



# Rejektiveden käyttö lannoitteena

Milla Hintsala

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma, agrologi, AMK

Hintsala, Milla

### Rejektiveden käyttö lannoitteena

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 126 sivua

Luonnonvara-ala ja ympäristöala. Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### Tiivistelmä

Lannoitelainsäädännön uudistuminen on viime vuosien aikana aiheuttanut merkittäviä muutoksia kierrätyslannoitteita koskevaan sääntelyyn. Aiempi lannoitelainsäädäntö (MMM 24/11) rajoitti jätevesilietepohjaisen rejektivesien lannoitekäyttöä, jolloin niitä johdettiin teollisuusjätevesinä takaisin jätevedenpuhdistamolle. Sääntelyn uudistuttua heräsi tarve tarkastella lannoitekäytön mahdollisuutta uudelleen.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää rejektiveden rajoitteet ja mahdollisuudet, mikäli sitä käytettäisiin lannoitteena maanviljelyssä. Tutkimus toteutettiin monimenetelmäisenä tapaustutkimuksena, jossa aineistoa kerättiin kirjallisuuskatsauksen, näytteenottojen ja liukoisen tyypin varastokokeen avulla. Toimeksiantajana toimi Oulun biokaasulaitos (Gasum Oy).

Kirjallisuuskatsauksen tulos osoittaa, että rejektivettä koskeva lainsäädäntökehys on monitahoinen ja hajallaan. Säädökset katsovat rejektivettä sekä lannoitevalmisteenä että jätemateriaalina. Arvoketjussa voidaan noudattaa kansallista lannoitelainsäädäntöä, joka määrittelee jätevesilietepohjaisen rejektiveden tuoteluokkaan 3 A. Orgaaninen maanparannusaine ja ainesosaluokkaan 10. käsitelty jätevesiliete. Lannoitekäyttö on mahdollista, mikäli arvoketjun eri vaiheita koskevat minimivaatimukset täytetään. Näiden lisäksi on huomioitava käytännön seikat.

Kahta näytettä lukuun ottamatta kaikkien tutkittujen parametrien pitoisuustulokset täyttivät lannoitelainsäädännön asettamat raja-arvot. Pitoisuusvertailuissa rejektiveden kuiva-ainekohtaiset pitoisuudet (kok-N, liuk-N, K) ylittivät laitoksen muiden (määdä, kuivajae) valmistajien pitoisuudet. Massaan suhteutettuna asetelma kääntyi toisinpäin. Pitoisuudet noudattivat samaa linjaa muiden rejektivesien kanssa muutamia poikkeuksia (kok-N, liuk-N) lukuun ottamatta.

Rejektivettä on tarjottu markkinoille Gasum Peltotyyppi -tuotenimikkeellä ja sille on laadittu tuoteseloste, käyttöohjeet ja markkinahinta. Viljelijä voi saada rejektiveden levittämisestä kiertotalouden edistämisen toimenpidetukea. Jakeella on useita potentiaalisia käyttömahdollisuuksia (typpipitoinen lannoite, yhdistettynä lietelantaan, lannoitevalmisteseos), jotka käytännön toteutuksessa tulisi varmentaa.

Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää osana päätöksentekoa, kun pohditaan rejektiveden käyttömahdollisuuksia. Lannoituskäyttö on kuitenkin uusi aihe, joten lisää tutkimustietoa tarvitaan erityisesti rejektiveden liukoisen tyypin haihtumisesta, lannoitusvaikutuksista, haitta-aineista, ravinteiden tarkemmista vaihteluväleistä, kannattavuudesta ja markkinasta.

### Avainsanat (asiasanat)

kierrätyslannoite, nestemäinen kierrätyslannoite, orgaaninen, lannoitevalmiste, rejektivesi, nestejae, ammoniumtyppi, liukoinen typpi, puhdistamoliete, ravinnekierrätys, lannoitelainsäädäntö, anaerobinen mädätys, kiertotalous

### Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Hintsala, Milla

### The use of reject water as a fertilizer

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 126 pages

Natural Resources and Environment. Bachelor's Degree Programme in Agricultural and Rural Industries. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### Abstract

The reformed fertilizer legislation has led to significant changes in the regulation of recycled fertilizer products in recent years. The previous national fertilizer legislation (MMMä 24/11) restricted the types of reject water derived from sewage sludge, therefore they were discharged back to wastewater treatment plants.

The reforming process has raised the need to re-examine the possibility of fertilizer use.

The objective of this study was to identify the limitations and possibilities of the reject water in case it was used as a fertilizer in agriculture. The study was conducted as a multi-method case study in which methods such as literature review, sample analyses and a soluble nitrogen storage experiment were used. The study was commissioned by Oulu biogas plant (Gasum Oy).

The result of the literature review shows that the legislative framework is complex and fragmented. The regulations consider reject waters both a fertilizer product and a waste material. In a value chain can be followed a national fertilizer regulation, which identifies a sewage sludge -based reject water as 3 A. organic soil improver (product category) and treated sewage sludge (ingredient category). In order to enable fertilizer utilization, the minimum requirements for the different steps in the value chain must be met. In addition, practical aspects need to be taken into account.

The concentration results for all the parameters tested were within the limits set by the fertilizer legislation, except for two samples. The concentrations (tot-N, soluble N, K) of the reject water per dry matter exceeded the concentrations of the other products (digestate, dry fraction) of the plant. On a mass basis, the structure was reversed. The concentrations of reject water followed the same directions as the other reject waters with a few exceptions.

Reject water has been offered to market field under the label "Gasum Peltotyyppi" with a product description, instructions for utilization and a market price. A farmer can receive a subsidy for spreading reject water. The fraction has several potential uses (nitrogenous fertilizer, combined with slurry, fertilizer mix) which should be verified in practice.

The results of this research can be used for decision-making when considering the possibilities of reject water in the future. Further research is recommended for soluble nitrogen evaporation, fertilization effects, pollutants, more accurate nutrient ranges, profitability and market demand.

### Keywords/tags (subjects)

recycled fertilizer, organic fertilizer product, reject water, liquid fraction, ammonium nitrogen, soluble nitrogen, sewage sludge, nutrient recycling, fertilizer legislation, anaerobic digestion, circular economy

### Miscellaneous (Confidential information)

-

## Sisältö

<b>Käsitteet .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Kiertotaloudesta ja lannoitealasta .....</b>	<b>10</b>
2.1 Kiertotalous ja ravinnekierto.....	10
2.2 Lannoitevalmiste .....	12
2.3 Kierrätyslannoitevalmisteiden tuotanto Suomessa .....	13
<b>3 Biomassat ja raaka-aineet .....</b>	<b>14</b>
3.1 Puhdistamoliete .....	15
3.2 Biojäte .....	18
3.3 Eläinperäiset sivutuotteet ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat .....	20
3.4 Ravinteet .....	21
3.5 Anaerobinen hajoamisprosessi .....	24
<b>4 Ravinteiden kierrätyksen edistäminen .....</b>	<b>27</b>
4.1 Keskipitkän ja pitkän aikavälin tavoitteita .....	27
4.2 Hankkeet ja rahoitukset .....	28
4.3 Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, SBB .....	29
<b>5 Gasum Oy ja Kiertoravinne Oy .....</b>	<b>30</b>
5.1 Oulun biokaasulaitos .....	31
5.2 Biokaasun tuotantoprosessi laitoksella.....	33
<b>6 Rejektivesi .....</b>	<b>35</b>
6.1 Koostumus ja ominaisuudet.....	35
6.2 Vedenerotus ja ravinteiden jakautuminen .....	39
6.3 Gasum Peltotyyppi, Huittinen.....	41
<b>7 Ohjauskeinot .....</b>	<b>42</b>
7.1 Lannoite- ja sivutuotelainsäädäntö.....	44
7.2 Jäte- ja ympäristölainsäädäntö .....	46
7.3 Muut mahdolliset lainsäädäntökokonaisuudet .....	49
7.4 Valmisteilla oleva lainsäädäntö.....	50
7.5 Maataloustukijärjestelmä ja ehdollisuuden vaatimukset.....	51
7.6 Ympäristökorvaus ja sitoumusehdot .....	54
7.7 Laatulannoitejärjestelmä .....	55
<b>8 Reunaehdot käytännössä.....</b>	<b>57</b>
8.1 Hygienia- ja laatuvaatimukset.....	59

8.2	Valmistusvaiheen huomiot .....	61
8.3	Pakkaus-, varastointi- ja kuljetusvaiheen huomiot .....	63
8.4	Loppukäyttövaiheen huomiot .....	65
<b>9</b>	<b>Muut huomioitavat tekijät .....</b>	<b>66</b>
9.1	Haitta-aineet ja epäpuhtaudet .....	66
9.2	Kuljetus ja varastointi .....	75
9.3	Käyttö ja lannoitusvaikutukset .....	76
9.4	Markkinat ja kannattavuus .....	79
9.5	Loppukäyttäjän ja viljanostajan näkökulmat .....	80
<b>10</b>	<b>Tutkimuksen tausta .....</b>	<b>83</b>
10.1	Tutkimusongelma, tutkimuskysymykset ja tavoitteet .....	83
10.2	Aiheen näkökulma ja rajaus .....	83
<b>11</b>	<b>Tutkimuksen toteutus .....</b>	<b>84</b>
11.1	Tutkimusote .....	84
11.2	Aineistonkeruu, analysointi ja luotettavuus .....	85
<b>12</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>89</b>
12.1	Mikrobiologiset, pH, kuiva-aine ja muut määritykset .....	89
12.2	Pää-, sivu- ja hivenravinnevertailut .....	90
12.3	Ravinteiden massaprosenttijakaumat .....	93
12.4	Liukoisen typen varastointikoe .....	95
12.5	Raskasmetallit, PAH16-yhdisteet ja VOC-yhdisteet .....	95
12.6	Rejektivesi suhteessa lähdekirjallisuuteen .....	97
<b>13</b>	<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>99</b>
<b>14</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>102</b>
14.1	Luotettavuuden tarkastelu .....	104
14.2	Kehittämisehdotukset .....	107
<b>Lähteet</b>	<b>.....</b>	<b>110</b>
<b>Liitteet</b>	<b>.....</b>	<b>120</b>
	Liite 1. Tuoteluokat & Ainesosaluokat. MMMa 964/2023. ....	120
	Liite 2. Ainesosaluokka: 4. Mädäte. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024. ....	121
	Liite 3. Ainesosaluokka: 10 Käsitelty jätevesiliete. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024 .....	122
	Liite 4. Ainesosaluokka: 5 Eläimistä saatava sivutuote. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024..	123
	Liite 5. Kiertotalouden edistäminen -toimenpiteen hyväksyttävät aineet. Ruokavirasto. 19.2.2025	
	124	
	Liite 6. Näytteenoton tuloksia & tuoteselosteiden pitoisuuksia.....	125

