

Esiselvitys lannoitevalmisteiden jättepohjaisten raaka-aineiden ei enää jätettä (EEJ) -arviointiperusteista (LAVA-EEJ)

Jani Salminen*, Jani Häkkinen*, Päivi Fjäder*, Noora Perkola*, Lauri Äystö*, Topi Turunen*, Merja Torniainen**, Olli Venelampi**

*Suomen ympäristökeskus

** Ruokavirasto



Sisällys

1. Johdanto	4
2. Lainsäädäntö.....	5
2.1 Jäteperäiset lannoitevalmisteet	5
2.2 EU-lannoitevalmisteet ja jätteeksi luokittelun päättymisen.....	6
2.3 Kansalliset lannoitevalmisteet ja jätteeksi luokittelun päättyminen	7
2.3.1 Sääntelyn nykytila	7
2.3.2 Mahdollinen kansallinen EEJ-asetus	8
2.3.2 Soveltuva lannoitesääntely	9
3 Tarkasteltava jätteet ja niiden ominaisuudet	11
3.1 Jättemäärät ja jätteiden luokittelu	11
3.2 Teollisuuden prosessijätteet	14
3.2.1 Metsäteollisuuden eloperäiset jätteet.....	14
3.2.2 Metsäteollisuuden mineraalijätteet	18
3.2.3 Elintarviketeollisuuden eloperäiset jätteet.....	21
3.2.4 Muut teollisuuden prosessijätteet.....	22
3.2.5 Teollisuuden jätteitä koskevat päätelmät.....	24
3.3 Alkutuotannon eloperäiset jätteet.....	25
3.3.1 Kalajäte ja kalankasvattamoiden liete	25
3.3.2 Kasvintuotannon jätteet	26
3.3.3 Kotieläintalouden jätteet	26
3.3.4 Alkutuotannon jätteitä koskevat päätelmät	28
3.4 Termisten prosessien jätteet.....	28
3.4.1 Metsäteollisuuden tuhkat.....	28
3.4.2 Yhdyskuntajätevesilietteen polton tuhka	33
3.4.3 Pyrolyysihilli	33
3.4.4 Termisten prosessien jätteitä koskevat päätelmät	35
3.5 Kotitalouksien ja niihin rinnastuvat jätteet	36
3.5.1 Erilliskerätty biojäte	36
3.5.2 Puutarha- ja puistojätteet	38
3.5.3 Kotitalouksien ja niihin rinnastuvia jätteitä koskevat päätelmät.....	38
3.6 Muut jätteet	39
3.6.1 Jauhesammuttimen sisältö	39
3.6.2 Hiekoitushiekka.....	40
3.6.3 Ruoppausmassat.....	40
3.6.5 Muita jätteitä koskeva päätelmät	42

3.7 Jätteen- ja yhdyskuntajätevesien käsittelyn jätteet	42
3.7.1 Yhdyskuntajätevesilietteet.....	43
3.7.2 Biokaasulaitosten mädätysjäännökset.....	49
3.7.3 Kompostointilaitosten kompostit	52
3.7.4 Jätteen- ja yhdyskuntajätevesien käsittelyn jätteitä koskevat päätelmät	53
4 Kehittämis- ja jatkotoimenpide-ehdotukset	54
4.1 Kansallisen EEJ-asetuksen tai -asetusten valmistelu	54
4.2 Jätteenä hyödyntämisen rekisteröintimenettely	55
4.3 Jäte- ja lannoitelainsäädännön rajapinnat	56
Viitteet.....	58

1. Johdanto

Suomessa valmistettujen ja markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden tulee olla laadukkaita ja kasvintuotantoon sopivia (lannoitelaki 711/2022). Lannoitevalmisteiden käytöstä ei saa aiheutua vaaraa kasvien, eläinten tai ihmisten terveydelle, eikä niiden käyttö saa heikentää ympäristön tilaa. Lannoitevalmisteita koskevan lainsäädännön mukaisesti markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden tulee täyttää lannoitelain ja sen nojalla säädetyn maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 964/2023 tai EU:n lannoitevalmisteasetuksen (EU) 2019/1009 vaatimukset.

Jätehierarkian mukaisesti ensisijaisena tavoitteena on vähentää syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Mikäli jätettä muodostuu, tulee sen haltijan valmistettava jäte, mahdollista uudelleen käyttöä varten ja toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jäte on hyödynnettävä muulla tavoin esim. viimekädessä energiana. Suomessa tarjotaan enenevässä määrin erilaisia jättepohjaisia materiaaleja lannoitevalmisteiden raaka-aineiksi. Niiden soveltuvuus ja käytettävyyys lannoitevalmisteina sekä mahdolliset ympäristöriskit tulee arvioida. Parhaassa tapauksessa jättemateriaalien ja sivuotteiden käyttö tarjoaa mahdollisuuden jalostaa jätteistä lannoitevalmisteita, jotka tarjoavat lannoitevalmisteilta vaadittavia hyötyjä eivätkä aiheuta haittaa ympäristölle tai terveydelle. Lisäksi jätteiden hyödyntämisellä on mahdollista vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja jätteiden loppusijoituksen tarvetta.

Jätteen ammatti- tai laitostainen hyödyntäminen vaatii pääsääntöisesti ympäristöluvan. Suomessa jätelain (646/2011) mukaisista ei-enää-jätettä (EEJ) -arviointiperusteista on säädetty kansallisesti toistaiseksi vain muutamille jätenimikkeille. Lisäksi on tehty tapauskohtaisia päätöksiä jätteeksi luokittelun päättymisestä. Tällä hetkellä jättepohjaisten lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättyminen on epäselvässä tilassa. Valtaosin nämä lannoitevalmisteet eivät ole käyneet läpi EEJ-arviointimenettelyä, mutta niitä kuitenkin tarjotaan ja käytetään markkinoilla ei-jätteenä. Jättepohjaisten lannoitevalmisteiden tuotanto tapahtuu siis suurelta osin nk. harmaalla alueella. EU:n lannoitevalmisteasetuksen uudistuksen ja voimistuvien jätteiden hyödyntämispyrkimysten myötä jäteluonteeseen liittyvät epäselvyydet samoin kuin kierrätyslannoitteiden laatuun ja hyväksyttävyyteen liittyvät kysymykset ovat lisääntyneet. Tämä näkyy myös lisääntyneenä aktiivisuutena Ruokavirastolle, joka ylläpitää kansallista luetteloa eri ainesosaluokissa sallituista ainesosista, ehdotettujen jäteperäisten ainesosien osalta. Näille ainesosille on myös lisääntyneessä määrin haettu tapauskohtaisia EEJ-päätöksiä Suomessa.

Tämä esiselvitys lannoitevalmisteiden jättepohjaisten raaka-aineiden ei enää jätettä -arviointiperusteista (LAVA-EEJ-hanke) toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen (Syke) ja Ruokaviraston yhteistyönä. Hankkeessa tehtiin kirjallisuuskatsaus lannoitevalmisteiden EU-tasoiseen ainesosaluetteloon kuulumattomista eli kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvista jätteistä ja niiden soveltuvuudesta lannoitevalmisteiden ainesosiksi. Kirjallisuutta käytettiin lähinnä riskien tunnistamiseen. Tarkastelu kohdistui jätteisiin, joita käytetään tai haluttaisiin käyttää lannoitevalmisteiden raaka-aineina Suomessa. Selvityksen pohja-aineistona toimi Ruokaviraston keräämä tieto erilaisista hyödynnettäviksi haluttavista jättepohjaisista raaka-aineista sekä sen ylläpitämä ainesosaluettelo. Suuri osa läpikäydystä kirjallisuudesta on kansainvälisiä tieteellisiä tutkimuksia, eivätkä niissä raportoidut haitallisten aineiden pitoisuustasot suoraan edusta Suomessa syntyvien jätteiden pitoisuustasoja.

Hankkeessa ei tehty lannoitemateriaaleille jätteiden tapauskohtaiseen EEJ-menettelyyn tarkoitettun riskinarviointiohjeistuksen (Häkkinen ym. 2025) mukaista riskinarviointia, mutta kirjallisuuskatsauksessa kartoitettiin lannoitevalmisteiden ainesosiksi haluttujen jätteiden käyttöhistoriasta tai jäteluonteesta

johtuvia haittaominaisuuksia, kuten erilaisten haitallisten aineiden ja epäpuhtauksien (esimerkiksi muovi) esiintymistä.

Hankkeessa tuotettiin alustava arvio mahdollisuuksista määritellä tarkastelluille jätteille jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteet. Mahdollisuuksia arvioitiin jätteiden syntyhistorian, saatavilla olevien tietojen kattavuuden sekä ympäristö- ja terveystarvikien näkökulmasta huomioiden myös kyseisten jätteiden muodostumismäärät. Lannoitelainsäädännössä lannoitevalmisteita arvioidaan ensisijaisesti elintarviketurvallisuuden sekä eläin- ja kasvinterveyden näkökulmasta. Jätelainsäädäntö puolestaan tarkastelee jäteluonteesta johtuvia ympäristö- ja terveystarvikkeitä ja edellyttää, ettei jätteen hyödyntämisestä aiheudu haittaa ympäristölle tai terveydelle silloin, kun hyödyntämistoimen läpikäynyt jäte aiotaan saattaa markkinoille tuotteena tiettyyn käyttötarkoitukseen – tässä tapauksessa lannoitevalmisteena. Lannoitevalmisteen, jonka raaka-aineena on käytetty jätettä, tulee siis täyttää edellä mainittujen jätelainsäädännön vaatimusten ohella, myös mm. soveltuvat tuote- ja kemikaalisäätelyn sekä lannoitevalmisteita koskevan säätelyn vaatimukset. Viimeksi mainitut koskevat haitta-aineiden ja epäpuhtauksien enimmäismäärien lisäksi lannoitekäytön kannalta oleellisia tekijöitä, kuten ravinne- tai orgaanisen aineen pitoisuuksia.

Valtaosa tarkastelluista materiaaleista oli yksittäisiä jätteitä, mutta mukana oli myös jätteenkäsittelyn jätteitä, kuten komposti ja mädäte, joiden ominaisuudet riippuvat niiden valmistukseen käytettyjen jätteeksi luokiteltujen syötteiden ominaisuuksista. Kompostin ja mädätteen osalta arviointi keskittyi syötteiden ominaisuuksien arviointiin. Tarkastelun ulkopuolelle rajattiin myös joitain syötteitä, joihin ei katsottu liittyvän mahdollisia ympäristö- ja terveystarvikkeitä.

Hanke arvioi kunkin tarkastellun jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen edellytyksiä: soveltuuko jäte sellaisenaan tai käsiteltynä kansallisen EEJ-asetuksen tai tapauskohtaisen EEJ-menettelyn kohteeksi vai onko tietopohja niin puutteellinen, ettei arviota voida tehdä, vai onko todennäköistä, ettei edellytyksiä määritellä EEJ-arviointiperusteita ole. Lopputuotteena kukin jäte on sijoitettu neljäportaisen luokituksen mukaisesti ja luokitus tunnistaa jätteitä, joille EEJ-arviointiperusteiden säätäminen asetuksella näyttää tarkoituksenmukaiselta ja jätteitä, joiden jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset näyttävät heikoilta niiden ympäristöriskipotentiaalin vuoksi. Luokittelu on alustava ja se on tarkoitettu päätöksenteon tueksi arvioitaessa säädösvalmistelun käynnistämistä.

2. Lainsäädäntö

2.1 Jäteperäiset lannoitevalmisteet

Jäteperäisten lannoitevalmisteiden säätely riippuu siitä, katsotaanko materiaali jätteeksi vai ei, sekä siitä, kuuluuko se kansallisen säätelyn vai EU:n lannoitevalmisteasetukseen piiriin. Tässä yhteydessä jäteperäisillä lannoitevalmisteilla viitataan sellaisiin lannoitevalmisteisiin, jotka ovat jätettä, ovat olleet jätettä tai jotka luokitellaan jätelainsäädännön mukaisiksi sivutuotteiksi (vrt. sivutuoteasetuksen mukaiset eläimistä saatavat sivutuotteet). Jäteperäisten lannoitevalmisteiden osalta on otettava huomioon niin jätesäätelyssä kuin lannoitevalmisteita koskevassa säätelyssä asetettavat normit.

Jäteperäisten tuotteiden käytön kannalta on olennaista, ovatko ne jätettä vai onko niiden jätteeksi luokittelu mahdollisesti päättynyt. Jos lannoitevalmiste sisältää jätettä, sen käyttö lannoitukseen tai maanparannukseen vaatii pääsääntöisesti ympäristöluvan jätteen ammattimaisena hyödyntämisenä. Ympäristönsuojelulain (527/2014) 32 §:n 1 momentin 2 kohdan (144/2025) mukaan ympäristö lupaa ei kuitenkaan tarvita mm. haitattomaksi käsitellyn jätevesilietteen, sakokaivolietteen, umpisäiliölietteen tai kuivakäymäläjätteen taikka haitattoman tuhkan tai kuonan hyödyntämiseen ja käyttöön lannoitevalmistelun mukaisesti. Poikkeus soveltuu siis vain harvoin tapauksiin. Osa tässä selvityksessä tarkastelluista jätteistä

soveltuu lannoitevalmisteksi sellaisenaan, osa on ensin käsiteltävä lannoitevalmisteita koskevan lainsäädännön mukaisesti.

Koska lannoitevalmisteiden raaka-aineina käytetään Suomessa enenevässä määrin jäteperäisiä materiaaleja, on olennaista, että jäte voi lakata olemasta jätettä. EU:n jätedirektiivin (artikla 6) ja kansallisen jätelain (5b §) mukaan aineet ja esineet voivat lakata olemasta jätettä, kun ne on kierrätetty tai muuten hyödynnetty, ja jos ne täyttävät seuraavat edellytykset (ns. ei-enää-jätettä-kriteerit (EEJ)):

- a) ainetta tai esinettä on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin,
- b) aineelle tai esineelle on olemassa markkinat tai kysyntää,
- c) aine tai esine täyttää tiettyjen tarkoitusten mukaiset tekniset vaatimukset ja on tuotteisiin sovellettavien olemassa olevien säännösten ja standardien mukainen, ja
- d) aineen tai esineen käytöstä ei aiheudu haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle eikä ihmisten terveydelle.

Edellytyksiä voidaan soveltaa kolmella tasolla. Ensinnäkin komissio voi EU:n tasolla asettaa jätteeksi luokittelun päättymistä koskevat perusteet. Tällaisten puuttuessa voidaan jätteeksi luokittelun päättymistä koskevat arviointiperusteet asettaa kansallisella tasolla. Jos yleisesti sovellettavaa sääntelyä ei ole asetettu kummallakaan tasolla, voidaan jätteeksi luokittelun päättymisestä päättää tapauskohtaisessa päätöksenteossa EEJ-kriteerien pohjalta.

Seuraavassa alaluvussa avataan EU:n lannoitevalmisteasetuksessa tehtyä EEJ-linjausta. Tämän jälkeen tulevassa alaluvussa keskitytään mahdollisuuteen antaa kansallisia arviointiperusteita lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisestä sekä tehdä tapauskohtaisia päätöksiä jäteperäisten lannoitevalmisteiden ja niiden aineosien jätteeksi luokittelusta.

2.2 EU-lannoitevalmisteet ja jätteeksi luokittelun päättyminen

EU:n lannoitevalmisteasetuksen tarkoituksena on yhdenmukaistaa EU:n alueella markkinoitavien lannoitevalmisteiden valmistus- ja laatuvaatimukset. Asetuksessa lannoitevalmisteet on jaettu toimintaperusteisiin tuoteluokkiin (Product Function Categories, PFC) ja niissä sallitut raaka-aineet on määriteltävä ainesosaluokissa (Component Material Category, CMC). EU:n lannoitevalmisteasetusta sovelletaan ns. EU-lannoitevalmisteisiin. Asetuksen mukaan EU-lannoitevalmisteella tarkoitetaan lannoitevalmistetta, johon pannaan CE-merkintä, kun se asetetaan saataville markkinoilla. CE-merkityn EU-lannoitevalmisteiden markkinoille saattaminen edellyttää, että todennetaan tuotteen olevan kaikilta osin EU:n lannoitevalmisteasetuksen vaatimustenmukainen. Vaatimustenmukaisuuden arviointi edellyttää joissakin tapauksissa vaatimustenmukaisuuden arviointilaitoksen tekemän arvioinnin.

Asetus määrittää vaatimukset, jotka lannoitevalmisteiden on täytettävä CE-merkinnän saamiseksi, eli siitä miten lannoitevalmisteesta voi tulla EU-lannoitevalmiste. Lisäksi asetuksessa säädetään EU-lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisestä. Asetuksen 19 artiklassa säädetään, että jätteen muodostava materiaali voi lakata olemasta jätettä, jos se sisältyy vaatimustenmukaiseen EU-lannoitevalmisteeseen. Ennen jäteluokituksen päättymistä lannoitevalmisteeseen sisällytettävien materiaalien on läpikäytävä hyödyntämistoimi, minkä jälkeen niiden katsotaan täyttävän EEJ-kriteerit. Materiaali lakkaa olemasta jätettä siitä hetkestä, kun EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus on laadittu.

Jotta aine tai esine voi lakata olemasta jätettä osana EU-lannoitevalmistetta, tulee lannoitevalmisteiden täyttää lannoitevalmisteasetuksessa asetetut tuotevaatimukset. Asetuksen 4 artiklassa mukaisia tuotevaatimuksia EU-lannoitevalmisteelle ovat asetuksen liitteessä I vahvistetut tuoteluokkakohtaiset vaatimukset, liitteen II ainesosaluokkakohtaiset vaatimukset sekä liitteen III merkintävaatimukset. Lisäksi EU-lannoitevalmiste ei saa aiheuttaa riskiä ihmisten, eläinten tai kasvien terveydelle, turvallisuudelle taikka ympäristölle. EU:n

lannoitevalmisteasetus määrittelee laatukriteerit metalleille sekä muutamille orgaanisille yhdisteryhmille, kuten polyklooratuille dibentso-p-dioksiineille ja furaaneille (PCDD/F), polyaromaattisille hiilivedyille (PAH) ja polyklooratuille bifenyyleille (PCB). Monissa EU-maissa on jo aiemmin sovellettu kansallisia raja-arvoja yhdyskuntajätevesilietteen sisältämille raskasmetalleille (esim. Collivignarelli ym. 2019), mutta paikoin myös esim. per- ja polyfluoralkyyliyhdisteille (PFAS), lineaarisille alkyylisulfonaateille (LAS) sekä ftalaateille (Äystö ym. 2022).

EU:n lannoitevalmisteasetus on ns. osittain harmonisoitu lainsäädäntöä, mikä tarkoittaa sitä, ettei se rajoita kansallista sääntelyä lannoitevalmisteista samalla tavalla kuin monet muut EU-tuotepolitiikkaa koskevat säädökset. EU:n lannoitevalmisteasetus ei korvaa kansallista lannoitevalmistesääntelyä, eikä estä harmonisoimattomien lannoitevalmisteiden saattamista sisämarkkinoille kansallisen sääntelyn nojalla. EU-lannoitevalmisteiden lisäksi markkinoille voi tuoda myös ns. kansallisia lannoitevalmisteita, joihin ei sovelleta EU-lannoitevalmisteasetusta. Kansallista lannoitelakia koskevan hallituksen esityksen mukaan kyse on lannoitevalmistemarkkinoiden osittaisesta harmonisoinnista, jonka puitteissa lannoitevalmisteiden valmistajat voivat valita noudattavatko kansallista lainsäädäntöä vai EU:n lannoitevalmisteasetusta (HE 32/2022 vp). Käytännössä tämä tarkoittaa, että jäsenvaltioissa voidaan valmistaa ja saattaa markkinoille myös lannoitevalmisteita, jotka eivät ole EU-lannoitevalmisteasetuksen mukaisia. Lisäksi sama lannoitevalmiste voi olla markkinoilla sekä ns. EU-lannoitevalmisteena että kansallisena lannoitevalmisteena (EU Commission 2025).

On kuitenkin huomioitava, että lannoitevalmisteasetuksen 19 artiklan mukainen jätteeksi luokittelun päätyminen koskee ainoastaan EU-lannoitevalmisteisiin sisältyviä materiaaleja sen jälkeen, kun niille on laadittu EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus, ja joilla on EU:n lannoitevalmisteasetuksen mukaisen CE-merkintä. Kaikissa tilanteissa toiminnanharjoittaja ei halua tuoda lannoitevalmistetta markkinoille CE-merkittynä EU-lannoitevalmisteena, koska vaatimustenmukaisuuden arvioinnista ja markkinoille saattamisesta voi aiheutua lannoitevalmistajalle merkittäviä kustannuksia verrattuna lannoitteen markkinoille saattamiseen noudattaen kansallista lannoitelainsäädäntöä. Kuitenkin näiden ainesosien ja lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päätyminen voisi tapahtua vasta EU-vaatimustenmukaisuuden yhteydessä. Lisäksi EU-lannoitevalmisteiden markkinoille saattamista voi vaikeuttaa se, että Suomessa ei tällä hetkellä ole yhtään hyväksyttyä vaatimustenmukaisuuden arviointilaitosta. Arviointi voidaan kuitenkin tarvittaessa tehdä toisessa EU-jäsenvaltiossa.

CE-merkittyjä tuotteita saa markkinoida sisämarkkinoilla vapaasti. Lisäksi EU:n lannoitevalmisteasetuksen 19 artiklan mukaan CE-merkitty lannoitevalmiste, joka sisältää jäteteräisiä ainesosia, lakkaa automaattisesti olemasta jätettä. Jos sama lannoitevalmiste olisi saatettu markkinoille ilman CE-merkintää (muuna kuin EU-lannoitteena), se ei voisi lakata olemasta jätettä artiklan 19 nojalla. Sen jätteeksi luokittelun päätyminen tapahtuisi kansallisen sääntelyn tai tapauskohtaisen päätöksen nojalla. Kansalliset lannoitevalmisteet tuotaisiin markkinoille muissa jäsenvaltioissa vastavuoroista tunnustamista koskevan asetuksen (EU) 2019/515 mukaisesti (Turunen & Pusenius 2025). Kuitenkin kansallisen asetuksen ja tapauskohtaisen päätöksen nojalla saatua EEJ-linjausta voidaan soveltaa vain siinä jäsenvaltiossa, jossa asetus tai päätös on tehty. Jätteesiirtoasetuksessa (EY) N:o 1013/2006 nimittäin säädetään, että jos lähtömaan ja vastaanottomaan toimivaltaiset viranomaiset eivät pääse yksimielisyyteen siitä, luokitellaanko jokin erä jätteeksi vai ei, erää käsitellään kuin jätettä. Pääosiltaan vastaava säännös on sisällytetty myös uuteen jätteesiirtoasetukseen (EU) 2024/1157.

2.3 Kansalliset lannoitevalmisteet ja jätteeksi luokittelun päätyminen

2.3.1 Sääntelyn nykytila

Jäteteräisiä materiaaleja sisältävät lannoitevalmisteet luokitellaan edelleen jätteeksi, jollei niiden jätteeksi luokittelun päätyemisestä ole säädetty erikseen joko EU:n lannoitevalmisteasetuksessa, jätelain nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa tai tapauskohtaisesti, esimerkiksi ympäristöluvassa tai ympäristöviranomaisen päätöksellä tai lausunnolla. Jos unionin tasolla ei ole vahvistettu EEJ-kriteerejä,

jäsenvaltiot voivat laatia yksityiskohtaisia perusteita eri jätelajien jätteeksi luokittelun päättymisestä (jätedirektiivin artikla 6(3)). Myös kansallisen sääntelyn puuttuessa voidaan aineen tai esineen EEJ-statuksesta päättää tapauskohtaisesti (jätedirektiivin artikla 6 (4)). Suomessa ei ole kansallista EEJ-sääntelyä koskien kansallisia lannoitevalmisteita, poikkeuksena jätepohjaisen betonimurskeen EEJ-asetus (VNa 466/2022), jossa käyttö lannoitevalmisteena on yksi sallituista käyttötarkoituksista. Näin ollen tällä hetkellä niiden jätteeksi luokittelua koskevat linjaukset tehdään tapauskohtaisessa päätöksenteossa. Lannoitevalmisteita koskevien EEJ-päätösten näkökulmasta tärkeimmät viranomaiset ovat Ruokavirasto ja ympäristöviranomaiset.

Tapauskohtaisen EEJ-päätöksen yhteydessä ympäristöviranomaisen tehtävä on arvioida EEJ-kriteerien täyttymistä. Aineen tai esineen jätteeksi luokittelun päättymisen yhtenä edellytyksenä on, että se täyttää kansalliselle lannoitevalmisteelle asetetut vaatimukset. Tällöin on kuitenkin suositeltavaa, että valmistellessaan päätöstä EEJ-luokittelusta, ympäristöviranomaiset on yhteydessä Ruokavirastoon varmistaakseen, että lannoitevalmiste täyttää lannoitelainsäädännön vaatimukset ja on lannoitevalmisteeksi soveltuva. Ympäristöviranomaisen EEJ-päätös ei velvoita Ruokavirastoa lisäämään ainesosaa kansalliseen ainesosaluetteloon, joten turhan työn ja kustannusten välttämiseksi on tarkoituksenmukaista varmistaa soveltuvuus päätöksen valmistelun aikana.

Koska jätteeksi luokittelun päättymisen ja lannoitevalmisteena käytettävän ainesosan sisällyttäminen ainesosaluettelon ainesosaluokkaan 7 (jäteperäiset ainesosat, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt) ovat kaksi erillistä menettelyä, toisin kuten EU:n lannoitevalmisteasetuksen piirissä, kansallisten lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisen vaatisi kaksi erillistä päätöstä (Kauppila & Turunen 2019). Kansallisen lannoitelainsäädännön mukaisuus ei siis automaattisesti poista jätteistä valmistetun lannoitevalmisteen jätestatusta.

On myös huomioitava, että pääsääntöisesti kierrätetyt tai muutoin hyödynnetyt materiaalit, jotka eivät ole enää jätettä, on REACH-asetuksen (EU) 1907/2006^[1] mukaisesti rekisteröitävä samojen vaatimusten mukaisesti kuin mikä tahansa kemiallinen aine, *ellei niihin ole sovellettavissa kierrätystä koskeva poikkeus rekisteröintivaatimuksista*. Jätteet eivät kuulu REACH-asetuksen soveltamisalaan. Jätteiden osalta tilanne kuitenkin muuttuu, mikäli niiden jätteeksi luokittelu päättyy EEJ-menettelyn kautta (Kinnunen ja Pirkkamaa 2020). Tällöin jätteestä voi tulla REACH-asetuksen mukainen aine, joka puolestaan vaatii REACH-asetuksen mukaisen rekisteröinnin. Komposti, biokaasu ja mädäte on vapautettu REACH-rekisteröinnistä asetuksen V liitteen nojalla.

2.3.2 Mahdollinen kansallinen EEJ-asetus

Kun EU:n tasolla ei ole vahvistettu EEJ-kriteerejä, voivat jäsenvaltiot ottaa käyttöön kansallisia EEJ-arviointiperusteita. Käytännössä tämä tarkoittaisi arviointiperusteiden asettamista sellaisille kansallisille lannoitevalmisteille, jotka eivät voisi olla EU-lannoitevalmisteita. Kansallisen liikkumavaran suuruus tulisi kuitenkin selvittää ensi tilassa. Asiassa on syytä huomata, että jos jätteeksi luokittelu voi päättyä ainoastaan EU-tasolla, mikään jättepohjainen lannoitevalmiste, joka ei täytä EU-asetuksen vaatimuksia, ei voisi lakata olemasta jätettä. Näiden lannoitevalmisteiden käyttö jäisi rekisteröinti- tmv. menettelyn piiriin, mikä todennäköisesti olisi epätarkoituksenmukainen ratkaisu. Koska EU:n lannoitevalmisteasetuksessa säädetään EU-lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisestä, ei niiden osalta voida säännellä poikkeavalla tavalla kansallisesti, siitä huolimatta, että EU-lannoitevalmisteita voikin EU:n lannoitevalmisteasetuksen puitteissa tuoda markkinoille myös ilman EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta eli kansallisina lannoitevalmisteina. Kokonaan lannoitevalmisteasetuksen soveltamisalan ulkopuolella jäävät sellaiset

¹ [1] 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/2006/1907/2014-04-10>

kansalliset lannoitevalmisteet, jotka eivät voisi saada EU-vaatimusten mukaisuusvakuutusta, joiden jätteeksi luokittelun päättymisestä voitaisiin siis säännellä kansallisessa asetuksessa. Toistaiseksi Suomessa ei ole säädetty tällaista asetusta.

Kansallisten lannoitevalmisteiden jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteita koskeva valtioneuvoston asetus voitaisiin antaa jätelain 5 b §:n 2 momentin nojalla. Arviointiperusteisiin on sisällytettävä mukaan vähintään:

- 1) jätemateriaalit, jotka on sallittua toimittaa hyödyntämistoimeen,
- 2) sallitut käsittelyprosessit ja -tekniikat,
- 3) tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukaiset laatuvaatimukset materiaaleille, joita ei hyödyntämisen seurauksena enää luokitella jätteeksi, mukaan lukien tarvittaessa epäpuhtauksien raja-arvot,
- 4) hallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset, joilla osoitetaan jätteeksi luokittelun päättymistä koskevien arviointiperusteiden noudattaminen, mukaan lukien vaatimukset laadunvalvonnasta ja omavalvonnasta sekä tarvittaessa akkreditoinnista, ja
- 5) vaatimusten mukaisuudesta ilmoittaminen.

Yleisesti ottaen pyrkimyksenä on, että niiden jätteiden osalta, joita käytetään materiaalina tai raaka-aineena laajasti ja useiden toiminnanharjoittajien toimesta, jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteet säädettäisiin kansallisella tasolla EU-tasoisien asetusten puuttuessa. Näin pyrittäisiin varmistamaan arviointiperusteiden yhtäläisyys ja toiminnanharjoittajien yhdenvertainen kohtelu.

Tämän lisäksi asetusta valmistellessa olisi varmistettava, että jätelain 5b §:n ja jätedirektiivin 6 artiklan EEJ-kriteerit täyttyvät. Varmistettavaksi tulisi, että jätemateriaalia voidaan käyttää erityisiin tarkoituksiin, aineelle tai esineelle on olemassa kysyntää, se täyttää tekniset ja tuotteisiin sovellettavat vaatimukset (soveltuvuus lannoitevalmisteeksi tai sen ainesosaksi ja kuuluminen Ruokaviraston ylläpitämään ainesosaluetteloon) ja käytöstä ei aiheudu haitallisia kokonaisvaikutuksia ympäristölle eikä ihmisten terveydelle. EEJ-kriteerien täyttymisen näyttäminen vaatii tiedon tuottamista toiminnanharjoittajilta. EEJ-asetuksen valmistelua varten toiminnanharjoittajilta tulee saada selvitykset kyseisen materiaalin määrästä, ominaisuuksista, laadusta sekä laadunvaihteluista. Tämä voi vaatia puuttuvien tietojen mittaamista ja analysointia sekä vaatia riskiperusteisten arviointien ja viitearvojen laskentaa (jos tämä on mahdollista). Jätemateriaaleissa esiintyviä pitoisuuksia verrataan relevantteihin riskiperusteisiin arvoihin. Asetusvalmistelu voi vaatia myös raja-arvojen asettamista ja seurantavelvoitteita, jos ne katsotaan tarpeelliseksi ja jopa riskinhallintatoimenpiteiden määrittelyä.

Kaikkien jäteperäisten kansallisten lannoitevalmisteiden EEJ-statuksesta ei kuitenkaan varmasti ole tarkoituksenmukaista säätää kansallisesti. Tämä pätee jätteisiin, joiden jätteeksi luokittelun päättymisen koskisi vain yhtä tai muutamaa yksittäistä laitosta. Tällöin jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset on arvioitava tapauskohtaisesti.

2.3.2 Soveltuva lannoitesääntely

EU:n lannoitevalmisteasetus (2019/1009) rajaa EU-lannoitevalmisteiden sallittujen raaka-aineiden ulkopuolelle useita jäteperäisiä materiaaleja, joita on Suomessa kansallisesti käytetty pitkään lannoitevalmisteina tai niiden ainesosina. Jotta tällaiset jäteperäiset lannoitevalmisteet voivat lakata olemasta jätettä, on niiden oltava niihin sovellettavan kansallisen lannoitesääntelyn mukaisia. Tämän lisäksi myös lannalle on kansallista erityissääntelyä, vaikka se on sallittu raaka-aine EU lannoitevalmisteasetuksen mukaisissa tuotteissa.

Kansallinen lannoitelaki (711/2022) säädettiin osin toimeenpanemaan EU:n lannoitevalmisteasetusta. Kansallisella lannoitelalla säädetään Suomessa valmistettujen ja markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden käytöstä, valmistuksesta ja lannoitevalmisteita ja niiden aineosia koskevista vaatimuksista. Lannoitelain mukaan lannoitevalmisteiden on oltava turvallisia ja käyttötarkoituksensa sopivia, eivätkä ne saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, yhdisteitä tai eliöitä, että niiden käytöstä voisi aiheutua vaaraa terveydelle (ihmis-, eläin- tai kasviterveys) tai turvallisuudelle taikka ympäristölle. Lannoitelain 7 §:n mukaan lannoitevalmisteen on koostuttava sellaisista ainesosista, jotka täyttävät joko kansallisen lainsäädännön tai EU:n lannoitevalmisteasetuksen liitteen II mukaisen ainesosaluokan aineosien yleisiä laatu- ja käsittelykriteereitä koskevat vaatimukset. Lannoitelaisissa mainitut ainesosaluokkia koskevat vaatimukset säädetään puolestaan maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (MMM) 964/2023.

Nykyisessä lannoitelainsäädännössä entisen lannoitevalmistelain (539/2006, kumottu) tyyppinimet on korvattu tuote- ja ainesosaluokilla noudatellen EU-lannoitevalmisteasetusta. Ainesosalla tarkoitetaan kaikkia aineita, joita käytetään lannoitevalmisteen valmistukseen, lisätään lannoitevalmisteseen tai muodostuu lannoitevalmisteen valmistuksen yhteydessä. Asetuksen mukaisten ainesosien ei tarvitse sellaisenaan täyttää lannoitevalmisteen tuoteluokan vaatimuksia, vaan aineosista voidaan valmistaa lannoitevalmisteita esimerkiksi sekoittamalla niitä muihin ainesosiin. Ainesosa voi kuitenkin jo sellaisenaan täyttää tuoteluokan vaatimukset ja se voidaan saattaa markkinoille lannoitevalmisteenä.

Osa lannoitevalmisteiden ainesosista on jätelainsäädännön mukaan jätettä. Lannoitevalmisteiden valmistajan on niiden osalta varmistettava ympäristöviranomaiselta ympäristöluvan tarve jätteiden hyödyntämiseen. Jotta jätteistä valmistettujen lannoitevalmisteiden käyttöön ei tarvittaisi ympäristölupaa, lannoitevalmisteiden tulisi lakata olemasta jätettä. Tällöin ainesosat voitaisiin lisätä Ruokaviraston ylläpitämän ainesosaluettelon ainesosaluokkaan 7, EEJ. (PEMU 2023) Uusia ainesosia voidaan hakea lisättäväksi lannoitelain mukaisesti Ruokaviraston ylläpitämään ainesosaluetteloon. Ruokavirasto voi antaa ainesosakohtaisia vaatimuksia ainesosan alkuperälle, ominaisuuksille, tuotantoprosessille ja käsittelymenetelmille (edellä mainittujen tarve arvioidaan tapauskohtaisesti).

MMM 964/2023 asettaa raja-arvot ja seurantavelvoitteet lannoitevalmisteiden sisältämille haitallisille metalleille. Metallien lisäksi säännellään PAH-yhdisteiden ja epäpuhtauksien (muovi, lasi ja metalli) esiintymistä ainesosaluokakohtaisilla vaatimuksilla. Muille haitallisille aineille ei ole asetettu raja-arvoja tai seurantavelvoitteita. MMM 964/2023 mukaan metsässä ei ole sallittua käyttää lannoitevalmisteita, jotka sisältävät ainesosia, jotka ovat jätettä. Asetus edellyttää, että jätepohjaisten lannoitevalmisteiden ainesosien on lakattava olemasta jätettä ennen mahdollista metsäkäyttöä lukuun ottamatta ainesosaluokkaan 8 kuuluvaa tuhkaa, jota voidaan käyttää metsätuhalannoitteena. EEJ-statuksen omaavat ainesosat katsottaisiin riittävän turvallisiksi myös metsäkäytössä, koska niiden osalta elintarviketurvallisuuden lisäksi on arvioitu myös ympäristöriskit jätelainsäädännön vaatimusten mukaisesti. Tämän lisäksi tulisi arvioida myös materiaalin soveltuvuus metsälannoitteeksi sillä metsässä ravinteiden ja orgaanisen aineen tarve ei ole sama kuin pellolla.

Lannoitevalmisteiden raaka-aineet voivat olla myös eläimistä saatavia sivutuotteita, joiden hyödyntämisestä säädetään EU:n sivutuoteasetuksessa (EY) 1069/2009. Sivutuoteasetus jakaa eläimistä saatavat sivutuotteet 3 luokkaan, joista jokaiselle säädetään vaatimuksia niiden ihmisten ja eläinten terveydelle aiheuttamien riskien torjumiseksi ja minimoimiseksi sekä erityisesti elintarvike- ja rehun turvallisuuden suojelemiseksi. Asetuksen mukaan lannoitevalmisteiden raaka-aineena voidaan käyttää ainoastaan luokkiin 2 ja 3 kuuluvia eläimistä saatavia sivutuotteita.

Lanta kuuluu sivutuoteasetuksen soveltamisalaan. Kuitenkin delegoidun asetuksen (EU) 2024/1682 mukaan käsitelty lanta on lisätty EU:n lannoitevalmisteasetuksen ainesosaluokkaan (CMC) 10 eräin ehdoin ja voisi näin ollen lakata olemasta jätettä EU:n lannoitevalmisteasetuksen nojalla. Lisäksi on tulossa lisää delegoituja asetuksia koskien eläimistä saatavien sivutuotteiden (esim. luujauho) käyttöä EU:n lannoitevalmisteasetuksen mukaisina ainesosina.

3 3 Tarkasteltava jätteet ja niiden ominaisuudet

Tämä luku sisältää katsauksen sellaisiin jätteisiin, joita hyödynnetään lannoitevalmisteiden ainesosina ja jotka sisältyvät Ruokaviraston ylläpitämään ainesosaluetteloon. Osalle näistä jätteistä on haettu tapauskohtaista EEJ-päätöstä. Taulukkoon 1 on koottu tarkasteltavien jätteiden ohella niihin viitteellisesti kytkeytyvät ainesosaluokat. Jätenimikkeiden ja em. ainesosaluettelon vastaavuus ei ole yksiselitteinen eikä kaikissa tapauksissa selkeä. Tietyt jätteet voivat myös esiintyä useissa ainesosaluokissa. Jätteeksi luokittelun päättymisen kannalta keskeinen kysymys on ainesosanimikkeestä riippumatta jätteen (haitalliset) ominaisuudet. Tämän vuoksi katsaus esitetään tässä raportissa jäte- tai jätenimikekohtaisesti eikä ainesosakohtaisesti.

3.1 Jättemäärät ja jätteiden luokittelu

EEJ-sääntelyn kehittämisen kannalta tarkastelun piiriin kuuluvien jätteiden ja niiden syntypaikkojen määrillä on oleellinen merkitys, joten taulukossa 2 esitetään kooste saatavilla olleista jätenimikekohtaisista määristä. EEJ-menettelyn keskeinen ulottuvuus on sallitun käyttötarkoituksen määrittely. Tässä raportissa ainoa tarkasteltava sallittu käyttötarkoitus on käyttö MMM:n asetuksen tarkoittamana lannoitevalmisteena tai sen ainesosana tai sen ainesosana. EEJ-menettelyn menestyksellinen läpikäyminen edellyttää, että hyödyntämistoimen läpikäynyt jäte soveltuu aiottuun ja yksilöityyn käyttötarkoitukseen ja täyttää kyseistä tuotetta koskevan lainsäädännön vaatimukset. Tässä tapauksessa keskeisin sovellettava lainsäädäntö on lannoitelainsäädäntö vaatimuksineen. Luvussa 3.7 tarkastellaan erikseen jätteenkäsittelyn jätteitä, joita ovat muun muassa mädätteet ja kompostit.

Kunkin alaluvun lopussa, jätekohtaisten kuvausten jälkeen, esitetään arvio EEJ-menettelyn soveltamisen edellytyksistä jätekohtaisesti. Jokainen jäte luokitellaan johonkin oheisista luokista:

- A) jätteelle saattaa olla tarkoituksenmukaista valmistella kansallinen EEJ-asetus
- B) jäte soveltuu mädättämön tai kompostointilaitoksen raaka-aineeksi ja jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen saattaa olla tarkoituksenmukaista mädätys- tai kompostointiprosessin jälkeen edellyttäen, että mädätykseen tai kompostointiin ei samanaikaisesti syötetä luokkiin C-E kuuluvia jätteitä
- C) jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen on tarkoituksenmukaisinta arvioida tapauskohtaisesti
- D) jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset vaikuttavat heikoilta, jolloin jätettä voitaisiin jatkossa hyödyntää jätteenä joko ympäristöluvalla tai uudella rekisteröintimenettelyllä

Tässä esiselvityksessä annetut luokitukset ovat alustavia ja niiden tarkoituksena on suunnata jatkotyötä seuraavasti:

- Kansallisen EEJ-asetuksen valmisteluun parhaiten soveltuvien jätteiden tunnistaminen;
- Merkittävien, päätöksentekoa estävien tietoaukkujen tunnistaminen;
- Ympäristöriskien kannalta merkityksellisten jätteiden tunnistaminen vaihtoehtoisten ratkaisujen, menettelyiden ja siirtymäaikojen arviointia varten.

