50	50	100	2000 ^{c)}	90	50	100	50	50	-	-	-	-	-
Pb	mg/kg ka	120	120	120	600 ^{c)}	120	120	120	120	120	-	-	-	-	-
Tl	mg/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 ^{e)}	2 ^{e)}
V	mg/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600 ^{g), e)}	-
Zn	mg/kg ka	800	1500 ^{f)}	1500 ^{f)}	-	800	800	800	500	1500	-	-	-	-	-
Biureetti	mg/kg ka	0	12000	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB6 ⁱ⁾	mg/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8 ^{h)}
PAH16	mg/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	6	6 ^{h)}	6 ^{h)}
PCDD/F	ng WHO-TEQ/kg ka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20 ^{h)}	20 ^{h)}
Perklooraatti	mg/kg ka	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a) Laatuvaatimukset koskevat sekä CMC-luokkaan kuuluvaa materiaalia että sen syötteinä käytettyjä materiaaleja.

b) Laatuvaatimus koskee vain yhdyskuntajätevedenkäsittelylaitoksen jätevedestä tai jätevesiliitteestä saostettuja fosfaattisuoloja ja niiden johdannaisia.

c) Raja-arvot on ilmoitettu yksikössä mg/kg hivenravinteiden kokonaispitoisuudesta. Hivenravinteiksi huomioidaan B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo ja Zn.

d) Jos lannoitteen kokonaisfosforipitoisuus on alle 5 m-% fosforipentoksidiäkvivalentteina, sovelletaan raja-arvoa 3 mg/kg ka. Muulloin sovelletaan raja-arvoa 60 mg/kg fosforipentoksidia.

e) Raja-arvo asetettu CMC-materiaaleja sisältäville EU-lannoitevalmistelille.

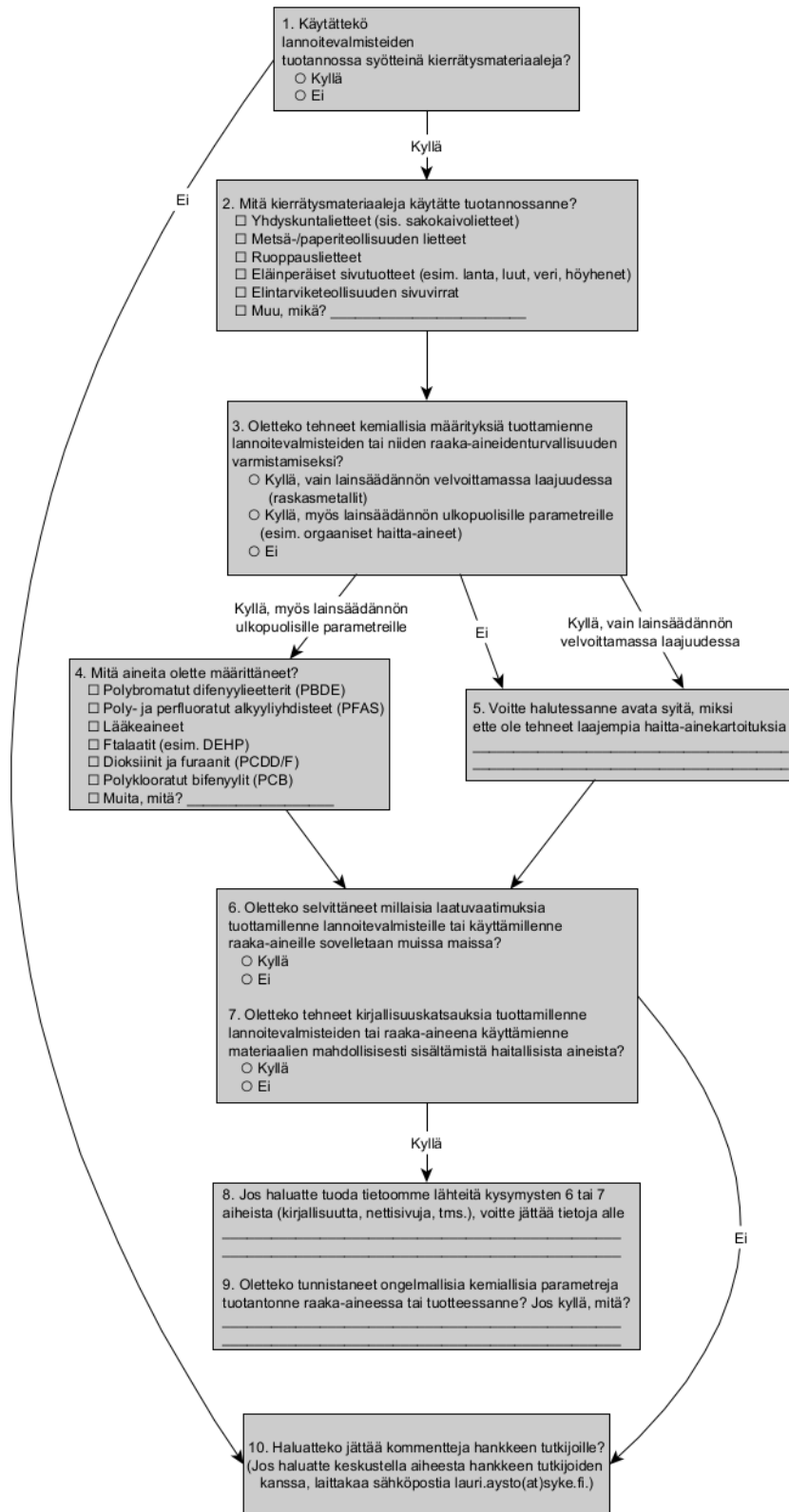
f) Raja-arvoja ei sovelleta, kun Cu tai Zn on lisätty lannoitevalmisteseen tarkoituksellisesti maaperän hivenravinnepuutteen korjaamiseksi.