Liite 7. Määrittäminen menetelmät.....	126
--	-----

## Kuviot

Kuvio 1. Butterfly diagram (Ellen McArthur Foundation 2019).....	11
Kuvio 2. Taustakartta ja puhdistamolietteen maanviljelykäyttöpaikat 2023 (Paikkatietoikkuna, Syken avoimet aineistot CC BY 4.0, Otettu: 25.1.2025).....	18
Kuvio 3. Typen kiertäminen eri prosessien kautta (Kontu 2020, 6). ....	23
Kuvio 4. Biokaasuprosessin biokemiallinen kaava (tiedot Deublein & Steinhauser 2011, 102)	26
Kuvio 5. Gasumin biokaasulaitokset (Gasum sustainability report 2024, 73) .....	30
Kuvio 6. Biokaasulaitoksen toimintojen prosessikaavio (Aluehallintovirasto 2021, 17).....	33
Kuvio 7. Rejektiveden koostumuksia kirjallisuudessa (Heittola 2023, 23) .....	37
Kuvio 8. Parametrien jakautuminen vedenerotuksessa. (tiedot Heiskanen 2022, 8, viitattu lähteeseen Wellinger ym. 2013, 284) .....	40
Kuvio 9. Dekantterilinkoamalla tehdyn vedenerotuksen vaikutukset (Heiskanen 2022, 9, viitattu lähteeseen Al Seadi ym. 2008, 58) .....	40
Kuvio 10. Ohjaukeinojen viitekehys (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 3) .....	42
Kuvio 11. Rejektiveden lainsäädännöllinen kehys .....	43
Kuvio 12. Maataloustuet ja ympäristökorvaus-järjestelmä (tiedot Ehdollisuuden opas 2025) .	53
Kuvio 13. Ympäristökorvauksen sitoumusehtojen vähimmäistason vaatimukset 2024 (tiedot Ehdollisuuden opas 2025) .....	55
Kuvio 14. Rejektivesisilannoitteen ohjaukeinojen reunaehdot.....	58
Kuvio 15. Orgaanisten haitta-aineiden kulkeutumisreitit ja käyttäytymistavat (Vieno ym. 2018, 49) .....	68
Kuvio 16. Rejativesisinäytteet laitoksella .....	88
Kuvio 17. Rejativeden kiintoaine- sekä hapenkulutusarvot .....	90
Kuvio 18. Rejativeden kokonaistyyppi- ja fosforiarvot .....	91
Kuvio 19. Oulun laitoksen lannoitevalmisteiden pääravinteiden vertailu.....	92
Kuvio 20. Rejativeden ja Peltotyypen pää- ja sivuravinteet maaliskuussa 2024.....	93
Kuvio 21. Rejativeden ja Peltotyypen hivenravinteet maaliskuussa 2024 .....	93
Kuvio 22. MMMa 964/2023 mukainen pääravinnevertailu maaliskuussa 2024.....	94
Kuvio 23. Liukoisen typen varastointikokeen pitoisuudet.....	95
Kuvio 24. Rejativeden raskasmetallipitoisuuksien vaihtelu .....	96
Kuvio 25. Gasumin rejativesien vertailu. Mukailten: Niskanen, 2021. ....	98

**Taulukot**

Taulukko 1. Biomassojen potentiaalit (tiedot Luonnonvarakeskus, Alueellinen ravinnekierrätyksen potentiaali).....	14
Taulukko 2. Rejktiveden pitoisuustietoja (tiedot Niskanen 2021, 23).....	37
Taulukko 3. Laatulannoitejärjestelmän edellyttämät määritysmenetelmät (tiedot Laatukäsikirja 2020, 22-23). .....	57
Taulukko 4. Rejktiveden seurattavat parametrit (tiedot MMMa 964/2023 ja Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024) .....	60
Taulukko 5. Rejktiveden haitta-ainepitoisuuksia (tiedot Marttinen ym. 2014, 32–33, 48–50)	71
Taulukko 6. Näytteistä tutkitut parametrit.....	87

## Käsitteet

**Ainesosa:** Lannoitelain mukainen aine tai raaka-aine, jota käytetään tai jota muodostuu lannoitevalmisteen valmistusprosessissa. Ainesosaksi katsotaan esimerkiksi biojäte tai puhdistamoliete.

**Biosaatavuus:** Ravinteiden biologinen saatavuus maaperässä tai lannoitteessa. Mikrobin kyky hyödyntää ravinteita.

**EEJ-status:** Ei-enää-jätettä -luokitus, joka päättää materiaalin jäteluokituksen jätelain mukaan ja mahdollistaa materiaalin hyödyntämisen tuotteena. Statuksen saanut materiaali on käynyt tietyn EEJ-menettelyn läpi tai sille on lainsäädännön tasolla asetettu kriteerit, joilla jätteeksi luokittelu voidaan päättää.

**Jätteen määritelmä:** Jätelaissa määritelty käsite aineelle tai esineelle, joka poistetaan tai aiotaan poistaa käytöstä. (Jätelaki 646/2011, 5 §)

**Massaprosentti:** Aineen tai yhdisteen massa jaettuna liuoksen kokonaismassalla ja tulos kerrottuna sadalla.

**Mesofiilinen biokaasuprosessi:** Biokaasuprosessi, jossa käsittelylämpötila on 35–38 °C.

**PAH<sub>16</sub> -yhdisteet:** polysykliset aromaattiset hiilivety-yhdisteet. 16 erilaista terveydelle haitallista yhdistettä. PAH-yhdisteitä syntyy mm. epätäydellisen palamisen yhteydessä.

**Primaari pääraavinne:** Typpi, fosfori ja kalium (MMMä 964/2023 määrittely).

**Pääraavinne:** Typpi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium, natrium ja rikki (MMMä 964/2023).

**Raaka-aine:** Prosessiin vastaanotettava materiaali, esimerkiksi erilliskerätty biojäte. Substraatti tarkoittaa tässä asiayhteydessä samaa.

**Raja-arvo:** Asetettu arvo tai lukema, joka kertoo jonkin toiminnan vaikutusten suurimman tai pienimmän hyväksytyn tason. Esimerkiksi lakisääteiset raja-arvot kertovat epäpuhtauksien enimmäis- tai vähimmäistasoista, joiden puitteissa toiminnan vaikutukset ovat hyväksytyjä.

**Reunaehto:** Tiettyä toimintaa ja sen mahdollisuuksia rajaava tai rajoittava tekijä. Lakisääteinen reunaehto tarkoittaa tekijää, jonka täytyminen joko mahdollistaa tai rajoittaa toimintaa.

**Syöte:** Reaktoriin syötettävä esikäsitelty liete, jonka kuiva-ainepitoisuus on prosessin tyypistä johtuen alhaisempi, kuin vastaanotettavan raaka-aineen.

**TS-arvo:** Total solids eli kuiva-aine. Biomassan epäorgaaninen (tuhka) ja orgaaninen aines yhteensä ilman vettä. Myös DM eli Dry Matter tarkoittaa samaa. Ilmoitetaan prosenttiosuuksina.

**Tuoteluokka:** Lannoitelainsäädännön mukainen toimintoperusteinen luokitus, johon lannoitevalmisteen tyyppi lajitellaan. Tuoteluokkana voi olla esim. orgaaninen lannoite.

**Vaihteluväli:** Arvojen hajontaa kuvaava numeerinen lukuyhdistelmä, jossa kuvataan pienimmän sekä suurimman muuttujan arvot. Kertoo arvojen välisen hajonnan suuruuden.

**Viitearvo:** Arvo tai lukema, joka kertoo tutkittavan kohteen normaalin tuloksen tai niiden vaihteluvälin riippumatta siitä, mihin arvoon tavoitellaan tai mikä tulos olisi hyväksyttävää.

**VS-arvo:** Volatile solids eli orgaaninen aines. Biomassan orgaaninen aines ilman vettä ja epäorgaanista osuutta. oDM, eli organic Dry Matter tarkoittaa samaa. Ilmoitetaan prosenttiosuuksina.

# 1 Johdanto

Kierrätyslannoitevalmisteiden valmistukseen, pakkaamiseen, logistiikkaan ja käyttöön on laadittu huomattava määrä lainsäädännöllistä, taloudellista, sekä informaatiotason ohjausta (Pitkänen 2024). Näiden eri mekanismien vaatimusten läpi käymiseen lannoiteketjun eri toimijat saattavat joutua varaamaan aikaa.

Ohjaukskeinokokonaisuutta on uudistettu viime vuosina paikoin merkittävästi sekä EU:n, että kansallisella tasolla. Euroopan Unioni on yhdenmukaistanut sen jäsenvaltioiden lannoitelainsäädäntökokonaisuutta. Lannoitevalmisteasetus (2019/1009) mahdollistaa sekä epäorgaanisten, että orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotannon, markkinoille tuomisen sekä kauppaamisen joustavasti EU:n alueella. Kansallisella tasolla uudistuksiin on vastattu esimerkiksi säätämällä Lannoitelaki (711/2022) sekä Maa- ja metsätalousministeriön asetukset lannoitevalmisteista (964/2023) sekä lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (965/2023). (Pitkänen 2024.) Yhdenmukaistamisprosessissa on nähty tarpeelliseksi kumota mm. Lannoitevalmiste-laki (539/2006) ja aiempi MMMa asetus lannoitevalmisteista (24/11) sisältämine muutoksineen (Lainsäädäntö n.d.).

Lainsäädäntökehyksen uudistuminen on herättänyt tarpeen tarkastella biokaasuprosessin tyypipi-toisen nestejakeen eli rejektiveden lannoitekäytön mahdollisuuksia ja rajoituksia uudelleen. Kumo-ttu asetus lannoitevalmisteista (MMM 24/11) on sallinut aiempina vuosina rejektiveden käy-tön lannoitteena tai kasvinravinteena vain, jos sen valmistuksessa on hyödynnetty eläin- tai kasviperäisiä raaka-aineita. Rajauksen ulkopuolelle on jätetty tyyppinimellä olevia rejektivesiä, joi-den raaka-ainepohja sisältää puhdistamolietteitä < 10 % (Marttinen ym. 2013, 10). Rajoitteen vuoksi rejektivesiä on johdettu takaisin jäteveden puhdistusprosessiin tai käsitelty muulla tavoin ennen puhdistusprosessiin johtamista (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 177; Seppänen, Laakso & Luostarinen 2018, 11). Kumoamisen yhteydessä tyyppinimet sekä niihin liittyvät rajoitukset ja vaa-timukset ovat poistuneet ja tilalle on säädetty uusia toimintoperusteisuuteen ja ainesosiin keskit-tyviä luokituksia (Lainsäädäntö n.d.).