Taulukko 1. Tässä hankkeessa tarkasteltavat jätteet.

Jätteen tyyppi	Jätteen alkuperä ja tarkenne	Jäte	Vastine(et) ainesosaluokituksessa
Teollisuuden prosessijätteet	Metsäteollisuuden lietteet ja jätteet	Primääriliete	11. Teollisuuden jäte, mahdollista käsitellä myös ainesosaluokkien 3. Komposti, 4. Mädäte tai 10. Käsitelty jätevesiliete mukaisesti

		Sekundääriliete	3. Komposti, 4. Mädäte tai 10. Käsitelty jätevesiliete
		Siistausliete	
		Kuitusavi	11. Teollisuuden jäte, mahdollista käsitellä myös ainesosaluokkien 3. Komposti, 4. Mädäte tai 10. Käsitelty jätevesiliete mukaisesti
		Puutähde	
	Metsäteollisuuden mineraalijätteet	Kalkkiliete, Poltettu Kalkki, Kalkkipöly, Kaoliini	11. Teollisuuden jäte (vain kalkkipöly) 1. Ensiömateriaaleista koostuvat aineet ja seokset
		Viherlipeäsakka	
	Elintarviketeollisuuden lietteet ja orgaaniset jätteet	Rasvakaivoliete Primääri-, sekundääri- ja tertiäärilietteet (elintarvike ja rehuteollisuus) Orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä Orgaanista ainesta sisältävät suodatusmassat Biojäte (pakkauksineen)	3. Komposti, 4. Mädäte 3. Komposti, 4. Mädäte 4. Mädäte, 3. Komposti
	Muut teollisuuden prosessijätteet	Teräskuona	8. Tuhkat ja kuonat
Alkutuotannon jätteet	Kalanviljelyn jätteet ja kalajätteet	Kalanviljelylaitosten lietteet Kalat, jotka eivät kuulu ainesosaluokkaan 5	4. Mädäte, 3. Komposti
	Kasvintuotannon jätteet	Maa- ja puutarhatalouden orgaaniset jätteet	2. Kasvit, kasvien osat ja kasviuutteet, 4. Mädäte, 3. Komposti
	Kotieläintalouden jätteet	Lanta	5. Eläimistä saatava sivutuote
Termisten prosessien jätteet	Puun ja turpeen polton tuhkat ja kuonat sekä rinnakkaispolton tuhkat ja kuonat	Biomassatuhkat	8. Tuhkat ja kuonat
	Metsäteollisuuden tuhkat	Paperi- ja selluteollisuuden tuhkat, pohja- ja	8. Tuhkat ja kuonat, leijupetihiekka ei sisälly ainesosaluetteluun

		lentotuhkat, leijupetihiekka	
	Yhdyskuntajätevesi- lietteen polton tuhka	Kunnallisten jätevedenpuh- distamojen lietteen polton tuhkat	
	Pyrolyysihiili/biohiili	Selluloosa-, hemiselluloosa-, ligniini- ja muita orgaanisia aineita sisältävän biomassan hyödyntäminen. Biohiilen raaka-aineiksi sopivat monet kiinteät ja myös Nestemäiset orgaaniset ainekset	9. Pyrolyysihiili, MMM:n asetuksen mukaan voi sisältää vain kasvibiomassaa ja jätevesilietettä
Kotitalouksien ja niihin rinnastuvat jätteet	Erilliskerätty biojäte	Erilliskerätty, pääasiassa elintarvikkeista peräisin olevaa eloperäistä jätte	4. Määdte, 3. Komposti
	Puutarha- ja puistojätteet	Viherjäte puistojen ja kotipuutarhojen hoidosta	4. Määdte, 3. Komposti
Muut jätteet		Jauhesammuttimen sisältö Hiekoitushiekka Ruoppausmassat	
Jätteen- ja jätevesien käsittelyn jätteet	Yhdyskuntajätevesi- lietteet	Yhdyskuntajätevesiliete Saostus- ja umpikaivoliete Muu kiinteistökohtainen tai maatilojen yhteisen jätevedenkäsittelyjärjes- telmän liete Kuivakäymäläjäte Muu jätevesiliete	10. Käsitelty jätevesiliete 10. Käsitelty jätevesiliete 10. Käsitelty jätevesiliete
	Biokaasulaitosten määdätteet	Rejektivesi ja muut vastaavat nestemäiset jätteet, Kiinteät määdtejätteet Jätevesilietteitä sisältävät määdtejätteet.	4. Määdte 10. Käsitelty jätevesiliete
	Kompostointilaitoste- n kompostit	Biojätteestä ja/tai viherjätteestä tehty komposti Jätevesilietteestä tehty komposti	3. Komposti 10. Käsitelty jätevesiliete

Taulukossa 2 on esitetty tässä raportissa tarkasteltujen jätteiden syntymääriä Suomessa vuonna 2019. Tiedot perustuvat Syken toteuttamaan jätetilinpitoon (Haahti ym., vertaisarvioitavana). Keskeisin tietolähde tilinpidon laadinnassa oli YLVA-tietojärjestelmä, mutta lähtötietoja koottiin myös lukuisista muista lähteistä. Jätetilinpidon tietoja on mahdollisuuksien mukaan täsmennetty ja täydennetty tässä hankkeessa koottujen tietojen avulla.

Taulukko 2. Jätteiden syntymääriä Suomessa vuonna 2019

Materiaali	Syntyvä jätemäärä tonnia	Huomautuksia
Sellun, paperin ja kartongin valmistuksen biohajoavat lietteet	210 000 kuivapaino (818200 tuorepaino)	Suluissa Soilfood Oy:n keräämän materiaalin perusteella erilaisten metsäteollisuuden lietteiden syntymäärät Suomessa ovat tonnia tuorepainona vuodessa sisältäen sekalietteet, primäärilietteen, nollakuidun sekä mädätteen.
Sellun, paperin ja kartongin valmistuksen kuonat ja tuhkat	165 000 kuivapaino	
Hiekoitushiekka	232 000 kuivapaino	Karkea arvio, joka on laskettu Tampereen kaupungin käyttämän hiekoitushiekan määrän perusteella.
Lanta	15 934 000 tuorepaino	Laskettu Luke: Suomen normilanta -järjestelmän avulla. Sis. lehmät, siat, siipikarja, vuohet, hevoset, ponit, turkiseläimet
Ruoppausmassa	364 300 kuivapaino	Sisältää vain YLVA:an raportoidut luvitetut ruoppausmassat
Yhdyskuntajäteveden puhdistamoiden lietteet	140 000 kuivapaino	Suomessa muodostuu yhdyskuntajätevesilietettä jäteveden käsittelyn yhteydessä vuosittain n. 140 000 kuivatonna (YLVA-järjestelmä). Kunnallisen viemäröinnin piirissä muodostuvan jäteveden lisäksi käsittelyyn ohjataan vaihteleva määrä kiinteistökohtaisissa sakokaivoissa tai vastaavissa järjestelmissä muodostuvaa jätevettä tai lietettä
Elintarviketeollisuus	559 170 tuorepaino	Sisältää elintarviketeollisuudessa syntyvät eloperäiset jätteet pl. lanta ja ”kotitalousjätteet”
Kalastus ja kalankasvatus	2500 kuivapaino	Kaikki jätteet

3.2 Teollisuuden prosessijätteet

Teollisuuden prosessijätteillä on EEJ-menettelyn kannalta muutamia yhteisiä, teollisuudenalasta riippumattomia piirteitä. Jätteet ovat peräisin suljetuista systeemeistä, joiden osalta on pääasiassa tiedossa, mitä raaka-aineita ja kemikaaleja prosessissa on käytetty sekä minkälaisia haitta-aineita muodostuvaan jätteeseen saattaa päätyä. Suomessa lannoitevalmisteiden raaka-aineiksi käytettyjä tai ehdotettuja jätteitä tuottavista toimialoista keskeisimmät ovat metsäteollisuus ja elintarviketeollisuus. Seuraavissa alaluissa tarkastellaan näiden teollisuudenalojen jätteitä yksityiskohtaisemmin.

3.2.1 Metsäteollisuuden eloperäiset jätteet

Sellun, uusiomassan, paperin, pahvin ja kartongin valmistuksessa eli mekaanisessa ja kemiallisessa metsäteollisuudessa syntyy erityyppisiä lietteitä, kuten biolietetteitä jätevedenpuhdistamoilta, kuitu(savi)lietteitä ja siistauslietteitä. Lietteet sisältävät puun ja kuoren jäännöksiä, puusta liuenneita aineita, emäksisiä aineita, PAH-yhdisteitä ja mahdollisesti kloorattuja orgaanisia yhdisteitä. Prosesseissa käytetään myös biosideja, kuten desinfiointiaineita ja limantorjunta-aineita (Huygens & Saveyn 2022).

Huygens & Saveyn (2022) arvioivat edellytyksiä määritellä em. lietteet jätelainsäädännön sivutuotteiksi EU-tasolla. Tämän arvioinnin yhteenvedossa todetaan, että sellun ja paperilietteen kierrätysmahdollisuudet riippuvat tarkasteltavasta paperinvalmistusprosessista, käytetyistä raaka-aineista ja siten syntyvien jätemateriaalien tyypistä ja fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista. Huygens & Saveyn (2022) toteavat, että:

- i) (Kuitu)liete voi sisältää laajan kirjon haitallisia aineita (kuten biosidejä ja muita haitallisia orgaanisia yhdisteitä);
- ii) Ei ole olemassa tarvittavaa tutkimustietoa (esim. julkisesti saatavilla olevat riskinarvioinnit tieteellisessä kirjallisuudessa tai REACH-rekisteröinnissä), jotka osoittaisivat ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvien vaikutusten puuttumisen;
- iii) Riski monimutkaistua ja lisätä mahdollisen vaatimustenmukaisuuden noudattamisen mittauskustannuksia on suuri;
- (iv) Materiaalin kysyntä maataloudessa on edelleen epävarmaa.

Siksi raportissa ehdotetaan, ettei näiden jätteiden EU-tasoista sivutuoteasetusta valmistella. Metsäteollisuuden lietteiden hyödyntämistä ja sen ehtoja koskeva päätöksenteko on näin ollen jäänyt tehtäväksi kansallisesti.

Suomen metsäteollisuudessa yhden merkittävimmistä sivuvirroista muodostavat orgaanista ainesta ja ravinteita sisältävät lietteet (kuiva-ainetta 25–65 %), jotka voidaan luokitella kuorimo-, pasta-, primääri-, sekundääri- ja siistauslietteiksi. Teknisenä käsitteenä kuituliete sisältää kaikki metsäteollisuudessa syntyvät kuitupitoiset sivuvirrat, mutta myös pelkästään primäärilietettä kutsutaan välillä kuitulietteeksi. Myös kuitusavella tarkoitetaan eri asioita eri yhteyksissä ja tutkimuksissa. Terminologia kaipaa siis osittain yhtenäistämistä. Suomessa metsäteollisuuden lietteitä syntyy vuosittain yli 800 000 tonnia tuorepainona ilmoitettuna (Taulukko 2). Tämän massan on arvioitu sisältävän n. 230 tonnia fosforia ja 1 200 tonnia typpeä. Ravinteiden lisäksi metsäteollisuuden lietteet sisältävät runsaasti kuituja ja orgaanista ainesta, jota on peräti 40–50 painoprosenttia.

Massa- ja paperiteollisuudessa käytettävistä kemikaaleista monilla on ympäristön kannalta merkittäviä haitallisia ominaisuuksia (Suhr ym. 2015). Metsäteollisuuden lietteet voivat sisältää mm. raskasmetalleja, joiden pitoisuudet vaihtelevat lietteen tyyppin ja tehdasprosessien mukaisesti (IPCC 2001). Tämän lisäksi metsäteollisuuden lietteet voivat sisältää laajan kirjon erilaisia orgaanisia yhdisteitä tehdasprosesseista riippuen. Esimerkiksi laajasti käytetty kelatoiva yhdiste etyleenidiamiinitetraetikkahappo (EDTA) on ympäristössä pitkäikäinen. Koska EDTA:ta käytetään yleisesti massa- ja paperiteollisuudessa, sitä voi päätyä myös prosesseissa muodostuviin lietteisiin. Lisäksi muun muassa väriaineissa ja limanpoistossa käytetään kvaternaarisia ammoniumyhdisteitä, joilla on antimikrobisia ominaisuuksia ja jotka pidättyvät tehokkaasti kiintoaineeseen, kuten lietteeseen tai maaperään. Jotkut kvaternaarisista ammoniumyhdisteistä on tunnistettu ympäristössä haitallisiksi, ja niiden on epäilty edistävän antimikrobiresistenssin kehittymistä (Mulder ym. 2018). Paperiteollisuuden lietteiden tiedetään mahdollisesti sisältäneen myös hormonoimintaa häiritseviä aineita kuten bisfenoli A:ta (Dzikowitzky & Schwarzbauer 2014, Fernandez ym. 2007).

Yleisesti voidaan todeta, että paperiteollisuudesta peräisin olevan lietteen levittäminen maahan, erityisesti maatalouskäytäntöjen kannalta olennaisilla määrillä, aiheuttaa vain vähäisessä määrin metallien kertymisongelmien riskiä. Suurin riskitekijä kirjallisuuskatsauksen perusteella liittyy PFAS-yhdisteisiin. Niitä on käytetty mm. paperisten elintarvikepakkausten päällystämiseen. Siksi niitä voi päätyä paperiteollisuuden lietteisiin myös, jos laitoksella valmistetaan ja/tai käytetään uusiomassaa raaka-aineena (Wiegand 2021). Saksassa on tullut esille paperiteollisuuden lietteiden pilaamia alueita, minkä vuoksi siellä on asetettu lakisäätteisiä veloitteita PFAS-pitoisuuksien seurantaan ja raja-arvoja (PFOS+PFOA 100 µg/kg) sellu- ja paperiteollisuuden lietteille (Röhler ym. 2021). Suomessa on määritetty PFAS-yhdisteitä joistakin metsäteollisuuden lietteistä ja havaittu yksittäisistä näytteistä selvästi Saksan raja-arvoa pienempiä pitoisuuksia (Soilfood Oy, suullinen tiedonanto). Suomessa kaikki suuret metsäteollisuusyhtiöt ovat julkisesti kertoneet, etteivät käytä PFAS-yhdisteitä sisältäviä kemikaaleja prosesseissaan.

Primääriliete tarkoittaa esiselkeytysprosessissa laskeutettua ja talteen otettua kuitupitoista kiintoainetta. Lannoitteiden ainesosana käytettäessä se saa sisältää ympäristölle haitattomia paperin ja kartongin päällystys- ja täyteaineita. Tässä raportissa kierrätyspaperia hyödyntävien ja siitä uusiomassaa (uusiosellua) valmistavien laitosten lietteitä tarkastellaan alempana siistauslietteiden yhteydessä. Primäärilietteellä ei siis tarkoiteta näillä laitoksilla syntyviä lietteitä.

Primääriliete, jota joissakin tapauksissa kutsutaan myös kuitulietteeksi, syntyy raakapaperi-/sellutehtaan jäteveden esiselkeytysvaiheessa, jolloin selkeytsaltaassa olevat kuidut laskeutetaan vaahdotuksen ja sedimentoinnin avulla altaan pohjalle. Primääriliete on pääosin kuitua ja paperitehtailla käytettäviä täyte- ja lisäaineita. Primäärilietettä syntyy sellu- ja paperitehtailla yleensä noin kaksi prosenttia tuotannon määrästä. Osa tästä materiaalista voidaan käyttää paperitehtailla uudelleen huonompilaatuisten lopputuotteiden, kuten kartongin, tuotantoon, mutta tämänkaltaisen materiaali ei yleensä sovi korkealaatuisiin tuotteisiin. (Turner ym. 2022)

Turnerin ym. (2022) mukaan primäärilietteen maatalouskäytön hyödyt viljelykasveille on selkeästi osoitettu, kun taas kielteisiä ekologisia vaikutuksia tyyppillisillä peltojen levitysmäärillä ei ole toistaiseksi havaittu. Kirjallisuuskatsaus osoittaa materiaalin olevan maanparannusaineena käyttökelpoinen ja ympäristön kannalta kestävä käyttövaihtoehtona. Kuitenkin asiasta tarvitaan tietyin osin lisätutkimuksia varsinkin näiden lietteiden pitkän aikavälin vaikutuksista maataloudessa sekä lietteiden mahdollisista haitallisista aineista eräissä materiaaleissa (Turner ym. 2022). Tutkimukset viittaavat siihen, että primääriliete aiheuttaa alhaisen ympäristöriskin raskasmetallikontaminaation kannalta (Kirthika ym. 2025).

Vaikka paperi- ja selluteollisuuden lietteet voivat sisältää pieniä määriä haitta-aineita, kuten kadmiumia, kuparia, lyijyä ja nikkeliä, ja paperitehtaan primäärilieteteissä on yleensä korkeampia pitoisuuksia kuin sekundäärilieteteissä (IPCC 2001), pitoisuudet ovat tyyppillisesti alhaisia ja samankaltaisia kuin tavallisesti maalle levitetystä karjanlannasta (CPI 2015). Myös suomalaisessa tutkimuksessa primäärilietteen raskasmetallipitoisuuden maksimiarvot alittivat lannoitekäytössä sallitut pitoisuudet (Matilainen ym. 2013). Paperiteollisuudesta peräisin olevan lietteen pitoisuudet ovatkin alhaisemmat kuin tavallisesti maahan levitettävässä yhdyskuntajätevesilietteessä (Deviatkin ym. 2015). Lieteteissä voi kuitenkin esiintyä myös orgaanisia haitta-aineita (Turner ym. 2022).

Sekundäärilietettä eli toiselta nimeltään biolietettä syntyy sellu- ja paperitehtaiden jäteveden biologisen puhdistuksen aikana, jälkiselkeytysvaiheessa laskeuttamalla. Sekundäärilietettä syntyy myös primäärilietteen käsittelyssä. Biologisessa käsittelyprosessissa käytetään mikrobiyhteisöjä kemiallisen hapenkulutuksen (COD) ja biokemiallisen hapenkulutuksen (BOD) vähentämiseksi. Sekundäärilietteen tilavuus on pienempi mutta mikrobinen aktiivisuus ja kolloidinen hiukkasluonne suuremmat kuin primäärilietteen. Sekundäärilietteen koostumus vaihtelee käytettyjen kemiallisten käsittelymenetelmien ja lisäaineiden mukaan. Se koostuu tyyppillisesti mikrobibiomassasta ja orgaanisten ainesosien seoksesta, mukaan lukien proteiinit (22–52 %), ligniini (20–58 %), hiilihydraatit (0–23 %), selluloosa (2–28 %) ja hemiselluloosa (noin 12 %) (Kaur ym. 2020).

Primääri- ja sekundäärilietteet voidaan yhdistää laitoksissa, joissa sekä sellu- että paperitehtaat on integroitu samaan paikkaan ja tällöin puhutaan sekalietteestä. Sekundäärilietettä on vaikeampi kuivattaa, minkä vuoksi se yhdistetään usein primäärilietteen kanssa ennen vedenpoistoa. Nämä yhdistetyt lietteet sisältävät yleensä noin 70 % primäärilietettä ja 30 % sekundäärilietettä kehittyneissä maissa, mutta osuudet vaihtelevat tehtaiden välillä (Turner ym. 2022).

Siistauslietettä syntyy, kun kierrätyspaperia käytetään uusiomassan valmistuksen raaka-aineena. Suomessa siistauslietettä tuotetaan arviolta viidellä jätepaperia ja -kartonkia hyödyntävillä paperi-, pehmopaperi- ja kartonkitehtailla. Kierrätyskuitujen tuottamiseksi jätepaperista on poistettava muste, savi, pinnoitteet ja epäpuhtaudet, mikä johtaa suuriin määriin siistauslietettä.

Siistausjäte koostuu lyhyistä selluloosakuiduista, epäorgaanisista täyteaineista, kuten kalsiumkarbonaatista (CaCO₃) ja savesta, sekä jäännöskäsittelykemikaaleista. Siistauslietteessä on alhaisempi ravinne- ja orgaanisen aineksen pitoisuus, minkä vuoksi niiden hyödyt lannoitevalmistekäytössä ovat primääri- ja sekundäärilieteteitä vähäisempiä. Siistauslietteen tuhkapitoisuus on yleensä primääri- ja sekundäärilieteteitä korkeampi erityisesti paino- ja sanomalehtipaperin kierrätystoiminnoissa. Kuiva-aineen määrä ja koostumus voivat vaihdella kierrätettävän paperin tyyppin – esimerkiksi sanomalehtipaperin ja pehmopaperin – ja käytettyjen siistausmekaniikoiden mukaan. Lisäksi siistauslietteeseen voi päätyä myös orgaanisia haitta-aineita

(Turner ym. 2022), kuten täyte- ja väriaineita, liimoja sekä paperin ja kartongin pinnoitteissa käytettyjä PFAS-yhdisteitä.

Aiemmin musteet sisälsivät suuria määriä metalleja, kuten Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Hg, Co, As, Se ja Sb (Abida ym. 2023), mutta nykypäivän painomusteet sisältävät vain muutamia metalleja (Zn, Pb, Cu, Cr) mustetekniikan edistymisen ansiosta. Siistauslietteen raskasmetallipitoisuus on yleensä alhainen (Warren 2001). Tätä tukee osittain myös Taulukko 3, joka esittää erityyppisten paperitehdaslietteiden raskasmetallipitoisuuksia (Kirthika ym. 2025).

Siistauslietteen koostumus riippuu suuresti prosessissa käytetyn kierrätyspaperin koostumuksesta ja käytetystä prosessista. Siksi siistauslietteessä mahdollisesti esiintyviä haitta-aineita ei voida tunnistaa tyhjentävästi. Kierrätyspaperi voi sisältää paperin lisäaineita ja prosessikemikaaleja, mutta myös paperiin sen käytön ja kierrätyksen aikana tarttuneita kemikaaleja.

Taulukko 3. Raskasmetallipitoisuuksia erityyppisissä metsäteollisuuden lietteissä (Kirthika ym. 2025).

Raskasmetalli	Primääriliete (mg/kg, k.p.)	Sekundääriliete (mg/kg, k.p.)	Siistausliete (mg/kg, k.p.)
Sinkki	26–141	30–475	93
Molybdeeni	4,0–20	< 2,0–10	-
Koboltti	1,0–1,5	1,0–3,5	34,0–35,0
Arseeni	0,009–1,7	0,2–1,2	2,15–2,20
Kadmium	0,25–1,65	0,25–14	0,01–0,25
Kromi	8–220	17–46	23,5–62,0
Seleeni	0,5–2,70	0,5–2,0	-
Nikkeli	6–89	8–38	10–10,70
Lyijy	1,0–320	4,0–37	21,40–52,0
Elohopea	0,02–0,2	0,09–1,0	0,07

Kuitusavella tarkoitetaan Ruokaviraston määritelmän mukaisesti kartonkitehtaan sellun käsittelyprosessissa muodostuvaa kuitupitoista jätettä, joka saa sisältää ympäristölle haitattomia kartongin päällystys- ja täyteaineita, mutta ei kierrätyspaperin siistauslietteitä (Ruokavirasto, ainesosaluettelo 2025). Kuitusaven määritelmä on kirjallisuudessa ollut melko epäselvä. Kuitusavi vaikuttaa olevan nimitys massa- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistuksessa muodostuville erityyppisille kuitu- ja täyteainepitoisille lietteille. Kuituja ja paperin täyteaineita päätyy jäteveten paperin ja massan valmistuksen eri vaiheissa, kuten puun kuorinnassa, haketuksessa, kuitumassan lajittelussa ja käsittelyssä, täyteaineiden valmistuksessa, paperin pinnoituksessa sekä harvoin myös häiriötilanteissa. Aiemmin kuitusavi on kuitenkin tarkoittanut joko sellu- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistuksen esiselkeytysvaiheessa syntyvää primäärilietettä (Pöykiö 2009, Kuokkanen ym. 2019) tai keräyspaperin puhdistuksessa syntyvää siistauslietettä (Norrie ja Gosselin 1996, Virolainen 2017) tai sitten kuitusavella voidaan ajatella olevan monia erilaisia muodostumisreittejä (Virolainen 2017). Eräiden lähteiden mukaan kuitusavi sisältää sekä primäärilietettä että siistauslietettä (Lohiniva ym. 2001, Ojanen 2001, Ramboll 2008, Kerovuori 2020). Terminä kuitusavella voidaan siis tarkoittaa hyvin erilaisia paperin valmistuksessa syntyviä jätteitä, mikä aiheuttaa epäselvyyksiä (Kerovuori 2020).

Kuitusaven koostumus vaihtelee ja riippuu käytetyistä raaka-aineesta ja valmistusmenetelmistä eli tehtaan prosesseista (Virolainen 2017, Kerovuori 2020). Erään määrittelyn mukaan kuitusavi on ollut käytännössä kuituliete mutta toisaalta kuitulietettä on pidetty kuitusavea laajempänä terminä. Myös uusiomassan valmistuksessa syntyvää siistauslietettä on eräissä tapauksissa kutsuttu kuitusaveksi (Hyvönen 2014). Kuitulietettä muodostuu paperitehtaissa, joissa käytetään mekaanista massaa tai sellua raaka-aineena. Kuituliete otetaan talteen jätevedenpuhdistuksen mekaanisessa esiselkeytyksessä ja sitä käsitellään vedenerotuslaitteella (kuiva-ainepitoisuus 25–55 %). Kuituliete sisältää kuitujen lisäksi täyteaineita, kuten kaoliinia, talkkia ja kalsiumkarbonaattia. Päällystettyjä papereita valmistavilla tehtailla kuituliete sisältää

edellä mainittujen aineiden lisäksi myös pieniä määriä pastaa ja päällyspigmenttejä. Sellua käytävillä paperitehtailla jätevedenpuhdistuksessa muodostuva kuituliete sisältää kuitujen lisäksi hieman meesaa eli kaustisointiprosessin karbonaattilietettä, joka on pääosin kalsiumkarbonaattia, mutta sisältää myös mm. alkalijäännöksiä, orgaanista hiiltä, alumiinisilikaattia, rautaa ja kalsiumhydroksidia.

Kuitusavi mm. kasvattaa maanperän hiilipitoisuutta, parantaa maan rakennetta, lisää vedenpidätyskykyä, vähentää ravinteiden huuhtoutumista ja parantaa mikrobien olosuhteita (Kuokkanen ym. 2019). Toisaalta kuitusavi voi lisätä typen immobilisaatiota ja kuivuessaan kuitusavi voi kovettua varsin paljon (Kuokkanen ym. 2008). Kuitusavea on käytetty mm. kaatopaikkojen rakentamisessa sekä liikuntapaikkojen rakenteissa johtuen juuri vähäisestä vedenjohtavuudesta. Lisäksi kuitusavea voidaan käyttää kalkitsemiseen.

Esimerkiksi Stora Enson Varkauden tehtaan jätevedenpuhdistuksessa syntyy kuitusavea. Kartonkitehtaalla, sellutehtaalla ja RCF- eli kierrätyskuitulaitoksella (Revolving Credit Facility) syntyy vuorokaudessa yhteensä noin 45 000 kuutiota jätevettä, joka käsitellään tehtaan omalla jätevedenpuhdistamolla mekaanis-biologisesti ja kemiallisen tertiäärivaiheen kautta (Tikkanen 2021). Puhdistusprosessin lopuksi syntynyt, kuiva-aineeltaan noin 40 prosenttinen kuitusavi hyödynnetään tällä hetkellä maanrakennuksessa ja energiantuotannossa. Tehtaalla syntyvä kuitusavi on pääasiassa puukuitua, minkä lisäksi se sisältää pieniä määriä meesaa ja täyteaineita. Meesa ja täyteaineet ovat kalsiumkarbonaattia ja peräisin sellun tuotannosta. Kalsiumkarbonaatti on maataloudessa tuttu aine peltojen kalkituksesta (Tikkanen 2021). Samoin esim. Äänekosken tehtaalla kuitusavi on kerätty talteen jäteveden puhdistuksen yhteydessä. Materiaalissa on runsaasti puupitoista ainesta ja alhaiset ravinnepitoisuudet, mutta kuitusaven on todettu soveltuvan mm. maanrakennukseen.

Kuitusaveen päätyy mm. raskasmetalleja ja mahdollisesti myös muita haitta-aineita, mutta niiden esiintyminen riippuu käytetyistä raaka-aineista ja tehtaan prosesseista. Tikkasen (2021) opinnäytetyön mukaan Stora Enso teettää kuitusavesta ajoittain raskasmetalli- ja orgaanisille maanparannusaineille (tuoteluokka 3A) vaadittavat analyysit. Analyysitulosten perusteella kuitusaven kadmiumpitoisuus on 1,1 mg/kg kuiva-ainetta ja kuiva-ainepitoisuus 34,2 %. Lisäksi kuitusavi sisältää typpeä, fosforia, kaliumia, arseenia (<5,1 mg/kg ka), kromia (16 mg/kg ka), kuparia (56 mg/kg ka), elohopeaa (0,08 mg/kg ka), nikkeliä (16 mg/kg ka), lyijyä (31 mg/kg ka) ja sinkkiä (150 mg/kg ka).

Kadmiumin (Cd) kertymistä peltoon tulee seurata. Viiden vuoden ajanjaksolla kadmiumkertymä lohkolla saisi olla maksimissaan 7,5 g/ha. Kuitusavesta kertyy arvioissa käytettyjen arvojen mukaan viiden vuoden aikana noin 3,23 grammaa hehtaarille. Opinnäytetyössä arvioidun kuitusaven kulutuksen kadmiumkertymä ei siis ylitä hehtaarilla 7,5 gramman raja-arvoa viiden vuoden ajanjaksolla (Tikkanen 2021).

Puutähde voi olla puunjalostusteollisuudesta saatavaa käsittelemätöntä tai kemiallisesti käsiteltyä puutähdettä, kuitua tai puuainesta. Puutähdettä poltettaessa kemiallisesti käsitelty materiaali ei saa sisältää halogenoituja orgaanisia yhdisteitä tai haitallisia metalleja enempää kuin niitä on samantyyppisissä luonnonmateriaaleissa.

3.2.2 Metsäteollisuuden mineraalijätteet

Viherlipeäsakka eli soodasakka on sellun valmistuksessa soodakattilassa syntyvää kiinteää ainesta. Viherlipeäsakka erotetaan viherlipeästä sellutehtaan kemikaalikerrossa ts. talteenottolaitoksella varhaisessa vaiheessa kaustisointiprosessia, ja se on pääosin epäorgaaninen seos, jolle ei ole käyttöä valkolipeän valmistuksessa. Viherlipeäsakka on alkalista materiaalia, joka koostuu pääosin puuainesperäisistä natriumin ja kalsiumin sulfideista, karbonaateista, sulfaateista ja klorideista. Viherlipeäsakassa on korkea kalsiumkarbonaattipitoisuus (CaCO₃). Erot viherlipeäsakan koostumuksessa ovat tehdaskohtaisia ja riippuvat esimerkiksi tehtaan prosesseista ja aiemmin mainituista raaka-aine-eroista.

Sakka on yleensä soodakattilaprosessin aikana syntyneen noen takia väriltään tumman harmaata, pehmeää, vahamaista massaa, jossa on voimakas rikkivedyn haju. Prosessista poistettava soodasakka pestään sen sisältämien natriumyhdisteiden talteen ottamiseksi. Pesty soodasakka kuivataan ennen loppusijoitusta ja sen

tyypillinen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Soodasakalle ei tällä hetkellä ole olemassa selvää hyötykäyttökohdetta ja se on luokiteltu massojen, paperin ja kartongin valmistuksessa ja jalostuksessa syntyväksi jätteeksi (jättekoodi 03 03 02), eikä tuhkaksi, joita ovat termisissä prosesseissa syntyvät jätteet (jättekoodi 10). Kaatopaikalle läjitettävä soodasakka ei sisällä biohajoavaa ainetta (Matilainen ym. 2013).

Viherlipeäsakan hyödyntämistä lannoitteena on tutkittu ja se sisältää sekä maanviljelyssä hyödyllisiä aineita kuten kaliumia ja magnesiumia että haitallisia ainesosia kuten kadmiumia (Manskinen ym. 2011). Piin, fosforin, alumiinin, raudan ja mangaanin osuudet sakasta ovat vähäisiä, ja nekin esiintyvät sakassa analyysien perusteella happiyhdisteinä (Kittilä 2024). Viherlipeäsakan hyötykäyttöä hankaloittaa sen koostumus, emäksisyys ja raskasmetallit.

Viherlipeäsakka koostuu erilaisista viherlipeään liukenemattomista aineista, epäorgaanisista suoloista, kuten oksideista, karbonaateista ja sulfideista sekä sisältää tavanomaisten alkalimetallien ja kalsiumin ja magnesiumin ohella myös haitallisia metalleja. Pääravinteita fosforia, kaliumia tai typpeä ei viherlipeäsakassa esiinny. Analyysitulosten perusteella on haitallisista metalleista etenkin kadmiumin pitoisuudet korkealla tasolla. Lisäksi nikkeli- ja sinkkipitoisuus voivat nousta korkeaksi. Viherlipeäsakan kadmiumin kokonaispitoisuus korkea (11,0 mg/kg, 11,0 mg/kg ja 5,8 mg/kg). Lisäksi kahdessa tutkimustodistuksessa on myös sinkkipitoisuus korkea (4 200 mg/kg ja 2 600 mg/kg) (ESAVI/22358/2023).

Suomessa viherlipeäsakkaa on tarjottu myös lannoitekäyttöön ja sille on haettu myös EEJ-statusta. Matilaisen ym. (2013) tutkimuksessa verrattiin viherlipeäsakoille saatuja tuloksia lannoitevalmisteiden haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin kalkitusaineissa, ja havaittiin, että toisen näytteen kadmiumin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ylittävät lannoitekäytölle annetut raja-arvot selvästi. Ympäristölupahakemuksen (Dnro ESAVI/22358/2023) ja sen liitteenä toimitettujen asiakirjojen perusteella viherlipeäsakka soveltuu huonosti lannoitevalmisteen ainesosaksi.

Kalkkipitoiset jätemateriaalit, etenkin kalkkiliete ja poltettu kalkki, ovat paperi- ja sellutehtaiden massan valmistuksen kiinteitä jätteitä. Kalkkipöly on paperi- ja sellutehtaiden savukaasujen puhdistuksesta peräisin olevaa jätettä (Roudier ym. 2015). Massa- ja paperiteollisuudesta peräisin oleva kalkkiliete ja poltettu kalkki sisältyivät JRC:n tekniseen tutkimukseen sivutuotteiden ja talteen otettujen erittäin puhtaiden materiaalien kriteereistä (Huygens & Saveyn 2022).

Kalkkiliete ja poltettu kalkki sisältävät runsaasti kalsium- ja magnesiumkarbonaatteja, -oksideja ja/tai -hydroksideja. Niiden maatalouteen liittyvä tehokkuus kalkitusmateriaalina on ilmeinen ilman lisättestausta (Huygens & Saveyn 2022).

Huygens ja Saveynt (2022) määrittelevät kalkkijätteet seuraavasti:

- Kalkkiliete: Koostuu pääasiassa kalsiumkarbonaatista, joka muodostuu valkolipeän valmistuksessa kaustisoinnissa.
- Poltettu kalkki: Syntyy kalkkiuunissa, kun kalkkiliete poltetaan uudelleen kalkiksi: $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{lämpö} \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2$.
- Kalkkipöly: Kiinteät hiukkaset, muodoltaan, rakenteeltaan tai tiheydeltään mitä tahansa, kaasufaasiin dispergoituneet, jotka jäävät tietyn suodattimen ylävirtaan ja sen päälle määrättyissä olosuhteissa kuivaamisen jälkeen.

Materiaalit on arvioitu JRC:n tutkimuksessa EU:n lannoitevalmisteasetuksen ainesosaluokkiin 11 ja 15 (Huygens & Saveyn 2022). Tutkimuksessa sellu- ja paperiteollisuuden kalkkiliete ja poltettu kalkki sisältyivät ryhmään "biojalostamoteollisuudesta tuotetut erittäin puhtaat materiaalit". Termillä biojalostamo viitataan laajaan joukkoon toimintoja, joille on yhteistä se, että biomassaa erotetaan erilaisiin toiminnallisiin komponentteihin, joita voidaan käyttää raaka-aineena tai suoraan jätelainsäädännön mukaisina sivutuotteina, viitaten nimenomaisesti paperi- ja selluteollisuuteen.

Kalsiumkarbonaatti, sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi) ja poltettu kalkki (kalsiumoksidi) ovat EU:ssa yleisimpiä kalkitusmateriaaleja. Kalkkiliettestä, kalkkipölystä ja poltetusta kalkista saatavaa kalsiumkarbonaattia ja kalsiumoksidia saatetaan markkinoille Suomessa, Ruotsissa ja Ranskassa. Materiaalia tuottavat sellu- ja paperiyhtiöt kaikkialla Euroopassa. Ruotsissa tuotetaan vuosittain yli 130 000 tonnia kalkkilietettä. Suomessa on joitakin toimijoita, jotka välittävät tai toimittavat paperinvalmistuksessa syntyvää sivuvirtakalkkia maataloudelle.

Poltetun kalkin valmistus tapahtuu kiertouunissa, jossa märkä kalkkiliete kuivataan, kuumennetaan reaktiolämpötilaan, kalsinoidaan ja jäädytetään uudelleen. Kalsinointireaktio alkaa 800 °C:ssa ja reaktion loppuun saattamiseksi vaaditaan jopa 1 000–1 100 °C lämpötiloja uunin kuumassa päässä. Tämä kalsinointi on korkean lämpötilan endoterminen reaktio, joka vaatii ulkoista polttoainetta. Jäähdytys tapahtuu ilmalla lämmönvaihtimissa.

Kalkkiliete on emäksistä ja siinä on suuri määrä hienojakoisia hiukkasia, minkä ansiosta sitä voidaan käyttää kalkitusmateriaalina maataloudessa. Kalkkilietteen koostumus vaihtelee tehdaskohtaisesti ja on riippuvainen monista tekijöistä kuten puulaji, uunissa käytetyn lisäkalkin ja tulenkestävien tiilien epäpuhtaudet, sammuttimien, kaustisointiaineiden, selkeytinten ja pesureiden tehot sekä uunin palamisolosuhteet. Hyvälaatuinen kalkkiliete sisältää tyypillisesti 95 % CaCO₃:ta ja 5 % epäpuhtauksia MgO:n, SiO₂:n, SO₃:n ja muiden yhdisteiden muodossa (kalsiumhydroksidi, kalsiumsulfaatti, mineraalit, kuten dolomiitti ja silikaatit).

Kalkkiliete ja poltettu kalkki voivat sisältää epäpuhtautena raskasmetalleja ja metalleja, kuten As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb ja Zn (suurin osa näistä on jo säännelty käyttömuotoluokkatasolla), vaikka mitatut arvot ovat enimmäkseen asetettujen raja-arvojen alapuolella. Myös korkeita pitoisuuksia klorideja voi esiintyä. Lisäksi PCDD/F:t ja PCB:t ovat mahdollinen riski, erityisesti jos on käytetty klooria sisältäviä valkaisuaineita (Huygens & Saveyn 2022).

Kansalliseen ainesosaluetteloon kuuluu meesakalkki (964/2023). Meesakalkki on sellaisenaan kalkitusaineena käytettävä sivutuote, jota voidaan käyttää ainesosaluokan 2 mukaisena kalkitusaineena. Tätä materiaalia kuvataan ainesosaluettelon ainesosaa koskeissa tiedoissa seuraavasti: Kalkkipitoinen bifraktio kalsiumkarbonaatin (CaCO₃) ja sammutetun kalkin (Ca(OH)₂) kanssa, joka muodostuu selluloosaprosessissa ja otetaan talteen kalkkiuunista kaustisointivaiheessa, ja kalsiumkarbonaattipölyä, joka on kerätty kalkkiuunin sähkösuodattimesta. Sähkösuodattimet keräävät meesapölyn talteen ja palauttavat sen takaisin meesauuniin. Ainesosaluettelossa on myös kalkkipöly, joka on kalkkiuunin sähkösuodattimesta talteen otettua kalkkia ja tietyillä tehtailla meesapölyä on myös mahdollista kerätä omaan siiloonsa. Markkinoilla olevan meesakalkin neutralointikyky on useimmiten paljon yli vaaditun 20 %. Meesakalkki sisältää kalsiumin lisäksi usein myös merkittävästi puuperäistä fosforia. Meesakalkissa voi esiintyä jonkin verran haitta-aineita mm. raskasmetalleja pieninä pitoisuuksina. Suurin osa mahdollisista POP-yhdisteistä todennäköisesti hajoaa meesauunissa, eikä poltetussa kalkissa esiinny POP-jätteen pitoisuusrajan ylittäviä pitoisuuksia haitta-aineita, mikäli polton olosuhteet myös muilta osin täyttävät POP-jätteen käsittelymenetelmän D10 ja R1 olosuhteet (Kilponen ym. 2023).