g) Sovelletaan, jos materiaali on valmistettu jätedirektiivin tarkoittamasta jätteestä tai aineista, joita käytetään rauta- ja terästeollisuuden tuotantoprosesseissa.

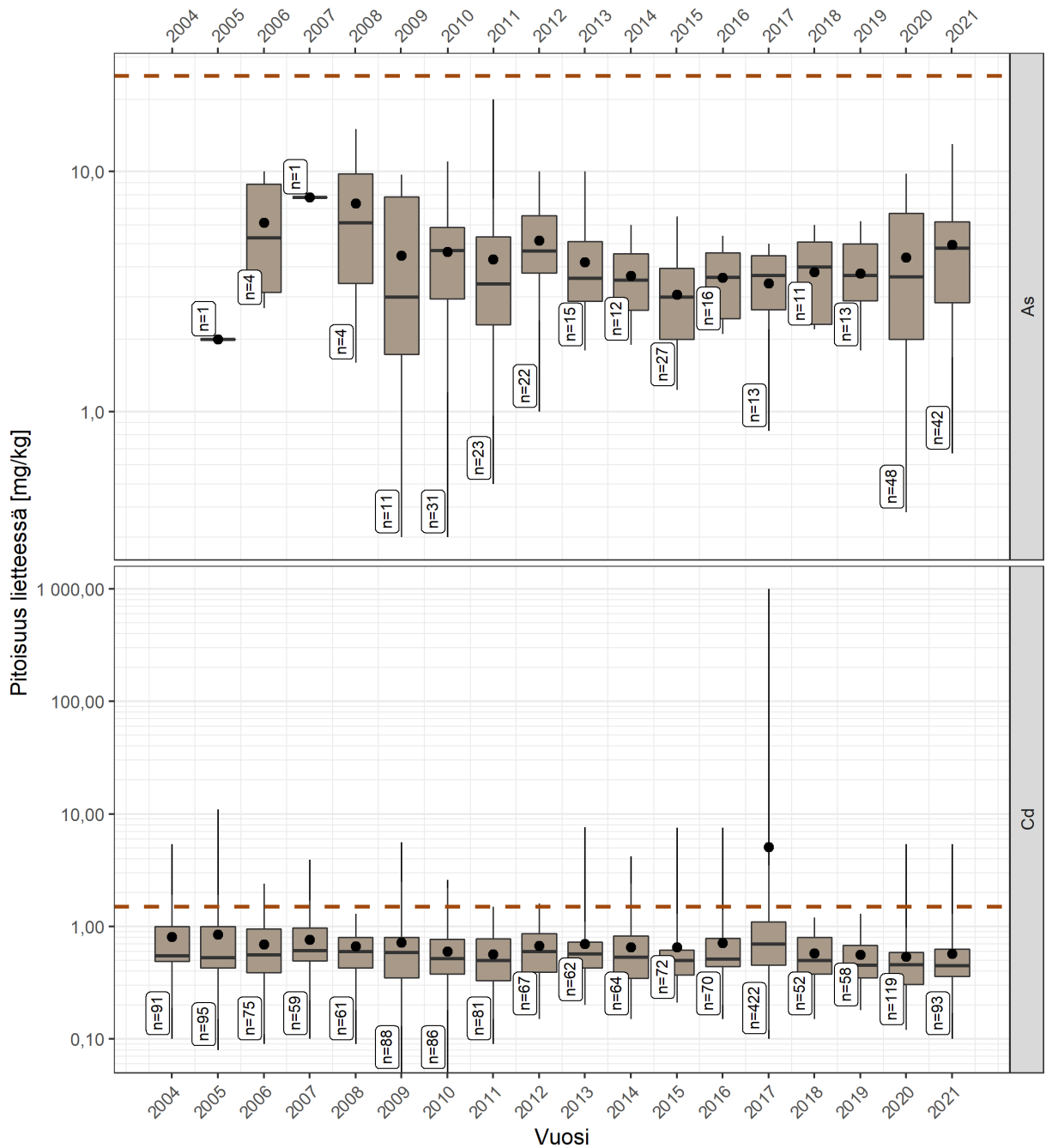
h) Raja-arvo koskee CMC-materiaalia, ei käsittelyyn ohjattavaa syötettä.

i) PCB-kongeneerien 28, 52, 101, 138, 153 ja 180 summapitoisuus.