Lainsäädäntörajoitteiden lisäksi mahdollisuuksien selvittäminen on tärkeää rejektiveden viemä-röintikustannusten ja laitosten varastointihaasteiden ratkaisemiseksi. Lietepitoisen mädätteen va-

rastointi aiheuttaa biokaasulaitoksella varastointitilan puutetta erityisesti talvisaikaan, koska lannoitteen kysyntä on kausittaista (levityskielto 1.11–31.3.). Linkoamalla mädäte kuiva- ja nestejakeiksi pystytään pienentämään vaadittavaa varastointitilaa, mutta nestejakeesta muodostuu tilanteessa pullonkaula. Merinin (2016, 26) mukaan rejktivedet ovat typpipitoisia jakeita, joissa liunneen typen (ammoniumtyppi) pitoisuudet ovat yleensä huomattavan korkeat. Liukoisen typen ohjaaminen viemäroinnin tai konsentroitintiprosessin sijaan suoraan kasvin ravinnekäyttöön vähentäisi käsittelykustannuksia ja lisäisi joustavuutta varastointitilanteeseen.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n toimiala-analyysin (2024) mukaan kierrätyslannoitteet ovat heittäneet kiinnostusta erityisesti lannoitteiden ja polttoaineiden hintojen nousun sekä huoltovarmuuden näkökulmasta. Kierrätyspohjaisten lannoitevalmisteiden hyödyntäminen maataloudessa lannoitteena tai maanparannusaineena vähentäisi riippuvuutta tuontilannoitteista ja vahvistaisi kansallista huoltovarmuutta kriittisten tuotantopanosten kohdalla (Välinen, Virolainen-Hynnä & Pitkänen 2024, 64, 66). Arviolta noin 90 % kasvien tarvitsemasta fosforista olisi mahdollista korvata kierrätysravinteilla. Typen tarpeesta voitaisiin korvata noin kolmannes. (Julkilausuma n.d.)

Lannoitevalmisteiden markkinoille tuomista, käyttöä ja yleistä hyväksyttävyyttä (mielipiteet, suhtautuminen) rasittaa kuitenkin valmisteissa käytettyjen raaka-aineiden tai ainesosien haitalliset ominaisuudet ja standardien puute (Välinen ym. 2024, 66–67; Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 23). Ravinnekierron toteuttaminen ravinnepotentiaaleilla jäte- tai sivuvirtamateriaaleilla, kuten jätevesiliete, kierrättää ravinteiden ja orgaanisen aineksen rinnalla myös haitta-ainejäämiä (Äystö ym. 2022, 11). Orgaaniset haitta-aineet, niiden kertyminen maaperään sekä vaikutukset terveydelle, ruoan puhtaudelle ja turvallisuudelle ovat syitä sille, miksi esimerkiksi kuluttajilla, viljanostajilla ja viime kädessä viljelijöillä on kielteinen kanta esimerkiksi jätevesilietettä kohtaan. (Jukkala 2021; Eerola 2023.)

Jotta markkinaehtoisien kysyntä saataisiin kasvuun, tarvitaan kattavaa tutkimusta haitallisten aineiden (esim. orgaaniset yhdisteet, mikromuovi) turvallisuudesta raja-arvoista. Lisäksi raja-arvoista tulisi tehdä koko arvoketjun hyväksymät standardoidut vaatimukset. (Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 23). Mikäli tutkimusten valossa pystytään varmentamaan lietteen lannoitekäytön turvallisuus, suhtautumista arvoketjussa on mahdollista muuttaa (Eerola 2023, 52–53).

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa esiselvitys siitä, millaisia reunaehtoja rejektivedelle kohdistuu, mikäli sitä hyödynnetään lannoitekäytössä. Työn toimeksiantajana toimi Gasum Oy:n Oulun biokaasulaitos. Työssä perehdyttiin erilaisten ohjauskeinojen (esim. lainsäädäntö, maataloustukijärjestelmä, lannoitesertifikaatti) sisältämiin mahdollisuuksiin ja rajoituksiin. Selvitykseen sisällytettiin myös muut mahdolliset seikat, joita rejektivesilannoitteen valmistuksessa ja käytössä on huomioitava. Lisäksi työssä tutkittiin näytteenottojen avulla, miten rejektiveden ominaisuudet (kemialliset, mikrobiologiset) todellisuudessa peilautuvat sekä ohjauskeinojen säätelemiin raja- tai viitearvoihin, että eräisiin lannoitevalmisteisiin.

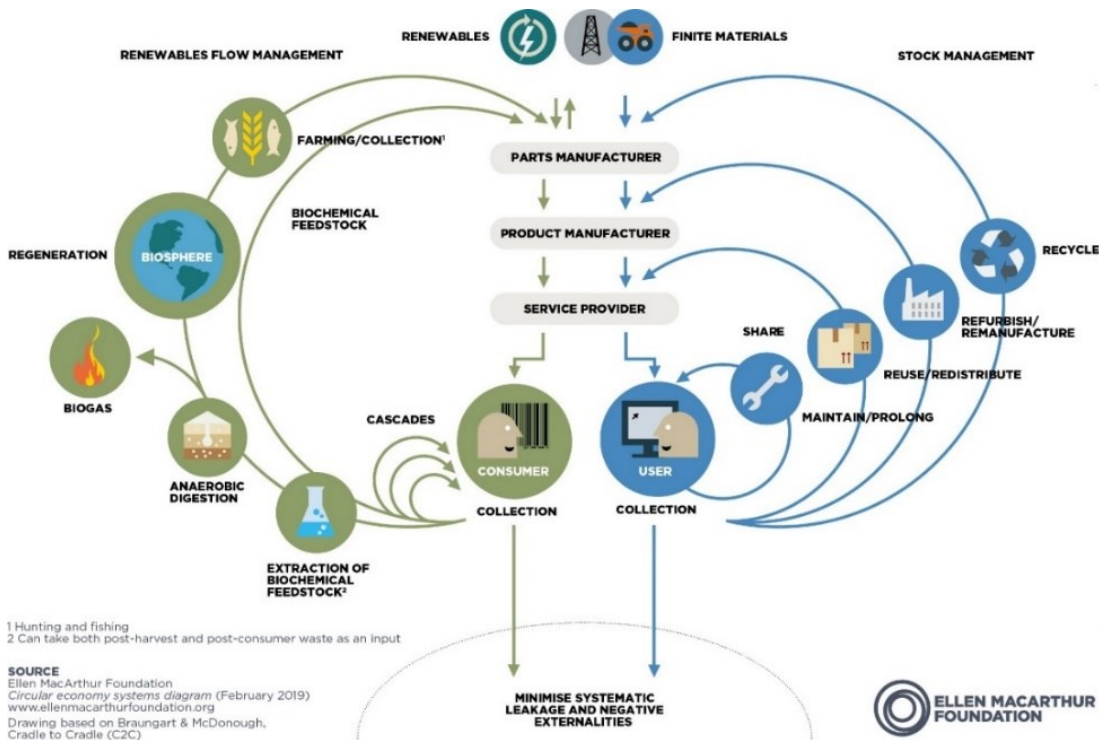
## 2 Kiertotaloudesta ja lannoitealasta

### 2.1 Kiertotalous ja ravinnekierto

Kiertotalous nähdään usein tuotanto- ja kulutusmallina, jossa materiaalien ja tuotteiden elinkaarta pidennetään hyödyntämällä niitä monella tavalla mahdollisimman pitkään (Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023). Toisaalta käsite voidaan hahmottaa myös talousmallina, jonka perustehtävä on vastata erilaisiin haasteisiin (mm. ympäristöongelmat, sosiaalisen eriarvoisuuden kasvu) markkinaehtoisesti. Salonen (2020) tiivistää kiertotalouden systeemiseksi muutokseksi, joka pyrkii kohti talouskasvun ja lisääntyneen luonnonvarojen absoluuttista irtikytkentää. (Salonen 2020.)

Kiertotalousmallissa talouskasvu syntyy tuotteiden sekä materiaalien uusiokäytöstä, kierrättämisestä sekä luonnonvarojen kestävästä käytöstä. Pitämällä materiaalit kierrossa varmistetaan niiden arvon säilyvyys pidempiaikaisesti sekä pystytään vähentämään ympäristöön kohdistuvaa haittaa tai syntyvän jätteen määrää. Tämä lisää resurssien tehokasta käyttöä ja luo liiketoimintamahdollisuuksia sekä työpaikkoja. Käytännössä materiaalikierto mahdollistetaan noudattamalla jätehierarkiata soja eli jätelain (646/2011, 8 §) mukaista jätteen etusijajärjestystä: vähentämällä jätteen syntyä, valmistelemalla ja uudelleen käyttämällä, hyödyntämällä materiaalina (kierrätys), hyödyntämällä energiana tai loppusijoittamalla. (Salonen 2020; Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023.)

Ellen McArthurin säätiön julkaisema perhoskaavio esittää kiertotalouden eräänlaisena yläkäsitteenä, joka sisältää sekä biologisen, että teknisen kierron (ks. kuvio 1). Biologinen kierto koostuu mm. tuotteiden tai komponenttien valmistuksesta (esim. elintarvike), myynnistä, käytöstä ja sivuvirtojen keräyksestä (esim. biojäte), raaka-aineiden talteenotosta (ekstratointi), biologisesta käsittelystä sekä biokaasun talteenotosta, palauttamisvaiheesta (orgaaninen aines palautetaan maaperään) ja alkutuotannosta (esim. viljely), jonka jälkeen kierto alkaa taas alusta.



Kuvio 1. Butterfly diagram (Ellen McArthur Foundation 2019)

Kiertotalouden näkökulma voidaankin liittää useisiin erilaisiin asiayhteyksiin, joista tyypillisimpiä ovat tuotteet, palvelut, energia, sivuvirrat tai ravinteet. Ravinteiden kierrätys perustuu erilaisten biohajoavien sivuvirtojen (lanta, lietteet, jätteet) sisältämien ravinteiden hyötykäyttöön ja kasvien ravinnetarpeen täyttämiseen (Tampio ym. 2018, 9). Kierto toteutuu, kun ravinteet palautuvat takaisin maaperään kasvin saataville.

Ravinnekiertoon liittyy olennaisesti myös vesiensuojelullinen näkökulma, jossa maaperästä pois huuhtoutuvien ravinteiden määrää pyritään vähentämään sekä pienentämään vesistöjen rehevöitymisriskejä (Tampio ym. 2018, 9). Ravinnekierto on mahdollista toteuttaa suljettuna, mikä tarkoittaa, ettei kiertoon tuoda tietyn alueen ulkopuolelta muita ravinnelähteitä (lannoite, rehu elintarvikke), vaan hyötykäyttö perustuu olemassa oleviin jakeisiin ja niiden sisältämiin ravinteisiin. Ravinnekierron sulkeminen paitsi vähentää edellä mainittuja huuhtoumia veteen, vähentää myös muita päästöjä (maaperä, ilma), tehostaa ravinteiden hyötykäyttöä ja kasvattaa omavaraisuutta sekä vähentää riippuvuutta tuontilannoitteista. (Tampio ym. 2018, 10; Julkilausuma n.d.)