Kaoliini on yleensä vaalea tai harmahtava alumiinisilikaattien heikosti kovettunut seos, joka on muodostunut pääasiassa kaoliinista. Lisäksi siinä voi olla muita savi- ja killemineraaleja. Kaoliinin teoreettinen tarkempi kemiallinen koostumus on 39,5 % alumiinioksidia, 46,5 % piidioksidia ja 13,9 % vettä (Roda ym. 2022). Luonnossa esiintyvässä kaoliinissa on jäämiä ei-toivotuista metalleista, kuten punainen rautaoksidi (Fe₂O₃), joka on poistettava korkean laadun saavuttamiseksi, sekä titaanidioksidi (TiO₂), joka on poistettava turvallisen käsittelyn varmistamiseksi ja teollisuuden vaatimusten täyttämiseksi (Karise ym. 2015). Kaoliini on monipuolinen mineraali, jota käytetään kosmetiikkateollisuudessa, lateksimaaleissa, katalyyteinä öljynjalostuksessa, keramiikan valmistuksessa, hammastahnassa, lääkevalmisteissa, elintarvikelisiä aineissa ja maatalouden kasvinsuojelussa (Amalin ym. 2015). Yksi tämän mineraalin tärkeimmistä käyttötavoista on paperin valkaisu selluloosateollisuudessa. Tällä hetkellä kaikki Suomessa käytettävä kaoliini tuodaan ulkomailta.

Kaoliini on kemiallisesti inertti, sillä on pehmeä rakenne, korkea hygroskooppinen kapasiteetti ja laaja pH-alue. Tämä mineraali, jota esiintyy yleisesti valkoisena, ei laajene, se on hankaamaton ja sillä on alhainen lämmön- ja sähkönjohtavuus (Mphande ym. 2020). Prosessoitua kaoliinia on käytetty ekologisesti hyväksyttävänä aineena kaupallisten viljelykasvien hoidossa, koska sen ympäristövaikutukset ovat vähäisiä. Veteen sekoitettuna ja sitten kasveille ruiskutettuna veden haihtumisen jälkeen se luo kalvon mikroskooppisista mineraalipartikkeleista, jotka tarttuvat kasvin pintaan. Kasvin pinnalla kaoliini ylimääräisen auringon säteilyn heijastajana ja vähentää lämpötilarasiitusta. On todistettu, että kaoliini vähentää lehtien palovammoja (klorofyllin hajoaminen ja lehtien mesofyllin tuhoutuminen), optimoi CO₂:n assimilaatiota ja parantaa tuottavuutta ja hedelmien laatua (Sharma ym. 2020, Roda ym. 2022). Torjunta-aineena käytettynä kaoliini ruiskutetaan jauhemaisena suspensiona viljelykasveille, jolloin se muodostaa suojakalvon, joka estää kohdetuholaisia tunkeutumasta lehtiin tai muihin kasvin osiin. Jotta suspensio olisi tehokas, sillä on päällystettävä kaikki kasvin osat. Kaoliinia on käytetty monenlaisilla hedelmä- ja vihanniskasveilla, mukaan lukien pavut, punajuuret, perunat, munakoiso, sitrushedelmät, omenat, aprikoosit ja marjat (US EPA 1999).

US EPA (1999) totesi, että kaoliini ei ole haitallinen muille kuin kohdeorganismeille tai ympäristölle. Esimerkiksi hämähäkeillä ja mehiläisillä tehdyt tutkimukset osoittavat, että kaoliinilla ei näytä olevan haitallisia vaikutuksia hyödyllisiin hyönteisiin/hämähäkkeihin. Vesieläimille ei todennäköisesti aiheudu vaikutuksia kaoliinin käytöstä, koska kaoliini ei liukene veteen. Laajan käytön ja laajojen toksisuustutkimusten perusteella kaoliinia pidetään turvallisena ihmisille ja ympäristölle (US EPA 1999, Roda ym. 2022).

Kaoliinia on käytössä myös suoraan lannoitteena. Vesipitoinen kaoliinijauhe voi parantaa maaperän rakennetta lisäämällä sen huokoisuutta ja ilmastusta. Tämä parantaa juurien kasvua ja kasvien tehokkaampaa veden ja ravinteiden ottoa. Lannoitteiden kanssa sekoitettuna kaoliini auttaa luomaan suotuisamman ympäristön kasvien juurille ja edistää terveellisempää ja voimakkaampaa sadon kasvua. Yksi lannoitteiden levittämisen kriittisistä haasteista on varmistaa, että ravinteet ovat kasvien saatavilla pidemmän ajan. Vesipitoista kaoliinijauhetta voidaan käyttää hitaasti vapautuvien lannoitevalmisteiden luomiseen. Kapseloimalla ravinteita kaoliini mahdollistaa välttämättömien mineraalien asteittaisen vapautumisen, mikä vähentää toistuvien lannoitteiden tarvetta ja minimoi ravinteiden valumisen vesistöihin. Kaoliini voi adsorboida ja säilyttää ravinteita, mikä estää niitä huuhtoutumasta pois juurivyöhykkeeltä. Tämä ominaisuus varmistaa, että kasvit hyödyntävät suuremman osan levitetyistä ravintoaineista, mikä parantaa satoa ja tehostaa lannoitteiden käyttöä.

3.2.3 Elintarviketeollisuuden eloperäiset jätteet

Elintarviketeollisuuden lietteitä syntyy arviolta yhteensä noin 68 000 t vuodessa (Pöyry 2017). Suurin osa elintarviketeollisuuden laitoksista johtaa jätevetensä yhdyskuntajätevedenpuhdistamoille joko esikäsitteltyinä tai käsittelemättöminä ja vain pienellä osalla laitoksista on käytössä oma jätevedenpuhdistamo. (Weckström ja Salminen, 2020)

Osa elintarviketeollisuuden lietteistä soveltuu hyvin mädätyksen syötteiksi, koska ne sisältävät paljon helposti hajoavaa orgaanista ainetta. Mädätykseen sopivia jakeita, lietteitä tai pilaantuneita tuotantoerä voi tulla perunoiden ja kasvien jalostuksesta, juoma- ja panimoteollisuudesta, meijereistä, lihanjalostamoista, myllyistä ja leipomoista, sokeriteollisuudesta, kahvipaahtimoilta, valmisruokateollisuudesta sekä rasva-, rehutehtailta. Teollisuuslietteet voidaan myös kompostoida. (Pöyry 2017) Elintarviketeollisuuden jätteitä, kuten perunan solunestettä, jolla on sivutuotestatus, on mahdollista hyödyntää myös suoraan lannoitevalmisteiden raaka-aineena.

Ulkomaisen kirjallisuuden mukaan elintarviketeollisuuden lietteisiin saattaa päätyä myös haitallisia aineita, kuten torjunta-aineita, raskasmetalleja (Pb, Cd, Hg) ja lääkeaineita (Pascual ym. 2018, Aryanfar ym. 2025) sekä elintarviketeollisuudessa käytettyjä kemikaaleja (Aryanfar ym. 2025). Epäorgaanisista yhdisteistä elintarviketeollisuuden (sokeri-, maito-, peruna-, eläin-, kalateollisuus) lietteissä on Hollannissa havaittu mm. erilaisia metalleja (As, Cd, Ni, Zn, Cu), mutta lähtökohtaisesti pitoisuudet ovat olleet pienempiä kuin yhdyskuntajätevesilietteissä (van Dongen ym. 2025). Hollantilaisessa tutkimuksessa maitoteollisuuden

lietteistä havaittiin lääkeaineista vain albedatsolia ja sen muuntumistuotetta albedatsolisulfoksidia (van Dongen ym. 2025). Lisäksi samaisessa tutkimuksessa havaittiin glyfosaatin hajoamistuotetta AMPA:a peruna- ja sokeriteollisuuden lietteissä (0,16–0,66 mg/kg ka) (van Dongen ym. 2025), mutta pitoisuudet olivat useita kertaluokkia pienempiä kuin yhdyskuntajätevesilietteissä (1,1–6,8 mg/kg ka). Maitotilojen lietteissä havaittiin pieniä pitoisuuksia myös PFAS-yhdisteitä (van Dongen ym. 2025). Elintarviketeollisuuden lietteistä havaittiin myös PCDD/F- ja PCB-yhdisteitä (0,25–1,6 ng TEQ/kg ka) ja alhaisimmat pitoisuudet havaittiin maito-, peruna- ja sokeriteollisuuden lietteissä (van Dongen ym. 2025). Vastaavat pitoisuudet yhdyskuntajätevesilietteissä vaihtelivat 2,3–3,9 ng TEQ/kg ka (van Dongen ym. 2025).

Elintarvike-, rehu- ja lannoiteteollisuudesta peräisin olevat kiinteät jätteet, kuten *erilaiset orgaaniset jätteet ja suodatusmassat* ovat moninainen joukko erilaisia materiaaleja. Erilaisia sakkoja voi muodostua säilytys- ja prosessointiastioiden pohjiin, jotka näin ollen luetaan näihin ainesosiin kuuluviksi.

Rehuksi luetaan esimerkiksi eläinten ruokintaan tarkoitettut viljat, heinät, jauhelihat, puruluut, C-vitamiini, säilörehun säilöntäaineet sekä teolliset täys- ja täydennysrehut. Soveltuvat rehuaineet on lueteltu rehuaineluettelossa ((EU) 68/2013) ja niitä ovat esim. säilörehu, ohra, rapsirouhe, magnesiumoksidi, elintarviketeollisuudesta rehuksi päätyvät oheis- ja sivutuotteet (mm. maitotuotteet, liha- ja kalatuotteet, lese, mäski).

Elintarvike-, rehu- ja lannoiteteollisuudesta peräisin olevat orgaaniset jätteet, lietteet ja suodatusmassat (pois lukien eläimistä saatavat sivutuotteet, jotka on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti) voivat myös sisältää haitallisia aineita niiden alkuperästä riippuen. Jotkin elintarviketeollisuuden jätteet saattavat sisältää erilaisia makeutusaineita (mm. asesulfaami, aspartaami, sakariini, sukraloosi, sykramaatti jne.), keinotekoisia väriaineita ja kofeiinia jne., joista osan on havaittu olevan ympäristössä suhteellisen pysyviä (Miettinen ym. 2013, Korekar ym. 2020, Naik ym. 2021). Kofeiinia esiintyy ja käytetään paitsi erilaisissa juomissa (kahvi, tee, energijuomat, kolajuomat) myös suklaassa (Korekar ym. 2020). Näiden erilaisten elintarviketeollisuudessa käytettyjen lisäaineiden päätyemisestä elintarviketeollisuuden orgaanisiin jätteisiin on tietoa saatavilla huonosti (van Dongen ym. 2025) ja haitallisia vaikutuksista maaperässä tarvitaan lisää tietoa.

Elintarviketeollisuudessa syntyy myös *pakkauksineen kerättyä biojätettä*, jota on tarkemmin käsitelty kappaleessa 3.5.1. Tätä jätettä muodostuu vanhentuneista tai tuotantovirheen vuoksi epäkuranteista tuotteristä.

Elintarviketeollisuudessa syntyy myös *rasvakaivolietteitä*. Vastaavanlaisia lietteitä syntyy myös elintarvikkeita käsittelevissä toiminnoissa (kaupalliset ja suurkeittiöt, hotellit, grillaus- ja paahtotilat, ruuanjakelupisteet, lihakaupat). Rasvanerottimekset on suunniteltu sellaisille jätevesille, joka sisältävät paljon rasvaa. Tällaisia jätevesiä muodostuu keittiöissä, teurastamoissa ja elintarviketiloissa. Erottimein ei saa tuoda mitään muuta jätevettä kuin orgaanisia rasvoja tai öljyjä sisältävää jätevettä. Talousjätevedet eivät lukeudu tähän, eikä niitä saa liittää rasvanerotuskaivoon. Vettä kevyempänä rasva kelluu ja se erotellaan jätevedestä riittävän hitaalla virtaamalla. Jäteveden tullessa erottimelle sitä on vastassa ensimmäisenä lietteenpidätys, joka kerää jätevedestä kaiken kiinteän aineksen kuten muun orgaanisen materiaalin, hiekan ja soran. (Rämä 2021) Edellä kuvatun kaltaisissa rasvakaivolieteteissä on oletettavasti vain hyvin alhaisia haitta-ainepitoisuuksia.

3.2.4 Muut teollisuuden prosessijätteet

Teräskuona on kiviaines, jota voidaan käyttää asuin-, maatalous-, teollisuus- ja rakennussovelluksissa. Euroslag (2021) mukaan 68 % teräskuonasta käytettiin erilaisiin käyttösovelluksiin vuonna 2012, kun taas 19 % varastoitettiin väliaikaisesti myöhempää käyttöä varten ja vain 13 % loppusijoitettiin. Teräskuonan ensisijainen käyttöalue on tienrakennuksessa 43 prosentin osuudella. Metallurgisiin tarkoituksiin käytetty sisäinen käyttöaste on 11 %, mutta kuonaa käytettiin myös sementin valmistuksessa (5 %), hydraulisissa rakenteissa (3 %) ja lannoitteiden tuotannossa (3 %) (Tozsín & Öztas 2023).

Maatalouslannoitteita ja maanparannusaineita voidaan valmistaa teräskuonasta. Ca, Si, P ja muut teräskuonan ravinteet edistävät kasvien kasvua. Teräskuonan kalsinointi korkeassa lämpötilassa lisää näiden alkuaineiden liukoisuutta, jolloin ne ovat kasveille helpommin imeytyvässä muodossa. Siksi teräskuona voi olla korkealaatuinen mineraalilannoite (Gao ym. 2023).

Emäksistä teräskuonaa voidaan käyttää myös happaman maaperän maanparannusaineena. Piin puutteesta maaperässä on tullut merkittävä satoa rajoittava tekijä. Piitä on runsaasti teräskuonassa, ja teräskuonaa voidaan käyttää piilannoitteena parantamaan maaperän piin puutetta ja edistämään sadon kasvua. Teräskuonaa on mahdollista käyttää maanparannusaineena happaman maaperän parantamiseen ja lisäksi raskasmetalleja sitovien reaktiotaipumustensa ansiosta myös raskasmetallien saastuttaman maaperän ja muiden peltojen kunnostamiseen (Gao ym. 2023).

Useimmat kuonamateriaalit sisältävät metalleja epäpuhtauksina, mukaan lukien V, Cr, As, Pb, Cd, Co, Ba, Hg, Se, Sb, Ag, Zn ja Ni (Gwon ym. 2018, Yang ym. 2018, O'Connor ym. 2021). Kuonan raskasmetallikoostumus riippuu teräksen valmistusprosessista. Raskasmetallien liikkuvuuteen ja biologiseen hyötyosuuteen vaikuttavat usein muut alkuaineet, alkuaineen hapetusaste ja alkuaineiden suhde. Raskasmetallipitoisuus vaihtelee merkittävästi kuonan sisällä (Gwon ym. 2018). Gwon ym. (2018) tutki erilaisten teräksen jalostuskuonien liukoisuuspotentiaalia ja hivenainekoostumusta (Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, Sb, Ni, Mn ja Zn). Tutkimuksessa todettiin, että hivenainepitoisuus oli erittäin alhainen. Metalleista Mn ja Ba havaittiin yli 1 mg/l tasoilla. Kaikki muut hivenaineet olivat alle myrkyllisyysominaisuuksien (US EPA:n standardien mukaisesti) ja huuhtoutumispotentiaalin (1 mg/l). Vanadiinia (V) ei kuitenkaan tutkittu.

Kromi ja vanadiini ovat yleisimpiä teräskuonan metalleja, ja ne ovat myös ensisijainen huolenaihe. Liukoisuustestissä vain pieni määrä kromia huuhtoutui kuonasta, vaikka kuonassa kromin pitoisuudet olivat suuria (Chaurand ym. 2007). Vanadiinin vapautuminen maaperään oli kuitenkin merkittävästi suurempaa. Kromi esiintyy kuonissa useimmiten Cr³⁺:na, joka on myrkytön, mutta sitä ei myöskään pidetä välttämättömänä kasvien kasvulle. Cr³⁺:n liukoisuus maaperään ja veteen on yleensä heikko. Pienet määrät Cr³⁺:a voivat hapettua emäksisessä ympäristössä (pH > 9) myrkylliseksi Cr⁶⁺-kromiksi kuonan muodostumisen jälkeen (O'Connor ym. 2021). Maaperässä, jossa pH on lähellä neutraalia, Cr³⁺ voi hapettua MnO₂:n vaikutuksesta. Tätä hapettumista voi tapahtua myös kiinteän MnO₂:n pinnalla, missä sitä rajoittaa Cr³⁺:n heikko liukoisuus (Reijonen 2017). Toisaalta orgaanisen aineen läsnäolo, kuten runsaasti orgaanista ainesta sisältävä maatalousmaa, voi pelkistää Cr⁶⁺:n takaisin Cr³⁺:ksi.

Vanadiini on yleensä läsnä V³⁺:na masuunikuonassa ja V⁴⁺:na dikalsiumferriittimineraalien hilassa emäksisessä happiunikuonassa (Chaurand ym. 2006, Larsson ym. 2015). Vanadiinin vapautuminen tapahtuu viidenarvoisena (V⁵⁺), mikä tarkoittaa, että V⁴⁺ on hapetettava V⁵⁺:ksi, jotta vanadiinia vapautuu. Siksi vanadiinin vapautumista happiunikuonasta säätelee pääasiassa dikalsiumferriittien liukeneminen (De Windt ym. 2011). Vanadiinin mekanismeista ja biosaataavuudesta kuonasta ja niiden vuorovaikutuksista maaperän kanssa on tehty rajallisia tutkimuksia. Kuonan vanadiini ei ole mitenkään erityisen liukoista eikä biosaataavilla. Morillonin ym. (2015) tutkimukset osoittivat, että kuonan levittäminen maaperään lisäsi Cr:n ja V:n liukoisuutta pitkällä aikavälillä (3 vuotta). Kuitenkaan Cr:n ja V:n merkittävää kertymistä satokasveihin ei tapahtunut. Van Zomeren ym. (2011) tutkimus osoittaa, kuinka vanadiinin vapautuminen lisääntyi voimakkaasti karbonisaation vaikutuksesta. Lisää tutkimuksia tarvitaan, jotta voidaan validoida Cr:n ja V:n pitkäaikaiset liukoisuudet maaperään ja niiden vapautuminen kuonasta.

Raskasmetallien lisäksi toinen merkittävä ympäristövaikutus on, että kuonat voivat aiheuttaa liiallista emäksisyyttä maaperässä ja vesistöissä. CaO:n korkea reaktiivisuus ja teräskuonassa oleva MgO voivat aiheuttaa ylikalkittumista maaperässä. Vastaavia ongelmia on havaittu myös varastoidessa kuonaa kasoissa (O'Connor ym. 2021). Suomessa maaperä on tunnetusti hapan, joten tämä ei ole merkittävä ongelma.

Teräskuonan käyttöön maaperäsovelluksissa liittyy edelleen epävarmuutta siitä, aiheuttaako teräskuonan levittäminen maaperään haitallisten aineiden kertymistä ja raskasmetallien imeytymistä. Kuonan käytön riskinarvioinnissa on keskityttävä kahteen näkökohtaan: kuonan raskasmetallipitoisuuteen ja kuonan maaperään levittämistä aiheutuvaan myrkyllisyyteen eläimille. Vaikka kuonalannoitteiden lyhytaikaisessa

levityksessä riski on minimaalinen (Gwon ym. 2018), on olemassa rajallisia ja epäselviä todisteita siitä, että kuonalannoitteen levittämisestä maaperään voi aiheutua pitkän aikavälin riskejä (Morillon ym. 2015). Myös kuonan raskasmetallien kertyminen maaperään toistuvien käyttöjen jälkeen on huolestuttavaa, koska nämä voivat päästä ravintoketjuun ja vaikuttaa ihmisten terveyteen (Wang ym. 2021). Lisätutkimuksia eri maaperätyypeistä ja maatalouden käytännöistä tarvitaan pitkäaikaislannoitteena käytettävän teräskuonan turvallisuuden arvioimiseksi, erityisesti koskien vanadiinia. Kuonan levittäminen maaperään voi aiheuttaa terveysvaikutuksia laiduntaville eläimille. Kuonat koostuvat sammutetusta kalkista ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ja poltetusta kalkista (CaO), jotka molemmat ovat emäksisempiä kuin tavallinen kalkkikivi (CaCO_3). On hyvin tunnettua, että emäksisen kuonan epäasianmukainen levittäminen maaperään voi aiheuttaa pötsin alkaloosia johtaen jopa menehtymisiin laiduntavien eläinten keskuudessa (Dewes ym. 1995). Paljon vanadiumia sisältävä kuona voi myös johtaa suoraan eläintoksisuuteen (Frank ym. 1996). Muut myrkylliset alkuaineet (esim. F) voivat myös aiheuttaa myrkyllisyyttä eläimille, kun kuonaa levitetään väärin maaperään (Loganathan ym. 2003).

Teräskuona soveltuu ravinneominaisuuksiensa puolesta erityisen hyvin piilannoitteeksi. Teräskuonalla voi kuitenkin olla erityisiä haitallisia sivuvaikutuksia, kuten maaperän kovettuminen tai maaperän kertyvät raskasmetallit, jos kuonaa käytetään yhtäjaksoisesti lannoitteena. Yksi ratkaisu on ollut yhdistää teräskuonaa ja mangaanikuonaa lannoitteeksi, joka ei ainoastaan parantanut hapanta maaperää ja edistänyt sadon kasvua, vaan myös sisälsi huomattavasti vähemmän raskasmetalleja, auttaen suojelemaan maaperää (Wang 2020). Lisäksi teräskuonan koostumus ja laatu vaihtelevat alueen ja prosessien mukaan. Siksi teräskuonan oikean laadun ja määrän valitseminen on välttämätöntä, koska liian suurella määrällä olisi kielteisiä vaikutuksia. Jos teräskuonaa käytetään jatkossa lannoitteena ja maanparannusaineena, se on esikäsiteltävä, käytettävä vain epäsäännöllisesti ja/tai yhdistettävä muihin aineisiin teräskuonan negatiivisen vaikutuksen vähentämiseksi (Gao ym. 2023).

3.2.5 Teollisuuden jätteitä koskevat päätelmät

Teollisuuden prosessijätteet syntyvät pääsääntöisesti suljetuissa kierroissa, joihin syötettyjen raaka-aineiden ja kemikaalien määrät ja ominaisuudet ovat yksilöitävissä ja jäljitettävissä. Näin ollen prosessissa syntyvien jätteiden kemiallista laatua ja riskejä on mahdollista tarkastella yksityiskohtaisten lähtötietojen pohjalta. Mikäli tällaisille jätteille säädettäisiin EEJ-arviointiperusteet kansallisella asetuksella, saattaisi olla tarkoituksenmukaista asettaa velvoitteita, jotka liittyvät käytettyjen kemikaalien ja kemikaaliseosten tarkkaan yksilöintiin arviointiperusteiden käyttöönoton yhteydessä ja käytön aikana. Jälkimmäinen tarkoittaisi jätteen tuottajan velvollisuutta raportoida uusista prosessissa käyttöönotetuista kemikaaleista ja niiden seoksista myös sen jälkeen, kun arviointiperusteet olisi otettu käyttöön.

Osa teollisuuden prosessijätteistä ei sovellu sellaisenaan käytettäväksi lannoitevalmisteiden raaka-aineena, vaikka niistä ei haitta-aine- ja/tai epäpuhtaussisältönsä vuoksi aiheutuisi merkityksellistä riskiä ympäristölle tai terveydelle lannoitevalmistekäytössä. Osa näistä jätteistä saattaa sen sijaan soveltua kompostoinnin tai mädätyksen raaka-aineiksi ja saatu komposti tai mädäte voi edelleen soveltua lannoitevalmistekäyttöön tai sen ainesosaksi. Tällaisille teollisuuden prosessijätteille saattaisi olla tarkoituksenmukaista säätää EEJ-arviointiperusteista kansallisella asetuksella siten, että jäte tulisi käsitellä esimerkiksi mädättämällä tai kompostoimalla ja käsittelystä saatavan materiaalin jätteeksi luokittelu voisi päättyä edellyttäen, että materiaali soveltuu lannoitevalmistekäyttöön tai sen ainesosaksi. Edellytys on, että syötteenä on käytetty ainoastaan sellaisia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu voidaan päättää sellaisenaan tai vastaavien perusteiden (kategoriat A ja B). Tätä kysymystä on käsitelty tarkemmin luvussa 4.

Teollisuuden prosessijätteiden luokittelu tässä muistiossa tehtyjen tarkasteluiden perusteella:

Luokka A:

Primääriliete, sekundääriliete.

Kalkkia sisältävät jätteet.

Teräskuona

Luokka B:

Elintarviketeollisuuden ja suurkeittiöiden rasvakaivolietteet
Primääri-, sekundääri- ja tertiäärilietteet (elintarvike ja rehuteollisuus)
Orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä orgaanista ainesta sisältävät suodatusmassat

Luokka D:

Siistausliete ja viherlipeäsakka. Teollisuuden prosesseissa syntyy myös jätteenkäsittelyn jätteisiin rinnastuvia materiaaleja, kuten siistauslietettä, ja jätteitä, joihin haitta-aineet konsentroituvat (viherlipeäsakka). Nämä jätteet rinnastuvat luvussa 4.7 käsiteltäviin jätteenkäsittelyn jätteisiin ja niiden jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset näyttäytyvät heikkoina laajan, heikosti yksilöitävissä olevan haitta-ainekirjon vuoksi tai yksittäisten haitta-aineiden todennettujen korkeiden pitoisuuksien vuoksi.

Pakkauksineen kerätty biojäte eli kuitu-, lasi-, metalli- ja muovipakkauksia sisältävä biojäte. Pakkauksineen kerätyn biojätteen tapauksessa edellytyksenä olisi, että pakkaukset erotetaan biojätteestä murskaamatta niitä biojätteen sekaan.

3.3 Alkutuotannon eloperäiset jätteet

3.3.1 Kalajäte ja kalankasvattamoiden liete

Kalanviljelylaitoksilla syntyvän lietteen käyttöä on tutkittu lannoitteena (Brod ym. 2023) sekä vesiviljelylannoitteena (Zhanga ym. 2021 Schmitt ym. 2019, Wang ym. 2019, Anglade ym. 2023, Liland ym. 2023, Rossi ym. 2023). Liete koostuu kalojen ulosteista ja rehujätteistä. Siihen ei lueta kuuluvaksi viljelyn aikana kuolleita kaloja. Lietteestä kerätään talteen nykyään vain pieni osa pääasiassa maalla sijaitsevilta laitoksilta. Maalla sijaitseviin järjestelmiin kuuluvat kiertovesilaitokset (RAS) ja läpivirtausjärjestelmät (FTAS), joissa jätevesi suodatetaan. Suodatuksesta tai altaista kerätty liete viedään asianmukaiseen jätteenkäsittelyyn kuten polttoon tai mädätetään muiden lietteiden kanssa biokaasuksi.

Sele ym. (2024) tutkivat kalanviljelylaitosten lietteitä ja niissä esiintyi suhteellisen korkeita proteiini- ja rasvapitoisuuksia, minkä perusteella joissakin lietenäytteissä oli runsaasti sulamatonta rehua. Niissä oli myös välttämättömiä omega-3-rasvahappoja sekä runsaasti kaliumia, kalsiumia, magnesiumia, natriumia, rikkiä ja muita hivenaineita, kuten sinkkiä ja kuparia, mikä tekee siitä lupaavan korvaavan raaka-aineen kivennäislannoitteille (Estevez ym., 2022, Khiari ym. 2019, Monsees ym., 2017). Toisaalta Brod ym. (2023) mukaan kalanviljelylaitosten lietteissä typen ja fosforin suhde (N/P) on epätasapainoinen ja kaliumin pitoisuus pieni suhteessa kasvien tarpeisiin. Kuivatuissa lieteperäisissä lannoitevalmisteissa tyyppi on pääosin orgaanisessa muodossa, mikä johtaa pienempään viljasatoon kuin kivennäistyyppilannoitteilla, kun taas mädätteen tyyppilannoitusvaikutus on yhtä hyvä kuin kivennäistyyppilannoitteella (Brod ym. 2023).

Kalanviljelylaitosten lietteessä voi esiintyä ei-välttämättömiä alkuaineita eli arseenia (As), kadmiumia (Cd), lyijyä (Pb), elohopeaa (Hg) ja välttämättömiä alkuaineita sinkkiä (Zn), kuparia (Cu) ja rautaa (Fe) vaihtelevina pitoisuuksina (Ytrestoyl ym. 2016, Liland ym. 2023). Tämän lisäksi kalanviljelylaitosten liete voi sisältää merestä peräisin olevien rehujen jäänteitä, kuten kalaöljyä ja -jauhoa, jotka puolestaan voivat sisältää dioksiineja, PCB- ja PFAS-yhdisteitä. Kalanviljelylaitosten lietteistä on tutkittu mm. dioksiineja, PCB:tä ja polybromattuja difenyylieettereitä (PBDE) (Hellou ym. 2005, Brod ym. 2023). PCB-, PBDE- ja PCDD/F-yhdisteitä havaittiin kaikista tutkituista kalanviljelylietteistä valmistetuista lannoitevalmisteista (Brod ym. 2023). Myös mineraaliöljyhiilivetyjen pitoisuudet voivat olla suhteellisen korkeita (Van der Fels-Klerx ym. 2020, Jensen ym. 2022). Kalanviljelylaitosten liete voi sisältää lisäksi antibioottijäämiä (Pettersen ym. 2025). Kalanviljelylaitosten lietteistä on esimerkiksi Alankomaissa löytynyt lääkkeitä, kuten enrofloksasiinia ja sen metaboliittia siprofloksasiinia, flumekiinia, levofloksasiinia, mebendatsolia ja sen metaboliittia aminomebendatsolia ja hydroksimebendatsolia (van Dongen ym. 2025).

Hoitokalastuksesta, vedenottamoilla, energialaitoksilla ja muilla raakavettä pintavesistä prosessi- ja jäähdytysvedeksi ottavilla laitoksilla raakaveden esikäsitteilyssä (välppäys) syntyy *kalajätettä*. Kalajäte sisältää mikroravinteita, kuten kuparia (Cu) ja sinkkiä (Zn), mutta myös mahdollisesti joitain myrkyllisiä metalleja, kuten elohopeaa (Hg), lyijyä (Pb), kadmiumia (Cd) ja arseenia (As). Lisäksi kaloihin saattaa kertyä myös erilaisia orgaanisia haitta-aineita, joiden pitoisuudet voivat olla paikoitellen suhteellisen suuria, mutta joille ei ole raja-arvoja lannoitevalmisteissa. Esimerkiksi PFAS-yhdisteiden pitoisuudet voivat olla ongelmallisen suuria tietyissä järvissä. Kaloista havaitut metallipitoisuudet ovat olleet useita kertaluokkia pienempiä kuin lannoitevalmisteille asetetut raja-arvot. Kalajätteistä johdetut lannoitevalmisteet voivat kuitenkin sisältää liikaa taudinaiheuttajia ja muita orgaanisia epäpuhtauksia, jotka voivat johtaa kelvottomiin lannoitetuotteisiin.

3.3.2 Kasvintuotannon jätteet

Maa- ja puutarhatalouden orgaaniset jätteet sisältyvät kansallisen lannoitelainsäädännön ainesosaluokkiin 3 (komposti) ja 4 (määdete). Ainesosaluettelon mukaisia maa- ja puutarhatalouden orgaanisia jätteitä syntyy maataloudessa, kasvihuoneissa, ruokasienikasvattamoissa, avomaaviljelmillä ja taimistoissa. Mahdollisia jättejakeita ovat mm.:

- Oljet ja korsijätteet
- Viljelykasvien lehdet, varret, kuoret ja sadonkorjuujätteet
- Nurmi- ja apilarehujäte
- Vilja- ja palkokasvien sadon puimisessa syntyvät jätteet
- Kukkien ja koristekasvien jätteet
- Kasvualustajätteet (turve, kookoskuitu, sammal, perliitti, jne.), jotka sisältävät myös juurimassaa

Viljakasvien (vehnä, kaura, ruis ja ohra) olkimassaa on arvioitu muodostuvan Suomessa vuosittain 650 000–1 500 000 tonnia (Siipola ym. 2025). Biomassa-atlaksen mukaan oljen ja öljykasvien korren yhteenlaskettu sivuvirtapotentialiaali on n. 2 400 000 kuivatonna vuodessa (biomassa-atlas.fi). Kauran akanoita puolestaan on arvioitu muodostuvan 400 000 tonnia vuosittain (Siipola ym. 2025). Erilaisten nurmijätteiden sivuvirtapotentialiksi on Biomassa-atlaksessa arvioitu n. 390 000 kuivatonna vuodessa. Perunan ja sokerijuurikkaan naattien sekä valkuaiskasvien varsien sivuvirtapotentialiksi on vastaavasti arvioitu 220 000 kuivatonna (biomassa-atlas.fi).

Maa- ja puutarhatalouden jätteissä saattaa olla torjunta-aineiden jäämiä sekä kasvualustoista peräisin olevia haitta-ainejäämiä. Lisäksi jätteet voivat sisältää roskia. Haitta-ainejäämistä ei ole saatavilla tutkimustietoa, mutta niiden voidaan olettaa olevan varsin alhaisia ja vastaavan esimerkiksi pelloille jäävien kasvinosien haitta-ainepitoisuuksia. Kompostointi ja mädätys eivät kuitenkaan poista tehokkaasti kaikkia haitta-ainejäämiä (ks. kappaleet 3.7.2).

3.3.3 Kotieläintalouden jätteet

Kierrätyslannoitteiden suurin yksittäinen raaka-ainelähde on tuotantoeläinten lanta. Lanta kuuluu sivutuoteasetuksen piiriin, mutta katsotaan kuitenkin jätteeksi silloin, kun se käsitellään mädättämällä tai kompostoimalla. Kotieläintiloilla syntyy vuosittain yli 15–17 miljoonaa tonnia lantaa (Ajosenpää ym. 2020, Marttinen ym. 2017), josta naudat ja siat tuottavat 95 % (Pöyry 2017). 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, mikä on n. 80 % Suomessa syntyvien biomassojen tyypestä. Lietelantaa muodostuu vain navetoissa ja sikaloissa, mutta kuivalantaa voi syntyä kaikissa eläinsuojissa. Suurin osa Suomessa tuotettavasta lannasta päättyy maatalouteen lannoitteeksi, osa siitä käytetään käsittelyn jälkeen lannoitevalmisteena viherrakentamiseen tai puutarhoissa (Marttinen ym. 2017). Käsiteltyä lantaa käytetään usein lannoitevalmisteisiin yhdessä muiden ainesosien kanssa. Lanta voi kuitenkin olla myös useiden kemiallisten ja mikrobiologisten elintarviketurvallisuusriskien lähde (Focker ym. 2022).

Käsitlemätöntä lantaa (eli muuta kuin EU:n sivutuoteasetuksen liitteiden V tai XI käsittelymenetelmien mukaan käsiteltyä lantaa) saa käyttää ainoastaan maa- ja puutarhataloudessa. Käsitlemätön lanta voi sisältää taudinaiheuttajia, minkä vuoksi käyttökohteiden tulee olla rajattuja ja jäljitettäviä.). Käsitlemättömän lanta, joka käytetään suoraan pellolla, ei tietyin edellytyksin ole jätettä EU-tuomioistuimen ratkaisujen mukaan (esim. tuomio 3.10.2013, Brady, C-113/12, EU:C:2013:627 ja Tuomio 8.9.2005, Komissio v. Espanja, C-121/03, EU:C:2005:512). Edellytykset ovat tiivistäen:

- sitä käytetään lannoitteena osana laillista lannanlevitystoimintaa selkeästi yksilöidyillä alueilla,
- sen käyttö ilman edeltäviä muuntamistoimia ja tuotantoprosessin jatkeena ei ole ainoastaan mahdollista vaan varmaa,
- käyttö tapahtuu samalla maatilalla, josta lanta on peräisin, tai varmuudella muiden talouden toimijoiden tarpeisiin (vaikka täysimääräinen varmistuminen tapahtuisikin vasta levittämistoimien jälkeen)
- lantaa varastoidaan vain sen verran ja niin pitkään kuin levitystoimintoihin tarvitaan, levitystoiminnan kausiluonteisuus huomioon ottaen.

Lannan mädätys parantaa sen käytettävyyttä ravinteena. Ammoniumtyppi muodostaa noin 80 % sianlannan mädätysjäännöksen kokonaistypestä. Lisäksi virtsan hydrolyysi ja orgaanisen typen mineralisoituminen sian lietelannassa vapauttaa suuria määriä ammoniumtyppiä (Pampillon-Gonzalez ym. 2017), mikä lisää mädätteen hyötyjä viljelykasveille (Möller & Müller 2012). Sian lannan anaerobinen mädätys tappaa suurimman osan taudinaiheuttajista (Nicholson ym. 2005), mutta ulostekoliformisten bakteerien määrä on silti korkea. Poltetun kalkin (CaO) lisäämisen mädätysprosessin lopussa on ehdotettu vähentävän kolibakteerien määrää (Pampillon-Gonzalez ym. 2017, Posmanik ym. 2017). Myös mädätteen pidempi varastointi alentaa taudinaiheuttajapitoisuutta hyväksyttävälle tasolle (Alfa ym. 2014). Sian lietelannassa on raportoitu myös korkeita natrium- ja kloridipitoisuuksia, minkä vuoksi suolapitoisuutta onkin syytä tarkkailla varsinkin lannan toistuvassa käytössä (Katerji ym., 2003, Moral ym. 2008).

Liete- tai kuivalannan seassa voi olla paalimuovia tai -verkkoa ja muita sinne kuulumattomia esineitä. Suomalaisissa kierrätyslannoitteissa, joissa on käytetty lantaa syötteenä, ylittyy metalleista ainoastaan nikkelin raja-arvo yksittäisissä näytteissä (Äystö ym. 2022). Käsitellyssä lannassa voi esiintyä myös PAH-yhdisteitä sellaisia määriä, jotka aiheuttavat riskejä ihmisten terveydelle ja ympäristölle (Huygens 2024).

Tärkeimpiä haitallisten aineiden lähteitä lannassa ovat eläinten lääkinnässä ja ravinnon lisäaineina käytetyt yhdisteet. Suomessa lääkittyjen eläinten lannat levitetään pääosin käsitlemättöminä kasviravinteiksi pelloille. Yli puolet eläimille annetusta lääkeannoksesta erittyy muuttumattomana virtsan ja ulosteiden kautta ja päätyy lantaan. Tietyt lääkkeet hajoavat hitaasti maaperässä ja ovat haitallisia maaperän mikrobeille (Ylivainio ym. 2020, Vieno ym. 2018). Mikrobilääkkeet (tetrasykliinit, kinolonit, makrolidit, linkosamidit ja pleuromutiliinit) ovat yleensä pysyviä lannassa ja yli 10 % alkuperäisestä yhdisteestä on jäljellä lannassa vuoden varastoinnin jälkeen (Berendsen ym. 2018). Suomessa mikrobilääkkeistä käytetyimpiä ovat olleet penisilliini, tetrasykliinit, sulfonamidit ja trimetopriimi. Kiintoainehakuisiksi ja maaperässä erittäin pysyviksi tunnettuja fluorikinoloneja käytetään selvästi vähemmän.

Lantatuotteiden antibioottijäämiä on tutkittu Suomesta, Ruotsista ja Saksasta (Bloem & Lehmann 2016). Sianlanta sisälsi antibiootteja kanan- ja naudanlantaa useammin. Sian ja naudan lannasta löydettiin yleisimmin oksitetrasykliiniä korkeimpien pitoisuuksien ollessa 7,8–1,1 mg/kg ka. Kananlannassa esiintyi eniten siprofloksasiinia, enrofloksasiinia ja tetrasykliiniä (korkein pitoisuus enrofloksasiini 8,6 mg/kg ka). Bloemin ja Lehmannin (2016) raportoimat lannan lääkeainepitoisuudet ovat samalla tasolla tai korkeampia kuin Suomessa yhdyskuntalieteteissä havaitut. Aarnio ym. (2019) puolestaan havaitsivat hyvin korkeita pitoisuuksia tiettyjä fluorikinoloneja (enrofloksasiini, siprofloksasiini ja oksitetrasykliini) lääkittyjen nautojen lannassa ja virtsassa. Sen sijaan lypsykarjan lietelannasta mitatut antibioottipitoisuudet ovat verrattain matalia, sillä lietelantaan sekoittuvat pesuvedet sekä lääkitsemättömien eläinten lanta laimentavat pitoisuuksia (Aarnio ym. 2019).

Lannan käyttö voi levittää ympäristöön antibioottiresistenssigeenejä (ARG) (Chitescu ym. 2013, Sun ym. 2021). Antibioottiresistenssiä vie eteenpäin mm. lannan mikrobipopulaatio (Menz ym. 2019). Lannalla lannoitetusta maaperästä on havaittu korkeampia ARG-pitoisuuksia kuin keinolannoitteita sisältävästä maaperästä. Lisäksi antibioottijäämiä ja ARG sisältävän lannan käyttö muuttaa maaperän mikrobiyhteisöä ja muokkaa maaperän ARG-profiilia (Wang ym. 2020).