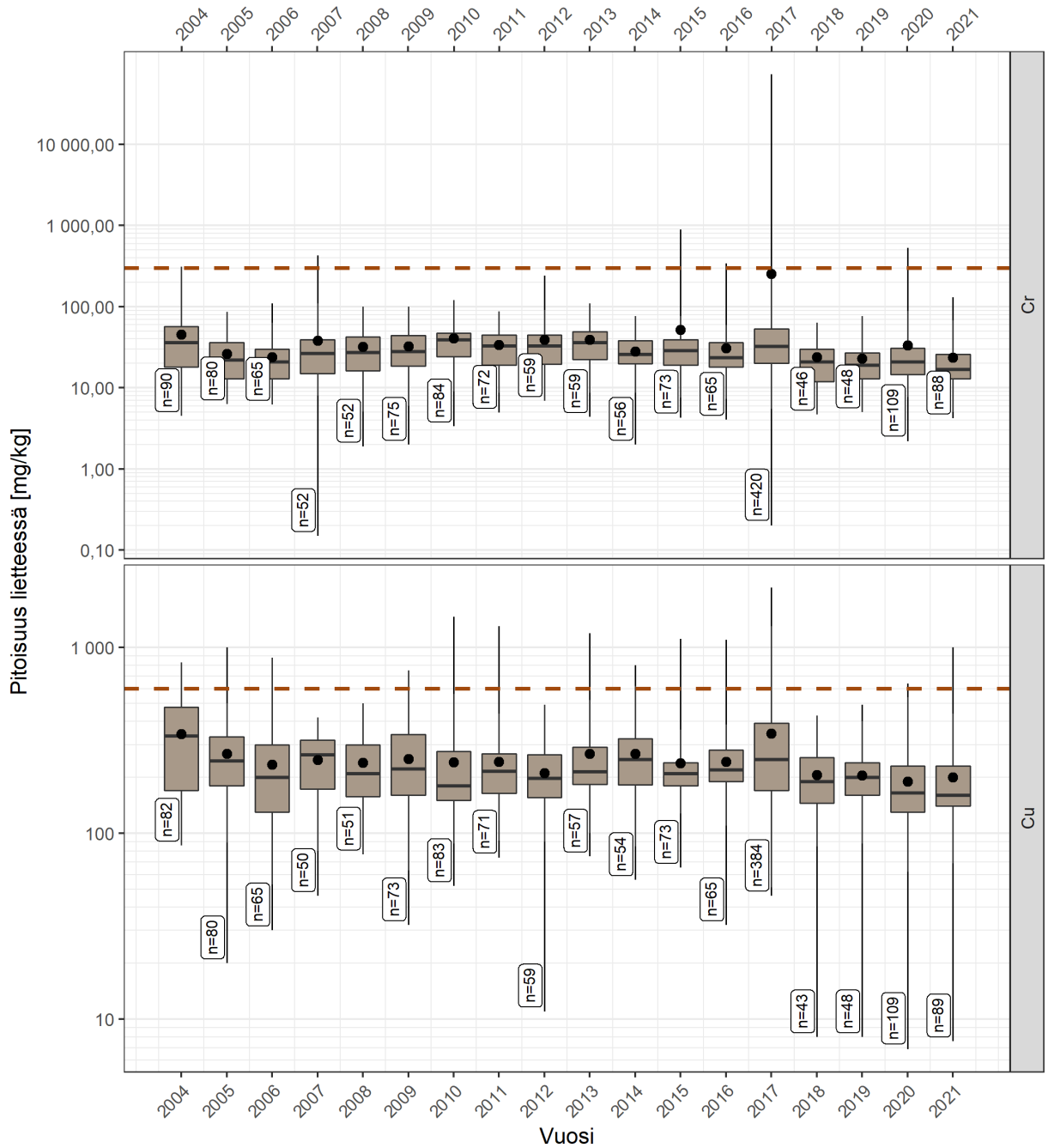
Liite 2. Kyselyn rakenne