## 2.2 Lannoitevalmiste

Kansallisen lannoitelain (711/2022) mukaan lannoitevalmisteen käsitteen alle voidaan liittää lannoitteet, kalkitusaineet, maanparannusaineet, kasvualustat, biostimulantit sekä niiden seokset. Pelkkä lannoitteen käsite edustaa laissa ainetta tai valmistetta, jonka ensisijainen tarkoitus on vaikuttaa kasvien kasvuun ja sadon laatuun valmisteen sisältämien ravinteiden avulla. Maanparannusaineen toiminta perustuu puolestaan maaperän fysikaalisten tai kemiallisten ominaisuuksien, rakenteen tai biologisen aktiivisuuden ylläpitämiseen tai parantamiseen. (L 711/2022, 4 §.)

Kierrätyslannoitetta tarkoitetaan, kun lannoitevalmisteen ravinteiden lähde on peräisin kiertotalouden periaatteiden mukaisesta jättemateriaalista; esimerkiksi yhdyskunnan, elintarviketeollisuuden tai maatalouden sivuvirroista. Lannoitevalmisteisiin luetaan sekä epäorgaaniset, että orgaaniset lannoitteet, mutta toistaiseksi suurin osa valmisteista katsotaan olevan orgaanista alkuperää. Kierrätyslannoite sisältää teollisen lannoitteen tavoin pääravinteita, mutta valmisteen mukana tulee myös liukoisia pääravinteita, sivu- ja hivenravinteita sekä orgaanista ainesta eli hiiltä. Tästä syystä valmisteella on lannoitusvaikutuksen (mm. satovaste) lisäksi maanparannusvaikutus, eli se vaikuttaa orgaanisen aineksen lisäyksen avulla maan kasvukuntoon ja rakenteeseen, vedenpidätyskykyyn, multavuustasoon ja mikrobikantaan (biologinen aktiivisuus). (Tampio, Vainio, Virkkunen, Rahtola & Heinonen 2018, 8; Välinen, Virolainen-Hynnä & Pitkänen 2024, 8.)

Käyttötarkoituksen (lannoite, maanparannusaine) lisäksi kierrätyslannoitevalmisteet voidaan jakaa niiden olomuodon mukaisiin tyyppeihin. Olomuototyyppiin vaikuttaa kuiva-aineen (KA) pitoisuus, mutta myös orgaanisen aineksen määrä sekä ravinteiden (liukoiset vs. orgaaniseen ainekseen sitoutuneet) pitoisuudet. Lietemäisiin valmisteisiin kuuluu mm. biokaasun tuotannon lopputuotteet, joiden kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 2–10 % välillä. Tunnuksenomaista lietemäisille valmisteille on suuri vesipitoisuus ja liukoisten ravinteiden suuri osuus. Nestemäisille lannoitevalmisteille on tyypillistä hyvin alhaiset orgaanisen aineksen ja kuiva-aineen pitoisuudet ja toisaalta korkeat ravinnepitoisuudet. Valmisteet, joiden kuiva-ainepitoisuus on suurempi kuin 30 %, luokitellaan kuivalantamaisiin valmisteisiin. Suuren KA-pitoisuuden ansiosta myös orgaanisen aineksen ja siihen sitoutuneen fosforin määrät ovat suuria. Muita olomuodon mukaan jaoteltavia valmisteita ovat kuonat ja kiteet, tuhkat ja biohiilet sekä pelletit ja rakeet. (Seppänen, Luostarinen & Pesonen 2019, 6–7, 15.)

Marttisen ym. (2013,12) mukaan kierrätyslannoitteiden ominaisuuksiin vaikuttaa niiden käytettävyyden. Käytettävyyteen vaikuttaa valmisteen ravinnepitoisuudet, ravinteiden käyttökelpoisuudet, stabiilius, hygieenisuus, koostumuksen tasalaatuisuus, levitettävyyden, haitta-ainesisältö sekä kilpailukyky tuotanto- ja käyttökustannuksien kohdalla. (Marttinen, Paavola, Ervasti, Salo, Kapuinen, Rintala, Vikman, Kapanen, Torniainen, Maunuksela, Suominen, Sahlström & Herranen 2013, 12.) Lisäksi tuotteen on täytettävä ruoantuotannosta aiheutuvat turvallisuus- ja laatukriteerit (Tampio ym. 2018, 5).

### 2.3 Kierrätyslannoitevalmisteiden tuotanto Suomessa

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry tuottaman toimiala-analyysin (2024) mukaan toimialalla on useita satoja erilaisia toimijoita, joista noin 200 kpl valmistaa orgaanisia kierrätyslannoitevalmisteita, eli lannoitteita tai maanparannusaineita (Välinen ym. 2024, 49). Toimijoiden sekä käsittelykapasiteettien määrä kasvaa edelleen, sillä uusia biokaasulaitoksia on rakennettu vuosien 2021 ja 2023 välillä 26 kpl ja useita laitosinvestointeja on laitettu vireille (Kyöstilä 2024).

Markkinoille saatettujen kierrätyslannoitteiden arvo liikkuu arvion mukaan noin 49–68 miljoonan euron luokissa, mutta tilastointitapojen vuoksi lukemissa voi olla todellisuudessa väljyyttä. Määräilannoitteiden osuus koko markkinoista (977 milj. €) on tilastoarvion mukaan noin 87 % ja muiden lannoitteiden (pois lukien eläin- tai kasviainelannoitteet) 12 %. Pelkkien kierrätyslannoitteiden osuus koko markkinoista on varovaisen arvion mukaan 5–7 %. (Välinen ym. 2024, 50.)

Toiminnanharjoittajien vuosi-ilmoitusten tilastoinnin mukaan orgaanisten lannoitteiden valmistus on viime vuosina ollut hienoisessa kasvussa, ollen vuoden 2021 aikana yhteensä noin 131 444 tonnia. Kaikesta tuotetusta lannoitevalmisteesta määrä on noin 5,1 %, mutta vuosittainen osuus sekä määrä vaihtelee jonkin verran. (Välinen ym. 2024, 32, 51–52.)

Orgaanisten maanparannusaineiden määrä oli noin 567 000 m<sup>3</sup> vuoden 2021 aikana, kun taas sellaisenaan käytettävien maanparannusaineiden -kuten mädätysjäännöksen, tuotantomäärä ylsi jopa 1 057 000 m<sup>3</sup> saakka. Tuotantomäärien kasvu on viime vuosien aikana ollut voimakasta ja tuotantovoimaisuudessa lannan prosessoinnin lisääntyessä kasvua on odotettavissa edelleen. Huomionarvoista on, että biokaasun tuotannon volyymin muutokset (esim. käsittelymäärien kasvattaminen,

käsittelylaitteiston muutokset) vaikuttavat voimakkaasti myös kierrätyslannoitteiden tuotantomääriin. (Välinen ym. 2024, 51, 53; Kyöstilä 2024.)

### 3 Biomassat ja raaka-aineet

Suomessa syntyy vuosittain hieman vajaa 18 miljoonaa tonnia potentiaalisia biomassoja (ks. taulukko 1), joista noin 11 % syntyy Pohjois-Pohjanmaan alueella. Merkittävimmät biomassapotentiaalit löytyvät kotieläintiloilta: osuus ylittää 80 % alueella kaikesta syntyvästä biomassamäärästä. Biomassan orgaanisen aineksen (VS) laskennallinen osuus on keskimäärin noin 12 %, mutta tämä vaihtelee: esim. puhdistamolietteellä osuus on 1,9 %, kun taas biojätteellä vastaava lukema on 25,5 %. Tuotantomääriin suhteutettuna Pohjois-Pohjanmaalla olisi huomattavaa potentiaalia tuottaa orgaanisia lannoitevalmisteita sekä maanparannusaineita enemmänkin (Välinen ym. 2024, 32–34).

Taulukon mukaan kotieläintuotannon lannassa on määrällisesti eniten ravinteita. Prosentuaalisina osuuksina tämä tarkoittaa kansallisella tasolla noin 80 % (N) ja 74 % (P) sekä Pohjois-Pohjanmaan alueella 82 % (N) ja 90 % (P). Lähdekirjallisuudesta on kuitenkin löydettävissä useita vaihtelevia arvioita siitä, millaiset ravinnepotentiaalit biomassoihin sisältyy. Toimiala-analyysissä (Välinen ym. 2024) ja TEM-loppuraportissa (2020) arvioidaan, että tyypeä löytyy lannasta noin 74 600 tn, puhdistamolietteestä 8 300 tn, biojätteestä 2 200 tn ja teollisuuden sivuvirroista 2 240 tn vuodessa. Fosforia puolestaan löytyy lannasta noin 18 500 tn, puhdistamolietteestä 4 540 tn, biojätteestä 400 tn ja teollisuuden sivuvirroista 770 tn vuodessa (Välinen ym. 2024, 30).

Taulukko 1. Biomassojen potentiaalit (tiedot Luonnonvarakeskus, Alueellinen ravinnekierrätyksen potentiaali).

Raaka-aine	Määrä (t/a)	VS (t/a)	N (t/a)	P (t/a)
KOKO MAA				
Biomassat yhteensä	17 994 711	2 115 120	90 493	20 495
Teollisuuden ravinnepitoiset sivutuotteet	393 818	96 906	7 185	772
Jätevesilietteet	4 158 155	79 005	7 318	3 992
Erilliskerätty biojäte yhdyskunnista	483 655	123 332	2 979	542
Lanta kotieläintuotannosta	12 959 083	18 15 877	73 011	15 189
POHJOIS-POHJANMAA				

Biomassat yhteensä	2 031 012	243 303	9 828	1 991
Teollisuuden ravinnepitoiset sivutuotteet	14 073	2 857	188	18
Puhdistamoliete	310 097	5 892	546	298
Yhdyskuntien biojäte	36 315	9 260	224	41
Kotieläintuotannon lanta yhteensä	1 670 527	225 294	8 870	1 634

Sekä biokaasun, että lannoitevalmisteiden tuotantoon soveltuu laaja joukko erilaisia sivuvirtoja ja biohajoavia jätemateriaaleja, joista useat täyttävät jätelain 5 § jätteen määritelmän. Jättestatukseltaan huolimatta sivuvirrat ja jätteet sisältävät huomattavia määriä orgaanista ainesta sekä ennen kaikkea sopivassa suhteessa anaerobiseen käsittelyyn soveltuvia komponentteja: hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 21.) Yllä olevan luokituksen mukaisesti raaka-aineina voidaan käyttää esimerkiksi jätevesilietteitä (kotitaloudet, teollisuus), biojätettä (erilliskerätty, kaupan biojäte), 2. ja 3. luokan eläinperäisiä sivutuotteita (esim. lanta, antibioottimaito, teurasjäte), elintarviketeollisuuden sivuvirtoja (meijeri- ja maitojätteet, juoman valmistuksen jätteet, leipomojätteet, vihanneskuorimoiden jätteet), rasvakaivolietteitä, metsäteollisuuden sivuvirtoja (kuitu- ja pastalietteet), peltobiomassaa (esim. nurmet, oljet) sekä ruoppaus- ja niitto-massoja. (Tampio ym. 2018, 12, 32.; Välinen ym. 2024, 32–47.)