Lääkejäämien lisäksi lantaperäisistä 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 aminometyyli fosfonihappoa (AMPA). Kotimaisista kanankakkavalmisteista havaitut klopyralidipitoisuudet ovat vaihdelleet 50–200 µg/kg, kun vastaavat pitoisuudet ovat Ruotsissa olleet 12–100 µg/kg ka. Jäämiä on havaittu sekä broilerin että munituskanojen lannasta. Eri yritysten selvityksistä kootun aineiston perusteella aineen pitoisuus broilerin lannassa vaihtelee suuresti tilojen välillä (<10–200 µg/kg ka) (Äystö ym. 2022). Ruotsissa naudanlannassa havaittiin myös aminopyralidia (170 µg/kg ka) että klopyralidia (450 µg/kg ka) (FOR 2021). Torjunta-aineiden jäämillä ei ole asetettu raja-arvoja.

3.3.4 Alkutuotannon jätteitä koskevat päätelmät

Alkutuotannon jätteet rinnastuvat ominaisuuksiltaan ja laadultaan pääosin joko jätelainsäädännön mukaiseksi sivutuotteeksi luokiteltuihin ja sellaisena hyödynnettyihin alkutuotannon materiaalivirtoihin (esimerkiksi lanta) tai jatkojalostukseen tai elintarvikkeeksi käytettäviin alkutuotannon tuotteisiin (esimerkiksi kokonaiset kalat, rehujätteet, kasvualustajätteet, kasvijätteet). Kuitenkin esimerkiksi kalankasvatuksen lietteet rinnastuvat pikemminkin teollisuudessa syntyviin prosessijätteisiin.

Siten jäteluonteesta ei tyypillisesti aiheudu sellaisia haitta-aineisiin tai epäpuhtauksiin liittyviä riskejä, joita ei olisi vastaavilla sivutuotteilla tai tuotteilla (esim. kasvinosat, kukat ja kasvit). Näin ollen alkutuotannon jätteet soveltuvat kansallisen EEJ-asetuksen aihioiksi joko sellaisenaan hyödynnettävinä (kategoria A) tai esimerkiksi kompostointi- ja/tai mädätyskäsittelyn jälkeen hyödynnettävinä (kategoria B). Esimerkiksi alkutuotannon jätteiden roskaisuudesta ei kuitenkaan ole tietoja saatavilla, mikä on otettava huomioon mahdollisessa asetusvalmistelussa.

Luokka A tai B:

Oljet ja korsijätteet

Viljelykasvien lehdet, varret, kuoret ja sadonkorjuujätteet

Nurmi- ja apilarehuja

Vilja- ja palkokasvien sadon puimisessa syntyvät jätteet

Kukkien ja koristekasvien jätteet

Kasvialustajätteet

Kalankasvatuksen lietteet

Kalajätteet

Lanta

3.4 Termisten prosessien jätteet

3.4.1 Metsäteollisuuden tuhkat

Paperi- ja selluteollisuudessa tuhkaa muodostuu, kun kattiloissa (soodakattila, biomassakattila, rinnakkaispolttolaitos, meesauuni) poltetaan puunkuorta, lietettä, rejektiä, kuitujätettä tai muita suoraan hyötykäyttöön kelpaamattomia puujätteitä. Prosesseista leijupetiteknikka on yleisimmin käytetty polttotekniikka. Tuhkien lannoitevalmistekäytön hyödyiksi voidaan lukea i) happaman maaperän pH:n nosto,

ii) maaperän sähkönjohtavuuden parantaminen, iii) maaperän mikrobitoiminnan lisääntyminen ja iv) liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrän lisääntyminen (Cruz ym. 2017, Perucci ym. 2008).

Puuperäinen tuhka sisältää tyypillisesti riittävästi ravinteita (P, Ca, Mg ja K) ja suhteellisen pieniä pitoisuuksia ympäristölle ja terveydelle haitallisia alkuaineita (esim. As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ja Zn). Tuhka ei välttämättä sisällä kaikkia tärkeitä/välttämättömiä ravintoaineita (Lehmusto ym. 2024). Esimerkiksi kahdeksan eri puunpolton tuhkan soveltuvuutta lannoitteeksi käsitellessä tutkimuksessa todettiin, että vain kuusen tuhka sisältää riittävästi CaO:ta käytettäväksi kalsiumlannoitteina, mutta yksikään ei täyttänyt muiden olennaisten alkuaineiden vähimmäispitoisuusrajoja (Maschowski ym. 2016). Vastaavasti tuhkasta puuttuu yleensä riittävästi typpeä; siten typpeä on lisättävä esim. biokiinteinä aineina (Månsson ym. 2009). Puunpolton tuhkan soveltuvuutta metsäekosysteemeihin (i) estämään ravinteiden vähenemistä ja maaperän happamuutta, (ii) lisäämään maaperän mikrobibiomassaa ja sen aktiivisuutta sekä (iii) korvaamaan kalkkia on tutkittu erityisesti Pohjois-Euroopassa (Aronsson ja Ekelund 2004, Brunner ym. 2004, Pitman, 2006). Pölyongelmien estämiseksi, logistiikan parantamiseksi ja varastointikustannusten alentamiseksi biomassalentotuhka voidaan rakeistaa ennen levitystä. Rakeiden huokoinen rakenne voi myös parantaa veden sorptio-ominaisuuksia ja vastustuskykyä tuulieroosiolle (Vincevica-Gaile ym., 2019).

Tuhkassa on paljon liukoisia komponentteja, kuten klorideja (haliitti, sylviini), sulfaatteja (syngeniitti, kipsi), oksideja (kalsiumoksidi), hydroksidia (portlandiitti), nitraatteja, karbonaatteja ja bikarbonaatteja. Liukenevuuden perusteella ympäristöön liukenevien alkuaineiden keskimääräinen pitoisuus voidaan luokitella seuraavasti: Cl > S > Na > Sr > Ni > Mn > Cd > Cr > Zn > Co > Si > Mo > Li > Mg, Pb > Ca > Cu > Ba > P > Se > Sb > Al > Fe > Br, Hg > As, B, Sn, Ti, V (Odzijewicz ym. 2023). Yksittäisten alkuaineiden liukenevuus riippuu muun muassa niiden pH-arvosta. Emäksisessä reaktiossa alkuaineiden, kuten Al, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb ja Zn, liukenevuus on alhaisempi, kun taas seuraavien alkuaineiden liukenevuus kasvaa: As, B, Cr, Mo (Odzijewicz ym. 2023). Hydrataatiotuotteet, mukaan lukien kalsiumalumiinisilikaatti tai portlandiitti, korkeassa pH:ssa vähentävät epäpuhtauksien liikkuvuutta fysikaalisesti vähentämällä tuhkan huokoisuutta tai sitomalla kemiallisesti myrkyllisiä alkuaineita. Luonnollinen karbonisaatioprosessi hidastaa reaktiota ja vapauttaa sen seurauksena raskasmetalleja tuhkasta ympäristöön. (Odzijewicz ym. 2023)

Kaikissa paperi- ja selluteollisuuden polttoprosesseissa (soodakattila, biomassakattila, rinnakkaispolttolaitos, meesauuni) on pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) muodostumisen mahdollistavat olosuhteet ja POP-yhdisteitä voi muodostua myös suoraan kloorivalkaisussa. Kloorivalkaisu toimii lisäksi kloorin lähteenä, jossa orgaaniseen ainekseen sitoutuva kloori mahdollistaa myöhemmän POP-yhdisteiden tahattoman muodostumisen (Kilponen ym. 2023).

Soodakattilassa POP-yhdisteitä voi muodostua mustalipeän poltossa kloorin ja orgaanisen aineksen yhteisvaikutuksesta ja muodostuvat POP-yhdisteet voivat päätyä prosessista ulos lähtevään viherlipesakkaan. Soodakattilassa voidaan lisäksi käsitellä jätevesilietteitä tai muuta palavaa ainesta, kuten jätetuuta, jotka myös voivat toimia lähteenä POP-yhdisteiden muodostumiselle. (Kilponen ym. 2023)

Biomassakattiloissa poltetaan pääosin ylijäämäainesta, kuten tukkien kuorta, haketta, sahanpurua sekä muuta sahauksessa ja jalostuksessa syntyvää puujätettä. Kyseiset jakeet eivät sisällä POP-jätteen synnyn kannalta riittävää määrää klooria, eikä puhtaan puutavaran polton katsota olevan POP-jätteen synnyn kannalta merkittävä prosessi. Mikäli biomassakattiloissa poltetaan jätevesilietteitä, voivat lietteen sisältämät POP-yhdisteet konsentroitua tuhkaan, minkä lisäksi lietteen sisältämä kloori sekä metallit mahdollistavat POP-yhdisteiden tahattoman muodostumisen (Kilponen ym. 2023).

Rinnakkaispolttolaitoksiin, jotka ottavat vastaan metsäteollisuuden pääraaka-aineista syntyvien puuperäisten jätteiden lisäksi yhdyskuntien jätteitä ja esimerkiksi kestopuuta, voi päätyä POP-yhdisteitä sisältäviä polttoaineita/jätteitä. Rinnakkaispolttolaitosten lämpötila ei välttämättä riitä hajottamaan POP-yhdisteitä, jolloin tuhkiin voi konsentroitua jättejakeiden sisältämiä POP-yhdisteitä, minkä lisäksi kloorin vaikutuksesta POP-yhdisteitä voi lisäksi muodostua ja kertyä tuhkaan tahattoman muodostumisen seurauksena.

Kalliokoski (2015) käsitteli erilaisia metsäteollisuuden tuhkia laajasti opinnäytetyössään tehden sekä laajan selvityksen sisältäen aikaisempia tuhkakokeita että oman kokeellisen osuuden keskittyen pienehköjen energialaitosten tuhkiin. Työn johtopäätöksissä on mainittu, että lentotuhkien haitta-ainepitoisuudet ylittävät useammin loppusijoitukselle määrättyjä raja-arvoja kuin pohjatuhkat. Korkeissa lämpötiloissa arinakattilassa suurempi osa aineista haihtuu ja päätyy lentotuhkaan. Toisaalta matalammissa lämpötiloissa, leijupetikattiloissa, haitta-aineet jäävät pohjatuhkaan, sekoittuen suureen hiekkamäärään, jolloin pohjatuhkan haitta-ainepitoisuus jää alhaiseksi. Myös Kalliokosken (2015) opinnäytetyötä varten tehdyt tuhkakokeet antoivat samankaltaisia tuloksia ja lentotuhkanäytteissä haitta-ainepitoisuudet ylittävät raja-arvot useammin kuin pohjatuhkanäytteissä. Kirjallisuuteen, aiemmin tehtyihin tuhka-analyysihin sekä opinnäytetyön tuhkakokeisiin perustuen voidaan sanoa, että arinakattilan tuhkissa on keskimäärin enemmän raja-arvojen ylityksiä kuin kuplaleijupetikattilan tuhkissa. Opinnäytetyön teoriaosuuden mukaan arinakattiloiden tuhkissa voi olla korkea TOC-pitoisuus, joka huonontaa arinatuhkien laatua. Lisäksi edellä mainittu leijupetikattilan alhainen lämpötila ja pohjatuhkan sekoittuminen hiekkään vähentää leijupetikattilan tuhkien haitta-ainepitoisuuksia. Sekä aiempien että opinnäytetyön tuhka-analyyysien perusteella eniten raja-arvojen ylityksiä aiheuttavia aineita ovat liukoiset kromi, molybdeeni, seleeni ja sulfaatti, liukoisten aineiden kokonaismäärä (TDS) sekä orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (TOC). Pitoisuuksiltaan ongelmallisimpia haitta-aineita ovat tuhkissa kadmium ja sinkki. Myös arseeni ja kromi voivat tuottaa ongelmia. Tuhka-analyyysien perusteella voidaan huomata, että puupohjaisten polttoaineiden poltossa syntyneissä tuhkissa haitta-ainepitoisuudet ylittävät asetetut raja-arvot turpeenpolton tuhkaa useammin. Useimmiten puupohjaisissa polttoaineissa on sekä ravinteita että monia haitta-aineita enemmän kuin turvepohjaisissa. Tutkimuksen tuhkakokeissa todettiin, että metsätähdehakkeen tuhalla haitta-ainepitoisuudet ovat alhaisemmat ja tuhka kelpaa useammin hyötykäyttöön kuin rankahakkeen tuhka. (Kalliokoski 2015)

Leijupetihiekka on leijupetiteknikkaa hyödyntävän voimalaitoksen polttoprosessissa poistettavaa hiekkapetimateriaalia tai poltossa hienontunutta hiekkapetimateriaalia, joka erottuu savukaasusta joko kattilassa tai savukaasujen puhdistuksessa. Leijupetiteknikkaa voidaan hyödyntää kiinteille polttoaineille, kuten esimerkiksi puulle ja turpeelle. Kerrosleijupolttu soveltuu myös märille polttoaineille. Polttoprosessissa hiekkapartikkeleihin kertyy haitta-aineita, metalleja ja epäpuhtauksia poltettavasta materiaalista. Partikkelien ympärille kertyneet yhdisteet kasaavat partikkeleita toisiinsa, jolloin rakeiden koko kasvaa. Petimateriaalia pitää vaihtaa säännöllisesti sillä liian karkea petimateriaali voi tukkia polttoilmasuuttimia. Käytetty polttoaine vaikuttaa siihen, kuinka usein petimateriaali pitää vaihtaa. (Hämäläinen & Makkonen 2003).

Poltossa syntyy kahdenlaista muuta tuhkaa: pohjatuhkaa ja lentotuhkaa, joita ei perinteisesti ole Suomessa hyödynnetty lannoitteena. Pohjatuhka on polttotason alapuolelle (arinan alle kertyvää tai leijukerros-poltossa kierrossa vasta hiekasta erotettua) kertyvää palamatonta ainesta kuten hiekkaa ja polttoaineessa epäpuhtautena olevia pieniä metallikappaleita, josta käytetään myös nimitystä pohjatuhka ja kuona. Lentotuhka taas on hienorakeista savukaasujen mukana kattilasta poistuvaa ja kuivana pölyvää savukaasuista yli 95 prosenttisesti erotettua kiintoainesta. Pohja- ja lentotuhkan ominaisuudet eroavat huomattavasti toisistaan. Ne voidaan helposti pitää teknisesti erillään ja hyödyntää omina jätejakeinaan ja niillä on myös erilaisia hyötykäyttömahdollisuuksia.

Alkuainekoostumusanalyysin mukaan lentotuhka koostuu pääasiassa piidioksidista (SiO_2), alumiinioksidista (Al_2O_3) ja rautaoksidista (Fe_2O_3). Muita metallioksideja, kuten CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 ja SO_3 , esiintyy vaihtelevina määrinä. Scheepers & du Toit (2016) totesivat, että kalsiumin määrä tuhkassa voi vaihdella merkittävästi ja se voi myös olla runsain läsnä oleva alkuaine. Biopolttaineiden poltosta peräisin olevan lentotuhkan ominaisuudet riippuvat paitsi käytetyn biomassan tyyppistä myös eri kasvinosien osuudesta poltetussa biomassassa, esim. puunkuoren, oksien määrästä ja biopolttaineiden palamisprosessista sekä parametreista, raekoosta, hapettumisasteesta tai maaperän tyyppistä, jolla energiakasvi kasvoi. (Uliasz-Bochenczyk ym. 2016). Esimerkiksi havupuista saadussa lentotuhkassa on korkeampi Si- ja Ca-pitoisuus lehtipuulajeihin verrattuna ja suhteellisen alhainen K- ja S-pitoisuus. Lisäksi K:n, Na:n ja karbonaatin pitoisuudet laskevat korkeammassa palamislämpötiloissa, kun taas muiden metalli-ionien pitoisuudet kasvavat tai pysyvät vakiona (Etiégni ym. 1991, Pitman 2006, Misra ym. 1993). Tiettyjen alkuaineiden, esim.

kaliumin, hidas vapautuminen maaperään on toivottavaa pH/ravinneshokin välttämiseksi ja lannoitustiheyden vähentämiseksi. Prosessoimattomaan lentotuhkaan verrattuna rakeistus vähentää merkittävästi biomassan lentotuhkaan sitoutuneiden ravinteiden hyötyosuutta, mikä heikentää lentotuhkan lannoitusvaikutusta (Pesonen ym. 2017). Ammoniumsulfaatin lisääminen rakeistusprosessiin lisää biosaatavien ravinteiden talteenottoa samalle tasolle kuin käsittelemättömässä lentotuhkassa. Lannoituksen tehokkuuteen vaikuttaa kemiallisen koostumuksen lisäksi lentotuhkan määrä rakeissa. Kun verrattiin vaihtelevia määriä puunpolton tuhkaa sisältävien rakeiden sadonparannuksia, suurin saanto saatiin 30 % tuhkaa sisältävistä rakeista (Buneviciene ym. 2020).

Sellu- ja paperiteollisuuden tuhkan kemian keskeiset tekijät ovat poltettavat puulajit, polttoprosessin luonne ja käyttöpaikan olosuhteet (Pitman 2006). Palamislämpötila vaikuttaa suuresti tuotetun tuhkan kemiallisiin ominaisuuksiin ja määrään. Myös tuhkan orgaanisen aineen ja raskasmetallien pitoisuudet liittyvät palamislämpötilaan (Etiégni ym. 1991, Scheepers ym. 2016). Polttoprosessin aikana hiili- ja typpiyhdisteet hapettuvat muodostaen kaasumaisia yhdisteitä, joiden määrä tuhkassa on yleensä alhainen (Demeyer ym. 2001). Hiilen satunnainen esiintyminen tuhkassa voi johtaa orgaanisen hiilen yliarviointiin; se ei kuitenkaan välttämättä vaikuta ravinnepitoisuuksiin (Park ym. 2005). Tuhkan kokonaishiilipitoisuus liittyy epäorgaanisten karbonaattilajien ja vapaan orgaanisen hiilen palamiseen, ja se ilmaistaan yleensä syttymishäviönä (LOI). Syttymishäviö arvioi tuhkassa jäljellä olevan hiilen määrän; kuitenkin myös rikki, natrium, kalium jne. voivat jossain määrin aiheuttaa massan menetystä polton aikana (Vassilev ym. 2013). Tuhkan keskimääräinen syttymishäviö on 20-30 % ja arvo vaihtelee välillä 5-60 % riippuen puulajista ja palamisolosuhteista (Malhotra & Ramezani-pour 1994, Serafimova ym. 2011).

Sellu- ja paperiteollisuuden tuhkan keskimääräisen pH-arvon on raportoitu olevan 11 ja vaihteluvälin 8–13 suurimmassa osassa kirjallisuutta (Cherian & Siddiqua 2019). Runsaasti kalsiumoksidia sisältävä tuhka on emäksistä (pH \geq 12). Suuri alkalisuus johtuu ensisijaisesti kalkin lisäämisestä kaustisoivana materiaalina massanvalmistusprosessissa (Camberato ym. 2011). Tuhkan sisältämät sulfaatit voivat kuitenkin joskus aiheuttaa alkuperäisen happaman pH:n, jota kutsutaan myös peittäväksi vaikutukseksi. Tuhkalla on myös korkea pH-puskurointikyky (happoa neutraloiva), mikä saa aikaan kalkitsevan vaikutuksen (Etiégni ym. 1991, Demeyer ym. 2001).

Koska sellu- ja paperiteollisuuden tuhkien metallit ovat pääasiassa amorfisessa alumiinisilikaattimatriisissa, ne eivät ole helposti liukenevia (Pöykiö ym. 2016, Alakangas 2005). Tuhkan korkea alkalisuus vähentää metallien liukoisuutta. Liukoisuutta voidaan edelleen vähentää muuttamalla tuhkan fysikaalista muotoa rakeistamalla tai pelleteimalla. Eri alkuaineiden liukenevuus riippuu kuitenkin myös liukoisuuden prosesseista ja ionien liikkuvuudesta (Zhou ym. 2000). Kadmium (Cd) on sellu- ja paperiteollisuudesta peräisin olevan tuhkan liikkuvin ja mahdollisesti myrkyllisin metalli, jota seuraavat kupari (Cu), sinkki (Zn), nikkeli (Ni), lyijy (Pb) ja kromi (Cr) (Pöykiö ym. 2005). Myös tuore kotimainen tutkimus osoitti suuria pitoisuuksia eri laitoksilta peräisin olevien tuhkien (lento- tai pohjatuhka) raskasmetallipitoisuuksissa kun poltossa oli käytetty puupolttoaineita ja/tai turvetta (Karjalainen 2025).

TIETOLAATIKKO 1. Vaasan hallinto-oikeuden ratkaisu (diarinro. 1115/2025)
lentotuhkan sivutuotteeksi luokittelusta ja jätteeksi luokittelun päättymisestä

Vaasan hallinto-oikeus käsitteli valituksen, joka koski AVIn kielteistä päätöstä metsäteollisuudesta peräisin olevan lentotuhkan sivutuotteeksi luokittelusta ja jätteeksi luokittelun päättymisestä (hallinto-oikeuden päätös annettu 11.09.2025 diaarinumerolla 1115/2025). Perusteluista ilmenee, että tuhkassa haitta-ainekoostumuksessa ja -pitoisuuksissa esiintyy suurta vaihtelua. HaO:n mukaan [tapauskohtainen] EEJ-päätös mahdollistaisi tuhkan rajoittamattoman käytön lannoitteena. HaO:n ratkaisussa käyttöä lannoitevalmisteena ei katsottu sallituksi käyttötarkoitukseksi, koska EU-tason lannoiteasetuksessa kriteereitä on jo määritetty. Hakemus on koskenut lentotuhkan käyttöä lannoitetuotteiden ainesosana eikä hakemuksen mukaisen lentotuhkan luokittelusta sivutuotteeksi ja jätteeksi luokittelun päättymisestä hakemuksen mukaisessa käyttötarkoituksessa ole mahdollista päättää tapauskohtaisesti, koska EU:n lannoitevalmisteasetuksessa on säädetty vaatimuksista, joiden perusteella tuhkasta valmistetut lannoitevalmisteet eivät ole enää jätettä.

Hallinto-oikeuden päätöksessä todetaan myös seuraavaa: Tuhkien jätteeksi luokittelun päättymisestä lannoitevalmistekäytössä on säädetty Euroopan Unionin lainsäädännössä EU:n lannoitevalmisteasetuksessa ((EU) 2019/1009). Tuhka kuuluu asetuksen ainesosaluokkaan CMC 13. Asetuksessa on vahvistettu kriteerit, joiden mukaisesti direktiivissä 2008/98/EY määritellyn jätteen muodostava materiaali voi lakata olemasta jätettä. Lisäksi kansallisesti on säädetty tuhkan hyödyntämisestä jätteenä lannoitekäytössä. Ympäristönsuojelulain 32 §:n 1 momentin 2 kohdan mukaan muun muassa haitattoman tuhkan hyödyntäminen ja käyttö lannoitevalmistelain mukaisesti ei vaadi ympäristölupaa. Kansallisen sääntelyn mukaan lannoitevalmisteiden tulee täyttää lannoitelain ja sen nojalla säädetyn maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (964/2023) vaatimukset. Asetuksen kansalliseen ainesosaluokkaan 8 (tuhkat ja kuonat) kuuluvat tuhkat ovat jätettä.

Päätöksen mukaisesti tuhka on edelleen jätettä, joka voidaan hyödyntää lannoitevalmisteen valmistuksessa kansallisen ainesosaluettelon ainesosaluokan 8 mukaisena tuhkana, jos se täyttää MMM:n lannoitevalmisteasetuksen (964/2023) mukaiset ainesosaluokkaa koskevat vaatimukset ja valmistettava lopputuote on tuoteluokkavaatimusten mukaista.

Asiassa on lisäksi otettava huomioon, ettei lentotuhka hakemuksen täydennyksen mukaan täytä lannoitelainsäädännössä metsätuhkalannoitteelle asetettuja laatuvaatimuksia lannoitevaikutuksen osalta eikä sitä voida käyttää lannoitteena suoraan sellaisenaan. Se, että tuhkaa voidaan käyttää lannoitevalmisteen kantoaineena lisäämällä siihen käyttötarkoituksen edellyttämä lannoitevaikutus lannoitevalmistajan toimesta ennen sen hyväksyttävää käyttöä, ei ole osoitus siitä, että lentotuhkaa olisi pidettävä jätteen sijaan sivutuotteena toimitettaessa sitä lannoitevalmistajalle.

3.4.2 Yhdyskuntajätevesilietteen polton tuhka

Yhdyskuntajätevesilietteen polton tuhka syntyy kunnallisten jätevedenpuhdistamojen lietteen polton sivutuotteena. Lietteiden poltossa lämpötila nostetaan yleensä 850–1000 °C asteeseen (Pöyry 2019, Salva ym. 2025). Suomessa syntyvän lietetuhkan määrä on vähäinen suhteessa lietteen mädätyksen ja kompostoinnin lopputuotteisiin. Vuonna 2023 polttoon ohjattiin 1 % syntyneestä lietteestä (Vilpanen & Seppälä 2025). Suomen ainoa lietteiden erillispolttolaitos sijaitsee Rovaniemellä, mutta lietteiden polton määrän odotetaan tulevaisuudessa kasvavan (Lehtoranta ym. käsikirjoitus). Lietteiden yksittäispoltto on noussut keskusteluun viime aikoina mm. lietteiden sisältämien orgaanisten haitta-aineiden sekä mikromuovien ja niiden tehokkaamman poiston näkökulmasta, mutta myös äskettäin hyväksytyn maaperädirektiivin (EU 2025/2360) vuoksi. Yksittäispoltton ohella lietettä voidaan polttaa jonkin verran myös muiden materiaalien rinnalla nk. rinnakkaispolttona. Lietteiden rinnakkaispoltossa ensisijainen tavoite on lietteiden hävittäminen, ei ravinteiden kierrätys. Siinä missä erillispoltton tuhkien sisältämän fosforin erottamiselle on kehitetty menetelmiä, rinnakkaispoltton tuhkan sisältämän fosforin erottamista ei ole katsottu mahdolliseksi (Pöyry Finland Oy 2019).

Poltossa syntyvä tuhka sisältää lietteiden inertit aineet ja valtaosan fosforista sekä haihtumattomista raskasmetalleista. Poltto vähentää lietteiden tilavuutta, hajuhaittoja ja tuhoaa tehokkaasti taudinaiheuttajia ja valtaosan orgaanisista haitta-aineista (esim. lääkettäjämiä ja mikromuoveja). Toisaalta poltossa menetetään lietteiden sisältämä orgaaninen aine ja jäljellä ollut typpi. (Lehtoranta ym. käsikirjoitus) Ylivainio ym. (2020) raportoivat puolestaan lietetuhkissa fosforipitoisuuksia, jotka olivat yli kaksinkertaisia lietekompostien ja -mädätteen vastaaviin pitoisuuksiin verrattuna. Lietetuhkat sisälsivät myös verrattain korkeita pitoisuuksia kalsiumia, kaliumia ja magnesiumia. Lietteiden polton on kuitenkin havaittu heikentävän sen sisältämän fosforin lannoitusvaikutusta (Ylivainio ym. 2020). Lietetuhkan sisältämän fosforin lannoitekäytön edistämiseksi onkin kehitetty menetelmiä, joilla tuhkan sisältämä fosfori voidaan erottaa ja hyödyntää. Erotetun fosforin lannoiteominaisuudet ovat lähes mineraalifosforin kaltaiset (Lehtoranta ym. käsikirjoitus).

Lietteiden käsittely polttamalla poistaa valtaosan orgaanisista haitallisista aineista ja mikromuoveista huomattavasti tehokkaammin kuin perinteiset käsittelytavat (mädätys ja kompostointi). Näiden osalta lietetuhkan lannoitekäyttöön liittyvät ympäristö- ja terveysriskit voidaan olettaa huomattavasti vähäisemmiksi kuin esim. lietemädätteen tai -kompostin vastaavat. Poltossa lietteiden sisältämät raskasmetallit sekä tietyt erittäin pysyvät orgaaniset yhdisteet kuten PFAS- ja PCDD/F -yhdisteet voivat kuitenkin rikastua tuhkaan, jolloin niiden riskit tulee huomioida.

3.4.3 Pyrolyysihilli

Pyrolyysi vähähappisissa tai hapettomissa olosuhteissa on yksi yleisimmistä ja vanhimmista pyrolyysihillen tuotantotekniikoista. Pyrolyysissä muodostuvaa kiintojaetta kutsutaan syötemateriaalista ja asiayhteydestä riippuen usein mm. biohiileksi, lietehiileksi tai pyrolyysihilleksi. Tässä selvityksessä näitä kaikkia käsitellään kootusti pyrolyysihillinä. Selluloosa-, hemiselluloosa-, ligniini- ja muita orgaanisia aineita sisältävän biomassan hyödyntäminen pyrolyysissä on noussut puheenaiheeksi ympäri maailmaa, sillä muodostuvaa pyrolyysihillistä voidaan hyödyntää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä, hiilensidonnassa, epäpuhtauksien puhdistamisessa, maaperän puhdistuksessa ja kompostoinnissa (Yaashik ym. 2020, Zhou ym. 2021, Xie ym. 2022). Pyrolyysiprosessissa syntyy pyrolyysihillen lisäksi nestettä (bioöljyä) ja kaasua (synteesikaasua), joita voidaan käyttää energialähteinä (Chi ym. 2020).

Biohiilen raaka-aineiksi sopivat monet kiinteät ja nestemäiset orgaaniset ainekset. Biohiilen raaka-aineena on käytetty orgaanista ainesta, kuten maissin, puuvillan, riisin ja vehnän olkia yksistään tai muiden raaka-aineiden kanssa yhdessä, tai maissin sadonkorjuusta jäljelle jäänyttä jätettä (Mykkänen 2025). Puuperäisten raaka-aineiden, kuten sahanpurun, kantojen, hakkuutähteiden, puulastujen ja kuoren hyödyntäminen polttoaineena on tavallista (Alakangas 2020). Risujäte voi niin ikään soveltua pyrolyysihillen raaka-aineeksi. Arviolta 6000 m³ puujätettä tuottaa noin 1 000 kg biohiiltä. (Ramboll 2020) Myös yhdyskuntajätevesilietettä voidaan käyttää syötteenä ja tällöin lopputuotteesta käytetään yleensä nimitystä lietehiili tai lietebiohiili.

Pyrolyysihiilen käyttöä lannoitteena on selvitetty useissa eri tutkimuksissa (Mykkänen 2025, Ylivainio ym. 2020, Sarvi ym. 2020). Biohiilen ominaisuudet maanparannus- ja lannoitekäytössä riippuvat hyvin paljon käytetystä syötemateriaalista ja käytetystä pyrolyysitekniikasta. Lisäksi sen soveltuvuus riippuu myös kohteen luontaisista maaperäominaisuuksista. Biohiilen fyysisiin (pinta-ala, huokoskoko), fysikaalisiin (sähkönjohtavuus), kemiallisiin (pH, funktionaaliset ryhmät, kationinvaihtokapasiteetti ja ravinnesisältö) ja biologisiin ominaisuuksiin vaikuttavat syötteenä toimiva raaka-aine, valmistusolosuhteet ja valmistusprosessi (Yaashik ym. 2019, Chen ym. 2020, 2021). Pyrolyysi luokitellaan kolmeen teknologiatyyppiin mm. lämmitysnopeuden, lämpötilan, paineen ja viipymääjan mukaan: hidas pyrolyysi, välipyrolyysi ja nopea pyrolyysi (Ahmad ym. 2020). Hitaan pyrolyysin lämmitysaika voi olla useita tunteja tai päiviä ja lämpö nousee hitaasti (0,1–1 °C/min). Hidasta pyrolyysiä pidetään tärkeimpänä pyrolyysihiilen valmistuksessa, koska siinä saadaan muodostettua teknologiatyypeistä eniten kiinteää ainesta (25–30 %) (Kambo & Dutta 2015, Kumar ym. 2020). Nopea pyrolyysi, jossa lämmitysnopeus on suurempi, tuottaa enemmän nestettä ja kaasua, kuten bioöljyä, hiilimonoksidia, vetyä ja synteetikaasua (Yaashik ym. 2020, Ahmad ym. 2020).

Matalassa lämpötilassa tuotettu pyrolyysihiili sisältää hyödynnettävissä olevia ravinteita (Hu ym. 2020). Pyrolyysihiilen sisältämät ravinteet voivat kuitenkin olla heikkoliukoisessa muodossa. Esim. Ylivainio ym. (2020) havaitsivat yhdyskuntajätevesilietteen sisältämän fosforin liukoisuuden heikkenevän lietettä pyrolysoitaessa. Pyrolyysihiilen on todettu parantavan maaperän hedelmällisyyttä ja ilmapuutua, lisäävän mikrobien runsautta ja edistävän kasvien kasvua (Bolan ym. 2023). Pyrolyysihiili vähentää maaperän happamuutta ja parantaa kationinvaihtokapasiteettia, mikä lisää pääravinteiden, sivuravinteiden ja hivenaineiden saatavuutta (Cha ym. 2016, Hossain ym. 2020, Hosseinian ym. 2024). Lisäksi pyrolyysihiili yleensä parantaa ravinteiden käytön tehokkuutta kasveissa joko suoraan lisääntyneen ravinteiden oton kautta tai epäsuorasti vähentämällä huuhtoutumisesta ja kaasupäästöistä johtuvaa ravinteiden menetystä, jolla on myös positiivisia ympäristövaikutuksia (Hossain ym. 2020).

Vaikka pyrolyysihiili sisältää ravinteita, sen ravinnepitoisuuksia voidaan joutua kasvattamaan esim. väkilannoitteita lisäämällä (Bai ym. 2022). Pyrolyysihiili ei yksistään lisää keskimääräistä sadon tuottoa lauhkeilla leveysasteilla (Jeffery ym. 2017). Esimerkiksi havupuusta valmistetulla pyrolyysihiilellä ei havaittu merkittäviä pitkäaikaisia vaikutuksia satojen biomassatuottoihin eikä kasvien ravinnesisältöön lisättäessä pyrolyysihiiltä boreaaliseen maaperään (hapan humusmaa ja tiivistynyt savimaa) (Kalu ym. 2021). Myös Hyväluoman (2025) keräämän laajan kirjallisuuskatsauksen perusteella pyrolyysihiilen vaikutukset viljelymaiden ominaisuuksiin ovat vähäisiä pohjoismaisissa olosuhteissa. Metsämailla havaittu hieman enemmän positiivisia vaikutuksia kuin peltomailla.

Monista eduistaan huolimatta pyrolyysihiilen käytön pitkän aikavälin turvallisuuteen ja vaikutuksiin liittyy huolenaiheita, joita ei ole täysin kvantifioitu ja ymmärretty. Brtnicky ym. (2021) tarkastelivat kriittisessä koosteessaan peräti 259 lähdeä ja tekivät yhteenvedon pyrolyysihiilen tunnetuista haitallisista vaikutuksista maaperään monesta näkökulmasta, mukaan lukien maaperän fysikaalis-kemialliset muutokset, maatalouskemikaalien tehon heikkeneminen, pyrolyysihiilen sisältämät myrkylliset aineet ja vaikutukset maaperän eliöstöön. Koosteen perusteella yksittäisten tutkimusten tulokset ovat ristiriitaisia, mutta viittaavat siihen, että suuret pyrolyysihiiliannokset todennäköisesti vähentävät savimaissa käytettävissä olevan veden määrää ja pyrolyysihiilen levittäminen hiekkamaille todennäköisesti lisää eroosiota ja hiukkaspäästöjä.

Suurin osa pyrolyysihiilistä sisältää suuria määriä liukoisia suoloja, jotka vaikuttavat sähkönjohtavuuteen. Ylimääräiset suolat tai suuri sähkönjohtavuus maaperässä ovat haitallisia maaperän rakenteelle esimerkiksi vähentäen maaperän vedenläpäisevyyttä (Hossain ym. 2020, Brtnicky ym. 2021). Lisäksi liiallinen suolapitoisuus voi nostaa pH:ta ja heikentää jo valmiiksi emäksisen maaperän hedelmällisyyttä (Brtnicky ym. 2021). Pyrolyysihiili voi sitoa kasvinsuojeluaineita, minkä vuoksi niitä tarvitaan entistä suurempia annoksia.

Pyrolyysihiili voi myös sisältää haitta-aineilta, kuten raskasmetalleja sekä PCDD-, PAH- ja VOC-yhdisteitä, jotka ovat peräisin pyrolyysihiilen tuotannossa käytettävästä biomassasta tai joita syntyy pyrolyysin aikana. Haitta-aineet voivat vaikuttaa kasvien sekä tärkeimpien selkärangattomien, kuten lierojen, mikro-organismien ja niveljalkaisten terveyteen (Godlewska ym. 2021).

Haitta-aineita esiintyy erityisesti tietyissä syötteissä, kuten yhdyskuntajätevesilietteessä tai fytoimediaatiosta peräisin olevassa biomassassa. Nämä voivat sisältää raskasmetalleja, lääkettäjämiä ja muita orgaanisia haitta-aineita, jotka voivat vaikuttaa pyrolyysihiilen laatuun ja käytettävyyteen. Pyrolyysi nähdään potentiaalisena keinona poistaa myös mikromuovit ja osa yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämistä orgaanisista haitta-aineista, mikä lisää lietteiden käyttömahdollisuuksia (Kymäläinen ym. 2020, Ylivainio ym. 2020, Lehtoranta ym. 2021, Sarvi ym. 2023). Sarvi ym. (2023) pilottimittakaavan tutkimuksessa jätevesilietteen pyrolyysi 500 °C:ssa alensi havaittujen PFAS-yhdisteiden pitoisuutta 30–93 %, PBDE-yhdisteiden pitoisuus aleni 97–98 % ja useimpien muiden hormonitoimintaa häiritsevien yhdisteiden 96 %. Korkeamman lämpötilan havaittiin alentavan haitta-aineiden pitoisuuksia tehokkaammin kuin 450 °C:ssa tehtävä pyrolyysi. Esimerkiksi useimpien lääkeaineiden pitoisuudet jäivät alle määritysrajojen. Poikkeuksena oli kuitenkin parasetamoli, jonka pitoisuudet lähtivät lietteen pyrolysoinnin myötä nousuun. Tämän on arvioitu johtuva lääkeaineiden mahdollisesta muuntumisesta jäteveden sekä lietteen prosessoinnin aikana (Ylivainio ym. 2020). Haihtumattomat epäorgaaniset epäpuhtaudet sitä vastoin konsentroituvat hiileen (22–46 %:n kasvu). Nämä tulokset vahvistavat, että pyrolyysillä on kyky vähentää merkittävästi orgaanisten epäpuhtauksien pitoisuuksia lietteissä teollisessa mittakaavassa, kun taas epäorgaanisten epäpuhtauksien pitoisuus riippuu pääasiassa syötteen ominaisuuksista. Yli 500 °C:n pyrolyysilämpötilaa suositellaan orgaanisten epäpuhtauksien tehokkaan poiston varmistamiseksi (Sarvi ym. 2023). Yhdyskuntajätevesiliete käsitellään yleensä hitaalla pyrolyysillä, mutta lietteestä tehdyn lietehiilen hyödyntämisen haasteina ovat olleet suuret raskasmetalli- ja PAH-pitoisuudet. Integroitu anaerobinen mädätysjärjestelmä, jota seuraa pyrolyysi, voisi toimia ympäristöystävällisimpänä vaihtoehtona lietteen käsittelyssä, jolloin haitallisten aineiden maaperään siirtymisen riski on pienempi (Hosseinian ym. 2024). Yhdyskuntajätevesilietteestä valmistetun lietehiilen käyttö on sallittu lannoitelain mukaisesti ja lukeutuu ainesosaluokkaan 9 (pyrolyysihiili).

Huolimatta positiivisista vaikutuksista pyrolyysihiilen käyttöön liittyy myös huolia laajamittaisen levityksen pitkäaikaisesta turvallisuudesta ja seurauksista (Abukari ym. 2022, Brtnicky ym. 2021, Murtaza ym. 2023, Subedi ym. 2017). Vaikka tietyt raaka-aineen epäpuhtaudet voidaan poistaa pyrolyysin avulla, toiset säilyvät, ja prosessi itsessään voi tuottaa lisää haitallisia aineita. Haitalliset aineet voivat kerääntyä edelleen maaperään vaikuttaen karjaan ja ihmisten terveyteen (Sobol ym. 2025). Maaperään levitettyä ja kertynyttä pyrolyysihiiltä on vaikea poistaa (Maghsoodi ym. 2025). Koska pyrolyysihiilen vaikutukset maaperässä voivat olla sekä positiivisia että negatiivisia, tulisi ne kaikki huomioida jäsennellysti ja kokonaisvaltaisesti pyrolyysihiilen käytössä (Brtnicky ym. 2021).

3.4.4 Termisten prosessien jätteitä koskevat päätelmät

Termisten prosessien tuhkat ja kuonat muodostavat jätevirtoja, joita syntyy useilla laitoksilla Suomessa. Tästä näkökulmasta EEJ-arviointiperusteiden asettaminen kansallisesti on perusteltua. Tuhkien ja kuonien haitta-ainepitoisuudet kuitenkin vaihtelevat sekä käytetyn syötteen että polttoprosessin mukaan ja tyyppillisesti yksittäisen laitoksenkin tuhkien laatu vaihtelee polttoaine-erittäin. Termisissä prosesseissa myös syntyy uusia haitta-aineita, jotka päätyvät syntyvään tuhkaan tai kuonaan. Laitoksilta tulevan tuhkan lannoitekelpoisuuden varmistamiseen tarvitaan säännöllistä laadunvarmistusta, koska pitoisuudet voivat vaihdella riippuen jäte-erästä ja poltto-olosuhteista.