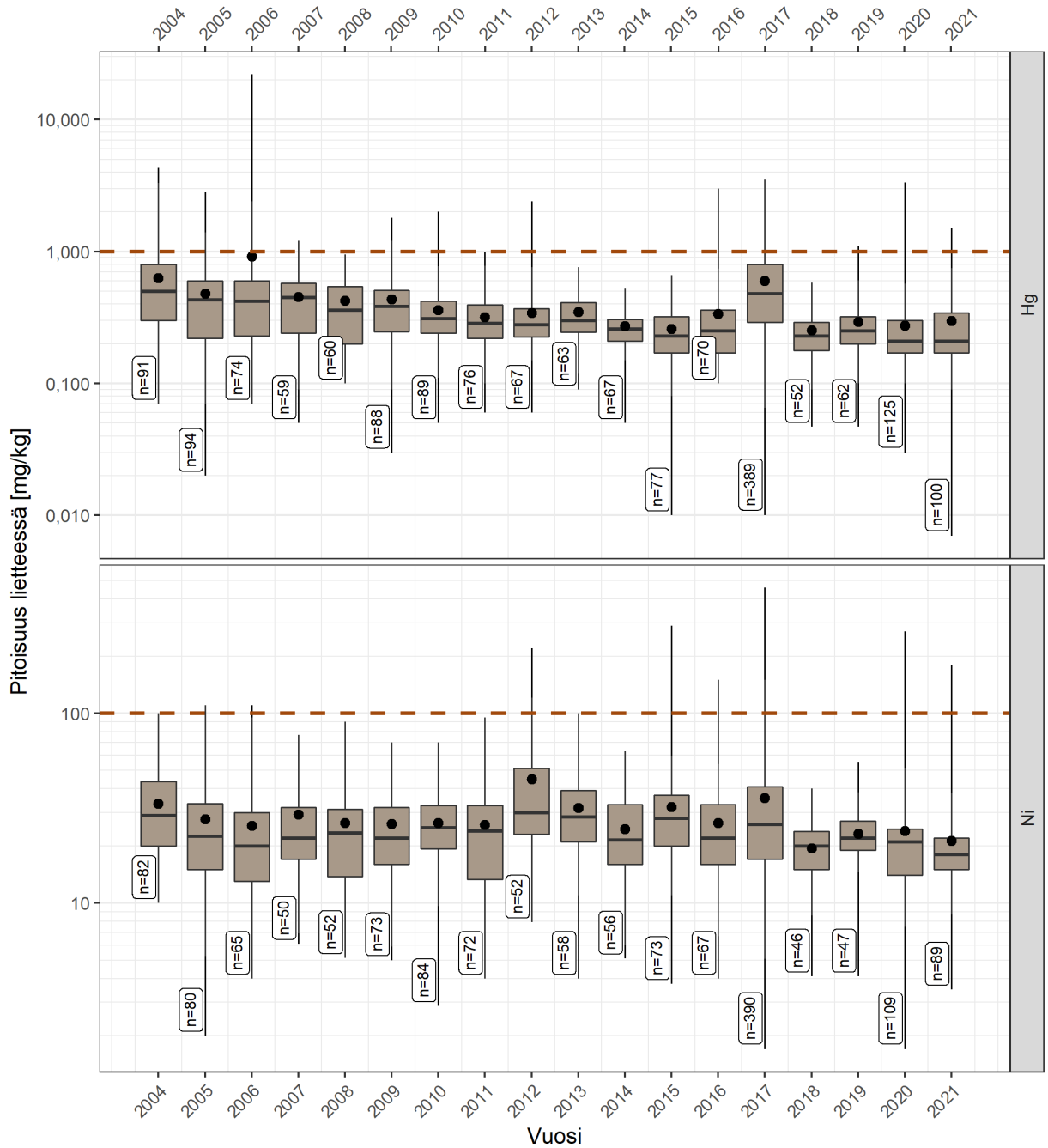
Liite 3. Yhdyskuntalietteen raskasmetallipitoisuuksia Suomessa