Raaka-ainevalintaan kriittisesti vaikuttavia tekijöitä ovat raaka-aineen sopivuus prosessiin (biohajoavuus) sekä sen kyky tuottaa metaania (potentiaali). Sopivuutta voidaan arvioida orgaanisen aineen ohella myös kuiva-aineprosentin, hiili-typpisuhteen, ravinne ja hivenainekoostumuksen tai inhibitiota aiheuttavien aineiden avulla. Lisäksi valintaan vaikuttaa raaka-aineen paikallinen saataavuus ja laitoksen kapasiteetti, jotta voidaan taata varma, tasainen ja kannattava tuotanto ympäristöisesti. Jotta prosessin sivutuotteena syntyy käyttökelpoista lannoitevalmistetta, täytyy vastaanotettavat raaka-aineet valita myös vallitsevan lannoitelainsäädännön rajoitusten puitteissa. (Seppänen, Laakso & Luostarinen 2018, 6; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 22.)

### 3.1 Puhdistamoliete

Raaka-aineena puhdistamoliete on yhdyskunta- tai teollisuusperäistä jätteeksi luokiteltua orgaanista lietemäistä ja kiintoainepitoista biomassaa. Puhdistamolietteet tai jätevesilietteet ovat varsin

heterogeeninen ryhmä, johon luetaan jätevesilaitoksien puhdistusprosesseissa muodostuvien lietteiden lisäksi saostus ja umpisäiliölietteet, kuivakäymäläjätteet sekä kiinteistö- tai tilakohtaiset jätevedenkäsittelyjärjestelmän lietteet. (Tampio ym. 2018, 9.)

Tavanomaisessa puhdistusprosessissa jätevettä esikäsitellään mekaanisesti, laskeutetaan esiselkeytysaltaissa, käsitellään biologisesti ilmastusaltaissa (aktiivilieteprosessi), laskeutetaan jälkiselkeytysaltaissa, jälkikäsitellään kemiallisesti ja johdetaan purkuvetenä vesistöön. Esi- ja jälkiselkeytysvaiheiden aikana muodostuu tyypillisesti primääri- tai raakaliettä sekä ylijäämä- tai bioliettä, jotka jälkikäsitellään joko mädättämällä tai kompostoimalla. Kokonaiskuvassa jätevedenpuhdistamolle saapuvasta typpi- ja fosforikuormasta lietteeseen kulkeutuu keskimäärin noin 97 % (P) ja 9 % (N). Typpikuormasta noin 91 % joko haihtuu ilmakehään tai kulkeutuu puhdistetun jäteveden mukana luontoon ja 13 % nestejakeen mukana takaisin puhdistusprosessiin. (Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 16, 19.)

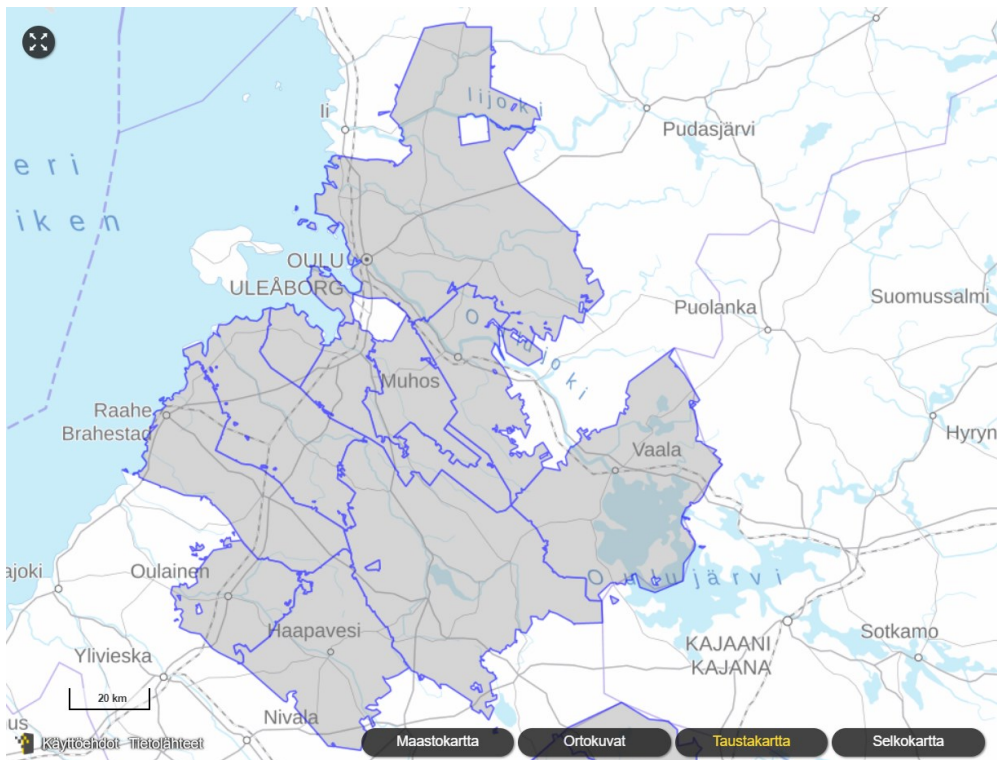
Puhdistamoliete sisältää vaihtelevassa suhteessa ravinteita, orgaanista ainesta, haitta-aineita ja ominaisuuksien keskinäinen vaihtelu on jäteveden alkuperästä ja puhdistusprosessista voimakkaasti riippuvaista (Lehtoranta ym. 2021, 15; Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 16, 19; Äystö ym. 2022, 54). Tiivistämättömän tai laskeuttamattoman lietteen TS-arvo on vain muutamia prosentteja johtuen sen suuresta vesipitoisuudesta. Kuljetusta varten liete kuivataan noin 15–30 % TS-arvoon, mutta todellinen kuiva-ainepitoisuus riippuu käytettävän teknologian tehokkuudesta. Lietteiden VS-arvo liikkuu noin 64–75 % välillä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 42–43, 54.) Lietteiden vaihtelun takia yksiselitteisiä ravinnepitoisuuksia on haasteellista esittää. Lehtoranta ym. (2021, 12) arvioivat, että käsittelemättömässä lietteessä fosforia on keskimäärin noin 1,2–2,5 % ka ja kokonaistyppeä 3,5–5,5 % ka (Lehtoranta ym. 2021, 12). Gasumin ja HAMK:n yhteishankkeessa (JÄRKKI 2023, 17) puolestaan arvioitiin, että puhdistamoilta lähtevä raakaliete sisältää noin 2,2 % ka (P) ja 4,8 % ka (N). Puhdistamolla jo mädätetyssä lietteessä on puolestaan noin 3,3 % ka (P) ja 3,8 % ka (N). (Kinnunen, Kymäläinen, Tiainen, Koskela, Honkasaari, Järvi, Kunttu, Somersalo, Vartiainen, Alhonoja, Karjala, Alarotu & Mykkänen 2023, 17.)

Lietteeseen päätyy erilaisia haitta-aineita ja epäpuhtauksia, joista yleisimmät ovat raskasmetalleja, lääkeaineita, mikromuoveja, taudinaiheuttajia sekä epäorgaanisia, että orgaanisia yhdisteitä (Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 11, 16, 19). Haitta-

aineista tavataan useimmiten kiintoaineeseen pidättyneitä, että vesiliukoisia muotoja, joskin ensiksi mainitut ovat jokseenkin yleisempiä. Aineiden pitoisuudet (esim. raskasmetallit) ovat yleensä alhaisia ja jäävät reilusti lainsäädännöllisten raja-arvojen sisään. (Äystö ym. 2022, 54, 58.) Haitta-aineista lisää luvussa 9.1.

Lähtökohtaisesti puhdistamoliete nähdään jätteenä, mutta Ympäristönsuojelulain 32 § ja Lietedirektiivin (3 artikla) ansiosta sitä on mahdollista hyödyntää esim. maataloudessa, edellyttäen, että liete on käsitelty haitattomaksi, eikä sisällä esim. raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia raskasmetalleja. Maininnat mahdollistavat levityksen ilman ympäristölupaa (Äystö ym. 2022, 22–23). Käsitellystä puhdistamolietteestä valmistetaan orgaanisia kierrätyslannoitevalmisteita, jotka luokitellaan maanparannusaineiksi, mutta maanparannusvaikutuksen rinnalla valmisteet toimivat myös lannoittavina tekijöinä maaperässä. (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 15).

Puhdistamolietteiden käsittelymääristä on olemassa useita vaihtelevia lähdekirjallisuusarvioita, riippuen vastaanotetun lietteen tyyppistä sekä sen kuiva-ainepitoisuudesta. Toimiala-analysissä (Välinen ym. 2024, 37) puhdistamolietteiden määräksi arvioitiin 135 000 tonnia kuiva-ainetta vuosien 2019 ja 2020 aikana. JÄRKKI- hankkeessa (2023) määräksi arvioitiin puolestaan noin 612 134 tonnia, josta kuiva-ainetta on noin 137 150 tn (Kinnunen ym. 2023, 16). Kokonaislietemäärästä noin 80 % käsiteltiin anaerobisin menetelmin ja maatalouden hyödynnettäväksi toimitettiin noin 47 % (Välinen ym. 2024, 37). Lietteen hyötykäyttö on vaihdellut vuosien varrella alueittain, esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaalla sitä käytettiin maataloudessa noin 100 000 tn ka vuosina 2019–2020 (Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitysraportti 2023, 15.) Alla oleva kuvio kuvaa lietteiden käyttöpaikkoja kuntatasolla vuodelta 2023.



Kuvio 2. Taustakartta ja puhdistamolietteen maanviljelykäyttöpaikat 2023 (Paikkatietoikkuna, Syken avoimet aineistot CC BY 4.0, Otettu: 25.1.2025).

### 3.2 Biojäte

Raaka-aineena biojäte koostuu karkeasti ottaen biohajoavista jätteistä, joita syntyy mm. asumisessa (erilliskerättävä biojäte), ravintoloissa tai muissa palvelutoiminnoissa (erilliskerättävä biojäte), yritystoiminnassa (kaupan pakkauksellinen hävikki) tai elintarviketeollisuudessa (pilaantuneet erät). Biojätteen ominaisuudet (koostumus, laatu) vaihtelevat sen syntypaikasta ja -tavasta johtuen. Yleensä biojättemassa on jokseenkin kiinteää (20–35 % kuiva-aineesta), jonka orgaanisen aineksen osuus on kohtalaisen suuri (70–90 %) sekä happamuusaste noin 4–6 arvon välillä. Tyypeä biojätteessä on arviolta noin 1,5–10 % ja fosforia noin 0,2–1,0 % kuiva-aineessa. (Kymäläinen & Parkarinen 2015, 39–41.)