Edellä mainituista syistä termisten prosesseista peräisin olevien jätteiden riskinarviointiin ja -hallintaan sekä ympäristökelpoisuuteen liittyy lukuisia reunaehtoja, joita tulee arvioida mahdollisen kansallisen EEJ-asetuksen yhteydessä.

Luokka A

Metsäteollisuuden tuhkat pl. kategorian C tuhkat

Luokka C:

Soodakattilan tuhkat: Metsäteollisuuden tuhkien haitta-ainepitoisuus/koostumus on riippuvainen polttoprosessista ja syötteenä toimivasta jättemateriaalista. Tuhkissa voi esiintyä raskasmetalleja, mutta ne eivät ole erityisen liukoisessa muodossa. Lisäksi tietyissä tuhkatyypeissä voi esiintyä POP-yhdisteitä.

Jätevesilietteen polton tuhkat: Yhdyskuntajätevesilietteen tuhkaan voi päätyä erilaisia haitta-aineita, kuten metalleja, dioksiineja ja furaaneja sekä PFAS-yhdisteitä, mikäli palamisprosessit eivät ole täydellisiä. Jätevesilietteen tuhkan mukana päätyy maaperään kuitenkin pienempi kirjo haitallisia aineita kuin mädätetyn tai kompostoidun lietteen mukana. Raskasmetallit rikastuvat tuhkaan, joten niiden riskit tulee huomioida.

Pyrolyysihiili: Pyrolyysihiileen voi päätyä erilaisia orgaanisia haitta-aineita riippuen käytetystä syöttestä, mukaan lukien polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet), tietyt lääkeaineet (parasetamoli), PFAS-yhdisteet sekä dioksiinit ja furaanit. Lisäksi pyrolyysihiileen päätyy raskasmetalleja. Näitä eri yhdisteitä esiintyy joko pyrolyysihiilen tuotannossa käytettävässä biomassassa tai niitä syntyy pyrolyysiprosessin aikana. Lopullisen pyrolyysihiilituotteen epäpuhtauksien kirjo ja niiden pitoisuus riippuvat suuresti prosessiolosuhteista ja syötteilistä.

3.5 Kotitalouksien ja niihin rinnastuvat jätteet

3.5.1 Erilliskerätty biojäte

Biojätteellä tarkoitetaan tässä yhteydessä erilliskerättyä, pääasiassa elintarvikkeista peräisin olevaa eloperäistä jätettä. Sitä syntyy kotitalouksissa, ravintoloissa ja kaupan alalla. Myös elintarviketeollisuudesta syntyy biojätettä, joka kuuluisivat ainesosaluokkaan *Orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä orgaanista ainesta sisältävät suodatusmassat*, mutta jotka saattavat toisinaan päätyä myös ainesosaluokkaan *Biojäte*. Biojäte sisältää runsaasti orgaanista ainesta ja ravinteita. Vuonna 2021 erilliskerättyä biojätettä syntyi noin 430 000 tonnia ja luku sisältää myös kauppojen ja ravintolapalveluiden biojätteet (SBB 2024). Tästä hieman reilu puolet (54 %) käsiteltiin biokaasulaitoksissa ja loput (45 %) kompostoituihin (SBB 2024). Biojätteen erilliskeräys on nykyisin pakollista yli 10 000 asukkaan taajamissa ml. omakotitalot heinäkuusta 2024 lähtien. Biojätettä on kerättävä myös tätä pienempien taajamien, vähintään viiden huoneiston, asuinkiinteistöistä. Lisäksi hallinto- ja palvelutoiminnan kiinteistöille on biojätteen erilliskeräysvelvollisuus (jäteasetus 21 §). Erilliskeräys velvoitteet todennäköisesti myös tiukentuvat ja erilliskerätyn biojätteen määrä kasvaa lähivuosina.

Biojäte kuuluu EU:n lannoitevalmisteasetuksen ainesosaluokkaan (CMC) 3 komposti ja ainesosaluokkaan (CMC) 5 muu mädäte kuin tuorekasvimädäte ja sen jätteen luokittelu voi päättyä EU:n lannoitevalmisteasetuksen artiklan 19 mukaisesti ((EU) 2019/1009). Asetuksen 19 artiklan ja liitteen II mukaan jättemateriaalista valmistetun lannoitevalmisteen katsotaan lakanneen olemasta jätettä, kun se on käynyt läpi hyödyntämistoimen, kuten kompostointi tai mädätys, ja se täyttää asetuksessa CE-merkinnälle asetetut vaatimukset (Berlin 2024). EU:n lannoitevalmisteasetus on osittain harmonisoitua lainsäädäntöä, mikä mahdollistaa sen, että EU-asetusta sovelletaan vain sellaisiin lannoitevalmisteisiin, joissa on CE-merkintä, koska lannoitevalmisteille sallitaan myös kansallista sääntelyä (Berlin 2024). Biojäte lukeutuu myös kansallisen lannoitevalmisteasetuksen ainesosaluokkiin 3 komposti ja 4 mädäte. Biojäte käsitellään pääasiassa mädättämällä tai kompostoimalla ja lopputuotetta käytetään lannoitevalmisteiden ainesosina.

Erilliskerätyn biojätteen sekaan päätyy jonkin verran epäpuhtauksia, kuten muovia, lasia tai metallia. Epäpuhtauksien määristä ei ole yksityiskohtaista tutkimustietoa. Silvennoisen (2022) mukaan helsinkiläisistä, tamperelaisista ja turkulaisista kotitalouksista (n=98000) erilliskerätty biojäte sisälsi elintarvikepakkauskauksia ”minimaalisesti, jos lainkaan”. Jotkin jätehuoltoyritykset kuitenkin ohjeistavat kotitalouksia keräämään ja toimittamaan biojätteen halutessaan tavanomaiseen muovipussiin (Ahkola ja Salminen, 2025).

Oleellinen käsiteltävän biojätteen epäpuhtauksien lähde on kauppojen ja elintarviketeollisuuden pakkauksineen kerätty biojäte. Myös muoviset biojätepussit ja suojasäkit, joihin biojätettä kerätään, ovat

merkityksellinen epäpuhtauksien lähde. Tällainen jäte sisältää myyntikelvottomia elintarvikkeita pakkauksineen. Jäte murskataan biokaasulaitoksilla osana esikäsittelyä. Kappaleiksi murskatut kuitu-, lasi-, metalli- ja muovipakkausten osat poistetaan tämän jälkeen esimerkiksi seulomalla murske, joka sisältää varsinaista biojätettä, elintarvikepakkausten ja keräyspussien yms. murskattuja kappaleita. Mitä tehokkaammin näitä muovi-, lasi- ym. kappaleita poistetaan, sitä enemmän syntyy mädätysprosessiin päätyvätöntä hylkyä, joka toiminnanharjoittajan on toimitettava jätteenpolttolaitokselle.

Materiaaliepäpuhtauksien, kuten muovin, metallien ja lasin, poistoteho on enimmillään noin 97%, kun tarkastelun ulkopuolelle jätetään esikäsittelyssä hyvin hienoksi murskautuvat epäpuhtaudet (Ahkola ja Salminen 2025). Mädätysprosessissa biohajoamattomat epäpuhtaudet päätyvät mädätysjäännökseen ja edelleen lannoitevalmisteisiin. Ruokavirasto teki tehostettua valvontaa jäteperäisille lannoitevalmisteille vuoden 2025 aikana. Osa tutkituista näytteistä alitti yllä olevat epäpuhtausraja-arvot, mutta joissakin näytteissä raja-arvot ylittyivät huomattavasti ja laadunvaihtelu oli yleisesti ottaen suurta.

Edellä mainittujen epäpuhtauksien ohella biojätteeseen päätyy mahdollisesti myös erilaisia haitallisia aineita, kuten kasvinuojelu- ja torjunta-aineita. Torjunta-aineiden (pestisidit, fungisidit ja insektisidit) jäämiä voi päätyä biojätteeseen mm. hedelmien kuorista sekä leikkokasveista (Taube ym. 2002). Pitoisuuksien on havaittu olevan suurempia talvella, jolloin tuontihedelmien ja vihannesten osuus on ollut suurempi (Taube ym. 2002). Erään tutkimuksen mukaan 95 %:ssa trooppisia hedelmiä havaittiin enemmän kuin yhden pestisidin jäämiä ja 52 %:ssa vihanneksia havaittiin ainakin yhtä pestisidiä (Taube ym. 2002). Lisäksi 79 %:ssa leikkokukkia havaittiin pestisidijäämiä ja 45 %:ssa enemmän kuin yhtä yhdistettä (Taube ym. 2002). Tutkituista yhdisteistä valtaosa on kuitenkin nykyisin kielletty tai voimakkaasti rajoitettu. Nämä nykyisin kielletyt yhdisteet on kuitenkin saatettu korvata muilla yhdisteillä. Pascualin ym. (2018) tuoreemman tutkimuksen mukaan elintarviketeollisuuden lietteissä esiintyy mm. klorpyrifossia, imatsalilia ja ortofenyylifenolia. Näiden yhdisteiden havaitut suurimmat pitoisuudet vaihtelivat 0,51–2,5 mg/kg (Pascual ym. 2018). Klorpyrifossi on niin sittemmin kielletty Tukholman sopimuksella ja POP-asetuksella (2019/1021). Leikkokukkia ja -vihreää tuodaan Suomeen noin 5 miljoonaa kiloa vuodessa. Erilliskerättyä biojätettä syntyy vuosittain noin 400 miljoonaa kiloa. Jos kaikki leikkokukat ja -vihreä päätyisivät erilliskerättyyn biojätteeseen ja biojätteen erilliskeräysaste olisi 100 %, olisi leikkokukkien ja -vihreän osuus 0,6 % biojätteestä. Hedelmiä maahantuodaan noin 300 miljoonaa kiloa vuodessa ja niistä muodostuvan kuorijätteen määrä on arviolta 60 miljoonaa kiloa. Jos kaikki tuontihedelmien kuoret päätyisivät biojätteeseen, olisi niiden osuus erilliskerätystä biojätteestä noin 7 %. Torjunta-ainejäämien esiintymisestä suomalaisissa biojätteissä ei ole tutkimustietoa.

Kansallisessa lannoitevalmisteasetuksessa on määritelty tietyille ainesosaluokille (3 komposti, 4 mädäte) sallittujen epäpuhtauksien enimmäismäärät. Asetuksen mukaan nämä ainesosaluokat saavat sisältää *31 joulukuuta 2027 asti: a) yli 2 millimetrin epäpuhtauksia enintään 5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta joissain seuraavista muodoista: lasi, metalli tai muovi; ja b) edellä a alakohdassa tarkoitettuja epäpuhtauksia yhteensä enintään 10 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. Komposti saa 1 päivästä tammikuuta 2028 alkaen sisältää: a) yli 2 millimetrin epäpuhtauksia enintään 2,5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta joissain seuraavista muodoista: lasi, metalli tai muovi; ja b) edellä a alakohdassa tarkoitettuja epäpuhtauksia yhteensä enintään 5 grammaa kilogrammassa kuiva-ainetta.* Muovin osalta raja-arvot tulisi määrittää muuhun kuin painoon perustuen (esim. tilavuus tai kappalemäärä), koska muovin keveyden vuoksi nykyinen raja-arvo sallii näkyvän roskaantumisen, mikä on johtanut kierrätyslannoitteiden mainehaittaan.

Epäpuhtauksille asetetut rajat vastaavat EU-lannoitevalmisteasetuksen rajoja, jotka ovat ainesosaluokille (CMC) 3 ja (CMC) 5 luokille seuraavat: *Komposti ja saa sisältää a) PAH16-yhdisteitä (4) enintään 6 mg/kg kuiva-ainetta; b) yli 2 mm:n makroskooppisia epäpuhtauksia enintään 3 g/kg kuiva-ainetta joissain seuraavista muodoista: lasi, metalli tai muovi; ja c) edellä b alakohdassa tarkoitettuja makroskooppisia epäpuhtauksia yhteensä enintään 5 g/kg kuiva-ainetta. Alkaen 16 päivästä heinäkuuta 2026 b alakohdassa tarkoitettussa enimmäisraja-arvossa saa yli 2 mm:n muovisia esiintymiä olla enintään 2,5 g/kg kuiva-ainetta. Biojätteen erilliskeräyksessä tapahtuvan edistymisen huomioon ottamiseksi yli 2 mm:n muovin raja-arvoa 2,5 g/kg kuiva-ainetta on arvioitava uudelleen 16 päivään heinäkuuta 2029.*

3.5.2 Puutarha- ja puistojätteet

Puutarha- ja puistojätteitä eli viherjätteitä ovat puistojen ja kotipuutarhojen hoidossa ja ylläpidossa syntyvät viherjätteet. Kasvijätettä syntyy esimerkiksi haravoinnissa, kitkennässä, kotipuutarhojen ylijäämämenoista ja muista hedelmistä sekä vieraslajien hävittämisestä. Puujäte eli risut ja kannot kerätään erikseen.

Muodostuvan tai kerätyn viherjätteen määrästä ei ole saatavilla tietoa koko maan tasolla. Helsingin kaupungin puistoalueilla puutarha- ja puistojätettä on arvioitu syntyvän vuosittain noin 1 700 t/a, josta puujätettä on noin 18 % (300 t/a) ja muuta kasvijätettä 82 % (1 400 t/a). Arvio on laskettu vuosina 2017 ja 2018 raportoitujen jätemäärien perusteella. HSY vastaanotti 2020 risujätettä noin 5 750 t/a, josta Helsingin kaupungin osuus oli noin 255 t/a. (Ramboll 2020)

Viherjätteen ominaisuudet vaihtelevat sen sisältämän kasvijätteen mukaan. Kasvien vihreissä osissa typen, fosforin ja kaliumin osuus kuiva-aineesta on jopa 3,3 %, kun taas puujätteessä korkeintaan 1 %, ja esimerkiksi ruohonleikkuujäte on ravinteikkaampaa kuin haravointijäte. Puujätteestä lähes 90 % on lignoselluloosaa. Hiilen ja typen suhde (C/N) on puujätteessä keskimäärin 177 ja kasvijätteessä 36. (Liu ym. 2023)

Puutarha- ja puistojätteessä voi olla jonkin verran torjunta-ainejäämiä tai epäpuhtauksia kuten muovia, lasia tai metalleja. Näistä ei oletettavasti ole haittaa terveydelle. Sen sijaan haitat ympäristölle ovat mahdollisia. Esimerkiksi HSY:n ohjeiden mukaan roskat ja jätteen pakkaamiseen mahdollisesti käytetty muovi pitää poistaa, mutta jätteen seassa olevat roskat voi olla hankala erotella. Monet torjunta-aineet hajoavat kompostoinnissa, mutta esimerkiksi triatsolit eivät (Kupper ym. 2008). Rasvahakuiset torjunta-aineet saattavat myös aiheuttaa ekologisia riskejä käytettäessä kasvijätteestä valmistettua kompostia (Li 2024).

Kotitalouksien puutarhajätteet käsitellään tyypillisesti kompostoimalla joko omassa pihapiirissä tai jätehuollossa. Pieniä määriä puutarhajätettä päätyy myös erilliskerättyyn biojätteeseen. Puistojäte käsitellään pääasiassa kompostoimalla tai polttamalla. Esimerkiksi Helsingissä osa viherjätteistä kompostoidaan Ämmäsuolla, osa taas erillisissä aumoissa, joissa syntyvää multaa käytetään kaupungin viherrakentamisessa. Puujäte puolestaan toimitetaan haketettavaksi tai sellaisenaan polttolaitokselle. Pieni osa hakkeesta käytetään viherrakentamisessa. Hakkeen viherrakennuskäytössä tulee huomioida mahdollisten kasvitautien leviämiskeskeisyydet. Puujätettä käytetään jonkin verran myös kompostoinnin tukiaineena. Haitallisia vieraslajeja sisältävät puutarha- ja puistojätteet toimitetaan Ämmäsuolle, jossa ne ja niiden mahdollisesti kantamat kasvitaudit tuhoutuvat kompostointiprosessissa.

3.5.3 Kotitalouksien ja niihin rinnastuvia jätteitä koskevat päätelmät

Kotitalouksissa syntyvien eloperäisten jätteiden merkityksellisimmät riskit liittyvät materiaaliepäpuhtauksiin: erilliskerätyn biojätteen sekaan päätyy jonkin verran esimerkiksi elintarvikepakkauksia ja biojätteen keräämisessä käytettäviä pusseja tai muita virheellisen lajittelun vuoksi sinne päätyneitä materiaaleja. Myös puutarha- ja puistojätteiden seassa on epäpuhtauksia, etenkin roskia.

Jätteeksi luokittelun päättämisen kannalta keskeistä on ensinnäkin, miten jätteisiin keräysvaiheessa päätyvien epäpuhtauksien määrää voidaan vähentää ohjaukeinojen avulla sekä keräyskäytäntöjä parantamalla. Toisekseen merkitystä on sillä, miten tehokkaasti epäpuhtauksia voidaan poistaa tai hyödyntämiskelvottomat erät ohjata polttoon osana hyödyntämistointia. Näitä seikkoja tulee arvioida tarkemmin mahdollisen EEJ-asetuksen valmistelun yhteydessä.

Luokka B:

Erilliskerätty biojäte

Puutarha- ja puistojätteet

3.6 Muut jätteet

3.6.1 Jauhesammuttimen sisältö

Sammutusjauheet seostetaan pääosin monoammoniumfosfaatista (MAP; toiselta nimeltään ammoniumdivetyfosfaatti ADP), ammoniumsulfaatista (AS) tai diammoniumvetyfosfaatista (DAP), näiden eri vahvuisista seoksista sekä lisä- ja apuaineista. Aktiivisen aineosan pitoisuus vaihtelee yleensä 85–95 paino-%:n välillä (Saukko 2016). Sammutusjauhe sisältää runsaasti typpeä, fosforia ja rikkiä (Saukko 2016, Pääsinniemi 2024). Ravinteiden pitoisuudet vaihtelevat riippuen siitä, onko sammutusjauheessa käytetty pääkomponenttina enemmän ammoniumdivetyfosfaattia vai ammoniumsulfaattia (Pääsinniemi 2024).

ABC-tyyppinen sammutusjauhe koostuu monoammoniumfosfaatista ja ammoniumsulfaatista. Jauheen typpi- ja fosforipitoisuus on erityisen korkea. Sammutusjauhehiukkasessa on monoammoniumfosfaatista ja ammoniumsulfaatista koostuva mineraaliydin (>95 paino-%), jonka ulkopinta on päällystetty lisäaineilla, mikä tekee uudelleenkäytöstä ongelmallista niiden käyttöänsä päätyttyä (Gelsomino ym. 2024).

Periaatteessa sammutusjauhejätteet sopivat hyvin ravinteidensa puolesta lannoitekäyttöön. Sammutusjauheista on kuitenkin löydetty myös haitallisia aineita kuten raskasmetalleja (Jeong 2015, Gelsomino ym. 2024, Schammel ym. 2024). Suomessa tehdyissä tutkimuksissa kadmiumpitoisuus on ylittänyt lannoiteaineille säädetyn haitallisten aineiden raja-arvon. Sammutinjauheissa voi olla potentiaalia lannoitekäyttöön, jos haitallisten aineiden haitat ympäristölle saadaan minimoitua (Saukko 2016, Pääsinniemi 2024).

Sammutusjauheiden ravinteet on mahdollista ottaa talteen siten, että ylimääräiset materiaalit ja haitta-aineet poistetaan ennen kuin hyödyllisiä ainesosia käytetään lannoitukseen. Italiassa toimiva ProPHOS-yritys on kehittänyt fosfaatin talteenottoa käytetystä sammutusjauheesta (PHOSave). Kierrätysprosessiin kuului alkuperäisen jätteen seulonta metalliosien ja muovijätteen poistamiseksi, homogenisointi ja uutetun jauheen pesu sekä silikoniöljyn uuttaminen orgaanisilla liuottimilla. Toisessa vaiheessa poistettiin jäännösväriaine ja kaikki epäpuhtaudet sekä raskasmetallit.

Sammutusjauheiden toimivuus kasvien lannoitteena on osoitettu kokeellisissa tutkimuksissa. Tutkimusten perusteella sammutusjauheet lisäävät kasvien biomassaa eikä myrkyllisyyttä kasveille ole havaittu.

Gelsomino ym. (2024) arvioivat kompostointiprosessin toteutettavuutta ympäristöystävällisenä strategiana ulkoisen pinnoitteen liuottamiseksi ja ravinnepitoisen kiinteän jätteen kierrättämiseksi sekä epäorgaanisen lannoituksen korvaamiseksi puutarhakasvien viljelyssä. Tulokset osoittivat, että kompostointi auttaa hajottamaan sammutusjauheen pinnoitteita ja vapauttamaan sisäisiä mineraaliravinteita, eikä sammutinjauheilla rikastetun kompostin pieni annos ei ole fytotoksista salaatile. Jauheilla rikastettu komposti stimuloi kasvien kasvua ja juurien morfologiaa, lisäsi fotosynteesitehokkuutta ja versomassan kertymistä. Lisäksi kompostista peräisin oleva kalium vähensi jauheiden sisältämän liiallisen natriumin vaikutuksia.

Vastaavasti Tsigka ym. (2024) tutkivat ABC-tyyppisen sammutusjauheen soveltuvuutta lannoitteeksi. He totesivat, että jauhe lisäsi kasvien korkeutta, juurien pituutta ja lehtien klorofyllipitoisuutta, paransi kokonaisantioksidanttikapasiteettia ja kasvatti lehtien ja juurien nitraatti- ja fosfaattipitoisuutta.

Jeong ym. (2015) tutkivat erilaisten sammutusjauheiden kierrätettävyyttä ja yhdeksälle erilaiselle tuotteelle tehtiin pitoisuus- ja liukenemistesti niiden terveysvaarojen tunnistamiseksi eteläkorealaisen jätteiden ja maaperän standardimenetelmän mukaisesti. Käytöstä poistettujen jauheiden analyysi osoitti, että raskasmetallien pitoisuudet (Pb, Cd, Cr6+, Cr, Hg, Cu, Ni, As, Zn), olivat suhteellisen matalia kuten myös havaittujen trikloorietyleenidiamiinin ja polykloorietyleenidiamiinin pitoisuudet. Uusien ja käytöstä poistettujen jauhesammuttimien arseenipitoisuudet vaihtelivat välillä 6,72–38,36 mg/kg, mikä alittaa Suomen kansallisen ainesosaluokka 11. (teollisuuden jätteet) raja-arvon 40 mg/kg. Yleisimmin ABC-

kuivasammuttimissa käytetty kemikaali on monoammoniumfosfaatti, joka sisältää yleensä jopa 0,005 % arseenia ja jota voidaan käyttää lannoitteena. Tulos vahvisti, että jauhesammuttimia voidaan kierrättää sammutusjauheena tai lannoitteena, kuten Japanissa, Yhdysvalloissa ja Isonsa-Britanniassa tehdään. Tämä vaatii kuitenkin esikäsitteilyä ja jauheiden on täytettävä lannoitteita koskevat määräykset.

3.6.2 Hiekoitushiekka

Hiekoitukseen käytetyn hiekan ja kiviaineksen (jatkossa hiekoitussepele) uusiokäyttöä on pyritty edistämään eri puolilla Suomea. Väyliltä kerätylle hiekoitussepelille on tunnustettu ainakin kaksi käyttötarkoitusta: käyttö hiekoitukseen alkuperäistä käyttötarkoitusta vastaavasti ja lannoitevalmisteiden raaka-aineena (etenkin pyörästynyt hiekoitussepele).

Kun hiekoitussepelejä halutaan hyödyntää lannoitevalmisteiden raaka-aineena (esimerkiksi tukiaineena maanparannusaineissa), muuttuu käyttötarkoitus heremmäksi, sillä maanparannusaineita voidaan käyttää laajasti erilaisissa kohteissa ja myös syötävien kasvien kasvattamiseen tarkoitetuilla alueilla. Lisäksi lannoitevalmisteisiin kohdistuu suoraa tuotelainsäädäntöä (lannoitelainsäädäntö) raja-arvoineen.

Hiekoitussepelejä sisältää käytön aikana siihen päätyneitä epäpuhtauksia, kuten roskia (muovia, kartonkia, paperia ja/tai metallia sisältäviä erikokoisia roskia, autonrengaspölyä ja etenkin liikenteestä peräisin olevia haitta-aineita, kuten hiilivetyjä (C10-C40) ja raskasmetalleja sekä mahdollisesti myös taudinaiheuttajia (esim. Raiskio 2018, Nissinen 2021, Wikman 2024). Kevyen liikenteen väyliltä kerätty materiaali voi siksi olla puhtaampaa kuin autoteiltä kerätty. Tällä hetkellä hiekoitushiekkaa pyritään käyttämään lähinnä alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan eli liukkauden poistoon ajo- ja kevyen liikenteen väyliltä. Jos hiekoitushiekkaa haluttaisiin tulevaisuudessa käyttää kasvualustan raaka-aineeksi, tulisi kyseisestä materiaalista tutkia lannoitelainsäädännön mukaiset ominaisuudet. Tällöin kerätyistä hiekoitushiekasta olisi ensin analysoitava haitta-aineet ja epäpuhtaudet, minkä jälkeen hiekka esikäsiteltäisiin, seulottaisiin ja analysoitaisiin vielä uudestaan. Mikäli hiilivetyjen ja raskasmetallien pitoisuudet ylittäisivät lannoitekäytön ohjearvot olisi hiekka puhdistettava. Puhdistus- ja kuivatusprosessien avulla hiekoitussepeleistä on mahdollista erottaa pois uusiokäyttöön kelpaamaton suola, bitumi, pakokaasujen saasteet tai pölyksi jauhautunut kivi. Lisäksi hiekoitushiekka voidaan seuloa haluttuun raekokoon samalla kun poistetaan epäpuhtaudet.

3.6.3 Ruoppausmassat

Ruoppausmassoja syntyy vuosittain ylläpito- tai uudisruoppausten yhteydessä etenkin laivaväyliä ja satama-alueita kunnostettaessa tai rannoilla tapahtuvan rakentamisen yhteydessä. Määrät vaihtelevat vuosittain hyvinkin paljon sen mukaan, kuinka suuria projekteja on meneillään.

Ruoppausmassat voivat periaatteessa olla hyödyllisiä ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi elinympäristöjen ennallistamisessa, maan kunnostamisessa, rakentamisessa tai maaperän parantamisessa (Renella 2021, Ugolini ym. 2018). Hyödyllisten käyttötarkoitusten valinta riippuu materiaalin ominaispiirteistä, käytettävissä olevista käsittelytekniikoista ja paikallisista olosuhteista (Renella 2021). Ruoppausmassoja on Suomessa perinteisesti hyödynnetty mm. stabiloituna maarakentamisessa (Häkkinen ym. 2020). Paljon orgaanista ainesta sisältäviä sedimenttejä voi kuitenkin käyttää rakentamisessa vain rajoitetusti. Sen sijaan ruoppausmassoja voitaisiin käyttää maanparannusaineina tai kasvualustoina, koska runsaan orgaanisen aineksen lisäksi ne sisältävät mikro- ja makroravinteita ja niillä on usein hyvä vedenpidätyskyky (Kiani ym. 2021). Sedimenttien käyttö maataloudessa voisi vähentää riippuvuutta kivennäislannoitteista ja auttaa löytämään uusia fosforilähteitä (Da ym. 2021). Ruoppausmateriaalin käyttöön on ajateltu olevan useita mahdollisuuksia, kuten käyttöönotto taimitarhoilla ja metsä- ja maatalousmaiden tai eroosion koettelemien peltojen maaperän parantamisessa (Renella, 2021).

Käyttöä kuitenkin rajoittavat ruoppausmassoissa usein korkeinkin pitoisuuksina esiintyvät haitta-aineet, joita pääsee vesistöihin esimerkiksi teollisuudesta, satama- ja telakkatoiminnasta sekä jätevedenpuhdistamoilta. Korkeimmat sedimentin haitta-ainepitoisuudet havaitaan yleensä pistemäisten kuormituslähteiden vaikutusalueilla. Siksi lannoitekäyttöön soveltuvat todennäköisemmin sedimentit, jotka eivät ole tällaisten toimintojen vaikutuspiirissä. Äystön ym. (2022) raportin perusteella joidenkin metallien, erityisesti Cd:n ja As:n pitoisuudet sedimenteissä voivat ylittää jopa moninkertaisesti kansallisen lannoitevalmisteasetuksen (964/2023) raja-arvot. Sedimentin sulfidisavi myös laskee maaperän pH:ta, mikä lisää metallien biosaatavuutta. Ruotsalaisessa tutkimuksessa osoitettiin, että ruoppausmassoista voi kertyä haitta-aineita syötäväksi tarkoitettuihin kasveihin (Ferrans ym. 2022). Ruoppausmassoja viljelyalustoina käytettäessä salaattien Cd-pitoisuudet ylittivät hieman EU:ssa sallitut suurimmat pitoisuudet ((EU) 2021/1317) ja terveystieteiden riski-indeksi oli hieman yli 1. Ruoppausmassojen käyttö ei ole nykyään sallittua kansallisissa eikä EU:n lannoitelainsäädännön mukaisissa lannoitevalmisteissa. Jos ruoppausmassoja tulevaisuudessa haluttaisiin käyttää lannoitekäytössä, olisi nämä massat esikäsiteltävä ennen niiden käyttöä syötävien viljelykasvien viljelyyn tai vaihtoehtoisesti niitä voisi käyttää koriste- tai bioenergiakasvien viljelyyn.

Jos sedimentti on lähtöisin alueelta, joka on ihmistoiminnan välittömässä vaikutuspiirissä, tulisi siitä määrittää sedimenteissä yleisesti esiintyvien haitallisten aineiden pitoisuudet (Häkkinen ym. 2024). Lisäksi ruoppauskohteen käyttö- ja kuormitushistorian perusteella on aiheellista pyrkiä tunnistamaan muita materiaalin mahdollisesti sisältämiä haitallisia aineita. Toisaalta joidenkin aineiden osalta myös hajakuormitus, kaukokulkeuma ja ilmalaskeuma ovat merkittäviä vesistöjen kuormittajia.

Ruoppausmassojen haitta-ainekoostumus riippuu suuresti ruopatun alueen käyttö- ja kuormitushistoriasta (Äystö ym. 2022, Häkkinen ym. 2024). Kuormituslähde vaikuttaa myös päästöjen koostumukseen. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta pääsee yleensä laaja kirjo haitallisia aineita, kun taas yksittäisen teollisuuslaitoksen päästöissä niitä on huomattavasti rajallisempi määrä (Häkkinen ym. 2024). Vanhojen sahojen kyllästämöalueiden läheisten vesistöjen sedimentteihin on kertynyt kloorifenoleja. Kymijoen sedimentit ovat kloorialkaani- ja kyllästysainetehtaan toiminnan seurauksena pilaantuneet voimakkaasti elohopealla sekä PCDD/F-yhdisteillä. Laivojen ja veneiden pohjamaaleissa on käytetty orgaanisia tinayhdisteitä, kuten tributyyliinää (TBT), eliöiden kiinnittymistä ehkäisevinä biosideina. Siksi orgaanisia tinayhdisteitä havaitaan usein kohonneina pitoisuuksina satamien läheisistä sedimenteistä (Jaakkonen 2011; Mannio ym. 2018; Mehtonen ym. 2018). Nykyisin maaleissa käytetään biosideina pääasiassa sinkki- ja kupariyhdisteitä. Telakoiden edustalta on mitattu myös korkeita mineraaliöljyjen, PCB-yhdisteiden, kadmiumin ja arseenin pitoisuuksia (Jaakkonen 2011). Ruotsissa rannikon sedimenttien haitta-aineita on kartoitettu laajalti. Itämeren sedimenteissä esiintyy monia haitta-aineita (PAH16, heksabromisyklododekaani (HBCDD), PFAS, klooriparafiinit, orgaaniset fosforiyhdisteet, PCB:t, TBT, sybutryyni, klordaanit, klooratut alifaattiset hiilivedyt, ftalaatit sekä oktyyli- ja nonyyliifenolit), mutta pitoisuuksissa on alueellisia eroja (Josefsson 2022). Suomen rannikon sedimenteistä ole tehty vastaavaa kartoitusta.

Suuri osa sellu- ja paperiteollisuuden jätevesien haitta-aineista on rasvaliukoisia ja sitoutuvat herkästi kiintoaineeseen. Kiintoaineen laskeutuessa vesistön pohjaan myös haitallisia aineita varastoituu pohjasedimenttiin. Ruotsissa on tutkittu runsaasti sellu- ja paperitehtaiden alapuolisia ns. nollakuitu- tai kuitusedimenttejä. Dahlberg ym. (2019) tutkimuksessa analysoitiin POP-yhdisteitä (PCB:t, DDT:t ja HCB:t) ns. kuitupankkisedimenttejä (sisältäen nollakuituja), kuitupitoisia sedimenttejä ja vähäkuituisia sedimenttejä. Kuitupankkisedimenteissä POP-yhdisteiden määrä oli suurempi kuin muissa sedimenteissä. Kuitupankkisedimenteissä kyse on ns. vanhoista synneistä. PCB:itä käytettiin laajasti erilaisissa teollisissa sovelluksissa 1920-luvun lopulta lähtien. Sellu- ja paperiteollisuudelle erityisen merkityksellistä oli PCB-tuotteiden käyttö itsejäljentävän kopiopaperin (NCR-paperin) väriaineiden liuottimina (Erickson & Kaley 2011). Kuitupankkisedimenttien on osoitettu sisältävän suuria pitoisuuksia myös raskasmetalleja (mm. elohopeaa, orgaanisia tinayhdisteitä) ja PAH-yhdisteitä (Apler ym. 2014, 2019, Dahlberg ym. 2019). Lisäksi kemiallisen metsäteollisuuden kuormittamien vesistöjen sedimenteissä havaitaan yleisesti esimerkiksi kloorin käytössä muodostuneita PCDD/F-yhdisteitä sekä mm. paperi- ja kartonkiteollisuuden PFAS-yhdisteitä.

Tampereen Lielahden nollakuidussa kuparin, koboltin ja arseenin pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvot maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnille ja elohopeapitoisuus

ylittää alemman ohjearvon. Vanhemmissa kerrostumissa myös PCDD/F, PAH, pestisidien ja klooribentseenien pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen kynnyksarvot sekä heksaklooribentseenin ja toluenin pitoisuudet alemman ohjearvon. Huokosvedessä on myös erilaisia orgaanisia happoja ja niiden metyylijohtannaisia huomattavia pitoisuuksia. Elohopeakuormitusta ei kuitulietteen käytön osalta seurata, mutta tällaisen sedimentin käyttö maanparannusaineena voi muodostaa huomattavan elohopeakuormituksen. Lielahden sedimentin elohopeapitoisuus liittyy siellä käytetyn valkaisukemikaalin valmistukseen, joten elohopean pitoisuus ei ole välttämättä korkea muissa noin kymmenessä vastaavassa kohteessa Suomessa. (Kiukas & Niemelä 2018).

Ruotsissa etsitään ratkaisuja kuitupankkisedimentteihin liittyen. Haller ym. (2021) tutkivat kirjallisuuskatsauksessaan eri vaihtoehtoja kuitupankkisedimenttien puhdistamiselle ja kaupalliselle hyödyntämiselle. Katsauksessa arvioitiin kompostointia, anaerobista mädätystä ja useita termokemiallisia menetelmiä. Saastuneen raaka-aineen käyttö voi tehdä prosessista kalliin, mutta ehdotetut menetelmät tulisi nähdä vaihtoehtona pelkästään kustannuksia aiheuttaville kunnostusmenetelmille. Mahdollisia tuotteita voisivat ovat biohiili, nestemäiset ja kaasumaiset biopolttoaineet sekä kasvualustat. Kuitusedimenttien ohjaamista biokaasulaitoksille on myös selvitetty, jolloin syntyvä mädäte ohjattaisiin jätevedenpuhdistamolle (Lindqvist 2019). Lisäksi nollakuitua on ajateltu hyödyntää bioteknisillä tavoilla laktaatiksi, biokaasuksi tai maanparannusaineeksi (Holopainen 2023). Myös Suomessa on tehty kompostointikokeiluja Lielahden runsaasti nollakuitua sisältävillä sedimenteillä ja tutkittu erityisesti raskasmetallipitoisuuksia.

3.6.5 Muita jätteitä koskeva päätelmät

Luokka A

Hiekoitushiekkajätteen EEJ-arviointiperusteiden määrittely voisi olla tarkoituksenmukaista tehdä kansallisesti, mutta kyseiselle jätteelle saattaa olla myös muita keskeisiä hyödyntämisreittejä etenkin maarakentamisessa ja materiaali kuuluneen ylijäämämaa-aineksia ja maa- ja kiviainesjätteitä koskevan rekisteröintimenettelyn (MASA-asetus) valmistelun piiriin.

Luokka C

Muut jätteet muodostavat sekalaisen joukon erityyppisiä ja syntyvaltaan erilaisia jätteitä. Osalle niistä tapauskohtainen arviointi on tarkoituksenmukaisin etenemistapa etenkin, jos hyödyntäminen ei ole laaja-alaista (sammutusjauhejätteet) tai jätteen ominaisuudet vaihtelevat tapauskohtaisesti huomattavan paljon (ruoppausmassat).

Luokka D

Kuitusedimenttien on osoitettu sisältävän runsaasti haitallisia aineita, jolloin niiden jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset näyttävät heikoilta.

3.7 Jätteen- ja yhdyskuntajätevesien käsittelyn jätteet

Jätevedenkäsittely ja jätehuolto ovat toimintoja, joissa käsitellään keskitetysti eri lähteissä syntyneitä jätteitä ja jätevesiä. Näistä toiminnoista syntyvät jätteet ovat joko sekundäärisiä tai tertiäärisiä jätteitä, minkä vuoksi niiden ominaisuuksien ja laadunvaihtelun määrittely on huomattavasti hankalampaa kuin edellä primääristen jätteiden (kappaleet 3.2, 3.3, 3.5 ja 3.6). Sekundäärisiksi jätteiksi voidaan katsoa yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden liete, joka muodostuu lukuisista eri päästölähteistä peräisin olevien jätevesien käsittelystä, vaikka tuotettu jätevesi ei jätelain tarkoittamassa merkityksessä olekaan jäte. Myös primäärijätteen kompostoinnissa syntyvä komposti, tai vastaavasti niiden mädätyksessä syntyvä mädätysjännös sekä termisissä prosesseissa (kappale 3.4.4) syntyvät tuhkat ja biohiili ovat sekundäärisiä tai tertiäärisiä jätteitä. Tällöin riskitarkastelun lähtökohdana ovat primäärijätteet ja niiden ominaisuudet ja

laadunvaihtelu. Kun biokaasu-, kompostointi-, poltto- tai pyrolyysilaitoksen syötteenä käytetään yhdyskuntajätevesilietettä, voidaan syntyvän mädätysjäännöksen, kompostin, tuhkan tai pyrolyysihiilen katsoa olevan tertiääristä jätettä. Viimeksi mainitussa tapauksessa riskitarkastelun lähtökohtana on kotitalouksissa, valmistavassa teollisuudessa, energiahuollossa, jätehuollossa (ml. kaatopaikkojen viemäroidyt suotovedet), palvelusektorilla ja vähäisemmässä määrin alkutuotannossa syntyvät kunnallisia jätevedenpuhdistamoille johdetut jätevedet unohtamatta puhdistamoille tulevaa hulevesikuormitusta.

3.7.1 Yhdyskuntajätevesilietteet

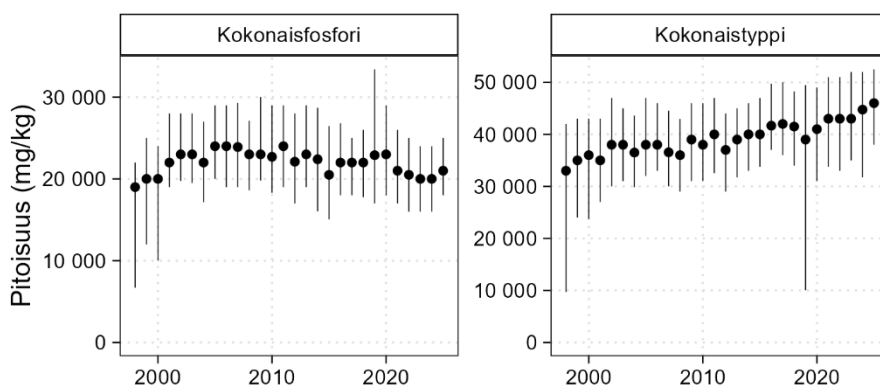
Jätevedenpuhdistuksessa on Suomessa tavanomaisesti käytössä mekaanis-biologis-kemialliset käsittelyprosessit. Fosfori poistetaan jätevedestä kemiallisesti lisäämällä rauta- tai alumiinisuolat, jolloin fosfori sidotaan kiinteään muotoon ja se päätyy lietteeseen. Jätevedenpuhdistamolla muodostuva liete koostuu pääosin välpän läpäisseen jäteveden sisältämästä kiintoaineesta, saostetusta fosforista sekä biologisen käsittelyn mikrobimassasta. Jäteveden käsittelymenetelmät ja tulevan jäteveden ominaisuudet vaikuttavat lietteen koostumukseen. Osa lietteestä kierrätetään biologisen prosessin ylläpitämiseksi takaisin käsittelyn alkupäähän ja ohjataan jatkokäsittelyyn. Yhdyskuntajätevesiliete, luetaan jätteeksi ja se kuuluu jäteluokkaan 19 08 05 (asumajätevesien käsittelyssä muodostuvat lietteet). Yhdyskuntajätevesiliete kuuluu kansallisen lannoitelainsäädännön piiriin ja lukeutuu Ruokaviraston ylläpitämän ainesosaluettelon ainesosaluokkiin 9 pyrolyysihiili ja 10 käsitelty jätevesiliete. Myös jäteasetuksessa on lietteitä koskevia säännöksiä erityisesti laadunhallintaan, kirjanpitoon ja raportointiin liittyen.