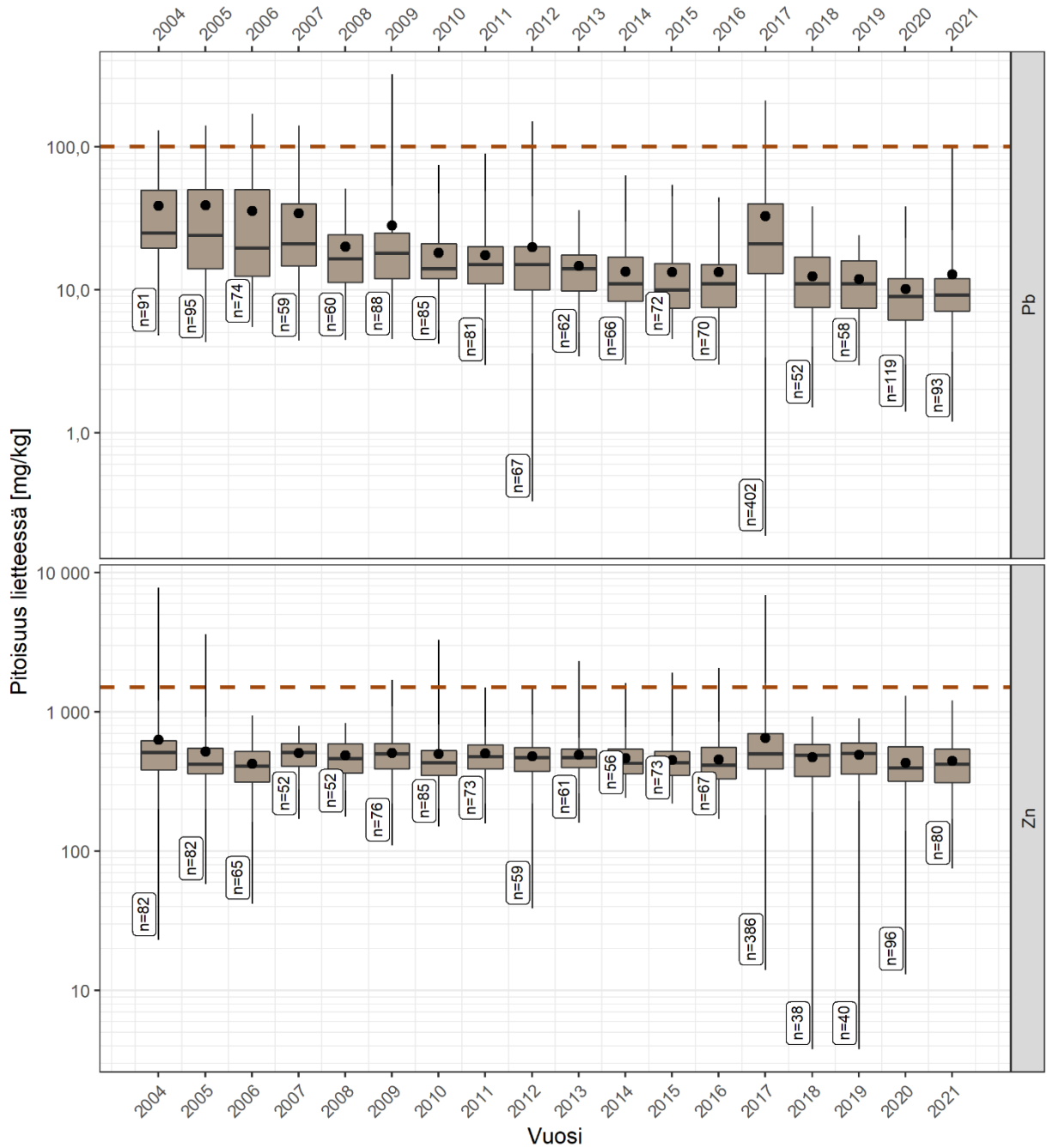
Kuva L3.1. Arseenin ja kadmiumin pitoisuudet suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteisissä vuosina 2004–2021. Ruskea laatikko kuvaa mediaania ja 50 % raportoiduista arvoista. Pystyviiva kuvaa kaikkien raportoitujen arvojen vaihteluväliä ja pallo keskiarvoa. Vaakaviiva kuvaa lannoitelainsäädännön (MMMA 24/11) asettamaa raja-arvoa. (Aineiston lähde: YLVA)



Kuva L3.2. Kromin ja kuparin pitoisuudet suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteissä vuosina 2004–2021. Ruskea laatikko kuvaa mediaania ja 50 % raportoiduista arvoista. Pystyviiva kuvaa kaikkien raportoitujen arvojen vaihteluväliä ja pallo keskiarvoa. Vaakaviiva kuvaa lannoittelainsäädännön (MMMA 24/11) asettamaa raja-arvoa. (Aineiston lähde: YLVA)



Kuva L3.3. Elohopean ja nikkelin pitoisuudet suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteissä vuosina 2004–2021. Ruskea laatikko kuvaa mediaania ja 50 % raportoiduista arvoista. Pystyviiva kuvaa kaikkien raportoitujen arvojen vaihteluväliä ja pallo keskiarvoa. Vaaka-viiva kuvaa lannoitelainsäädännön (MMM 24/11) asettamaa raja-arvoa. (Aineiston lähde: YLVA)



Kuva L3.4. Lyijyn ja sinkin pitoisuudet suomalaisissa yhdyskuntajätevesilietteissä vuosina 2004–2021. Ruskea laatikko kuvaa mediaania ja 50 % raportoiduista arvoista. Pystyviiva kuvaa kaikkien raportoitujen arvojen vaihteluväliä ja pallo keskiarvoa. Vaakaviiva kuvaa lannoittelainsäädännön (MMMa 24/11) asettamaa raja-arvoa. (Aineiston lähde: YLVA)

Liite 4. Lyhyt kuvaus esille nousseista haitallisista aineista

AOX-yhdisteet

AOX-yhdisteillä eli adsorboituvilla organohalogeeneilla tarkoitetaan orgaanisia, aktiivihiileen pidättyviä yhdisteitä, jotka sisältävät kloori-, bromi- tai jodiatomeita. AOX ei ole selvärajainen yhdisteryhmä, vaan indeksinomainen summaparametri, joka sisältää mm. PCDD/F- ja PCB-yhdisteet mutta myös esim. liuottimena käytetyn dikloorimetäänin ja aiemmin torjunta-aineena käytetyn DDT:n

Bromatut palonestoaineet

Monia erilaisia bromia sisältäviä yhdisteitä on käytetty palonestoaineina. Ryhmään kuuluu satoja erilaisia yhdisteitä, joista voidaan tunnistaa suurempana ryhmänä mm. polybromatut difenyylietterit (PBDE:t). PBDE-yhdisteissä vaihteleva määrä difenyylietterin hiiliatomeihin sitoutuneita vetyatomeita on korvattu bromiatomeilla. PBDE-yhdisteiden käyttöä on rajoitettu, ja ne sisältyvät mm. POP-asetuksen piiriin.