Oulun seudun alueella kotitalouksien biojätteeseen voi Gasumin sekä Kiertokaari Oy:n ohjeistuksien mukaan laittaa esim. ruoantähteitä ja kuoria, pilaantuneita elintarvikkeita, pehmopaperia (talouspaperit, lautasliinat), purkkiin pakatut ja jäädytetyt rasvat (esim. kinkkurasva), kahvin ja teen porot suodatinpusseineen, vähäisiä määriä kukkia sekä niiden multaa (Biojäte n.d.; Biojätteen lajitteluohje n.d.). Laitosmaiseen mädätysprosessiin soveltuvat huonosti mm. kananmunan kuoret, suuret luut, pieneläinten häkkikuivikkeet, kissanhiekat sekä isokokoiset huonekasvit, joten niitä ei

suositella lajiteltavaksi biojätteeseen. Sekä Kiertokaari, että Gasum ohjeistavat pakkaamaan biojätteen sanomalehteen, paperisiin pusseihin tai kääreisiin, muoviseen pussiin (esim. hedelmäpussi) tai biohajoavaan pussiin -joskin Gasum korostaa edellä ilmoitettua järjestystä (Biojäte n.d.; Biojätteen lajitteluohje n.d.). HSY:n teettämän biojätteen koostumustutkimuksen (2016) mukaan biojäte sisältää keskimäärin muovia noin 3,7 % kotitalouksien biojätteestä, 6,3 % teollisuuden biojätteestä ja 6,8 % muiden toimijoiden biojätteestä. Muita epäpuhtauksia (lasi, metalli, kiviaines, keramiikka, maatumaton aines, vaipat, siteet yms.) biojätteen seassa oli noin 3 % (omakotitalot), 1 % (muut toimijat) ja 5 % (teollisuus). Suurin osa kuitenkin oli biohajoamatonta muovia. (Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015 2016, 46, 49–50.)

Erilliskerätyn sekä muun biojätteen (sis. sekajätteen sisältämä biojäte) kokonaismäärä on vaihdellut vuosien 2022 ja 2023 aikana 914 000 tonnista 790 000 tonniin, mikä tarkoittaa 13,5 % laskua. Erilliskerätyn biojätteen osuus kokonaismäärästä on noin 48,5–50,7 % (444–401 000 tn). Tästä määrästä on käsitelty anaerobisesti tilaston mukaan noin 245 400 tonnia vuoden 2022 aikana. Vuosittaisesta mädätetystä käsittelymäärästä yhdyskuntajätteen osuus oli noin 34,2 %, kun vuoden 2021 aikana vastaava luku oli 33,9 %. (Biohajoavat jätteet ja ravinteiden kierto 2024; Välinen ym. 2024, 34–35.)

Uudistuneen jätelainsäädännön ja paikallisten jätehuoltomääräysten asettamien erilliskeräysvelvoitteiden myötä biokaasulaitoksen biojättesaannoissa on ollut nähtävissä kasvua myös vuoden 2024 aikana, kun omakotitaloasukkaat ovat sopineet biojättesopimuksia kesästä alkaen (VNa 978/2021, 55 §; Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto). Kansallisella tasolla käsittelymäärien ennustetaan kasvavan lähes kolminkertaisiksi vuoteen 2027 mennessä (Välinen ym. 2024, 35).

Yhteiskunnan tasolla tavoitellaan myös biojätteen kierrätysasteen nousua. Jäteasetuksessa (VNa 978/2021, 23 §) yhdyskuntajätteelle (sis. biojätteen) on kirjattu seuraavat vuosikohtaiset kierrätystavoitteet: 55 % (2025), 60 % (2030) ja 65 % vuodelle 2035 (Väänänen 2025, 20). Lisäksi valtakunnallinen jätesuunnitelma asettaa biojätteelle kierrätystavoitteeksi 65 % (tavoite 6b) kaikesta syntyvästä biojätteestä vuoteen 2027 mennessä (Kierrätyksestä kiertotalouteen 2022, 47). Sekajätteen sisältämää biojätteen määrää on tutkittu vuosittain valtakunnan tasolla säännöllisten koostumustutkimusten avulla, jossa viimeisin tulos vuodelta 2023 on keskimäärin 32,3 massa-%. Oulun seu-

dun jätehuolto-yhtiö Kiertokaari Oy:n teettämässä koostumustutkimuksessa vastaavat lukemat olivat pientaloalueilla 27,5 m-% ja kerrostaloalueilla 29,7 m-% vuonna 2024. Yhteisprosentiksi muodostui 28,5 %. Edellisvuoden tulokseen nähden biojätteen osuus sekajätteestä laski noin 9,7 prosenttiyksikköä ja valtakunnallisesta tasosta 3,8 prosenttiyksikköä. Biojäte koostui keittiöbiojätteestä (20,4 %), puutarhajätteestä (3,3 %) sekä muusta biojätteestä (4,8 %). (Väänänen 2025, 40–42, 46).

Kokonaiskuvassa vuoden 2027 kierrätystavoitteiden saavuttamiseksi on vielä tekemistä, jotta sekajätteeseen päätyvän biojätteen hyödyntämispotentiaalia ei menetettäisi. Nähtäväksi jää kuitenkin, mihin lukemiin kansallisella tasolla päästään, kun jätettä lajitellaan syntypaikalla erilliskeräysvelvoitteiden myötä aiempaa enemmän. Velvoitteiden laajeneminen aiheuttanee myös tarpeen seurata biojättesaantojen laadunvaihtelua (Välinen ym. 2024, 36).

### **3.3 Eläinperäiset sivutuotteet ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat**

Eläinperäisillä sivutuotteilla tarkoitetaan EU:n Sivutuoteasetuksessa sekä sen täytäntöönpanoasetuksessa (EY n:o 1069/2009) määriteltyjä eläinperäisiä jakeita, joita ei ole tarkoitettu ihmisravinnoksi. Jakeet on luokiteltu riskiperusteisiin luokkiin, joista 3. luokan, sekä tiettyjä 2. luokan sivutuotteita käsitellään anaerobisesti biokaasulaitoksissa. Käsitellyistä sivutuotteista on mahdollista valmistaa orgaanisia lannoitteita tai maanparannusaineita. (Äystö ym. 2022, 19, 36.) Esimerkiksi teurasjätteet (3. luokka) ovat rasva- ja proteiinipitoisia jakeita, mikä aiheuttaa niiden korkean orgaanisen aineksen pitoisuuden. Teoriassa rasvoista muodostuu korkeita pitoisuuksia metaania, mutta rasvojen kokonaishajoamisnopeus on kuitenkin kokemusten mukaan hidasta ja niiden sisältämät lipidit saattavat aiheuttaa prosessissa vaahtoamista. Proteiinien hajoamisreaktion aikana saattaa muodostua prosessia inhiboivia määriä ammoniakkia. Näistä syistä teurasjätteitä käsitellään muiden raaka-aineiden kanssa seoksina. (Mallat 2020, 16.)

Myös elintarviketeollisuuden sivuvirtoihin luetaan laaja joukko eläinperäisiä ja kasvipäisiä sivuvirtoja, joiden ominaisuudet (mm. koostumus, metaanintuottopotentiali) vaihtelevat keskenään. Raaka-aineena teollisuuden sivuvirrat ovat jonkin verran tasalaatuisempia, kuin yhdyskunnista peräisin olevat raaka-aineet. Ravinnesisällöltään sivuvirrat ovat usein varsin merkittäviä ja niitä käytetäänkin syöteseoksiin säätämisen ja optimoimisen näkökulmasta. (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 18; Äystö ym. 2022, 21; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 44.)

### 3.4 Ravinteet

Kierrätyslannoitevalmisteet sisältävät erilaisia ravinteita, joiden määrät ja väliset suhteet vaihtelevat. Kasvien tarvitsemat ravinteet ovat alkuaineita ja niitä on yhteensä 16 kpl. Yleensä ravinteet jaotellaan pääravinteiksi (typpi, fosfori, kalium, hiili, happi, vety), sivuravinteiksi (kalsium, magnesium, rikki) ja hivenravinteiksi (rauta, mangaani, sinkki, kupari, boori, kloori, molybdeeni). Jaotellua voidaan tehdä myös makroravinteiden (N, P, K, Mg, Ca, S, C, O, H) ja mikroravinteiden (Mn, Fe, Zn, Cu, B, Cl ja Mo) välillä. (Kontu 2020, 3.) Lannoitelainsäädännössä ravinteet on luokiteltu seuraavasti: pääravinteet, primaarit pääravinteet, sekundaarit pääravinteet ja hivenravinteet (MMM 964/2023, 2 §).

Jokaisella kasviravinteella on tärkeä tehtävä kasvin kehityksessä, eikä niitä voi ottaa pois, ilman että kasvissa ilmenee puutosoireita tai kasvu ylipäättään rajoittuu (Eerola 2023, 15; Niskala 2013, 6). Typen saanti on kasvin kehityksen kannalta kriittistä, sillä se osallistuu helposti liikkuvana ravinteena mm. valkuaisaineiden, lehtivihreän, lehtien ja siemenien muodostukseen. Typen puute havaitaan yleensä kasvun hidastumisena sekä värimuunnoksina, eli kloroosina (Kontu 2020, 3). Myös fosforin saannilla on huomattava merkitys, sillä se keskeisin tehtävä on vastata kasvin energia-aineenvaihdunnasta (adenosiinitrifosfaatin hajoaminen ja energian vapautuminen). Mikäli kasvi ei saa fosforia tarpeeksi, alkaa aineenvaihdunta hidastua ja kasvu rajoittua. Kalium säätelee pääasiassa kasvin osmoottisia ominaisuuksia (ilmarakojen toiminta, suola-vesitasapaino) ja sitä kautta vaikuttaa kasvin vesitalouteen (kylmän ja kuivuuden sietokyky). Kaliumin puutos heikentää kasvin stressinsieto- ja sadontuottokykyä (hidas kasvu) ja korren vahvuutta sekä aiheuttaa harmaita laikkuja lehtiin. (Eerola 2023, 15; Niskala 2013, 8–11.)