Euroopan unionissa (EU) yhdyskuntajätevesilietteen käyttöä maataloudessa säätelee lähes 40 vuotta vanha lietedirektiivi 86/278/ETY. Euroopan tasolla jätevesiliete on jätetty EU:n lannoitevalmisteasetuksen ulkopuolelle. Jos käytetään lietepohjaisia ravinteita, jäsenvaltioiden on otettava käyttöön kansalliset määräykset, jotka ovat johtaneet erilaisiin käytäntöihin.

Jätteen ammattimainen hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan. Haitattomaksi käsiteltyä yhdyskuntajätevesilietettä voidaan kuitenkin hyödyntää lannoitevalmisteena tai lannoitevalmisteiden ainesosana ympäristönsuojelulain 32 §:n antaman poikkeuksen nojalla ilman ympäristölupaa. Lannoitekäyttöä on säännelty mm. EU:n lietedirektiivillä (86/278/ETY), jossa on asetettu reunaehdot lietteen hyötykäytölle maanviljelyssä. Kansallisessa lainsäädännössä lietedirektiivin vaatimukset on sisällytetty lannoitelainsäädäntöön, joka koskee monilta osin myös viherrakentamista. Marttisen ym. (2017) arvion mukaan asutuksen ja teollisuuden jätevesien käsittelyssä muodostuvat lietteet sisältävät 2 900 tonnia fosforia ja 3 700 tonnia typpeä. Yhdyskuntajätevesilietteitä on pitkään hyödynnetty maataloudessa ja viherrakentamisessa. Vuonna 2023 muodostuneesta lietteestä arviolta 51 % hyödynnettiin viljelykäytössä ja 42 % viherrakentamisessa (Vilpanen & Seppälä 2025).

Lietedirektiivi vaatii, että maatalouteen ohjattava yhdyskuntajätevesiliete käsitellään menetelmällä, jonka tarkoituksena on merkittävästi vähentää taudinaiheuttajien määrää ja hajuhaittoja sekä lietteen käytöstä aiheutuvia terveysvaaroja. Jäsenvaltiot voivat kuitenkin asettaa kansallisia vaatimuksia, joiden täyttyessä käsittelemätöntä lietettä voidaan hyödyntää maataloudessa maahan muokkaamalla tai sijoittamalla.

Jätevesiliete sisältää runsaasti ravinteita ja orgaanista ainesta. Kun jätevedenkäsittelyssä käytetään rinnakkaissaostusta, jäteveden sisältämästä fosforista pidättyy lietteeseen n. 96 % (Lehtoranta ym. 2021). Kriittiseksi raaka-aineeksi luokiteltu fosfori tekee jätevesilietteestä mahdollisesti arvokkaan resurssin mm. maatalouden sovelluksissa. Jäteveden sisältämästä tyypeistä lietteeseen pidättyy 36 % (Lehtoranta ym. 2021). Kuvassa 1 on esitetty jätevedenpuhdistamoiden lietenäytteissä havaittuja ravinnepitoisuuksia vuosina 1998–2025. Lietteen vesipitoisuus on hyvin korkea, jopa yli 97 %, minkä takia sitä tavallisesti kuivataan tai tiivistetään jatkokäsittelyn edetessä.

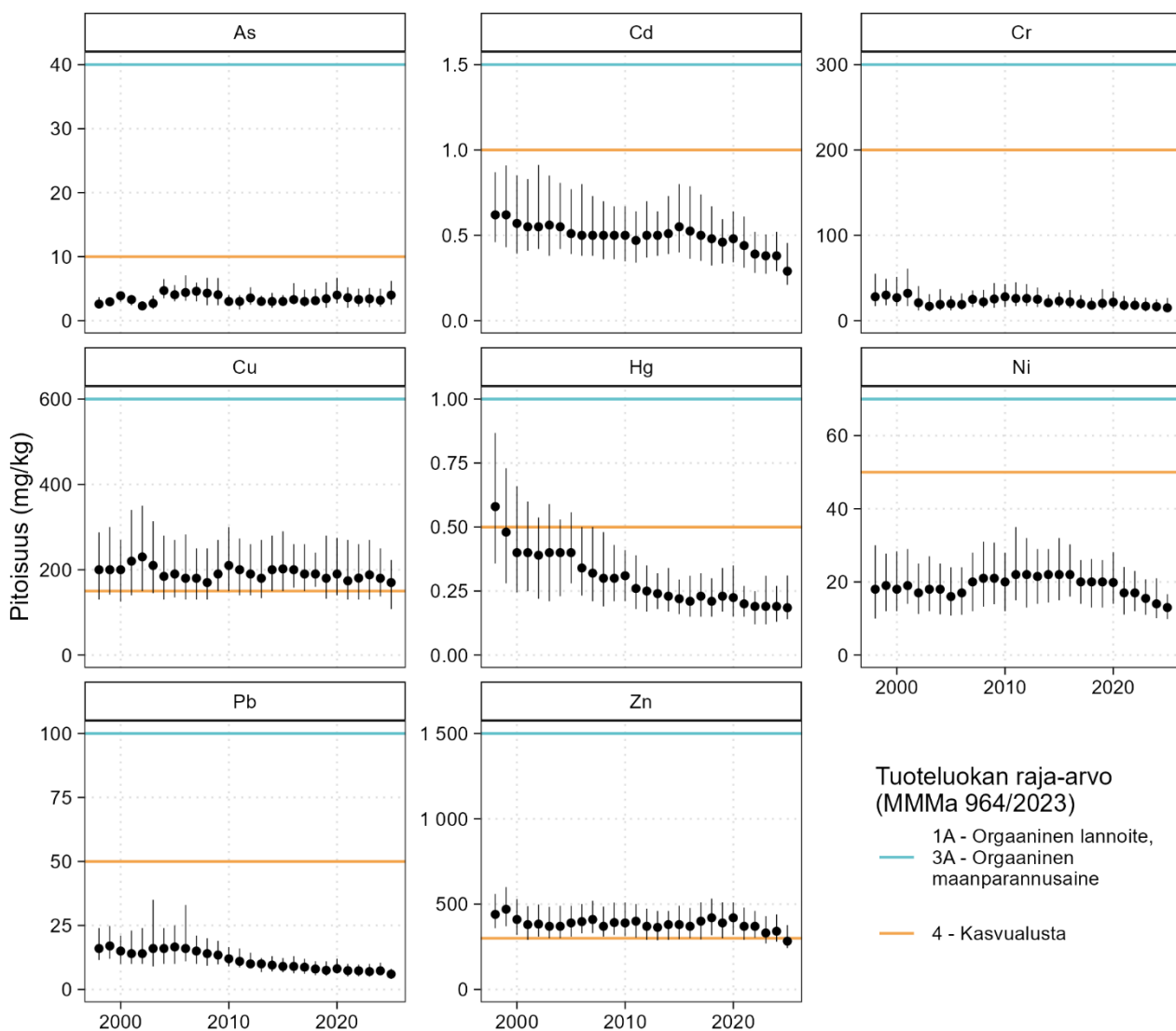


Kuva 1. Jätevedenpuhdistamoiden lietenäytteissä havaittuja ravinnepitoisuuksia vuosina 1998–2025. Kuvaajissa pallo osoittaa vuosittaisten määritysten mediaanin ja vaihteluväliviivat kattavat 50 % määrittämisistä. Aineiston lähde: YLVA-rekisteri

Jätevesilietteessä useimmin havaittuja metalleja ovat kupari, sinkki, koboltti, rauta (Fe), kromi (Cr), lyijy (Pb), elohopea (Hg), nikkeli (Ni), kadmium (Cd) sekä erittäin myrkylliset arseeni (As) ja seleeni (Se). Raskasmetalleja voi esiintyä jätevesilietteessä liuenneena tai saostuneena, ja ne voivat myös liittyä kiinteisiin hiukkasiin. Czatkowska ym. (2025)

Lietteen sisältämien haitallisten aineiden aiheuttamat riskit ja vaikutukset lannoitekäytössä on tiedostettu jo pitkään mahdollisena ongelmana sen lannoitekäytölle. Lietedirektiivissä hyötykäytön riskejä on pyritty hallitsemaan mm. asettamalla lietteelle käyttörajoituksia (6 artikla, alakohta b). Lisäksi direktiivissä on asetettu raja-arvot seitsemälle raskasmetallille (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg ja Cr). Suomessa sovellettiin jo 1970-luvulla raja-arvoja samoille metalleille (Latostenmaa 1976).

Kuvassa 2 on esitetty jätevedenpuhdistamojen lietenäytteistä havaittuja raskasmetallipitoisuuksia vuosina 1998–2025. Lannoitelainsäädännössä on säädetty tuoteluokkoittain raja-arvot raskasmetallipitoisuuksille. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen käsittelemätön liete alittaa tyypillisesti raskasmetallien osalta tiukimmatkin raja-arvot kaikkien muiden aineiden kuin kuparin ja sinkin osalta.



Kuva 1. Jätevedenpuhdistamoiden lietenäytteistä havaitut raskasmetallipitoisuudet ja lannoitelainsäädännössä niille sovellettuja raja-arvoja. Kuvaajissa pallo osoittaa vuosittaisten määritysten mediaanin ja vaihteluväliviivat kattavat 50 % määrittämisistä. Aineiston lähde: YLVA-rekisteri

Raskasmetallien ja ravinteiden lisäksi lietteeseen pidättyy orgaanisia haitallisia aineita. Jätevedenpuhdistamoilla käsitellään jätevesiä, jotka sisältävät läpileikkauksen kaikista yhteiskunnan kulloinkin käyttämistä kemikaaleista. Tästä syystä lietteeseen pidättyy monenlaisia haitallisia aineita. Gustavsson ym. (2022) arvioivat yli 2 000 kemikaalin kuormituksen jätevesissä Ruotsissa. Heidän tutkimuksessaan havaittiin jätevesissä pesuaineita, pinta-aktiivisia aineita, väriaineita ja pigmenttejä, bromattuja palonestoaineita (BFR) ja monia muita kemiallisia ryhmiä. Monet niistä voivat vaikuttaa maataloustuotteiden turvallisuuteen, mikäli liete- tai jätevesipohjaisia materiaaleja käytetään lannoitevalmisteina maataloudessa (Brambilla ym. 2016). Lietteeseen pidättyy myös pysyviä orgaanisia (POP)-yhdisteitä. Näin ollen on mahdollista, että tietyt POP-yhdisteet siirtyvät ravintoketjuun (Brambilla ym. 2016).

Jätevesilietteen seurantatiedot monista haitallisista orgaanisista aineista ovat niukkoja. Leinon ym. (2025) olemassa olevaan kirjallisuuteen perustuvassa selvityksessä tunnistettiin 23 lietteissä esiintyvää ympäristölle huolta aiheuttavaa haitallista yhdistettä/yhdisteryhmää, mukaan lukien PFAS-yhdisteet sekä tietyt lääkeaineet, kosmetiikan lisäaineet, hormonit ja palonestoaineet. Pohjoismaiseen pitoisuusaineistoon nojanneessa katsauksessa tunnistettiin monia aineita, joille mittausaineistoa on saatavilla vain vähän. Leino ym. (2025) havaitsivat myös, että eri maiden välillä on huomattavaa vaihtelua määritystulosten lukumäärän ja määritettyjen yhdisteiden välillä. Vaihtelun taustalla on useita tekijöitä, kuten jäteveden

käsittelyprosessien monimuotoisuus, erityyppisten jätevesien johtaminen kunnallisille puhdistamoille, toiminta- ja kausiparametrit sekä haasteet näytteenotossa ja lietteen analysoinnissa.

Ahkola ym. (2021) tutkimuksessa määritettiin PAH-yhdisteiden, triklosaanin (TCS), triklokarbaanin, metyyliatriklosaanin (mTCS) ja valittujen lääkeaineiden pitoisuudet eri lietteen käsittelyissä ja fraktioissa. Biosaatavien fraktioiden karakterisointiin käytettiin passiivikeräimiä, ja passiivikeräinuutteilla tehtiin toksisuustestejä. TCS- ja PAH-pitoisuudet eivät laskeneet lietteen mädätyksessä, mutta pitoisuus pieneni kompostoinnin jälkeen. Myös mTCS-pitoisuus laski kompostoinnin jälkeen. Neljän lääkeaineen pitoisuus oli mädätetyssä lietteessä alhaisempi kuin sekundäärilietteessä, yhden (karbamatsepiini) suurempi.

Verlicchi ja Zambello (2015) tarkastelivat laajasti useiden huolta aiheuttavien yhdisteiden pitoisuuksia primääri-, sekundääri-, seka-, mädätetyssä ja kompostoidussa lietteessä useista sadoista käsittelylaitoksista ympäri maailmaa. Keskimääräinen norfloksasiinipitoisuus anaerobisesta mädätyksestä oli kaksikymmentä kertaa korkeampi ja estrogeenien kymmenen kertaa korkeampi kuin Leino ym. (2025) työssä kootut pohjoismaiset arvot. Vastaavasti eurooppalaisessa katsauksessa antibioottien ja hormonien pitoisuudet mädätetyssä lietteessä olivat paljon korkeammat (Mejias ym. 2021).

Eurooppalainen tutkimus raportoi keskimääräiseksi PFOS-pitoisuudeksi 66,4 µg/kg (maks. 434 µg/kg) (Tavazzi ym. 2012), joka on paljon korkeampi kuin Leino ym. (2025) katsauksessa (keskiarvo alle 10 µg/kg kussakin Pohjoismaassa). Myös diklofenaakkipitoisuus 43,6 µg/kg (Tavazzi ym. 2012) oli korkeampi kuin Leino ym. (2025) tutkimuksessa. Myös Itämeren seurannan arvioinnissa (Frank-Kamenetsky ym. 2022) diklofenaakin, norfloksasiinin, ofloksasiinin ja doksisykliinin pitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin Pohjoismaissa (Leino ym. 2025), kun taas oksitetrasykliinin pitoisuus oli yli kymmenen kertaa pienempi.

Huygens ym. (2022) arvioivat yhdyskuntajätevesilietteessä esiintyvien yhdisteiden riskejä ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Tarkasteluun sisällytettiin 1 350 ainetta, joiden ominaisuus- ja pitoisuustiedot koottiin tietokannoista painottaen kokeellista aineistoa QSAR-tietoon nähden. Jos liete-pitoisuuksia ei ollut saatavilla, ne arvioitiin SimpleTreat-mallilla. Arvioinnissa huomioitiin yhdisteiden kertyminen maaperään toistuvien lietalannoitusten seurauksena. Pitoisuuksia maaperän ylimmässä 20 cm kerroksessa arvioitiin 1, 10 ja 100 vuoden aikajäniteillä olettaen levitysmääräksi 5 t ka/ha vuodessa. Näitä pitoisuuksia verrattiin haitattomiksi arvioituihin tasoihin; ylityksen katsottiin merkitsevän riskiä. Maaperäeliöihin kohdistuvaa ekotoksisuustietoa ei juuri ole, joten haitattomat tasot johdettiin vesieliöillä tuotetusta aineistosta tasapainojakautumismenetelmällä.

Riskiä aiheuttavista yhdisteistä priorisoitiin tietyt ryhmät huomioiden mm. pysyvyys maaperässä ja biologisessa käsittelyssä (Taulukko 4). Lisäksi tunnistettiin useita lääkeaineita (esim. dipyridamoli, telmisartaani, kandesartaani, ofloksasiini, siprofloksasiini, fiproniili), mutta niitä ei priorisoitu, koska niiden todettiin hajoavan ympäristössä verrattain nopeasti.

Taulukko 4. Huygensin ym. (2022) priorisoimat lietteessä esiintyvät riskiä aiheuttavat yhdisteet.

Yhdiste	Riski ihmisterveydelle	Riski maaperälle
Alkyyliifenolit ¹⁾	x	x
Ftalaatit	x	
Kvaternaariset ammoniumyhdisteet ²⁾		x
Laurylidietanoliamidi		x
Lyhyt- ja pitkäketjuiset klooriparafiinit (SCCP/MCCP)	x	x
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH)	x	x
Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit (PCDD/F) ja dioksiininkaltaiset polyklooratut bifenyylit (dl-PCB)	x	x
Pitkäketjuiset PFAS-yhdisteet	x	x

Polyklooratut naftaleenit (PCN)	x	
Traseolidi		x

- 1) 4-oktyylifenoli ja 4-nonyylifenoli
- 2) Bentsalkoniumkloridi ja sen hajoamistuotteet

Lietteeseen pidätyvien haitallisten aineiden aiheuttamiin riskeihin on havahduttu ja lisätutkimustarpeita nostettu esiin kirjallisuudessa jo pitkään. Siitä huolimatta useimmissa maissa uusien huolta aiheuttavien haitallisten aineiden esiintymistiedot yhdyskuntajätevesilietteestä ovat hyvin rajallisia näytteenotto- ja analyysimenetelmien haasteidenvuoksi (Jelic ym. 2011, Wiechmann ym. 2013, Marx ym. 2015, Egle ym. 2023, Leino ym. 2025). Tällaisia ongelmia ovat mm. luotettavan analytiikan saatavuus vain rajalliselle yhdistejoukolle, analytiikan kalleus ja määritysvelvoitteiden puuttuminen. Toisaalta lietteen haitta-ainekuorma heijastaa aina yhteiskunnan kulloisenakin hetkenä käyttämiä kemikaaleja. Haitallisiksi tunnistettujen aineiden korvaajia tutkitaan kuitenkin tyypillisesti vähemmän, vaikka niiden käyttömäärät saattavat olla suuria.

Yhdyskuntajätevesiliete on heterogeeninen matriisi, jonka koostumus ei ole luotettavasti karakterisoidavissa ajallisesti eikä alueellisesti. Tämän takia relevanttien haitta-aineiden tunnistaminen on vaikeaa. Riittämätön tieto asettaa merkittäviä haasteita arvioitaessa terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia riskejä (Clarke & Smith 2011, Martín ym. 2012, Bondarczuk ym. 2016, Fijalkowski ym. 2017, Vieno ym. 2018, Mejias ym. 2021, Ahkola ym. 2024). Parhaimmillaankin tutkittavat epäpuhtaudet valitaan suuresta määrästä mahdollisia ehdokkaita. Itse asiassa vain murto-osa kaikista lietteestä löydettyistä huolta aiheuttavista haitallisista aineista tunnistetaan tai niitä seurataan (Wiechmann ym. 2013, Venegas ym. 2021). Esimerkiksi Eriksson ym. (2008) tunnistivat lietteen sisältämästä 192 aineesta/yhdisteestä vaarattomaksi vain 24 kpl ja vaaralliseksi 99 kpl, kun 63 jäi luokittelematta tiedon puutteen vuoksi.

Koska yhdyskuntajätevesiliete ei muodostu teollisesta tai muunlaisesta hallitusta prosessista, jossa prosessin syötteet olisivat selvärajaisesti tunnistettavissa, ei materiaalin sisältämiä haitallisia aineita voida tunnistaa yleisellä tasolla kattavasti. Lietteiden ympäristöriskien arviointi edellyttäisi relevanttien kemiallisten muuttujien riittävän kattavaa tunnistamista, altistusketjujen hahmottelemista suunnitelluille hyötykäyttökohteille ja kattavaa tietoa yhdisteiden esiintymisestä lietteessä sekä niiden käyttäytymisestä ja vaikutuksista ympäristössä. Toisaalta tarvittaisiin myös entistä enemmän tietoa haitallisten aineiden käyttäytymisestä erilaisissa käsittelyprosesseissa.

Yhdyskuntajätevesilietteiden on tunnistettu sisältävän monia yhdisteitä kyllin korkeina pitoisuuksina aiheuttamaan riskiä materiaalin hyötykäytössä (ks. Taulukko 16, Äystö ym. 2022). Epäpuhtauksien pitoisuuksien vaihtelu lietematriisien välillä voi olla kertaluokkaa suurempi (Verlicchi ja Zambello 2015). Näin ollen merkittäviä eroja tutkimusten, jätevedenpuhdistamoiden, näytteenottoaikojen ja maiden välillä havaitaan usein (Stasinakis 2012). Lisäksi lietteiden haitallisten aineiden pitoisuudet korreloivat useiden muuttujien kanssa, kuten kuluttajien käyttäytymisen, teollisuusalueiden läsnäolon, maankäytön ja ympäristöolosuhteiden kanssa, jotka osittain selittävät vaihtelua tutkimusten välillä. Lisätietoa tarvitaan esimerkiksi sen selvittämiseksi, näkykö vanhojen palonestoaineiden korvaaminen lietteiden pitoisuuksissa (Leino ym. 2025). Korvaavien palonestoaineiden (esim. tris(klooripropyli)fosfaatti (TCPP) ja tetrabromibisfenoli A (TBBPA)) lisäksi mm. UV-suojain-aineita, kvaternaarisia ammoniumyhdisteitä ja klooriheksidiiniä ei ole säännöllisesti seurattu lietteessä, ja pitoisuustietojen puutetta voidaan pitää tutkimustarpeena (Olofsson ym. 2012).

Äystön ym. (2022) raportissa on koottu tarkasti haitallisten aineiden pitoisuustasoja sekä maailmalta että kotimaasta. Kyseisessä raportissa on koottuna myös riskiperusteisia ohjeistoja erilaisille haitallisille aineille. Kaikkia 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.

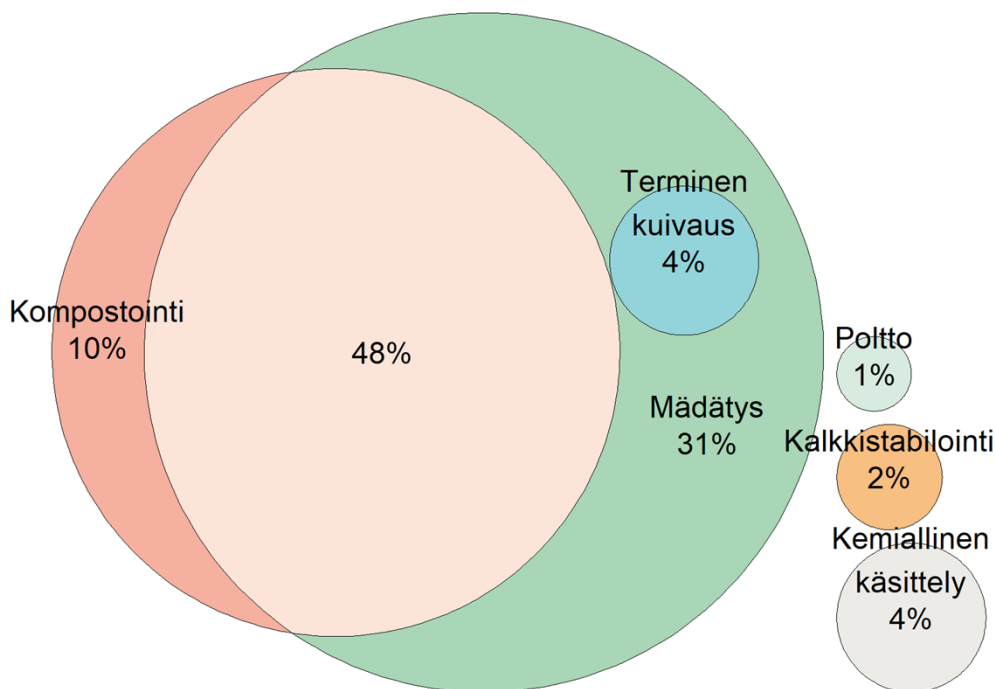
Jätevesilietteilte voi olla monenlaista muuta hyötykäyttöä kuin suora lannoitekäyttö. Lietteestä voidaan mahdollisesti ottaa talteen esim. ravinteet, metallit sekä hiili. Esimerkiksi Malk ja Junninen (2023) raportin pilottitutkimus koostui uuden lietteenkäsittelymenetelmän kehittämisestä, ravinteiden, epäorgaanisten komponenttien ja orgaanisen jakeen tehokkaasta erottamisesta ja hiilen jalostamisesta korkean jalostusasteen tuotteiksi akkuihin, vedenkäsittelyyn ja 3D-tulostukseen. Fosforin, raudan ja alumiinin talteenotossa onnistuttiin ja hiilijakeesta valmistettiin korkealaatuista hiilimateriaalia, joka osoitti lupaavia ominaisuuksia sekä elektrodi- että adsorptiosovelluksissa. Saadut tulokset osoittivat jätevesilietteestä valmistetun hiilen soveltuvan hyvin elektrodeiksi energian varastointijärjestelmiin. Lisäksi lietteestä valmistetulla aktiivihiehellä tehtiin adsorptiokokeita. Kokeet osoittivat, että hiehellä oli erinomainen adsorptiokyky lääkeaineille ja joillekin metalleille, joten sillä on lupaavia sovelluskohteita myös esimerkiksi jäte- ja hulevesien käsittelyssä. Riskinä on kuitenkin mm. ravinteiden ja joidenkin haitta-aineiden liukeneminen veteen. Talteenottoteknologioiden kehittäminen ja kaupallistaminen vaativat kuitenkin pitkäjänteistä tutkimus- ja kehitystyötä ja kiertotaloutta tukevaa lainsäädäntöä sekä ohjauskeinoja, jolloin talteenotosta ja kierrätystuotteista saadaan tulevaisuudessa taloudellisesti kannattavia täyden mittakaavan prosesseja.

Mikrobivaarat ovat myös keskeinen riskitekijä tämän jätevirran uudelleenkäytölle. Lisäksi lietteet voivat olla antibioottiresistenssigeenien (ARG) lähde. Vaikka lietteiden ARG-pitoisuuksien uskotaan olevan pienempiä kuin lannan, kumman tahansa jätevirran käyttö voi nostaa ARG-pitoisuuksia taustatason yläpuolelle materiaalin levityksen jälkeen (Hamilton ym. 2020). Viruksen tartuntapatogeenit näyttävät olevan pysyviä lietteessä. Lietteessä havaitaan yleisesti adeno-, entero- ja norovirusia (Hamilton ym. 2020, Tozzoli ym. 2017).

Lietteen hyödyntäminen erityisesti lannoitteena maataloudessa on kiistanalainen kysymys, johon liittyy useita risteäviä intressejä. Siinä missä maanviljelijöiden intresseissä on toisaalta minimoida tuotantokustannukset ja toisaalta varmistaa viljelyalueidensa hedelmällisyys myös tulevina vuosikymmeninä, jätevedenpuhdistamoiden intresseissä on järjestää lietteen jätehuolto kustannustehokkaasti. Elintarviketeollisuus puolestaan pyrkii tuottamaan turvallisia ja kohtuuhintaisia tuotteita, jotka ovat myös imagoltaan tahrattomia. Eri toimijat suhtautuvat ja pyrkivät hallitsemaan lietteen hyödyntämiseen liittyviä riskejä eri tavoin.

Fosfori on kriittinen raaka-aine, joten fosforin talteenotto yhdyskuntajätevesistä tai -lietteestä olisi hyödyllistä. EU:n nykyinen sääntely keskittyy "vanhoihin" epäpuhtauksiin, nimittäin raskasmetalleihin EU (86/278/ETY). Vain harvat orgaaniset haitalliset aineet ovat joissakin jäsenmaissa kansallisesti säänneltyjä (Collivignarelli ym. 2019, Gianico ym. 2021). Mikäli lietettä hyödynnetään, olisi tärkeää täyttää olemassa olevat tietopuutteet ja saada parempi käsitys orgaanisten epäpuhtauksien esiintymisestä lietteessä.

Tavanomaisimmat yhdyskuntajätevesilietteen käsittelymenetelmät Suomessa ovat mädätys ja kompostointi sekä niiden yhdistelmä. Vuonna 2023 muodostuneesta lietteestä 48 % käsiteltiin mädättämällä (ks. kappale 3.7.3) ja kompostoimalla (ks. kappale 3.7.4). Vastaavasti 31 % käsiteltiin pelkällä mädätyksellä ja 10 % pelkällä kompostoinnilla. **Error! Reference source not found.**3 on esitetty Vilpasen & Seppälän (2025) raportoima yhdyskuntalietteen suhteellinen jakautuminen eri käsittelymenetelmien välillä.



Kuva 3. Muodostuvan yhdyskuntalietteen suhteellinen jakautuminen eri käsittelymenetelmien välillä Suomessa vuonna 2023 (aineisto: Vilpanen & Seppälä 2025). Pallojen pinta-ala kuvaa käsittelyn osuutta kokonaisuudesta ja pallojen leikkaukset kuvaavat käsittelyjen yhdistelmiä.

Biologiset käsittelymenetelmät (kompostointi ja mädätys) hajottavat ensisijaisesti lietteen biohajoavia komponentteja. Näitä ovat esimerkiksi orgaaninen aines. Biohajoamaton aines kuten partikkelimaiset epäpuhtaudet (lasi, muovi), raskasmetallit ja biohajoamattomat orgaaniset haitta-aineet voivat konsentroitua lietteen biologisessa käsittelyssä (ks. kappaleet 3.7.3 ja 3.7.4). Kalkkistabilointi ja kemiallinen käsittely puolestaan tavoittelevat lietteen hygienisointia. Ne voivat haitata myös orgaanisten yhdisteiden mikrobiologista hajoamista.

Lietteen sisältämien haitallisten aineiden poistamisessa termisten käsittelytapojen, kuten pyrolyysin (ks. kappale 3.4.3), on osoitettu olevan biologisia käsittelytapoja tehokkaampia. Leino ym. (2025) koostivat kirjallisuudessa raportoituja poistumaprosentteja mädätykselle, kompostoinnille ja pyrolyysikäsittelylle. Pyrolyysikäsittelyssä tarkasteltujen yhdisteiden poistumat vaihtelivat pääsääntöisesti välillä 80–100 %.

Myös Salva ym. (2025) totesivat omassa katsauksessaan termiset käsittelyt lupaavimmiksi käsittelytavoiksi lietteille. He katsoivat haitallisten aineiden poistotehokkuuden olevan avaintekijä käsittelytekniikan valinnassa. Tällä perusteella lietteen poltto, pyrolyysi ja kaasutus katsottiin parhaiksi käsittelytavoiksi. Suomessa lietteen termisen käsittely on vielä harvinaista. Rovaniemellä toimii ainoa lietteen erillispolttolaitos. Luke ja HSY ovat testanneet pyrolyysiä lietteenkäsittelymenetelmänä hankeluonteisesti (Sarvi ym. 2023). Täyden mittakaavan laitoksia lietteen pyrolysoinnille ei ole vielä käytössä.

Yhdyskuntajätevesiliete kuuluu aina ainesosaluokkaan 10 (käsitelty jätevesiliete), eli näin ollen sellaiset mädätteet tai kompostit, jotka sisältävät yhdyskuntajätevesilietettä, kuuluvat suoraan ainesosaluokkaan 10.

3.7.2 Biokaasulaitosten mädätysjäännökset

Biohajoavaa jätettä tai erilaisia sivuvirtoja (kuten biojätettä, elintarviketeollisuuden jätteitä, puutarha- ja puistojätteitä, kalanviljelylaitosten lietteitä, tuotantoeläinten lantaa ja yhdyskuntajätevesilietettä) voidaan hajottaa mikrobiologisesti kontrolloidussa prosessissa ilman happea. Biologiset käsittelymenetelmät hajottavat ensisijaisesti syötteiden orgaanista ainesta. Biohajoamaton aines kuten partikkelimaiset epäpuhtaudet (lasi, muovi), raskasmetallit ja biohajoamattomat orgaaniset haitta-aineet voivat konsentroitua biologisessa käsittelyssä syntyviin lopputuotteisiin. Yleensä useita viikkoja kestävä prosessi

ajetaan ilmatiiviissä reaktorissa ja siinä tuotetaan metaanirikasta (45–80 %) biokaasua. Biokaasu poltetaan sähkön ja/tai lämmön tuottamiseksi laitoksella, jalostetaan biokaasulla kulkevien ajoneuvojen polttoaineeksi tai toimitetaan metaanijalosteena kaasuverkostoa pitkin asiakkaille polttoaineena käytettäväksi. Osa energiasta voidaan käyttää mädätysprosessin lämmittämiseen ja sen pitämiseen vaaditussa lämpötilassa (tyypillisesti 30–40 °C). Lannoitevalmisteiden ainesosaluokka 4 (mädäte) ei kuitenkaan saa sisältää yhdyskuntajätevesilietettä.

Prosessissa syntyy biokaasun ohella lietteen kaltaista ja ravinnerikasta (tyypeä ja fosforia sisältävää) mädätysjäännöstä. Prosessista riippuen mädätysjäännös voi olla erittäin nestepitoista tai kiinteämpää materiaalia. Pääasiassa prosessissa, mädätysjäännöksen kuivaamisessa, muodostuva neste kierrätetään takaisin, mutta ylimääräinen neste voidaan myös erotella ja käyttää lannoitteena. Mädätysjäännöksen kuiva- ja nestejäte voidaan erotella erilaisilla tekniikoilla, jolloin saadaan typpipitoista nestejätettä eli ns. rejektivettä sekä fosforipitoista, helpommin kuljetettavaa kuivajätettä. Mädätysjäännös sisältää orgaanista ainesta, joka parantaa maaperän rakennetta monin eri tavoin. Nestejätettä voidaan edelleen konsentroida, jolloin sen ravinnepitoisuudet saadaan korkeammiksi. Kuivajäte voidaan valmistaa rakeistettuja lannoitevalmisteita. Mädätysjäännöstä käytetään lannoitevalmisteiden raaka-aineena sellaisenaan tai sitä voidaan edelleen kompostoida aerobisesti. Tässä luvussa kuvataan biokaasulaitosten prosessissa syntyvien jätteiden ominaisuuksia sekä arvioidaan mädätysjäännösten jätteeksi luokittelun päättymisen edellytyksiä.

Biokaasun saanto riippuu syötemateriaalista ja esimerkiksi viherjätteiden kaasuntuotantopotentiaali voi olla alhainen. Erityisesti lannan käsittelyssä anaerobinen mädätys tarjoaa merkittäviä etuja. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi mädätteen käyttöön lannoitteena käsittelemättömän lannan sijasta liittyy merkittäviä ympäristöhyötyjä kuten hajujen väheneminen, eläinturvallisuuden paraneminen, kasvien patogeenien ja rikkakasvien siementen väheneminen. Eläinten lannasta peräisin olevan mädätteen ominaisuudet vaihtelevat erilaisten syötteiden (sika, lehmä, siipikarja jne.) mukaan. Esimerkiksi siipikarjan kuivikkeen ja nautaeläinten lannan biohajoavuus on heikompi sian lantaan verrattuna, koska ne sisältävät suuremman osuuden kasviperäisiä ligniinipitoisia yhdisteitä (viljan oljesta ja sahanpurusta) (Locoli ym. 2019). Mikäli lehmän ruokavalio on monipuolisempaa kuin pelkkä ruoho (esim. maissi, soijapavut), syntyvä mädäte johtaa ravitsevampaan lannoitteeseen (Mendonça Costa ym. 2016).

Mikrobilääkejäämien pitoisuudet biokaasulaitosten syötteissä ja mädätteissä vaihtelevat merkittävästi käytetyistä syötteistä riippuen, aina nanogrammoista mikrogrammoin kg:ssa tai ml:ssa. Lääkeaineiden poiston tehokkuus määräytyy lääkkeen kemiallisen rakenteen ohella prosessiolosuhteiden ja käsitellyn syötteen mukaan ja sen on arvioitu olevan 7–98 % tetrasykliinien, 36–95 % makrolidi- ja linkosamidi-antibioottien ja 20–83 % fluorikinolonien osalta. Tiedetyt antibiootit päätyvät myös mädätteisiin, mikä voi johtaa näiden kertymiseen ympäristöön, kun mädättepohjaisia maanparannusaineita levitetään maaperään. Mädätettä käytetään maanparannusaineena kestävä biokaasun tuotannon ja kiertotalouden edistämiseksi, minkä vuoksi antibioottien kohtaloa mädätysprosessissa tulisi selvittää tarkemmin. Mädätysprosessi vähentää mikrobikuormitusta ja tiettyjä lääkeaineita prosessoiduissa syötteissä, mutta se ei ole tehokas poistamaan erittäin stabiileja haitta-aineita, kuten tiettyjä orgaanisia yhdisteitä tai metalleja. (Czatkowska ym. 2025)

Mädäte saattaa sisältää lääkeaineiden ohella erilaisia metalleja (Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu ja Cr), pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP) ja torjunta-aineita, tahattomia teollisissa prosesseissa muodostuvia yhdisteitä kuten PCDD/F, PAH ja muoveissa käytettyjä pehmittimiä (esim. ftalaatit), jotka päätyvät niihin erilaisten syötemateriaalien mukana (Shargil ym. 2015). Mikäli syötteenä käytetään yhdyskuntalietettä, mädätteisiin voi päätyä myös erilaisia palonestoaineita (bromattuja, fosforoituja tai kloorattuja), PFAS-yhdisteitä, hygieniatuotteiden kemikaaleja, lääkeaineiden jäämiä sekä PCB-yhdisteitä (Lamolinara ym. 2022). Tiedot orgaanisista haitta-aineista ja muista pysyvistä yhdisteistä ovat niukkoja ja vaihtelevia johtuen raaka-aineen koostumuksen heterogeenisyydestä ja itse mädätysprosessien eroista.

Vaikka tietyt metallit, kuten kupari (Cu) ja sinkki (Zn), ovat välttämättömiä useiden organismien kasvuun, näiden alkuaineiden suuret pitoisuudet voivat olla myrkyllisiä (Czatkowska ym. 2025). Metallipitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri syötteissä sekä mädätteissä. Esimerkiksi jätevesiliete sisältää useita

raskasmetalleja, mutta tutkimusten (ks. luku 3.7.1) mukaan niiden määrät jäävät yleensä alle raja-arvojen muiden aineiden kuin kuparin ja sinkin osalta. Vihreän jätteen tai biojätteen raaka-aineiden alkuperä on merkityksellinen, koska metallien ilmalaskeuma on suurempi kaupunkiympäristössä kuin maaseudulla.

Suominen ym. (2014) tutkivat kotimaisen biokaasutuotannon rejektien sisältämiä haitta-aineita. Kymmenen suomalaisen biokaasutuotantolinjan lopputuotteista (mädäte, mädätteen kiinteä jae, mädätteen nestemäinen jae) analysoitiin kymmenen vaarallista orgaanista yhdistettä tai yhdisteryhmää: PCDD/F, PCB, PAH, di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP), PFAS, LAS, nonyyliifenolit ja nonyyliifenolietoksyylaattit (NP + NPEO:t), PBDE ja TBBPA. Biokaasulaitosten syötteen jaettiin kuuteen ryhmään: yhdyskuntajätevesiliete, yhdyskuntabiojäte, rasva, elintarviketeollisuuden sivutuotteet, eläinten lanta ja muut (jotka koostuvat jauhatuksen sivutuotteista (kuori) ja vähittäiskaupan eläinperäisistä elintarvikkeista). Lopputuotteissa esiintyneiden haitta-aineiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 5. Syötteiden alkuperän ja mädätteen haitallisten orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien välillä ei ollut selvää yhteyttä. Erittäin pysyviä yhdisteitä, kuten PBDE- ja PFAS-yhdisteitä, saattaa kertyä maatalousmaahan näitä yhdisteitä sisältävien orgaanisten lannoitteiden toistuvan käytön jälkeen (Suominen ym. 2014).