Bromattuihin palonestoaineisiin luetaan lisäksi mm. heksabromosyklododekaani (HBCDD), tetrabromibisfenoli-A (TBBPA) sekä dekabromidifenyylietaani (DBDPE). Näistä kahta jälkimmäistä on käytetty korvaamaan PBDE-yhdisteitä.

Fenoliset yhdisteet

Fenolisilla yhdisteillä tarkoitetaan tässä raportissa ensisijaisesti alkyylifenoleja, eli nonyyli- ja oktyylifenoleja sekä niiden etoksylaatteja, mutta myös muita fenolisia yhdisteitä, kuten esim. bisfenoli-A:ta. Alkyylifenoleita ja niiden etoksylaatteja on käytetty mm. kemianteollisuudessa, maaleissa ja pesuaineissa. Bisfenoli-A:ta on käytetty mm. lämpöherkän paperin valmistuksessa.

Ftalaatit

Ftalaatit ovat ftaalihapon estereitä, joissa ftaalihapon molempiin karboksyyli-ryhmiin on sitoutunut hiilivetyryhmä. Ftalaatteihin kuuluu mm. di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP), dibutyyliftalaatti (DBP), bentsyylibutyyliftalaatti (BBP), di-isobutyyliftalaatti (DIBP), diheksyyliftalaatti, dipentyyliftalaatti (DPP), n-pentyyli-isopentyyliftalaatti, diisopentyyli ftalaatti sekä bis(2-metoksyetyyli) ftalaatti (DMEP). Kaikki edellä mainitut lukeutuvat REACH-asetuksen liitteen XIV luvanvaraisiin aineisiin. Ftalaatteja käytetään mm. muovien valmistuksessa, erityisesti PVC-muovin pehmentämiseen. Ftalaatit eivät sitoudu muoviin kemiallisesti.

Organoklooriyhdisteet

Kloorattuja yhdisteitä on käytetty useissa erilaisissa käyttötarkoituksissa sekä sovelluksissa, ja osa on saattanut muodostua myös tahattomasti. Tällaisia yhdisteitä ovat mm. lyhyketjuiset klooriparafiinit (SCCP), PCB-yhdisteet sekä dioksiinit ja furaanit (PCDD/F).

Organofosforipalonestoaineet

Organofosforipalonestoaineet ovat yksi eniten käytetyistä palonestoaineiden ryhmistä. Niitä on käytetty laajasti korvaamaan PBDE-yhdisteitä. Ryhmään kuuluu halogenoituja ja halogenoimattomia yhdisteitä. Yhdisteet eivät sitoudu tuotteisiin kemiallisesti, joten ne voivat haihtua tai huuhtoutua ympäristöön.

PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteillä tarkoitetaan polykloorattuja bifenyylejä. PCB-molekyylit rakentuvat bifenyylistä, johon liittyneet vetyatomit on vaihtelevassa määrin korvattu klooriatomeilla. PCB-yhdisteisiin lukeutuu 209

yhdistettä, joita kutsutaan kongeneereiksi. PCB-yhdisteitä on käytetty monissa käyttökohteissa mm. sähköeristeenä, pehmittiminä, palonestoaineina ja liuottimina, tavallisimmin eri kongeneerien seoksina.

PCB-yhdisteitä ryhmitellään usein eri tavoin. PCB-yhdisteistä voidaan mm. tunnistaa yhdisteitä, jotka vaikuttavat samalla tavoin kuin PCDD/F-yhdisteet. Näihin dioksiininkaltaisiin PCB-yhdisteisiin lukeutuu PCB:t 77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 ja 189. Toisaalta PCB-yhdisteitä tarkasteltaessa keskitytään usein kuuteen indikaattoriyhdisteeseen (PCB:t 28, 52, 101, 138, 153 ja 180).

PCB-yhdisteet muistuttavat ympäristöominaisuuksiltaan monin tavoin PCDD/F-yhdisteitä. Niille on raportoitu kymmenien vuosien puoliintumisaikoja maaperässä (Kasurinen ym. 2014).

PCDD/F-yhdisteet

PCDD/F-yhdisteet, eli polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit kattavat yhteensä 210 yhdistettä (75 dioksiinia ja 135 furaania). PCDD/F-yhdisteistä seurataan yleisimmin 17 yhdistettä, joiden pitoisuudet normalisoidaan yhdisteiden suhteellisen haitallisuuden mukaan. Yhdisteille on määritelty toksisuus-ekvivalenttikertoimet, suhteuttaen kunkin yhdisteen haitallisuus TCDD:n haitallisuuteen.

PCDD/F-yhdisteet ovat ympäristössä hyvin pitkäikäisiä. Dioksiineille on raportoitu jopa satojen vuosien puoliintumisaikoja maaperässä (Kasurinen ym. 2014). Ne ovat myös hyvin heikosti vesiliukoisia ja pidentyvät kiintoaineeseen. Dioksiinipitoisten massojen toistuva käyttö lannoitteena johtaisi maaperän dioksiinipitoisuuksien kasvuun alueella.