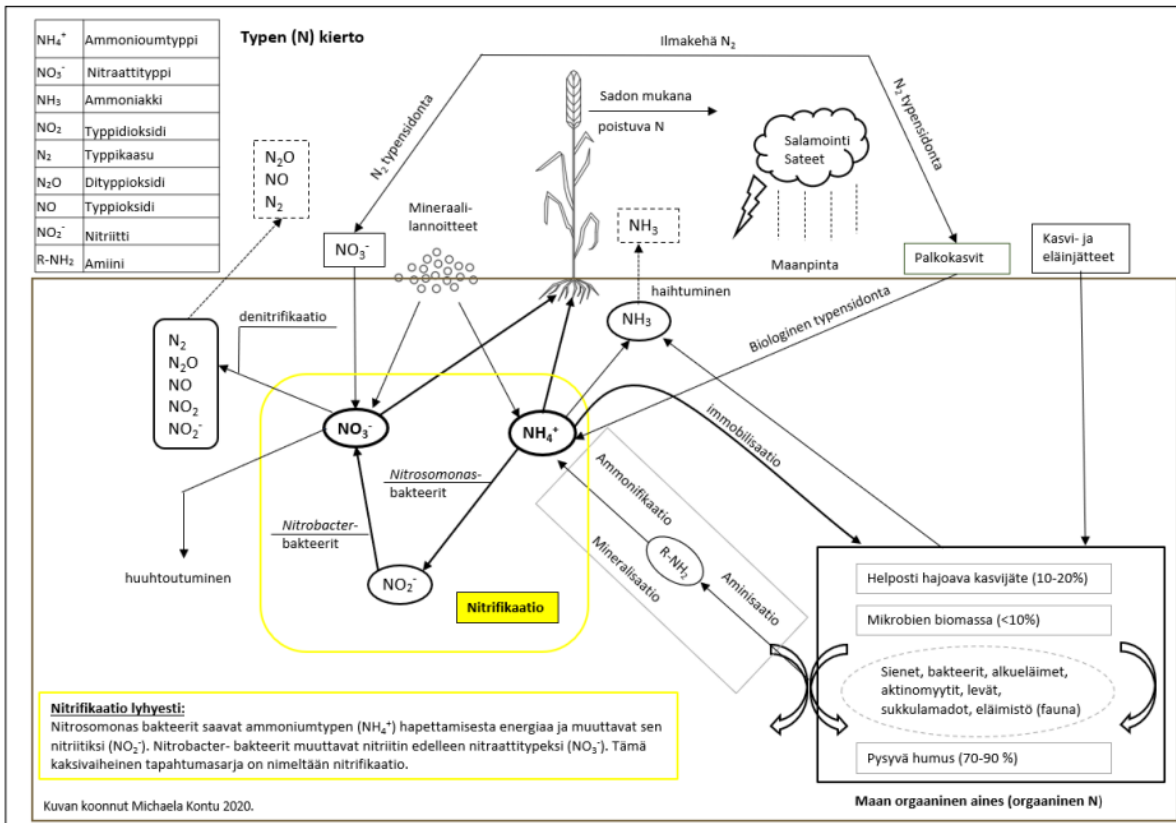
Ravinteita esiintyy useissa eri muodoissa, joista osa on kasveille käyttökelpoista ja osa niiden ulottumattomissa. Esimerkiksi typpeä esiintyy orgaaniseen ainekseen ja suuriin molekyyliin sitoutuneena muotona (orgaaninen typpi), epäorgaanisina muotoina (nitraatti- nitriitti ja ammoniumtyppi) sekä ammoniakkina ja yhdessä nämä muodostavat kokonaistypen (total nitrogen) käsitteen. Kasvien typen otto keskittyy yleensä juuri ammoniumtyyppeen ( $\text{NH}_4^+$ ) tai nitraattityyppeen ( $\text{NO}_3^-$ ). (Kontu 2020,3; Merin 2020, 26). Fosforia esiintyy sekä orgaanisena muotona, että epäorgaanisina muotoina. Fosforivarannoista suurin osa on epäorgaanisissa muodoissa, joista merkittävimpänä on kivennäismuodossa oleva apatiitti. Kasveille biosaatavaa muotoa, ortofosfaattia ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), esiintyy

maaperässä vain pieniä määriä, joten fosfaattisyöte tuodaan peltoon lannoitteen muodossa (Niskala 2013, 10). Puhdistamolietepohjaisissa kierrätyslannoitteissa fosfori on usein saostettu kemiallisesti joko rauta- tai alumiinifosfaatin muotoon, mikä heikentää merkittävästi ravinteen todellista biosaatavuutta (Lehtoranta ym. 2021, 13). Kaliumia puolestaan esiintyy luonnossa epäorgaanisena, yhdenarvoisena ja positiivisesti varautuneena kationina ( $K^+$ ). Helppoliukoisena ravinteena kationi sijaitsee joko maanesteessä tai sitoutuneena hiukkasen pinnoille. Kasvi ottaa kaliumia maanesteestä samassa muodossa. (Niskala 2013, 11.)

Ravinteen biosaatavuuteen vaikuttaa myös ajallinen näkökulma. Esimerkiksi orgaaninen typpi edellyttää aina mineralisaation, jotta kasvi pystyisi hyödyntämään sitä. Hajoamisen ajankohta ei kuitenkaan ole tarkasti tiedossa, joten todennäköistä on, ettei mineralisoitunutta tyyppiä ole saatavilla tarpeeksi ajoissa kasvin ravinneottoon nähden. Sen sijaan liukoiset muodot (nitraatti- ja ammoniumtyppi) ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa pian levityksen jälkeen, ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi starttityyppinä lannoituksessa. Liukoisen tyypin jälkivaikutus on kuitenkin hyvin pieni, kun taas mineralisoituva typpi saattaa vapauttaa tyyppiä vielä kasvukauden jälkeenkin. (Marttinen ym. 2013, 19–21; Eerola 2023, 13; Kontu 2020, 4.) Nestemäiset lannoitevalmisteet, kuten rejektivesi, sisältävät korkeita liukoisen tyypin pitoisuuksia ja vapauttavat ne kasville nopealla aikataululla käyttökelpoiseksi. Tästä syystä ne sopivat lajikkeille (esim. vilja), joiden ravinteiden otto keskittyy kasvukauden alkuun. (Seppänen ym. 2019, 6.)

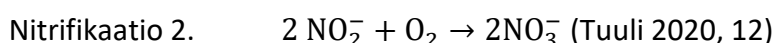
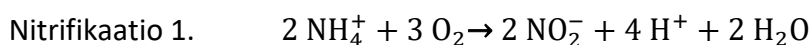
Typpi kiertää luonnossa muutamien avainprosessien kautta: biologisen tyypin sidonnan avulla, mineralisoitumalla, nitrifioitumalla ja denitrifioitumalla (ks. kuvio 3). Typpi mineralisoituu eli muuntuu kasveille käyttökelpoiseen muotoon mikrobien avulla luonnossa tai mädätysprosessin aikana. Muuntuminen tapahtuu ammonifikaation sekä aminisaation avulla, jossa orgaanisen ainekseen sitoutunut orgaaninen typpi hajotetaan aminohapoiksi ja amineiksi (aminisaatio) ja lopulta ammoniumtyypeksi (ammonifikaatio). Vaikka ravinteet liukoistuvat, niiden kokonaispitoisuus prosessissa ei kuitenkaan muutu. Mineralisoitumisen voimakkuus vaihtelee raaka-ainetyypeittäin. Jos ilmiö tapahtuu päinvastaiseen suuntaan, eli mikrobit sitovat epäorgaanista tyyppiä takaisin orgaaniseen ainekseen, tapahtuu immobilisaatiota. (Kontu 2020, 4; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 95.) Ylipäättään mineralisaatioon liittyy hiilen ja tyypin välinen suhde (C/N), joka kuvaa tyypin vapautumisen

tai sitoutumisen määrää. Alhainen C/N -suhde (alle 25:1) indikoi typen vapautumista ja lannoittavaa vaikutusta, kun taas korkeat suhdelukemat (yli 25:1) viestivät typen immobilisoitumisesta ja lisätypen lannoitustarpeesta. (Tuuli 2018, 11.)



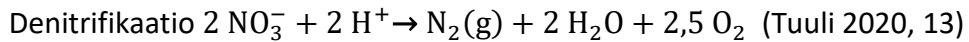
Kuvio 3. Typen kiertäminen eri prosessien kautta (Kontu 2020, 6).

Nitrifikaatioilmiössä ammoniumtyppi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) hapettuu vaiheittain nitrifioivien bakteerien avulla (nitrosomonas ja nitrobacter) ensin kasveille myrkylliseen nitriittimuotoon (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ja sen jälkeen nitraatiksi (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Nitrifikaatiolla on kuitenkin maaperää happamoittava vaikutus, sillä reaktio vapauttaa vetyioneja (H<sup>+</sup>), jotka valtaavat maaperän kationinvaihtopaikkoja. (Tuuli 2018, 12, 20; Kontu 2020, 5–7.) Alla nitrifikaation reaktioyhtälöt vaiheittain.

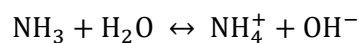


Denitrifikaatiossa puolestaan nitraattimuotoinen typi pelkistyy anaerobisten bakteerien avulla dityppioksidiksi (N<sub>2</sub>O) sekä typpikaasuksi (N<sub>2</sub>). Anaerobiset bakteerit toimivat olosuhteissa (esim. tiivistynyt, lämmin tai märkä maaperä), joissa happea on joko niukasti tai ei ollenkaan saatavilla,

joten ne käyttävät nitraatin sisältämän hapen reaktioon. Reaktio kuluttaa siis nitraattitypen varantoa ja muodostaa lopputuloksena herkästi ilmakehään haihtuvia typen oksideja. (Kontu 2020, 5–7; Tuuli 2018, 13.) Alla denitrifikaation reaktioyhtälö.



Avainkiertojen lisäksi typpeä haihtuu ilmakehään ja huuhtoutuu vesistöihin. Haihtumista tapahtuu erityisesti nestemäisistä jakeista, jossa nesteen lämpötila ja/tai pH-arvon muutos muuntaa ammoniumtyypeä herkästi haihtuvaksi ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ) sekä päinvastoin. Yhtälössä esim. lämpötilan nousu siirtää tasapainon vasemmalle, mikä tarkoittaa, että ammoniumtyppi menettää sähkövarauksensa ja muuntuu ammoniakkiinmuotoon. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 103, 117.) Ilmiö vaikuttaa keskeisesti nestemäisten lannoitevalmisteiden varastointiin ja levitykseen. Alla ammoniakkin ja ammoniumtypen tasapainotettu yhtälö.



Ravinnehuuhtoumat ovat useiden tekijöiden vaikutuksen seurausta, johon vaikuttavat mm. lannoitus (määrät, ajankohta, tekniikka), muokkaustavat, viljeltävä kasvilaji, maaperän ominaisuudet (maalaji, kasvukunto) sekä ravinteiden eri muotojen käyttäytyminen (Niskala 2013, 9). Esimerkiksi lannoituksen ajoittaminen kasvin ravinneottoon nähden vääränä ajankohtana lisää huuhtoumariskejä (Horn, Seppänen, Winqvist, Lehtoranta & Luostarinen 2020, 15). Ammoniumtyppi ja nitraattityppi käyttäytyvät maaperässä varauksiensa takia toisistaan täysin poikkeavasti. Ammoniumtyppi sitoutuu maaperän kationinvaihtopaikoille, maahiukkasten pinnalle. Nitraattitypen negatiivisen varauksen vuoksi se ei pysty tekemään vastaavaa, vaan liikkuu helposti maanesteen mukana ja on tästä syystä alttiimpi huuhtoutumaan myös vesistöön. (Tuuli 2018, 14; Kontu 2020, 15.) Fosforia huuhtoutuu vesistöön sekä sen liukoisessa muodossa, että orgaaniseen ainekseen sitoutuneena (Niskala 2013, 11).