Taulukko 5. Kuiva-ainetta kohden määritetyt haitta-ainepitoisuudet (minimi, maksimi, keskiarvo ja mediaani) eri biokaasulaitosten mädätejäännöksissä (n = näytemäärä) (Suominen ym. 2014)

Haitta-aine	Mädätejäännös	n	min.	maks.	keskiarvo	mediaani	yksikkö
PCDD/F	Mädäte	21	< 5	22,0	3,88	1,49	ng TEQ kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	3	0,008	10,40	4,70	2,04	
	Nestefraktio	2	0,013	0,47	0,24	0,24	
PCB (7)	Mädäte	11	< 50	< 50	< 50	< 50	µg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Nestefraktio	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
PBDE	Mädäte	16	6,4	11300	1780	1040	µg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	9	6,6	2640	1330	1570	
	Nestefraktio	9	6,8	569	187	99	
HBCD	Mädäte	7	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	µg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Nestefraktio	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
TBBPA	Mädäte	7	0,7	62	24,5	8,0	µg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Nestefraktio	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
PAH (16)	Mädäte	20	0,1	20,6	2,1	0,68	mg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	6	0,4	21,9	5,2	1,97	
	Nestefraktio	4	0,1	2,1	0,69	0,30	
PFAS	Mädäte	19	0,97	168	42,3	18,5	µg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	10	1,56	120	27,6	12,5	
	Nestefraktio	9	4,00	282	58,9	23,9	
NP + NPEO	Mädäte	20	< LOQ	54,0	11,2	7,5	mg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	4	2,1	130,0	40,9	13,9	
	Nestefraktio	3	5,4	20,3	14,9	19,0	
DEHP	Mädäte	20	1,0	107	22,9	9,5	mg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	5	1,3	106	43,1	30,0	
	Nestefraktio	4	4,0	7,0	5,4	5,0	
LAS	Mädäte	20	< 100	2000	975	1100	mg kg ⁻¹
	Mädätysjäännös	4	< 100	3400	1420	1140	
	Nestefraktio	2	< 100	400	200	200	

3.7.3 Kompostointilaitosten kompostit

Kompostointi on orgaanisen jätteen aerobista hajottamista, josta syntyy mm. lannoitteiden ja kasvualustoiden raaka-aineeksi tai maanparannusaineeksi soveltuvaa kompostia. Useimmat laitokset, jotka tuottavat kompostia käyttävät syötteinä yhdyskuntajätteen eloperäisiä jätejakeita (erilliskerätty biojäte ja/tai puutarha- ja puisto-jäte), jätevedenpuhdistamolietteitä ja lantaa. Syynä tähän on mm. kompostiin päätyvien epäpuhtauksien, kuten lasin, muovin ja metallien sekä erilaisten orgaanisten haitta-aineiden määrien ja pitoisuuksien pitäminen mahdollisimman alhaisena. Biologiset käsittelymenetelmät hajottavat ensisijaisesti syötteiden orgaanista ainesta. Biohajoamaton aines kuten partikkelimaiset epäpuhtaudet (lasi, muovi), raskasmetallit ja biohajoamattomat orgaaniset haitta-aineet voivat konsentroitua biologisessa käsittelyssä syntyviin lopputuotteisiin. Lainsäädännön näkökulmasta lannoitevalmisteista annetun MMM:n asetuksen (964/2023) ainesosaluokka 3 (komposti) ei saa sisältää yhdyskuntajätevesilietettä, vaan sitä sisältävä komposti kuuluu aina ainesosaluokkaan 10 (käsitelty jätevesiliete). Komposti voi täyttää ainesosana sellaisenaan tuoteluokan 1A orgaaninen lannoite tai 3A orgaaninen maanparannusaine vaatimukset tai sitä voidaan käyttää raaka-aineena esimerkiksi tuoteluokan 4 mukaisessa kasvualustassa.

Ainesosaluokan 3 (komposti) osalta kompostoinnissa on noudatettava lannoitelainsäädännössä säädettyjä lämpötila- ja aikavaatimuksia. Mikäli kompostoidaan eläimistä saatavia sivutuotteita, on käsittely tehtävä EU:n sivutuotelainsäädännön mukaisesti ((EY) 1069/2009 ja (EU) 142/2011). Lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksia koskevassa MMM:n asetuksessa (964/2023) on säädetty rajat tietyille epäpuhtauksille (lasi, metalli ja muovi). Jäteperäisissä lannoitemateriaaleissa voi esiintyä haitallisia aineita, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle. Kompostin raskasmetallipitoisuudet ja myös muiden haitta-aineiden pitoisuudet ovat riippuvaisia syötteen laadusta. Osa haitta-aineista voi rikastua kompostissa (esim. PFAS-yhdisteet, Fjäder 2016), kun taas tietyt haitta-aineet voivat hajota kompostoinnin aikana.

Suomessa kompostointi tapahtuu noin 10 prosentissa laitoksista tunnelikompostoinnissa tai muissa suljetuissa reaktoreissa, joita biojätteen kompostoinnissa edellytetään. Osassa tunnelikompostointilaitoksista käsitellään myös jätevesilietettä tai jätevesilietteen mädätyksessä syntyvää mädätysjäännöstä yhdessä biojätteen kanssa. Eri raaka-aineita voidaan sekoittaa toisiinsa tai käsitellä erikseen niin, että eri raaka-aineet ja niistä tuotetut kompostit eivät sekoitu keskenään. Suomessa yleisin kompostointimenetelmä on aumakompostointi, jota käytetään noin 90 prosentissa kompostointilaitoksista. Ulkoilmassa tapahtuva aumakompostointi on yksinkertaisin tekniikka. Aumakompostointi soveltuu hyvin viherjätteiden käsittelymenetelmäksi, sillä viherjätteet eivät aiheuta kompostoituaessaan hajuhaittaa ympäristöön. Lisäksi jätevesilietettä, lantaa ja biokaasuprosesseissa syntyvää mädätysjäännöstä käsitellään aumakompostoinnilla. Yleensä aumakompostointi toimii ilman ilmastusta ja jätokaasujen keräämistä. Ilmastettujen kompostijärjestelmien tekniikat liittyvät enimmäkseen jätokaasun keräämiseen ja käsittelyyn. Yhdistetyt pesuri- ja biosuodatinjärjestelmät ovat tyypillinen jätokaasun käsittelymuoto.

Erilaisten mekaanisten erottelutekniikoiden tavoitteena on mahdollisimman puhdas komposti, ennen kompostointiprosessia, sen aikana tai sen jälkeen. Syötemateriaalista erotetaan ennen kompostointia suurikokoiset roskat seuloilla tai mekaanisesti. Metallit poistetaan magneettierottimella. Biojätteet sen sijaan murskataan pakkauksineen ja varsinainen epäpuhtauksien, kuten muovin poisto, tehdään vasta kompostoinnin jälkeen seulomalla.

Käytetystä kompostointitekniikasta ja kompostituotteen ”kypsyydestä” riippuen kompostointiprosessin kesto vaihtelee hieman yli viikosta useisiin kuukausiin. Tärkeä osa kompostointia tapahtuu termofiilisten mikro-organismien vaikutuksesta jopa 70 °C:n lämpötilassa ja joskus jopa korkeammassakin lämpötilassa. Jos lämpötiloja ylläpidetään riittävän pitkään, patogeeniset mikro-organismit tuhoutuvat rikkakasvien siementen mukana ja materiaalia voidaan pitää hygieenisesti turvallisena. MMM:n asetuksessa (964/2023) on eritelty tarkasti kompostoinnin lämpötila- ja aikavaatimukset.

Komposteihin voi myös päätyä erilaisia syötemateriaalien sisältämiä haitta-aineita, kuten raskasmetalleja sekä PCDD/F- ja PFAS-yhdisteitä (Costello & Lee 2020). PAH-, PCB- ja PCDD-yhdisteitä esiintyy usein viherjättekompостissa. PCDD-yhdisteitä kertyy ja konsentroituu kompostointiprosessin aikana valmiiseen kompostiin. Kolmirenkaiset PAH-yhdisteet vähenevät, mutta viisi- ja kuusirenkaiset PAH- ja PCB-yhdisteiden määrät kasvavat jopa kaksinkertaiseksi (Brändli ym. 2005). Ranskalaisessa tutkimuksessa useita PFAS-yhdisteitä, jotka kertyvät myös edelleen herkästi kasveihin, löydettiin erilaisista maatalouden käyttöön tarkoitetuista komposteista (Munoz ym. 2021).

3.7.4 Jätteen- ja yhdyskuntajätevesien käsittelyn jätteitä koskevat päätelmät

Mädätteen ja kompostin jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset riippuvat käytettyjen syötteiden ominaisuuksista ja riskipotentiaalista. Näitä edellytyksiä on tarkoituksenmukaisesti tarkastella laitos- tai eräkohtaisesti: Jos mädätysprosessin syötteenä on käytetty pelkästään luvuissa 3.2–3.7 tarkoitettuja ja luokkiin A ja B kuuluvia jätteitä ja niiden jätteeksi luokittelu on päättynyt, voi myös kyseisen mädätteen tai kompostin jätteeksi luokittelu päättyä. Jos taas syötteenä on käytetty lisäksi luokkiin C-D kuuluvia jätteitä, kuten yhdyskuntajätevesilietettä, myöskään mädätteen tai kompostin jätteeksi luokittelu ei voi päättyä.

Luokka A:

Mädäte, jonka syötteenä on käytetty ainoastaan kategoriaan A tai B lukeutuvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelun on päättynyt, tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta

Komposti, jonka syötteenä on käytetty ainoastaan kategoriaan A tai B lukeutuvia jätteitä tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta

Luokka D:

Mädäte, jonka syötteisiin lukeutuu kategoriaan D lukeutuvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelun ei ole päättynyt, tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu ei ole päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta

Komposti, jonka syötteisiin lukeutuu kategoriaan D lukeutuvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelun ei ole päättynyt, tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu ei ole päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta

Yhdyskuntajätevesiliete ei muodostu teollisesta tai vastaavasta hallitusta prosessista, jossa prosessin syötteet ja käytetyt kemikaalit olisivat selvärajaisesti tunnistettavissa, eikä materiaalin sisältämiä haitallisia aineita voida tunnistaa yleisellä tasolla kattavasti. Materiaalin on tunnistettu sisältävän monia yhdisteitä kyllin korkeina pitoisuuksina aiheuttamaan riskiä sen hyötykäytössä. Yhdyskuntajätevesiliete kuuluu tämän vuoksi kategoriaan D.

4 Kehittämis- ja jatkotoimenpide-ehdotukset

4.1 Kansallisen EEJ-asetuksen tai -asetusten valmistelu

Lannoitevalmisteiden EEJ-menettelyn kehittämistä kansallisella tasolla puoltaa, että erilaisten jätesyötteiden kirjo on laaja, jätteitä tuottavia ja käsitteleviä toiminnanharjoittajia on paljon ja arviointiperusteiden, kuten materiaaliepäpuhtauksia koskevien raja-arvojen, tulisi olla yhteneviä erilaisille jätteille.

Tämän selvityksen perusteella kansallisen EEJ-asetuksen valmistelun käynnistäminen on tarkoituksenmukaista luokkaan A kuuluville jätteille (Taulukko 6). Samassa yhteydessä on perusteltua myös määrittellä ne primäärijätteet, joita syötteenä käyttämällä kompostin ja mädätteen jätteeksi luokittelu voi päättyä kansallisella asetuksella. Ensisijaisesti, ellei säädösteknisistä syistä muuta johdu, on tavoiteltavaa pyrkiä yhteen asetukseen, joka sisältäisi kaikki lannoitevalmisteiden valmistuksessa hyödynnetyt jätteet, joiden jätteeksi luokittelun arviointiperusteet halutaan säätää. EEJ-asetuksen soveltamisalaan kuuluvien jätteiden määrittelyn ohella keskeinen ratkaistava kysymys on sallittujen käyttötarkoitusten yksilöinti ja mahdollinen rajaaminen luvussa 5.2. kuvatulla tavalla. Mikäli lannoitevalmisteiden raaka-aineina käytettävien jätteiden jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteita koskevan asetuksen valmistelu käynnistyy, on toiminnanharjoittajien syytä valmistautua toimittamaan ja tarvittaessa tuottamaan lisätietoa valmistelun kohteena olevien jätteiden ominaisuuksista ja laadunvaihtelusta. Asetusvalmistelusta vastaavien on puolestaan määriteltävä selkeät tietotarpeet ja -pyynnöt ja valmistelu on toteutettava vuorovaikutuksessa keskeisten sidosryhmien (mukaan lukien jätteen tuottajat ja käsitelijät ja lannoitevalmisteiden valmistajat) kanssa. Mahdollisen jatkotyön yhteydessä on myös tarkasteltava Ympäristönsuojelulain 32 §:n muutos- tai kumoamistarpeita ja kyseisen pykälän suhdetta jätteeksi luokitteluun ja sen päättymiseen.

Taulukko 6. Jäteperäisten syötteiden soveltuvuus EEJ-menettelyyn. jäte luokitellaan johonkin oheisista luokista: A) jätteelle saattaa olla tarkoituksenmukaista valmistella kansallinen EEJ-asetus, B) jäte soveltuu mädättämön tai kompostointilaitoksen raaka-aineeksi ja jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen saattaa olla tarkoituksenmukaista mädätys- tai kompostointiprosessin jälkeen edellyttäen, että mädätykseen tai kompostointiin ei samanaikaisesti syötetä luokkiin C-E kuuluvia jätteitä, C) jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen on tarkoituksenmukaisinta arvioida tapauskohtaisesti ja D) jätteen jätteeksi luokittelun päättymisen edellytykset vaikuttavat heikoilta, jolloin jätettä voitaisiin jatkossa hyödyntää jätteenä joko ympäristöluvalla tai uudella rekisteröintimenettelyllä

	A	B	C	D
Teollisuuden prosessijätteet	<i>Primääri- liete Sekundääri- liete Kalkkia sisältävät jätteet Teräskuona</i>	<i>Elintarviketeollisuuden ja suurkeittiöiden rasvakaivolietteet; Primääri-, sekundääri- ja tertiääri- lietteet (elintarvike ja rehuteollisuus); Orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä orgaanista ainesta sisältävät suodatusmassat</i>		<i>Siistausliete Viherlipeäsakka Pakkauksineen kerätty biojäte</i>
Alkutuotannon eloperäiset jätteet	<i>Oljet ja korsijätteet Viljelykasvien lehdet, varret, kuoret ja sadonkorjuujätteet Nurmi- ja apilarehujäte Vilja- ja palkokasvien sadon puimissa syntyvät jätteet Kukkien ja koristekasvien jätteet Kasvualustajätteet Kalankasvatuksen lietteet Kalajätteet Lanta</i>			

Termisten prosessien jätteet	Metsäteollisuuden tuhkat pl. C kategorian tuhkat		Soodakattilan tuhkat Jätevesilietteen polton tuhkat Pyrolyysihiili	
Kotitalouksien ja niihin rinnastuvat jätteet		Erilliskerätty biojäte Puutarha- ja puistojätteet		
Muut jätteet	Hiekoitushiekka		Sammutusjauheet Ruoppausmassat	Kuitusedimentit
Jätteen- ja yhdyskuntajätevesien käsittelyn jätteet	Mädäte, jonka syötteenä on käytetty ainoastaan kategoriaan A tai B lukeutuvia jätteitä tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta; Komposti, jonka syötteenä on käytetty ainoastaan kategoriaan A tai B lukeutuvia jätteitä tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta			Mädäte, jonka syötteisiin lukeutuu kategoriaan D lukeutuvia jätteitä tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu ei ole päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta; Komposti, jonka syötteisiin lukeutuu kategoriaan D lukeutuvia jätteitä tai kategoriaan C kuuluvia jätteitä, joiden jätteeksi luokittelu ei ole päättynyt tapauskohtaisen menettelyn kautta; Mädätetty yhdyskuntajätevesiliete; Kompostoitu yhdyskuntajätevesiliete

4.2 Jätteenä hyödyntämisen rekisteröintimenettely

Osalla tässä esiselvityksessä arvioidusta jätteistä ei ole edellytyksiä määrittää sellaisia jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteita, jotka takaisivat, ettei käytöstä lannoitevalmisteena aiheudu haittaa ympäristölle. Näille jätteiden hyödyntämiseksi yksi vaihtoehtoinen lähestymistapa rekisteröintimenettely. Seuraavassa eritellään tällaisen menettelyn hyötyjä ja haittoja.

Rekisteröintimenettelyn tarkoituksena on korvata ympäristölupa, joka muutoin vaadittaisiin jätteen (ammattimaiseen) hyödyntämiseen. Tämänhetkisessä lainsäädännössä eräiden jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa tapahtuu rekisteröintimenettelyn kautta. Menettelyn avulla voidaan rajata sen soveltamisalaan kuuluvat jätteet, asettaa vaatimukset niiden laadulle ja laadunvarmistukselle, rajoittaa käyttökohteita ja määrittellä rakenteet, joihin jätteitä saa hyödyntää. Keskeinen lisätavoite on, että paikkatieto rakenteiden sijainnista talletetaan maaperän tilan tietojärjestelmään yhdessä jätteen ominaisuustietojen kanssa. Tämän avulla pyritään varmistamaan, että jäte voidaan joko hyödyntää vastaavalla tavalla uudelleen tai toimittaa asianmukaiseen käsittelyyn hyödyntäen alkuperäisellä hyödyntämishetkellä tuotettua tietoa jätteestä, sen alkuperästä ja ominaisuuksista mukaan lukien haitallisten aineiden ja materiaaliepäpuhtauksien pitoisuudet.

Mikäli jätteeksi luokiteltua lannoitevalmistetta hyödynnettäisiin vastaavalla rekisteröintimenettelyllä, saavutettaisiin seuraavia hyötyjä:

1) tieto käyttökohteista tallentuisi tietojärjestelmään. Tällä tavoin vastattaisiin EU-lainsäädännön vaatimukseen dokumentoida yhdyskuntajätevesilietteen käyttökohteet.

2) nykymuotoinen harmaalla alueella toimiminen selkeytyisi. Lannoitevalmiste, jonka jätteeksi luokittelu ei ole päättynyt, erottuisi lannoitevalmistemarkkinoilla jätteenä.

Rekisteröintimenettelyn hyödyntämiseen liittyy myös useita haittoja tai epätarkoituksenmukaisuuksia:

- 1) lannoitevalmisteita ei voida poistaa kohteista, joihin niitä on sijoitettu. Tässä mielessä rekisteröintimenettely ei siis toimisi vastaavalla tavalla kuin MARA-asetus.
- 2) rekisteröintimenettely on käytännössä toteuttamiskelvoton lannoitevalmisteille, joiden käyttäjät ovat yksityishenkilöitä ja joita käytetään yksityispihoilla. Menettely soveltuu hyödyntämiseen, joka on kohteiden ja siten rekisteröinti-ilmoitusten määrällä mitattuna suhteellisen vähäistä eli menettely ei vaadi mittavia viranomaisresursseja.
- 3) jätteenä hyödynnettävän lannoitevalmisteen käyttäjästä tulee jätteen haltija. Yhdessä edellisten kohtien 1 ja 2 kanssa olisi hankalasti ymmärrettävissä, mitä jätteen haltijuus merkitsisi tilanteessa, jossa vaikkapa kasvualustaa tai lannoitetta on levitetty kiinteistölle.
- 4) menettelyyn olisi vaikeasti yhteensovittavissa käyttökohteiden ulosrajaaminen, kuten kyseisten lannoitevalmisteiden käyttökielto pohjavesialueilla (vrt. MARA-asetus). On kuitenkin syytä huomata, että jo tällä hetkellä kyseisiä lannoitevalmisteita käytetään myös pohjavesialueilla.
- 5) rekisteröintimenettely lisäisi hyödyntäjien hallinnollista taakkaa ja saattaisi aiheuttaa kysynnän äkillisen ja ennalta vaikeasti arvioitavan vähenemisen. Tilanne on ongelmallinen, kun vaihtoehtoisia käsittely- ja loppusijoitusreittejä on vähän, jos lainkaan.

Jätteenä hyödynnettävien lannoitevalmisteiden sallittujen käyttötarkoitusten rajaaminen on yksi mahdollinen keino rajata hyödyntämisestä aiheutuvia riskejä ja mahdolliseen rekisteröintimenettelyyn liittyviä, edellä kohdissa 1-5 kuvattuja ongelmia. Sallittu käyttötarkoitus voitaisiin rajata lannoitevalmisteisiin, joita saa tarjota ainoastaan kuntien viherrakentamisessa käytettäväksi. Tarjoaminen yksityisille (kotitaloudet) ja maatalouteen rajattaisiin tällöin sallittujen käyttötarkoitusten ulkopuolelle.

4.3 Jäte- ja lannoitelainsäädännön rajapinnat

Tämä muistio on laadittu ensisijaisesti jätelain soveltamisen näkökulmasta ja työn keskeisin tavoite oli arvioida lannoitelainsäädännön tarkoittamien ainesosien jätteeksi luokittelun päättymisen edellytyksiä. Tehty tarkastelu antaa myös viitteitä jäte- ja lannoitelainsäädännön välisten rajapintojen epäjatkuvuuskohdista, joita analysoidaan tarkemmin seuraavaksi. On myös huomioitava, että kansallisen EEJ-säätelyn laatiminen jäteperäisten syötemateriaalien lannoituskäytön näkökulmasta vaatii samanaikaisesti nykyisen lannoiteasetuksen muutosta.

EEJ-menettelyn lähtökohtana on jäte, joka hyödyntämistoimen läpikäytyään ja EEJ-arviointiperusteet täytettyään voidaan saattaa markkinoille tuotteena. Jätteeksi luokittelun päättymisen yhtenä arviointiperusteena on soveltuvuus aiottuun käyttötarkoitukseen eli tässä tapauksessa lannoitevalmisteeksi tai lannoitevalmisteen ainesosaksi. EEJ-menettelyn läpikäyneelle jätteelle tulee voida nimetä vastine lannoitevalmistelainsäädännössä. MMM:n lannoitevalmisteista säädetyn asetuksen mukaisesti jätteet, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt jätelain 5 b §:n mukaisesti, kuuluvat ainesosaluokkaan 7. Kyseiseen ainesosaluokkaan kuuluvat ainesosat voivat täyttää lannoitevalmisteiden tuoteluokkakohtaiset vaatimukset sellaisenaan tai ainesosia voidaan käyttää raaka-aineena lannoitevalmisteiden valmistuksessa. Esimerkiksi betonimurske, jonka jätteeksi luokittelu on päättynyt Vna 466/2022 nojalla, on ainesosaluokassa 7 (jäteperäiset ainesosat, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt). Betonimursketta voidaan käyttää sellaisenaan lannoitevalmisteena sen täyttyessä esimerkiksi kalkitusaineita koskevat tuoteluokkakohtaiset vaatimukset. Lisäksi betonimurske voi olla valmistettavassa lannoitevalmisteessa yhtenä ainesosana eli raaka-aineena.

Jäte- ja lannoitelainsäädännön epäjatkuvuuskohtia syntyy etenkin niiden jätteiden kohdalla, joita ei käytetä

sellaisenaan tai yksinomaisten lannoitevalmisteen raaka-aineena vaan, jotka vaativat käsittelyn, kuten kompostoinnin tai mädätyksen. Tässä muistiossa nämä jätteet on luokiteltu kategoriaan B. Esimerkiksi erilliskerätyt biojätteet luokitellaan kategoriaan B, mutta tälle syntyvä jätteelle ei ole soveltuvaa ainesosaluokkaa nykyisessä ainesosaluokituksessa. Ruokaviraston ylläpitämässä ainesosaluettelossa erilliskerätty biojäte on luokiteltu ainesosaluokkaan 3 (komposti) ja 4 (mädäte), mutta tällöin tosiasiallisesti tarkoitetaan kompostia tai mädätettä, joka on syntynyt, kun erilliskerättyä biojätettä on kompostoitu tai mädätetty yksin tai yhdessä muiden syötteiden kanssa. Elintarviketeollisuuden ja muut vastaavat rasvakaivolietteet luokitellaan ainesosaluokkiin 3 (komposti) ja 4 (mädäte) ja tässä tarkastelussa myös rasvakaivolietteet luokitellaan kategoriaan B.

Jäte- ja lannoitelainsäädännön rajapintojen toimivuuden parantamiseksi olisi välttämätöntä systematisoida ainesosaluokitus siten, että se tunnistaa ja erottelee erillisenä materiaalina hyödynnettävät ainesosat (esimerkiksi metsäteollisuuden primääriete, sisältyy kategoriaan A tämän muistion luokittelussa), käsittelyä vaativat syöteainesosat (esimerkiksi rasvakaivoliete, sisältyy kategoriaan B) ja käsittelystä saatavat ainesosat (esimerkiksi kiinteä mädätysjännös; sisältyy kategoriaan A, jos käsittelyn syötteenä on käytetty pelkästään kategorioihin A ja B kuuluvia jätteitä). On mahdollista, että yhdellä laitoksella syntyvä primääriete vaatii käsittelyä (esimerkiksi kompostointi) tai seostamista muiden ainesosien kanssa. Tämän tyyppisiin yksityiskohtiin liittyvät seikat tulisi ratkaista, mutta ne eivät sinällään estäne edellä esitettyä rajapintojen toimivuuden selkeyttämistä.

Toinen ydinkysymys on jätteeksi luokiteltujen materiaalien sääntely joko osana lannoitevalmistelainsäädäntöä tai jätelainsäädäntöä. Nykytilanteessa jäte-tuote -rajapinta on epäselvä ja lannoitevalmisteet, joiden jätteeksi luokittelu ei tosiasiallisesti ole päättynyt, eivät kuitenkaan yleensä liiku markkinoilla jätteenä vaan ei-jätteenä. Tilanne, jossa lannoitelainsäädäntö ei käytännön tasolla erottelisi jätteenä ja ei-jätteenä markkinoille saatettuja lannoitevalmisteita, on ongelmallinen. Ensinnäkin EEJ-menettelyn läpikäyminen tai läpikäymättömyys ei vaikuttaisi käytännön tasolla. Markkinoilla olisi rinnan sekä EEJ-arviointiperusteet täyttäviä ja EEJ-menettelyn läpikäyneitä lannoitevalmisteita että samankaltaisia lannoitevalmisteita, jotka eivät kuitenkaan täyttäisi ympäristöhaitattomuuden mukaista EEJ-arviointiperustetta. Jäisi lannoitevalmisteen hankkijan arvioitavaksi, onko esimerkiksi markkinoille tarjottu kasvualusta tuote vai jäte. Kuvatun kaltainen tilanne olisi omiaan asettamaan EEJ-arviointiperusteet täyttävät lannoitevalmisteet heikompaan kilpailuasemaan markkinoilla, sillä EEJ-menettelyyn liittyvät laadunvarmistuskustannukset rasittaisivat täysimääräisesti vain ensin mainittuja valmisteita.

Vaihtoehtoinen ratkaisu on, että lannoitevalmistelainsäädännön piiriin kuuluvat ainoastaan ne ainesosat, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt. Betonijätteestä valmistetun murskeen osalta tilanne vastaa pitkälti tätä: betonimurske kuuluu ainesosaluokitukseen vain siinä tapauksessa, että sen jätteeksi luokittelu on päättynyt VNa:n 466/2022 nojalla. Jätteeksi luokiteltujen materiaalien käyttö tapahtuisi tällöin ainoastaan jätelain nojalla (esimerkiksi rekisteröintimenettely, ks. kappale 4.2).

Viitteet

- Abida, K., Boudabbous, K., Ben Ayed, L., Barbouchi, M., Bachwell, S. & Benzina, N. K. 2023. Industrial deinking paper sludge waste: toxicity risk and health effects assessment of heavy metals by USEtox model. *GSC Advanced Research and Reviews*, 2023, 15(01): 115–123.
- Abukari, A., Kaba, J. S., Dawoe, E., & Abunyewa, A. A. 2022. A comprehensive review of the effects of biochar on soil physicochemical properties and crop productivity. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 4(4): 343-359.
- Ahkola, H., Lindholm-Lehto, P., Perkola, N., Väitalo, P., Meriläinen, P., Mäenpää, K., ... & Leppänen, M. T. 2021. A preliminary study on the ecotoxic potency of wastewater treatment plant sludge combining passive sampling and bioassays. *Science of the Total Environment*, 758, 143700.
- Ahkola, H., Äystö, L., Sikanen, T., Riikonen, S., Pihlaja, T., & Kauppi, S. 2024. Current uncertainties and challenges of publicly available pharmaceutical environmental risk assessment data. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 106769.
- Ahmad, J., Patuzzi, F., Rashid, U., Shahabz, M., Ngamcharussrivichai, C., Baratieri, M., 2020. Exploring untapped effect of process conditions on biochar characteristics and applications. *Environ. Technol. Innov.* 21, 101310.
- Alakangas, E. 2005. Properties of Wood Fuels Used in Finland-BIOSOUTH-Project; Project Report PRO2/P2030/05; Technical Research Centre of Finland: Jyväskylä, Finland, 2005; p. 90. Available online: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/bio-south_wood_fuel_properties.pdf
- Alakangas, E. 2020. Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13 – päivitys 2020. https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2021/02/PUUPOLTTOAINEIDEN_LAATUOHJE.pdf
- Amalin, D.M., Averion, L., Bihis, D., Legaspi, J.C. & David, E.F. 2015. Effectiveness of Kaolin Clay Particle Film in Managing *Helopeltis collaris* (Hemiptera: Miridae), a Major Pest of Cacao in the Philippines. *Fla. Entomol.* 98, 354–355.
- Alfa, M.I., Adie, D.B., Igboro, S.B., Oranusi, U.S., Dahunsi, S.O., Akali, D.M., 2014. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renew. Energ.* 63, 681–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.049>.
- Anglade, I., Dahl, T.H., Kristensen, B.S.B., Hagemann, A., Malzahn, A.M., Reitan, K.I., 2023. Biochemical composition of *Hediste diversicolor* (OF Muller, 1776) (Annelida: nereidae) reared on different types of aquaculture sludge. *Front. Mar. Sci.* 10, 12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1197052>
- Apler, A., Nyberg, J., Jönsson, K., Hedlund, I., Heinemo, S-Å. & Kjellin, B. 2014. Fiberbanksprojektet - Kartläggning av fiberhaltiga sediment längs Västernorrlands kust. Geological Survey of Sweden, Report no. 2014:16, pp. 178
- Apler, A., Snowball, I., Frogner-Kockum, P. & Josefsson, S. 2019. Distribution and dispersal of metals in contaminated fibrous sediments of industrial origin. *Chemosphere* 215:470–481

- Aronsson, K.A., Ekelund, N.G.A., 2004. Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *J. Environ. Qual.* 33 (5), 1595–1605.
- Bai, S. H., Omidvar, N., Gallart, M., Kämper, W., Tahmasbian, I., Farrar, M. B., Singh, K., Zhou, G., Muqadass, B., Xu, C.-Y., Koech, R., Li, Y., Nguyen, T. T. N. ja van Zwieten, L., 2022. Combined effects of biochar and fertilizer applications on yield: A review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 808, 152073.
- Berendsen, B. J. A., Lahr, J., Nibbeling, C., Jansen, L. J. M., Bongers, I. E. A., Wipfler, E. L., & Van De Schans, M. G. M. (2018). The persistence of a broad range of antibiotics during calve, pig and broiler manure storage. *Chemosphere*, 204, 267-276.
- Bloem, E., Lehmann, L. 2016. Report on contamination of P-rich waste materials with organic xenobiotics. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Available: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- Bolan, S., Hou, D., Wang, L., Hale, L., Egamberdieva, D., Tammeorg, P., Li, R., Wang, B., Xu, J., Wang, T., Sun, H., Padhye, L. P., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B. ja Bolan, N., 2023. The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications. *Science of The Total Environment*, 886, 163968.
- Bondarczuk, K., Markowicz, A., & Piotrowska-Seget, Z. 2016. The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environment international*, 87, 49-55.
- Brambilla, G., Abate, V., Battacone, G., De Filippis, S. P., Esposito, M., Esposito, V., & Miniero, R. 2016. Potential impact on food safety and food security from persistent organic pollutants in top soil improvers on Mediterranean pasture. *Science of the Total Environment*, 543, 581-590.
- Brod, E., Henriksen, T.M., Ornsrud, R., Eggen, T., 2023. Quality of fish sludge as fertilizer to spring cereals: nitrogen effects and environmental pollutants. *Sci. Total Environ.* 875, 9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162541>
- Brtnicky, M., Datta, R., Holatko, J., Bielska, L., Gusiatin, Z.M., Kucerik, J., Hammerschmiedt, T., Danish, S., Radziemska, M. et. al. 2021. A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment, *Sci. Tot. Environ.* 796, 148756, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148756>
- Brunner, I., Zimmermann, S., Zingg, A., Blaser, P., 2004. Wood-ash recycling affects forest soil and tree fine-root chemistry and reverses soil acidification. *Plant and Soil* 267 (1–2), 61–71.
- Brändli, R. C., Bucheli, T. D., Kupper, T., Furrer, R., Stadelmann, F. X., & Tarradellas, J. (2005). Persistent Organic Pollutants in Source-Separated Compost and Its Feedstock Materials—A Review of Field Studies. *Journal of environmental quality*, 34(3), 735-760.
- Buneviciene, K., Drapanauskaite, D., Baltrusaitis, J., Buneviciene, K., Drapanauskaite, D., Mazeika, R., Tilvikiene, V., 2020. Granulated biofuel ash as a sustainable source of plant nutrients. *Waste Management & research*. 39(6):806-817. doi:10.1177/0734242X20948952
- Burketova, L., Trda, L., Ott, P. G., & Valentova, O. (2015). Bio-based resistance inducers for sustainable plant protection against pathogens. *Biotechnology advances*, 33(6), 994-1004.
- Camberato, J.J., Gagnon, B., Angers, D.A., Chantigny, M.H. & Pan, W.L. 2011. Pulp and paper mill by-products as soil amendments and plant nutrient sources. *Can. J. Soil Sci.* 2011, 86, 641–653.

- Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estevez, J., Díaz, L.J., Vecino, K., Rojas, G., Mantilla, L., 2017. Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. *Bioresour. Technol.* 239, 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.035>.
- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S.-C., Ryu, C., Jeon, J.-K., Shin, M.-C. ja Park, Y.-K., 2016. Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 1–15.
- Chaurand, P., Rose, J., Domas, J. & Bottero, J.-Y. 2006. Speciation of Cr and V within BOF steel slag reused in road constructions. *J. Geochem. Explor.* 88, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.006>.
- Chaurand, P., Rose, J., Briois, V., Olivi, L., Hazemann, J.-L., Proux, O., Domas, J. & Bottero, J.-Y., 2007. Environmental impacts of steel slag reused in road construction: a crystallographic and molecular (XANES) approach. *J. Hazard. Mater.* 139, 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.060>.
- Chen, S., Chen, B., Song, D., 2012. Life-cycle energy production and emissions mitigation by comprehensive biogas–digestate utilization. *Bioresour. Technol.* 114, 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.084>.
- Chen, L.C., Wen, C., Wang, W.Y., Liu, T.Y., Liu, E.Z., Liu, H.W., Li, Z.X., 2020. Combustion behavior of biochars thermally pretreated via torrefaction, slow pyrolysis, or hydrothermal carbonisation and co-fired with pulverised coal. *Renew. Energ.* 161, 867–877.
- Chen, Z., Lu, Z., Zhang, Y., Li, B., Chen, C., Shen, K., 2021. Effects of biochars combined with ferrous sulfate and pig manure on the bioavailability of Cd and potential phytotoxicity for wheat in an alkaline contaminated soil. *Sci. Total Environ.* 753, 141832.
- Cherian, C. & Siddiqua, S. 2019. Pulp and Paper Mill Fly Ash: A Review. *Sustainability*, 11, 4394; doi:10.3390/su11164394
- Chi, N.T.L., Susaimanickam, A., Ahamed, T.S., Kumar, S.S., Pugazhendhi, A., 2020. A review on biochar production techniques and biochar based catalyst for biofuel production from algae. *Fuel* 287, 119411.
- Chitescu, C. L., Nicolau, A. I., & Stolker, A. A. M. (2013). Uptake of oxytetracycline, sulfamethoxazole and ketoconazole from fertilised soils by plants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(6), 1138-1146.
- Clarke, B. O., & Smith, S. R. (2011). Review of ‘emerging’ organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment international*, 37(1), 226-247.
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Frattarola, A., Carnevale Miino, M., Padovani, S., Katsoyiannis, I., & Torretta, V. (2019). Legislation for the reuse of biosolids on agricultural land in Europe: Overview. *Sustainability*, 11(21), 6015.
- Costello, M. C. S., & Lee, L. S. 2020. Sources, fate, and plant uptake in agricultural systems of per-and polyfluoroalkyl substances. *Current Pollution Reports*, 1-21.
- CPI, 2015. Code of Good Practice for Landspreading Paper Mill Sludges. Confederation of Paper Industries.
- Cruz, N.C., Rodrigues, S.M., Carvalho, L., Duarte, A.C., Pereira, E., Romkens, P.F.A.M., Tarelho, L.A.C., 2017. Ashes from fluidized bed combustion of residual forest biomass: recycling to soil as a viable management option. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (17), 14770–14781.

- Czatkowska, M., Rolbiecki, D., Korzeniewska, E., & Harnisz, M. 2025. Heavy Metal and Antimicrobial Residue Levels in Various Types of Digestate from Biogas Plants—A Review. *Sustainability* 2025, 17, 416. <https://doi.org/10.3390/su17020416>
- Dahlberg, A-K., Apler, A., Vogel, L., & Wiber, K., & Josefsson, S. 2019. Persistent organic pollutants in wood fiber-contaminated sediments from the Baltic Sea. *Journal of Soils and Sediments*, 20:2471–2483.
- Demeyer, A., Voundi, N.J.C. & Verloo, M.G. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: An overview. *Bioresour. Technol.* 2001, 77, 287–295.
- Deviatkin, I., Kujala, A., & Horttanainen, M. (2015). Deinking sludge utilization possibilities: technical, economic, and environmental assessments. LUT Scientific and Expertise Publications/Research Reports
- Dewes, H., McLeay, L. & Harfoot, C., 1995. Fly ash, basic slag and Glenbrook slag toxicity in cattle. *N. Z. Vet. J.* 43, 104–109. <https://doi.org/10.1080/00480169.1995.35864>.
- De Windt, L., Chaurand, P. & Rose, J. 2011. Kinetics of steel slag leaching: batch tests and modeling. *Waste Manag.* 31, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.018>.
- Dsikowitzky, L., Schwarzbauer, J., 2014. Industrial organic contaminants: identification, toxicity and fate in the environment. *Environ. Chem. Lett.* 12, 371–386.
- Egle, L., Marschinski, R., Jones, A., Yunta, M. F., Schillaci, C., & Huygens, D. 2023. Feasibility study in support of future policy developments of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC).
- EFSA 2006. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to hexachlorobenzene as undesirable substance in animal feed. *EFSA J* 402:1–49
- Eriksson, E., Christensen, N., Schmidt, J. E., & Ledin, A. 2008. Potential priority pollutants in sewage sludge. *Desalination*, 226(1-3), 371-388.
- Erickson, M.D. & Kaley, R.G. II 2011. Applications of polychlorinated biphenyls. *Environ Sci Pollut Res* 18:135–151.
- Estevez, M.M., Tomczak-Wandzel, R., Kvarnemo, K., 2022. Fish sludge as a Co-substrate in the anaerobic digestion of municipal sewage sludge-maximizing the utilization of available organic resources. *EFB Bioecon. J.*, 100027 <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100027>.
- Etiégni, L., Campbell, A. & Mahler, R. 1991. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. 1. potential as a soil additive and liming agent. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1991, 22, 243–256.
- EU Commission 2025. Regulation (EU) 2019/1009 – the Fertilising Products Regulation Frequently Asked Questions.
- Euroslag (2021). Statistics 2012. [WWW Document]. URL (<http://www.euroslag.com/products/statistics/2012>).
- Ezzariai, A., Hafidi, M., Khadra, A., Aemig, Q., El Fels, L., Barret, M., Merlina, G., Patureau, D., Pinelli, E., 2018. Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: Global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. *J. Hazard. Mater.* 359, 465–481. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.092>.
- Fernandez, M.P., Ikonomou, M.G., Buchanan, I., 2007. An assessment of estrogenic organic contaminants in Canadian wastewaters. *Sci. Total Environ.* 373, 250–269.