SCCP-yhdisteet

Klooriparafiinit ovat monimutkaisia n-alkaani homologien seoksia, joilla on vaihtelevan pituinen hiiliketju ja klooripitoisuus. Klooriparafiinit koostuvat useista tuhansista yhdisteistä, homologeista, isomeereistä ja enantiomeereistä. Lyhytketjuiset klooratut parafiinit SCCP:t (short chain chlorinated paraffins C₁₀-C₁₃) sekä keskipitkät klooratut parafiinit MCCP (medium chain chlorinated paraffins C₁₄-C₁₇) ovat nesteitä. SCCP:itä on saanut käyttää vain kaivosten kuljetushihnoilla, mutta keskipitkiä kloorattuja parafiineja on puolestaan käytetty palonestoaineina kumissa, taipuisissa muoveissa, tietyissä teksteileissä ja muissa erityissovelluksissa.

Kvaternaariset ammoniumyhdisteet

Kvaternaarisilla ammoniumyhdisteillä tarkoitetaan ammoniumyhdisteitä, joissa kaikki typpi-atomiin sitoutuneet vetyatomit on korvattu hiilivetyketjuilla. Yhdisteitä käytetään mm. kationisina pinta-aktiivisia aineina, biosideinä ja desinfiointiaineissa.

LAS-yhdisteet

LAS-yhdisteet eli lineaariset alkyylibentseenisulfonaatit rakentuvat bentseenirenkaasta, johon on sitoutunut sulfonaattiryhmä ja hiilivetyketju. LAS-yhdisteet ovat ns. pinta-aktiivisia aineita, joita on käytetty mm. pintajännitystä alentavina aineina kotitalous- ja teollisuuspesuaineissa. Nämä yhdisteet päätyvät viemäriverkkoon suurina määrinä vuosittain (useita tonneja). LAS-yhdisteillä on havaittu olevan estrogeenin kaltaisia ominaisuuksia, joten ne voivat häiritä hormonitoimintaa.

Lääkeaineet

Lääkeaineet ovat kemiallisesti epäyhtenäinen yhdisteryhmä, johon kuuluvia aineita käytetään vaihtelevilla tavoilla ihmisten tai eläinten sairauksien tai niiden oireiden lievittämiseen, parantamiseen tai ehkäisyyn, taikka diagnostiikkaan. Lääkeaineiden luokitteluun käytetään yleisesti anatomisterapeuttis-kemiallista luokittelua, jossa vaikuttavat aineet on ryhmitelty käyttötavan ja -tarkoituksen sekä kemiallisen rakenteen mukaan.

Organotinat

Organotinayhdisteet sisältävät hiilen ja tinan välisen kovalenttisen sidoksen. Organotinayhdisteitä on olemassa satoja, joista ympäristössä on tutkittu mm. tributyyliä (TBT) ja trifenyylitinaa (TFT). Organotinoja käytetään moniin tarkoituksiin, mm. teollisuuskemikaaleina. Organotinoilla on biosidimäisiä ominaisuuksia, minkä takia niitä on perinteisesti käytetty mm. laivojen pohjien antifouling-maaleissa estämään kasvustojen kertymistä pinnoille. Nykyään tällainen organotinojen käyttö on kielletty. Yhdisteille on esitetty kymmenien päivien puoliintumisaikoja maaperässä (Dubascoux ym. 2008).

PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) ovat hiilivetyjä, jotka koostuvat useista aromaattisista renkaista. PAH-yhdisteitä muodostuu epätäydellisen palamisen yhteydessä. Monet PAH-yhdisteet ovat mutageenisia ja karsinogeenisiä. Erilaisia PAH-yhdisteitä on olemassa lukuisia, mutta niistä määritetään yleisimmin US EPAn määrittelemiä 16 yhdistettä (PAH16).

PFAS-yhdisteet

PFAS-yhdisteillä tarkoitetaan per- ja polyfluorialkyyliyhdisteitä. Ne ovat synteettisiä yhdisteitä, joissa vähintään yhteen hiiliatomiin sitoutuneet vetyatomit on korvattu fluoriatomeilla. Yhdisteet koostuvat hiiliketjusta ja funktionaalisesta ryhmästä, kuten karboksyyliryhmästä. Perfluorialkyyliyhdisteissä kaikki hiilirungon vetyatomit on korvattu fluorilla, kun polyfluorialkyyliyhdisteissä joissain hiiliatomeissa on sitoutuneena vielä vetyä. PFAS-yhdisteitä on käytetty laajasti mm. pintakäsittelyaineissa ja sammutusvaahdoissa.

PFAS-yhdisteisiin lukeutuu tuhansia yhdisteitä. Ympäristötutkimus on painottunut niistä kahteen (PFOS ja PFOA), jotka on sisällytetty Tukholman sopimuksen piiriin. Ympäristössä on kuitenkin havaittu esiintyvän laajasti myös monia muita PFAS-yhdisteitä.