- Ferrans, L., Schmieder, F., Mugwira, R., Marques, M. & Hogland, W. 2022. Dredged sediments as a plant-growing substrate: Estimation of health risk index, *Science of The Total Environment*, 846, 157463, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157463>.
- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. J. 2017. The presence of contaminations in sewage sludge—The current situation. *Journal of environmental management*, 203, 1126-1136.
- Finnilä J., Keränen J., Latvala M. & Pohjola, T. 2025. jätevedenpuhdistamolietteen ja erilliskerätyn biojätteen pyrolysointi biohiileksi. https://naturpolis.fi/wp-content/uploads/2025/04/Feasib_Naturpolis_Biohiiliselvitys_03032025.pdf
- FOR 2021. Fritidsodlingens riksorganisation. Analys av påsjord och organiska gödselprodukter. <https://for.se/2021/07/29/ana-lys-av-pasjord-och-organiska-godselsprodukter/>.
- Frank, A., Madej, A., Galgan, V. & Petersson, L.R. 1996. Vanadium poisoning of cattle with basic slag. Concentrations in tissues from poisoned animals and from a reference, slaughter-house material. *Sci. Total Environ.* 181, 73–92. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04962-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04962-2).
- Frank-Kamenetsky, D., Undeman, E., Smedberg, E., Perkola, N., Äystö, L., Wolf, J., Mieke, U., 2022. Micropollutants in wastewater and sewage sludge. *Baltic Sea Environment Proceedings No. 185*. 57 s. + liitteet. ISSN: 0357-2994.
- Gao, W., W. Zhou, X. Lyu, X. Liu, H. Su, C.Li & H. Wang 2023. Comprehensive utilization of steel slag: A review. *Powder Technol.*,422, 118449.
- Gelsomino, A., Petrovicova, B. & Panuccio, M.R. 2024. Exhausted fire-extinguishing powders: A potential source of mineral nutrients for reuse and valorisation in compost enrichment for soilless cultivation. *Science of the Total Environment* 906 (2024) 167633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167633>
- Gianico, A., Braguglia, C. M., Gallipoli, A., Montecchio, D., & Mininni, G. 2021. Land application of biosolids in Europe: possibilities, con-straints and future perspectives. *Water*, 13(1), 103.
- Godlewska, P., Ok, Y. S., & Oleszczuk, P. 2021. The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils. *Journal of hazardous materials*, 403, 123833.
- Gustavsson, M., Molander, S., Backhaus, T., & Kristiansson, E. 2022. Estimating the release of chemical substances from consumer products, textiles and pharmaceuticals to wastewater. *Chemosphere*, 287, 131854.
- Gwon, H.S., Khan, M.I., Alam, M.A., Das, S. & Kim, P.J. 2018. Environmental risk assessment of steel-making slags and the potential use of LD slag in mitigating methane emissions and the grain arsenic level in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Hazard. Mater.* 353, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.023>.
- Haile, A., Gelebo, G.G., Tesfaye, T., Mengie, W., Mebrate, M.A., Abuhay, A. & Limeneh, D.Y. 2021. Pulp and Paper Mill Wastes: Utilizations and Prospects for High Value-Added Biomaterials. *Bioresources and Bioprocessing* 8 (1): 35.
- Haller, H., Paladino, G., Dupaul, G., Gamage, S., Hadzhaoglu, B., Norström, S., Eivazi, A., Holm, S., Hedenström, E. & Jonsson A. 2021. Clean Technologies and Environmental Policy <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02147-3> ORIGINAL PAPER Polluted lignocellulose bearing sediments as a resource for marketable goods—a review of potential technologies for biochemical and thermochemical processing and remediation

Hamilton, K. A., Ahmed, W., Rauh, E., Rock, C., McLain, J., & Muenich, R. L. (2020). Comparing microbial risks from multiple sustainable waste streams applied for agricultural use: Biosolids, manure, and diverted urine. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 14, 37-50.

Hellou, J., Haya, K., Steller, S., Burridge, L., 2005. Presence and distribution of PAHs, PCBs and DDE in feed and sediments under salmon aquaculture cages in the Bay of Fundy, New Brunswick, Canada. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 15 (4), 349–365. <https://doi.org/10.1002/aqc.678>

Holopainen, L. 2023. Vesistöistä poistetun nollakuitumassan hyödyntämismahdollisuudet kestävässä kunnostamisessa ja aluekehittämisessä Case: Tampereen Hiedanranta LAB-ammattikorkeakoulu Insinööri (AMK) Opinnäytetyö, AMK 2023, 27 sivua.

Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S. ja Bolan, N., 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2 (4), 379–420.

Hosseinian, A., Brancoli, P., Vali, N., Ylä-Mella, J., Pettersson, A. & Pongrácz, E. 2024. Life cycle assessment of sewage sludge treatment: Comparison of pyrolysis with traditional methods in two Swedish municipalities, *Journal of Cleaner Production*, Volume 455, 142375, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142375>.

Hu, Q., Jung, J., Chen, D.X., Leong, K., Song, S., Li, F.H., Mohan, B.C., Yao, Z.Y., Prabhakar, A.K., Lin, X.H., Lim, E.Y., Zhang, L., Souradeep, G., Sik Ok, Y., Kua, H.W., Li, S.F.Y., Tan, H.T.W., Dai, Y.J., Tong, Y.W., Peng, Y.H., Joseph, S., Wang, C.H., 2020. Biochar industry to circular economy. *Sci. Total. Environ.* 757, 143820.

Huygens D., García-Gutierrez P., Orveillon G., Schillaci C., Delre A., Orgiazzi A., Wojda P., Tonini D., Egle L., Jones A., Pistocchi A. & Lugato E, Screening risk assessment of organic pollutants and environmental impacts from sewage sludge management Study to support policy development on the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/541579, JRC129690

Huygens, D. & Saveyn, H.G.M. 2022. Technical Proposals for By-Products and High Purity Materials as Component Materials for EU Fertilising Products. JRC. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Huygens, D., 2024. Technical proposals for processed manure as a component material for EU Fertilising Products, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, doi:10.2760/550242, JRC136497.

Hyväluoma, Jari 2025. Biohiili maanparannusaineena pohjoismaisissa olosuhteissa. PowerPoint-esitys. Biohiiliwebinaari 6.11.2025.

Häkkinen, J., Ahkola, H., Junntila, V., Leppänen, M., Pyy, O., Reinikainen, J., Salminen, J., Hyttinen, O., ja Itkonen, A. 2024. Hyviä käytäntöjä sedimenttien pilaantuneisuuden arviointiin ja kestäväan riskinhallintaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27 | 2024

Häkkinen, J., Turunen, T. Salminen, J. & Reinikainen, J. 2025. Riskinarviointi ja viranomaistoiminta tapauskohtaisessa EEJ-menettelyssä. Lausuntopalvelu.fi julkaistu luonnos. 49 sivua

Hämäläinen, J. & Makkonen, P., 2003. Leijupolttoteknologia: vihreää energiaa, VTT 8.1.2003, 6 s.

locoli, G.A., Zabaloy, M.C., Pasdevicelli, G., Gómez, M.A., 2019. Use of biogas digestates obtained by anaerobic digestion and co-digestion as fertilizers: Characterization, soil biological activity and growth

dynamic of *Lactuca sativa* L. *Sci. Total Environ.* 647, 11–19.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.444>.

IPCC, 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Integrated Pollution Prevention and Control.

Jaakkonen, S. 2011. Sisävesien pilaantuneet sedimentit. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2011. 49 s.

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., Van Groenigen, J. W., Hungate, B. A. ja Verheijen, F., 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12 (5), 053001.

Jelic, A., Gros, M., Ginebreda, A., Cespedes-Sánchez, R., Ventura, F., Petrovic, M., & Barcelo, D. 2011. Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water research*, 45(3), 1165-1176.

Jensen, K., Berggreen, I.E., Nørgaard, J.V. & Amlund, H. 2022. Feeding Experiments With Insects and Assessment of Feed-Related Risks From Kitchen-and Food Waste and Possibly Other By-Products (Denmark: DTU Orbit, 2022)

Jeong, M-J., Yeon, J-M., Jeon, T-W., Lee, H-S., Kim, Y-J., Cho, Y-A., Cho, N-H. & Shin, S-K. 2015. Assessment of Hazard and Recycling for Discarded Agent in Powder Fire Extinguisher. *Journal of Korea Society of Waste Management* 32(3), 238-246.

Josefsson, S. 2022. Contaminants in Swedish offshore sediments 2003–2021. SGU-rapport 2022:08. <https://re-source.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202208rapport/s2208-rapport.pdf>

Kalliokoski, M. 2015. Puu- ja turvetuhkan hyötykäyttökelpoisuuteen vaikuttavat tekijät pienillä polttolaitoksilla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/117875/Diplomity%C3%B6%20Maisa%20Kalliokoski%202015.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Kalu, S., Simojoki, A., Karhu, K. ja Tammeorg, P., 2021. Long-term effects of softwood biochar on soil physical properties, greenhouse gas emissions and crop nutrient uptake in two contrasting boreal soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 316, 107454

Kambo, H. S. ja Dutta, A., 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359–378.

Karise, R., Muljar, R., Smagghe, G., Kaart, T., Kuusik, A., Dreyersdorff, G., Williams, I.H. & Mänd, M. 2015. Sublethal effects of kaolin and the biopesticides Prestop-Mix and BotaniGard on metabolic rate, water loss and longevity in bumble bees (*Bombus terrestris*). *J. Pest Sci.* 89, 171–178.

Karjalainen, E. 2025. HELEÄ - Vihreään siirtymään ratkaisuja tuhkan hyötykäytön ja tuhkalannoituksen lisäämisellä. <https://www.jyu.fi/fi/file/helea-hankkeen-osaraportti>. 12 sivua

Kauppila, J. & Turunen, T. 2019. Kansallisesti hyväksyttävien lannoitevalmisteiden jätteen luokittelun päätyminen. Muistio ympäristöministeriölle 29.3.2019.

Kaur, R., Tyagi, R. D., & Zhang, X. (2020). Review on pulp and paper activated sludge pretreatment, inhibitory effects and detoxification strategies for biovalorization. *Environmental research*, 182, 109094.

- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastroilli, M., 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agric. Water Manag.* 62, 37–66. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00005-2)
- Kerovuori, I. 2020. Teollisuuden sivutuotteiden käytön mahdollisuudet viljeltyjen turvemaiden maanparannuksessa. Maisterintutkielma, Maaperä- ja ympäristötiede, Helsingin yliopisto Lokakuu 2020. 71 pp.
- Khiri, Z., Kaluthota, S., Savidov, N., 2019. Aerobic bioconversion of aquaculture solid waste into liquid fertilizer: effects of bioprocess parameters on kinetics of nitrogen mineralization. *Aquaculture* 500, 492–499. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.059>.
- Kiani, M., Raave, H., Simojoki, A., Tammeorg, O., & Tammeorg, P. 2021. Recycling lake sediment to agriculture: Effects on plant growth, nutrient availability, and leaching. *Science of the Total Environment*, 753, 141984.
- Kilponen, V., Mannonen, A., Rintamäki, S., Parkkola, E., Laitinen, J. & Ronkainen, P. 2023. Opas metsäteollisuuden sivuvirroissa esiintyvien POP-yhdisteiden tunnistamiseen ja hallintaan. Ramboll, Tampere, 47 pp.
- Kinnunen, R. & Pirkkamaa, J. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisessä -selvitys. Winto Better World Oy. T:mi Taitosuuli.
- Kirthika, S.K., Goel, G., Scott, J. & Goel, S. 2025. Challenges and opportunities in tackling paper mill sludge waste, *Next Sustainability*, 6, 100174, <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2025.100174>.
- Kittilä, J. 2024. Vihertiliseäksän hyödyntämispotentiaali. Oulun yliopisto, Prosessiteknikan tutkinto-ohjelma, Kandidaatintyö 2024, 25 s.
- Kiukas, R. & Niemelä, P. 2018. Nollakuidun kompostointi DTS- menetelmällä. Lielahden nollakuidun käsittelyraportti. Digi Toilet Systems Oy.
- Kumar, A., Saini, K. ja Bhaskar, T., 2020. Hydrochar and biochar: Production, physicochemical properties and techno-economic analysis. *Bioresource Technology*, 310, 123442.
- Kuokkanen, T., Nurmesniemi, H., Pöykiö, R., Kujala, K., Kaakinen, J. & Kuokkanen, M. 2008. Chemical and leaching properties of paper mill sludge. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 20: 111–122.
- Kuokkanen, M., Tuomisto, J., Prokkola, H., Tervonen, P. & Lassi, U. 2019. The utilization of industrial by-products as soil conditioners and fertilizers in non-food potato production. *BioResources*, 14: 7299–7315.
- Kupper, T., Bucheli, T.D. Brändli, R.C., Ortelli, D. & Edder, P. 2008. Dissipation of pesticides during composting and anaerobic digestion of source-separated organic waste at full-scale plants, *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 17, Pages 7988-7994. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.052>
- Kymäläinen, M., Elo, A. & Kainulainen A. 2020. Biohiilellä monia kytentöjä biokaasutuotantoon. Biokierto ja biokaasu 1/2020. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Saatavilla: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/11/Biokierto-ja-Biokaasu_01_2020.pdf
- Lamolinara, B., Pérez-Martínez, A., Guardado-Yordi, E., Guillén Fiallos, C., Diéguez-Santana, K. & Ruiz-Mercado, G.J. 2022. Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges, *Waste Management*, Volume 140, 14-30, ISSN 0956-053X,

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21006887>)

Lange, L., & Meyer, A. S. (2019). Potentials and possible safety issues of using biorefinery products in food value chains. *Trends in Food Science & Technology*, 84, 7-11.

Larsson, M.A., Baken, S., Smolders, E., Cubadda, F. & Gustafsson, J.P. 2015. Vanadium bioavailability in soils amended with blast furnace slag. *J. Hazard. Mater.* 296, 158–165.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.034>.

Lehmusto, J., Tesfaye, F., Karlström, O. & Hupa, L. 2024. Ashes from challenging fuels in the circular economy. *Waste Management*, 177, 211-231. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.01.051>.

Lehtoranta, S., Fjäder, P., Grönroos, J., Krvonen, J., Laukka, V., Myllyviita, T., Nylén, E.-J., Äystö, L. XXXX. Puhdistamolietteen vaihtoehtoisten käsittelypolkujen vaikutukset Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja XX | 202x (Käsikirjoitus).

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.

Leino, O., Äystö, L., Fjäder, P., Perkola, N. & Lehtoranta, S. 2025. Contaminants of environmental concern in sewage sludge in the Nordic countries, *Environmental Pollution*, 2025, 126604, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126604>.

Lemunier, M., Francou, C., Rousseaux, S., Houot, S., Dantigny, P., Piveteau, P., & Guzzo, J. (2005). Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 5779-5786.

Li, Z. 2024. Assessing potential soil pollution from plant waste disposal: A modeling analysis of pesticide contamination. *Science of The Total Environment*, Volume 907, 167859.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167859>

Liland, N.S., Sorensen, M., Belghit, I., Willora, F.P., Torrissen, A., Torrissen, O., 2023. Closing the gap - producing black soldier fly larvae on aquaculture side streams. *Journal of Insects as Food and Feed* 9 (7), 885–892. <https://doi.org/10.3920/jiff2022.0154>

Lindqvist, P. 2019 Biokaasuprosessi selluteollisuuden nollakuitusedimentin käsittelyssä. Diplomityö, Tampereen yliopisto, Ympäristö- ja energiatekniikan DI-tutkinto-ohjelma. Toukokuu 2019.

Liu, X., Xie, Y & Sheng H.. 2023. Green waste characteristics and sustainable recycling options, *Resources, Environment and Sustainability*, Volume 11, 100098.

<https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100098>

Liu, M., Feng, P., Kakade, A., Yang, L., Chen, G., Yan, X., Ni, H., Liu, P., Kulshreshtha, S., Abomohra, A.-E.-F., Li, X., 2020. Reducing residual antibiotic levels in animal feces using intestinal *Escherichia coli* with surface-displayed erythromycin esterase. *J. Hazard. Mater.* 388, 122032

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122032>.<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122032>.

Lohiniva, E., Mäkinen T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT Tiedotteita. 146 s.

Loganathan, P., Hedley, M., Grace, N., Lee, J., Cronin, S., Bolan, N. & Zanders, J. 2003. Fertiliser contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine: a review. *Soil Res.* 41, 501–532. <https://doi.org/10.1071/SR02126>.

- Maghsoodi, R.M., Hosseini, H., Ghodszad, L., & Avery, H. 2025. Nutrient recovery in pyrolysis biochars for agricultural applications—Biochemical compositions and nutrient extraction techniques, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 218, 108237, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108237>.
- Malhotra, V.M. & Ramezani-pour, A.A. 1994. *Fly Ash in Concrete*, 2nd ed.; Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), Natural Resources Canada: Ottawa, ON, Canada, ISBN 13: 978-0660157641.
- Mannio, J., Kankaanpää, H., Ikäheimonen, T., Koivisto, P., Vallius, H., Vähä, E., Junntila, V. & Kiviranta, H. 2018. Vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuudet ja niiden muutokset. Teoksessa: Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. & Ekebom J. (toim) *Suomen meriympäristön tila 2018*. Suomen ympäristökeskus SYKE. Grano, Helsinki. Sivut 132-143.
- Manskinen, K., Nurmesniemi, H. & Pöykiö, R. 2011. Total and extractable non-process elements in green liquor dregs from the chemical recovery circuit of a semi-chemical pulp mill. *Chemical Engineering Journal*, Volume 166, 3, 954-961. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.082>.
- Malk. V & Junninen, J. (toim.) 2023. Lietteen roolin vahvistaminen kiertotaloudessa – innovatiivinen hyötykäyttö vedenkäsittelyssä, akkumateriaaleissa ja 3D-tulostuksessa. XAMK kehittää 232. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/818318/URNISBN9789523445666.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Martín, J., Camacho-Muñoz, M. D., Santos, J. L., Aparicio, I., & Alonso, E. 2012. Distribution and temporal evolution of pharmaceutically active compounds alongside sewage sludge treatment. Risk assessment of sludge application onto soils. *Journal of environmental management*, 102, 18-25.
- Maschowski, C., Zangna, M.C., Trouve, G., Giere, R., 2016. Bottom ash of trees from Cameroon as fertilizer. *Appl. Geochem.* 72, 88–96.
- Matilainen, M., Pisto, S., Rinnepelto, P. & Kinnunen, N. 2013. *Metsäteollisuuden ravinteet. Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina* Apila Group Oy Ab, Joensuu 2013.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittämiseksi. *Luonnonvara- ja biotaloudent tutkimus 45/2017*. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 46 s. ISBN: 978-952-326-4373
- Marx, C., Günther, N., Schubert, S., Oertel, R., Ahnert, M., Krebs, P., & Kuehn, V. (2015). Mass flow of antibiotics in a wastewater treatment plant focusing on removal variations due to operational parameters. *Science of the Total Environment*, 538, 779-788.
- Mehtonen, J., Vähä, E., Rytönen, J., Häkkinen, J., Haapasaari, H. & Äystö L. 2018. Vaarallisten ja haitallisten aineiden kuormitus. Teoksessa: Korpinen, S., Laamanen, M., Suomela, J., Paavilainen, P., Lahtinen, T. & Ekebom J. (toim) *Suomen meriympäristön tila 2018*. Suomen ympäristökeskus SYKE. Grano, Helsinki. Sivut 84-93.
- Mejías, C., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., & Alonso, E. (2021). Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in sewage sludge and soil: A review on their distribution and environmental risk assessment. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 30, e00125.

- Mendonça Costa, M.S.S.d., Lucas, J.d., Mendonça Costa, L.A.d., Orrico, A.C.A., 2016. A highly concentrated diet increases biogas production and the agronomic value of young bull's manure. *Waste Manage.* 48, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.038>.
- Menz, J., Olsson, O., & Kümmerer, K. (2019). Antibiotic residues in livestock manure: Does the EU risk assessment sufficiently protect against microbial toxicity and selection of resistant bacteria in the environment? *Journal of hazardous materials*, 379, 120807.
- Misra, M.K., Ragland, K.W. & Baker, A.J. 1993. Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass Bioenergy* 4, 103–116.
- Monsees, H., Keitel, J., Paul, M., Kloas, W., Wuertz, S., 2017. Potential of aquacultural sludge treatment for aquaponics: evaluation of nutrient mobilization under aerobic and anaerobic conditions. *Aquaculture Environment Interactions* 9, 9–18. <https://doi.org/10.3354/aei00205>.
- Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C., Rufete, B., 2008. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Manage.* 28, 367–371. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.009>.
- Morillon, A., Mudersbach, D., Rex, M., Spiegel, H., Mauhart, M., Tuomikoski, S., Branca, T., Ragolini, G., Colla, V., Romaniello, L., 2015. Impact of long-term application of blast furnace and steel slags as liming materials on soil fertility and crop yields. In: *Proceedings of the 8th European Slag Conference EUROSLAG*, pp. 21–23.
- Mphande, W.; Kettlewell, P.S.; Grove, I.G.; Farrell, A.D. The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. *Agric. Water Manag.* 2020, 236, 106143.
- 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>
- Munoz, G., Michaud, A. M., Liu, M., Vo Duy, S., Montenach, D., Resseguier, C. et al. 2021. Target and nontarget screening of PFAS in biosolids, composts, and other organic waste products for land application in France. *Environmental science & technology*, 56(10), 6056-6068.
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Usman, M., Li, Y., Tariq, A., & Rizwan, M. 2023. Effects of biotic and abiotic aging techniques on physiochemical and molecular characteristics of biochar and their impacts on environment and agriculture: A Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2): 1535-1564.
- Månsson, N., Bergbäck, B. & Sörme, L., 2009. Phasing out cadmium, lead, and mercury: effects on urban stocks and flows. *J. Ind. Ecol.* 13 (1), 94–111.
- Mykkänen, A. Biohiilen mahdollisuudet lannoitekäytössä. Kandidaatintyö. Oulun yliopisto, ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma Kandidaatintyö 2025, 56 s. + 1 liitettä
- Möller, K., Müller, T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.* 12, 242–257. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>.
- Nissinen, J. 2021. Harjajäätteen jalostaminen hiekoitusmateriaaliksi Toiminnan vaatimusten ja edellytysten kartoitus. Opinnäytetyö, YAMK, LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (YAMK), Rakennustekniikka ja yhdyskuntatekniikka. 47 sivua.
- Norrie, J. & Gosselin, A. 1996. Paper sludge amendments for turfgrass. *HortScience*, 31: 957–960.

O'Connor, J., Nguyen, T. B. T., Honeyands, T., Monaghan, B., O'Dea, D., Rinklebe, J., Vinu, A., Hoang, S.A., Singh, G., Kirkham, M.B. & Bolan, N. 2021. Production, characterisation, utilisation, and beneficial soil application of steel slag: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126478.

Odziejewicz, J.I., Wołejko, E., Wydro, U., Wasil, M. & Jabłonska-Trypuc, A. 2023. Utilization of Ashes from Biomass Combustion. *Energies*, 15, 9653. <https://doi.org/10.3390/en15249653>

Ojanen, P. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. *Alueelliset ympäristöjulkaisut*, 223. Kouvola, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 65 s.

Olofsson, U., Bignert, A., & Haglund, P. 2012. Time-trends of metals and organic contaminants in sewage sludge. *Water research*, 46(15), 4841-4851.

Pampillon-Gonzalez, L., Luna-Guido, M., Ruiz-Valdiviezo, V.-M., Franco-Hernandez, O., Fernandez-Luqueno, F., Paredes-Lopez, O., Hernandez, G., Dendooven, L., 2017. Greenhouse Gas Emissions and Growth of Wheat Cultivated in Soil Amended with Digestate from Biogas Production. *Pedosphere* 27, 318–327. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60319-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60319-9).

Park, B.P., Yanai, R.D., Sahm, J.M., Lee, D.K. & Abrahamson, L.P. 2005. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass Bioenergy* 28, 355–365.

Parlavecchia, M., Carnimeo, C., & Loffredo, E. 2020. Soil amendment with biochar, hydrochar and compost mitigates the accumulation of emerging pollutants in rocket salad plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(11), 554.

Pascual J. A., Morales A. B., Ayuso L. M., Segura P., Ros M. 2018. Characterisation of sludge produced by the agri-food industry and recycling options for its agricultural uses in a typical Mediterranean area, the Segura River basin (Spain). *Waste Management* 82.

Perucci, P., Monaci, E., Onofri, A., Vischetti, C., Casucci, C., 2008. Changes in physicochemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: A field experiment. *Eur. J. Agron.* 28 (3), 155–161.

Pesonen, J., Kuokkanen, T., Rautio, P., Lassi, U., 2017. Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: Effect of granulation. *Biomass Bioenergy* 100, 92–97.

Pettersen, K. S., Sele, V., Araujo, P., Belghit, I., Benestad, S. L., Bernhoft, A. et al. 2025. Fish Sludge as Feed in Circular Bioproduction: Overview of Biological and Chemical Hazards in Fish Sludge and Their Potential Fate via Ingestion by Invertebrates. *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12996.

PHOSave. [Extinguisher powder reused in fertilisers and fire retardants | PHOSave Project | Results in Brief | H2020 | CORDIS | European Commission](#)

Pitman, R.M. 2006. Wood ash in forestry: A review of the environmental impacts. *J. For.* 79, 563–588.

Posmanik, R., Nejdat, A., Dahan, O., Gross, A., 2017. Seasonal and soil-type dependent emissions of nitrous oxide from irrigated desert soils amended with digested poultry manures. *Sci. Total Environ.* 593–594, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.115>. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.115>.

Pääsinniemi, S. 2024. Sammutusjauhejätteen hyödyntäminen lannoitevalmisteissa. *Insinööriyö*. Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK). Energia- ja ympäristötekniikka. 38 sivua.

Pöykiö, R., Nurmesniemi, H., Perämäki, P., Kuokkanen, T. & Välimäki, I. 2005. Leachability of metals in fly ash from a pulp and paper mill complex and environmental risk characterisation for eco-efficient utilization of the fly ash as a fertilizer. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 17, 1–9.

Pöykiö, R., Nurmesniemi, H. & Kuokkanen, T. 2009. Kuitusavi – jätteiden ekotehokkaan hyödyntämisen lippulaiva. *Kuntatekniikka*, 1: 55–57.

Pöykiö, R., Mäkelä, M., Watkins, G., Nurmesniemi, H. & Dahl, O. 2016. Heavy metal leaching in bottom ash and fly ash fractions from industrial-scale BFB-boiler for environmental risks assessment. *Trans. Nonferrous Met. Soc.China* 26, 256–264.

Pöyry Environment Oy. 2017. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhlarahasto. 52 s. ISBN 978-951-563-597-6.

Pöyry Finland Oy. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Raiskio, J. 2018. Hiekoitusmateriaalin uusiokäyttö SIP-päällystepaikkauksessa. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Rakennusmestari (AMK), Rakennusalan työnjohdon tutkinto ohjelma Opinnäytetyö. 21 sivua + 8 liitettä

Ramboll. 2008. Hiekkakenttien ylläpitäjän ja perusparantajan opas. 17 s.

Ramboll 2020. Yleisten alueiden viherjätteiden hyödyntämispotentiaalia koskeva selvitystyö. Kaupunkiympäristön aineistoja 3:2020. PowerPoint Presentation

Reijonen, I., 2017. Chemical Bioavailability of Chromium and Vanadium Species in Soil: Risk Assessment of the Use of Steel Industry Slags as Liming Materials (Doctor dissertation). University of Helsinki, YEB.

Renella, G. 2021. Recycling and reuse of sediments in agriculture: where is the problem?. *Sustainability*, 13(4), 1648.

Roda, N.d.M., Branchi, B.A., Longo, R.M., Pontin, J., Abreu, D.P.d., Santos, P.R.d. & Campostrini, E. 2020. The Advantages of Using Kaolin-Based Particle Films to Improve Coffee Production in the Minas Gerais Cerrado Biome. *Sustainability* 2022,14, 4485. <https://doi.org/10.3390/su14084485>

Roudier, S., Kourti, I., Delgado Sancho, L., Rodrigo Gonzalo, M., Suhr, M., Giner Santonja, G, & Klein, G. 2015. Joint Research Centre: Institute for Prospective Technological Studies, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Publications Office.

Rossi, G., Ojha, S., Müller-Belecke, A., Schlüter, O.K., 2023. Fresh aquaculture sludge management with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: investigation on bioconversion performances. *Sci. Rep.* 13 (1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48061-0>

Ruokavirasto 2025.

<https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/kasvit/lannoitevalmisteet/lannoitevalmisteiden-ainesosaluettelo.pdf>.

Rämä T. 2021. Rasvanerotuskaivon suunnitteluohje. Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööri (AMK) Talotekniikka Insinööriyö 12.1.2021.

Röhler, K., Haluska, A.A., Susset, B., Liu, B., Grathwohl, P., 2021. Long-term behavior of PFAS in contaminated agricultural soils in Germany. *J. Contam. Hydrol.* 241,

103812.

Salva, J., Sečkář, M., Schwarz, M., Samešová, D., Mordáčová, M., Poništ, J., Veverková, D., 2025. Analysis of the current state of sewage sludge treatment from the perspective of current European directives. *Environmental Sciences Europe* 37, 59. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01097-7>

Sarvi, M., Kainulainen, A., Malk, V., Kaseva, J. & Rasa K 2023. Industrial pilot scale slow pyrolysis reduces the content of organic contaminants in sewage sludge. *Waste Manag.* 2023 Aug 29;171:95-104. doi: 10.1016/j.wasman.2023.08.018.

Sarvi, M., Rasi, S., Salo, T., Rasa, K., Vainio M., Ylivainio, K. 2020. Pyrolyysi turkiseläinten lannan käsittelymenetelmänä: TURKISTEHO-hankkeen osaraportti. Luonnonvarakeskus 2020.

Saukko, I. 2016. Sammutinjauhejätteen hyötykäyttömahdollisuudet. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. 56 sivua.

SBB 2024. Toimiala-analyysi: Kierrätyslannoitteiden valmistus ja markkinat. SBB 3/2024.

Schammel, M.H., Gold, S.J. & McCurry, D.L. Metals in Wildfire Suppressants. *Environ Sci Technol Lett.* 2024 Oct 30;11(11):1247-1253. doi: 10.1021/acs.estlett.4c00727. PMID: 39554599; PMCID: PMC11562715.

Scheepers, G.P. & du Toit, B. 2016. Potential use of wood ash in South African forestry: A review. *South. For. J. For. Sci.* 2016, 78, 255–266.

Schmitt, E., Belghit, I., Johansen, J., Leushuis, R., Lock, E.J., Melsen, D., Shanmugam, R. K.R., Van Loon, J., Paul, A., 2019. Growth and safety assessment of feed streams for black soldier fly larvae: a case study with aquaculture sludge. *Animals* 9 (4), 15. <https://doi.org/10.3390/ani9040189>

Sele, V., Ali, A., Liland, N., Lundebye, A-K., Tibon, J., Araujo, P., Sindre, H., Nilsen, H., Hagemann, A. & Belghit, I. 2024. Characterization of nutrients and contaminants in fish sludge from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) production sites - A future resource. *Journal of Environmental Management*, Vol. 360, 121103, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121103>

Serafimova, E., Mladenov, M., Mihailova, I. & Pelovski, Y. 2011. Study on the characteristics of waste wood ash. *J. Univ. Chem. Technol. Metall.* 46, 31–34.

Shargil, D., Gerstl, Z., Fine, P., Nitsan, I., Kurtzman, D., 2015. Impact of biosolids and wastewater effluent application to agricultural land on steroidal hormone content in lettuce plants. *Sci. Total Environ.* 505, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.100>.

Sharma, R., Reddy, S.V.R., & Datta, S. 2015 Particle films and their applications in horticultural crops. *Appl. Clay Sci.* 116–117, 54–68.

Siipola, V., Salo, E., Rintala, V., Rauhala, T., Punttila, E., Martikka, O., & Ghoreishi, M. (2025). BioCarbonValue – High-value carbons from agricultural biomass Final Report. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report No. VTT-R-00161-25

Sobol, Ł., Dyjakon, A., & Długogorski, B. Z. 2024. Dioxin-like polychlorinated biphenyls (dl-PCB) in hydrochars and biochars: Review of recent evidence, pollution levels, critical gaps, formation mechanisms and regulations. *Journal of Hazardous Materials*, 136615.

Subedi, R., Bertora, C., Zavattaro, L., & Grignani, C. 2017. Crop response to soils amended with biochar: expected benefits and unintended risks. *Italian Journal of Agronomy*, 12(2): 794.

- 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.
- Sun, Y., Guo, Y., Shi, M., Qiu, T., Gao, M., Tian, S., & Wang, X. (2021). Effect of antibiotic type and vegetable species on antibiotic accumulation in soil-vegetable system, soil microbiota, and resistance genes. *Chemosphere*, 263, 128099.
- Suominen, K., Verta, M. & Marttinen, S. 2014. Hazardous organic compounds in biogas plant end products—Soil burden and risk to food safety. *Science of the Total Environment* 491–492 (2014) 192–199.
- Syafiuddin, A., Boopathy, R., 2021. Role of anaerobic sludge digestion in handling antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes – A review. *Bioresour. Technol.* 330, 124970
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124970>.
- Tavazzi S, Locoro G, Comero S, Sobiecka E, Loos R, Gans O, Ghiani M, Umlauf G, Suurkuusk G, Paracchini B, Cristache C, Fissiaux I, Alonso Ruiz A, Gawlik B. Occurrence and levels of selected compounds in European Sewage Sludge Samples. EUR 25598 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2012. JRC76111
- Thakali, A., & MacRae, J. D. (2021). A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system?. *Environmental research*, 194, 110635.
- Tikkanen, H. 2021. Esiselvitys kuitusaven kuivikeominaisuuksista. Kuitusaven nesteensitomiskyky ja muut ominaisuudet. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu.
 Luonnonvara- ja ympäristöala, Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
- Tozsin, G. & T. Oztas 2023. Utilization of steel slag as a soil amendment and mineral fertilizer in agriculture: A review. *J. Agric. Sci.*, 29, 1555.
- Tozzoli, R., Di Bartolo, I., Gigliucci, F., Brambilla, G., Monini, M., Vignolo, E. et al. 2017. Pathogenic *Escherichia coli* and enteric viruses in biosolids and related top soil improvers in Italy. *Journal of applied microbiology*, 122(1), 239-247.
- Tsigka, I., Kiatikidis, N., Tsolakis, P.K., Stergiou, N. & Golia, E.E. 2024. Investigating the Potential Use of End-of-Life Fire Extinguisher Powder as a Soil Amendment in Different Soil Types: A New Approach Following a Circular Economy Model. *Sustainability* 2024, 16, 8913. <https://doi.org/10.3390/su16208913>
- Turner, T., Wheeler, R., & Oliver, I.W. 2022. Evaluating Land Application of Pulp and Paper Mill Sludge: A Review. *Journal of Environmental Management* 317 (2022) 115439.
- Turunen, T. & Pusenius, M. 2025. Roskasta ravinteeksi – lannoitevalmisteena käytettävän kompostin jätteeksi luokittelun päätyminen. *Ympäristöjuridiikka* 3/2025 s. 49–67
- Ugolini, F., Mariotti, B., Maltoni, A., Tani, A., Salbitano, F., Izquierdo, C. G., ... & Tognetti, R. 2018. A tree from waste: Decontaminated dredged sediments for growing forest tree seedlings. *Journal of Environmental Management*, 211, 269-277.
- Uliasz-Bochenczyk, A., Pawluk, A., & Pyzalski, M. 2016. Characteristics of Ash from the Combustion of Biomass in Fluidized Bed Boilers. *Gospod. Surowcami Miner.* 32, 149–162.

US EPA 1999. FACT SHEET: Kaolin (100104) Fact Sheet. <https://downloads.regulations.gov/EPA-HQ-OPP-2014-0107-0002/content.pdf>

Vahanen 2021. Metsäteollisuuden tehdasprosessien ravinnetase ja -kädenjälkiselvitys. Metsäteollisuus Ry.

Van der Fels-Klerx, H., Meijer, N., Nijkamp, M., Schmitt, E. & Van Loon, J. 2020. Chemical Food Safety of Using Former Foodstuffs for Rearing Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) for Feed and Food Use,” *Journal of Insects as Food and Feed* 6, no. 5: 475–488.

Van Dongen, K.C.W., Spaans, G.W., Foekema, E.M., van Groenestjn, J.W., Kootstra, A. M. J., Brouwer, M.S.M., Schokker, D., Stege P. B., van Dijk, B., Dirks, R. A. M., van de Kamer, D., Kause, R., de Lange, E., van Leeuwen, S. P. J., Verhaelen, K., van der Voort, M. & Hoek-van den Hill E. 2025. Towards circular food production systems: Identification of chemical, microbial, and physical food safety hazards in municipal sludge and excess aerobic biomass of the food industry. *Environment International* Volume 202.

Vannucchi, F., Scartazza, A., Scatena, M., Rosellini, I., Tassi, E., Cinelli, F. & Bretzel, F. 2020. De-inked paper sludge and mature compost as high-value components of soilless substrate to support tree growth. *Journal of Cleaner Production*. 2020: 1-10.

Vassilev, S., Baxter, D., Andersen, L.K. & Vassileva, C.G. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. part 1. phase-mineral and chemical composition and classification. *Fuel* 105, 40–76.

Van Zomeren, A., van der Laan, S.R., Kobesen, H.B.A., Huijgen, W.J.J. & Comans, R.N.J. 2011. Changes in mineralogical and leaching properties of converter steel slag resulting from accelerated carbonation at low CO₂ pressure. *Waste Manag.* 31, 2236–2244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.022>.

Venegas, M., Leiva, A. M., Reyes-Contreras, C., Neumann, P., Piña, B., & Vidal, G. (2021). Presence and fate of micropollutants during anaerobic digestion of sewage and their implications for the circular economy: A short review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104931.

Verlicchi, P. & Zambello, E. 2015. Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review. *Science of The Total Environment*, vol 538, 15: 750-767.

Vieno, N. (2015). Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteissä. Vantaanjoen ja Helsigin vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 73/2015: 95.

Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., Irtiseva, K., Shishkin, A., Obuka, V., Celma, S., Ozolins, J., Klavins, M., 2019. Granulation of fly ash and biochar with organic lake sediments - A way to sustainable utilization of waste from bioenergy production. *Biomass Bioenergy* 125, 23–33.

Virolainen, P. 2017. Metsäteollisuudessa syntyvien biohajoavien jätteiden hyötykäyttötilanne ja -mahdollisuudet. Raportteja 54. Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 45 s.

Walker, M., Theaker, H., Yaman, R., Poggio, D., Nimmo, W., Bywater, A., Blanch, G., Pourkashanian, M., 2017. Assessment of micro-scale anaerobic digestion for management of urban organic waste: A case study in London. UK. *Waste Manage.* 61, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.036>.

Wang, X.X., Olsen, L.M., Reitan, K.I., Olsen, Y., 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 2 (3), 267–283. <https://doi.org/10.3354/aei00044>

Wang, H.Q., Hagemann, A., Reitan, K.I., Ejlertsson, J., Wollan, H., Handå, A., Malzahn, A.M., 2019. Potential of the polychaete *Hediste diversicolor* fed on aquaculture and biogas side streams as an aquaculture food source. *Aquaculture Environment Interactions* 11, 551–562. <https://doi.org/10.3354/aei00331>

Wang 2020. Study on Preparation and Ecological Properties of Steel Slag-Manganese Slag Compound Fertilizer, Anhui University of Technology, 2020.

Wang, F., Han, W., Chen, S., Dong, W., Qiao, M., Hu, C., & Liu, B. 2020. Fifteen-year application of manure and chemical fertilizers differently impacts soil ARGs and microbial community structure. *Frontiers in microbiology*, 11, 62.

Wang, X., Li, X., Yan, X., Tu, C., Yu, Z., 2021. Environmental risks for application of iron and steel slags in soils in China: a review. *Pedosphere* 31, 28–42. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60058-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60058-3).

Warren, E. M. 2001. Study of woody fiber in paper mill sludge. University of Toronto PhD thesis. 2001:202

Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013). Sewage sludge management in Germany. Umweltbundesamt.

Wiegand, P., 2021. PFAS-intersections with the Pulp and Paper Industry. TECH ASSOC PULP PAPER IND INC 15 TECHNOLOGY PARK SOUTH, NORCROSS, GA 30092 USA.

Wikman, E. 2024. Hiekoitussepin hyötykäytön mahdollisuuksien arviointi asfalttikiviaineksena. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto. 67 + 13 sivua.

Xie, Y., Wang, L., Li, H., Westholm, L.J., Carvalho, L., Thorin, E., Yu, Z., Yu, X., & Skreiberg, Ø. 2022. A critical review on production, modification and utilization of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 161: 105405. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105405>

Yaashik, P.R., Kumar, P.S., Varjani, S.J., Saravanan, A., 2019. Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstocks for remediation of environmental pollutants. *Bioresour. Technol.* 292, 122030.

Yaashik, P.R., Kumar, P.S., Varjani, S., Saravanan, A., 2020. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnol. Rep.* 28, e00570.

Yang, Y., Reijonen, I., Yu, H., Dharmarajan, R., Seshadri, B., Bolan, N.S., 2018. Back to basic slags as a phosphorous source and liming material. In: *Soil Amendments For Sustainability: Challenges and Perspectives*. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA.

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: Jätevesilietteen potentiaali kasvintuotannossa ja vaikutukset ympäristöön ja elintarviketurvallisuuteen (PProduct)-hankkeen loppuraportti.

Ytrestoyl, T., Aas, T.S., Nerdal, K.S., Berge, G.M., 2016. Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom et produksjonsår. Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller. <https://nofima.no/publikasjon/1382702/>.

Zacharof, M.-P., Lovitt, R.W., 2014. The filtration characteristics of anaerobic digester effluents employing cross flow ceramic membrane microfiltration for nutrient recovery. *Desalination* 341, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.02.034>.

Zhanga, H., Gaoa, Y., Liua, J., Lina, Z., Leeb, C.T., Hashimb, H., Wuc, W.-M., Lia, C., 2021. Recovery of nutrients from fish sludge as liquid fertilizer to enhance sustainability of aquaponics. *Rev. Chem. Eng.* 83 <https://doi.org/10.3303/CET2183010>

Zhou, H., Smith, D.W. & Sego, D.C. 2000. Characterization and use of pulp mill fly ash and lime by-products as road construction amendments. *Can. J. Civ. Eng.* 27, 581–593.

Zhou, Y., Qin, S., Verma, S., Sar, T., Sarsaiya, S., Ravindran, B., Liu, T., Sindhu, R., et al. 2021. A Production and beneficial impact of biochar for environmental application: A comprehensive review. *Bioresource Technology* 337 (2021) 125451

Zilio, M., Orzi, V., Chiodini, M.E., Riva, C., Acutis, M., Boccasile, G., Adani, F., 2020. Evaluation of ammonia and odour emissions from animal slurry and digestate storage in the Po Valley (Italy). *Waste Manage.* 103, 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.038>.

Äystö, L., Högmänder, P., Fjäder, P., & Salminen, J. 2022. Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2022.