Raskasmetallit

Raskasmetallit ovat luontaisesti esiintyviä aineita. Ne voivat esiintyä lannoitevalmisteissa ja ympäristössä alkuainemuodossa mutta myös erilaisina yhdisteinä. Raskasmetallin käyttäytyminen ympäristössä, kuten kulkeutuvuus maaprofilissa ja kertyvyys kasveihin riippuu raskasmetallin ja sen yhdisteiden ominaisuuksista.

Raskasmetalleilla tarkoitetaan yleisesti metalleja, joilla on verrattain korkea atomimassa, tai jotka ovat haitallisia ympäristölle ja terveydelle. Raskasmetalleille on esitetty määritelmäksi mm. yli 5 g/cm³ tiheyttä. Raskasmetalleille ei kuitenkaan ole olemassa yksiselitteistä, selvärajaista ja yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Raskasmetalleihin luetaan usein kuuluviksi myös puolimetalleja, kuten arseeni (As) ja antimoni (Sb). Lannoitelainsäädännössä ja tässä raportissa raskasmetalleilla on tarkoitettu yleisimmin kahdeksaa metallia: arseenia, kadmiumia (Cd), kromia (Cr), kuparia (Cu), elohopeaa (Hg), nikkeliä (Ni) ja lyijyä (Pb) ja sinkkiä (Zn). Raskasmetalliksi luetaan myös tallium (Tl) ja vanadiini (V), joille on asetettu raja-arvot Lannoitevalmisteasetuksen CMC:ssä 13 ja 14.

Raskasmetallit ovat biohajoamattomia, jolloin lannoituksen toistuessa pitoisuudet voivat kohota. Toisaalta monet raskasmetallit, kuten lyijy, kromi ja kupari, huuhtoutuvat maaprofilissa hyvin hitaasti, mikä entisestään kasvattaa pitoisuuden kasvun riskiä kasvualustassa. Kasvualustassa raskasmetallit voivat aiheuttaa haittaa maaperäeliöstölle ja kasvien kasvulle, mutta myös kertyä satokasveihin.

Siloksaanit

Siloksaanit ovat synteettisiä yhdisteitä, joihin lukeutuu ketjumaisia, haarautuneita tai rengasmaisia yhdisteitä, joiden runko rakentuu vuorottekevistä happi- ja piiatomeista. Molekyylin rungossa esiintyviin

piiatomeihin on usein liittyneenä erilaisia funktionaalisia ryhmiä, jotka vaikuttavat molekyylin ominaisuuksiin.

Siloksaaneja koskeva ympäristötutkimus on keskittynyt suurelta osin kolmeen rengasmaiseen yhdisteeseen: oktametyyliisyklotetrasiloksaaniin (D4), dekametyyliisyklopentasiloksaaniin (D5) ja dodekametyyliisykloheksasiloksaaniin (D6). Siloksaaneja käytetään mm. kosmetiikassa, kiillotusaineissa ja paperin pintakäsittelyssä.

Synteettiset myskit

Synteettiset myskit ovat laajasti hajusteissa käytettyjä yhdisteitä. Ryhmään kuuluvia yhdisteitä ovat mm. myskiksyleeni, galaksolidi ja tonalidi. Syntettisiä myskejä käytetään mm. pesuaineissa ja kosmetiikassa.

Torjunta-aineet

Torjunta-aineille tarkoitetaan kasvintuotannossa kasvitautien, tuholaisten ja rikkaruohojen torjuntaan käytettyjä aineita. Torjunta-aineista käytetään usein käsitettä kasvinsuojeluaine. Ryhmään kuuluvat aineet voidaan jaotella esim. niiden käyttötarkoituksen mukaan herbisideihin, insektisideihin ja fungisideihin.

Ryhmään kuuluu kemiallisesti monimuotoinen joukko yhdisteitä, mm. rikkakasvien torjunnassa (herbisideinä) käytetyt glyfosaatti, klopuralidi ja aminopyralidi. Monia aiemmin torjunta-aineina käytettyjä yhdisteitä, kuten DDT, klordaani ja endosulfaani on sisällytetty POP-asetuksen piiriin. Suomessa saa myydä ja käyttää ainoastaan Tukesin hyväksymiä kasvinsuojeluaineita.

VOC-yhdisteet

VOC-yhdisteillä tarkoitetaan yhdisteitä, jotka haihtuvat herkästi huoneenlämmössä. VOC-yhdisteet ovat monimuotoinen ryhmä, joka voidaan jaotella edelleen mm. alifaattisiin ja aromaattisiin hiilivetyihin, alkoholeihin ja eettereihin. Ryhmään kuuluvia yhdisteitä käytetään laajasti liuottimina. Teollisen käytön lisäksi yhdisteitä voidaan käyttää kotitalouksissa mm. maaleissa, lakoissa, puhdistusaineissa ja kosmetiikassa.



ISBN 978-952-11-5497-3 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)