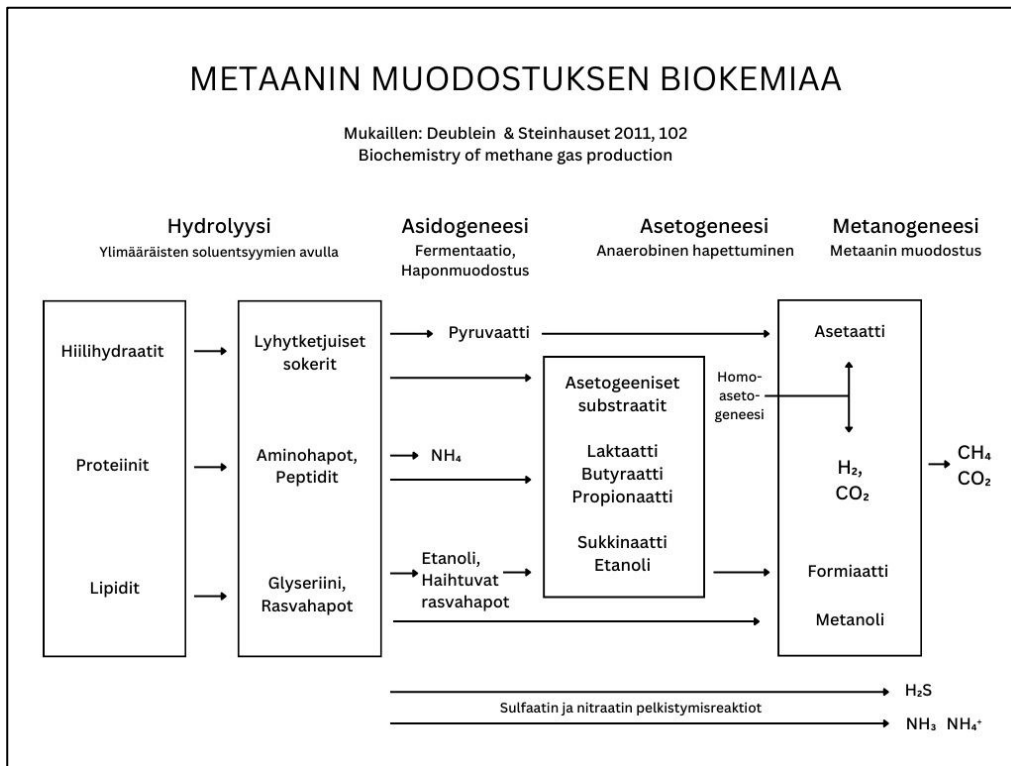
### 3.5 Anaerobinen hajoamisprosessi

Orgaanisen jätteen käsittely nojautuu anaerobiseen hajoamisilmiöön eli käymisreaktioon hapettomissa olosuhteissa. Biologinen hajoaminen tapahtuu erilaisten mikro-organismien (mm. bakteerit,

mikrobit, entsyymit) hajottaessa syötteen yhdisteitä sekä molekyylejä yksinkertaisemmiksi hajoamistuotteiksi. Ilmiöön liittyy keskeisesti hajoamisen vaiheittaisuus, jossa tietty hajoamisen vaihe sekä sen lopputuotteet mikrobeineen toimivat seuraavan vaiheen raaka-aineina. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 60.)

Biologisen käsittelyn ansiosta materiaalisyötteen (esim. biojätteen) kuiva-aineen sisältämästä orgaanisesta osuudesta vapautuu biokaasua. Karkeasti ottaen  $1\text{m}^3$  raaka-ainetta (riippuu koostumuksesta ja orgaanisen aineksen pitoisuudesta) muodostuu biokaasua noin  $15\text{--}200\text{ Nm}^3$ . Muodostunut biokaasu on kaasuseos, jossa metaanin ( $\text{CH}_4$ ) osuus on noin  $50\text{--}70\%$ , hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ) osuus  $30\text{--}40\%$ . Lisäksi seokset sisältävät pieniä määriä rikkiyhdisteitä ( $> 0,3\%$ ) ja muita epäpuhtauksia. Biokaasun energiasisältö on noin  $6,5\text{--}7,5\text{ kWh/m}^3$ . (Lupapäätös 147/2021, 13.)

Syötteen hajoamaton orgaaninen ja epäorgaaninen aines ovat reaktiossa nk. reagoimattomia osia, jotka jäävät jäljelle biokaasun vapauduttua. Tätä osaa kutsutaan käsittelyjäännökseksi tai mädättejäännökseksi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 23–24.) Hajoamattomien yhdisteiden ja mikrobimassan lisäksi mädätysjäännös sisältää suuria määriä vettä ( $75\text{--}96\%$ ), ravinteita sekä orgaanisessa, että epäorgaanisessa (liukoisessa) muodossa. Osa orgaanisessa muodossa olevista ravinteista on muuntunut prosessissa liukoiseen muotoon (mineralisaatio ja ammonifikaatio). (Merin 2016, 24; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 95.)



Kuvio 4. Biokaasuprosessin biokemiallinen kaava (tiedot Deublein & Steinhauser 2011, 102)

Hajoamisilmiö alkaa hydrolyysireaktorissa, jossa prosessiin syötetyn raaka-aineen sisältämät hiilihydraatit, proteiinit ja lipidit eli rasvat pilkkoutuvat hydrolyyttisten bakteerien tuottamien entsyymien ansiosta yksinkertaisemmiksi molekyyleiksi, kuten erilaisiksi lyhytketjuisiksi sokereiksi (esim. glukoosi), peptideiksi sekä tyypipitoisiksi aminohapoiksi, glyseriiniksi (glyseroli) ja rasvahapoiksi (ks. kuvio 4). Toisin sanoen, hydrolyysi muokkaa yhdisteitä liukoisempaan muotoon. (Deublein & Steinhauser 2011; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 61.)

*Asidogeneesin eli haponmuodostusvaiheen* aikana hydrolyysivaiheen hajoamistuotteista muodostuu erilaisia orgaanisia happoja (VFA, haihtuvat rasvahapot), alkoholeja (esim. etanoli), ammoniakia, hiilidioksidia ja vettä. *Asetogeneesi, eli anaerobinen hapettumisvaihe* muokkaa puolestaan edeltävän vaiheen hajoamistuotteita. Vaiheen aikana asetogeeniset bakteerit ja entsyymit muodostavat hajoamistuotteista ja välituotteista (esim. haihtuvat rasvahapot, propionaatti, butyraatti) hapetus-pelkistysreaktion avulla asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia. Pelkistyjäosapuolelle jää alun perin hapettuneet sulfaatit, nitraatit tai karbonaatit. Varsinaista metaania muodostuu hajoamisen

viimeisessä vaiheessa, eli *metanogeenesisin* aikana. Metanogeeniset bakteerit muodostavat metaania kahta kautta: joko asetaatin ja hiilidioksidin avulla tai vaihtoehtoisesti vedyn ja hiilidioksidin avulla. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 62–63.)

Prosessin toimivuus sekä sen hajoamistuotteiden koostumukset riippuvat voimakkaasti olosuhteiden vaihtelusta. Olosuhdetekijöiksi luetaan hapettomuus, lämpötila, pH ja alkaliteetti (kyky puskuroida pH:n vaihteluita) sekä ravinteet (mm. hiili, typpi, fosfori, rikki, hivenaineet). Prosessiin vaikuttaa myös inhibitiota aiheuttavat aineet ja yhdisteet (ammoniakki, rikkivety, LFCA-rasvahapot, metallit, raskasmetallit, hivenaineet, antibiootit, desinfiointiaineet, pestisidit tai suolat). Käytännössä prosessiin syötettävien raaka-aineiden koostumukset vaikuttavat useimpiin yllä mainittuihin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 68.) Raaka-aineista lisää aiemmassa luvussa 3.

## **4 Ravinteiden kierrätyksen edistäminen**

### **4.1 Keskipitkän ja pitkän aikavälin tavoitteita**

Vuoden 2021 lopulla EU julkaisi maaperää koskevan strategian, joka keskittyy maaperän suojeleluun sekä sen hyvään terveydentilaan. Maaperästrategian visioksi on asetettu vuosi 2050, johon mennessä EU:n maaperäekosysteemit ovat terveitä sekä kestäviä. Strategiassa korostuu maaperän merkitys eri ekosysteemipalveluiden tuottajana (tuotanto, ylläpito ja säätely), minkä vuoksi maaperän hyvä terveydentila on tarpeellista joko ylläpitää tai saavuttaa kestävien hoitokäytänteiden avulla. Arvion mukaan jopa 60–70 % eurooppalaisten maaperien terveydentila on heikentynyt. (Perälä 2023, 2, 4.)

Vision saavuttamiseksi EU:n tavoitelistalla on ollut mm. esittää ehdotus maaperän terveyslainsäädännöstä vuoteen 2023 mennessä, lisätä maaperätutkimusta, -tietoa sekä seurantaa, tunnistaa ja vähentää pilaantuneiden maiden riskejä sekä laatia kestävä maaperän hoitokäytänteet. Osa edellä mainituista liittyy tulevaan maaperädirektiivin sisältöön. (Perälä 2023, 8–12.) Maaperädirektiivistä lisää luvussa 7.4.

Maaperästrategian lisäksi ylätasoinen suunnitelma- ja toimenpidekokonaisuuksia on lukuisia muitakin, jotka vaikuttavat lannoitealan toimintaan joko suoraan tai epäsuorasti (Pitkänen 2024). Näistä hyvänä esimerkkinä on mm. biodiversiteettistrategia, Pelloilta pöytään -strategia, kiertotalouden

toimintasuunnitelma (EU), kiertotalouden strateginen ohjelma (Suomi) tai Green Deal -ohjelmakokonaisuus.

## 4.2 Hankkeet ja rahoitukset

Viime vuosina aikana ravinnekierrätyksen investointeihin tai tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotyöhön on ollut mahdollista hakea rahoitusta eri ministeriöiden rahoittamista hankeohjelmista. Keskeisiin rahoitusinstrumentteihin kuuluu RKKO (Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma), RAKI (Ravinteiden kierrätyksen ohjelma) sekä uusimpana AHTI (Vesien ja meren tilan parantaminen) -hankkeet. Hankkeet ovat osa Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelmaa 2019–2030, jonka tavoitteissa korostuu mm. ravinteiden tehokas kierto, lannan sekä jätevesilietteiden sisältämien ravinteiden hyödyntäminen, ravinnepäästöjen väheneminen, ravinteiden talteenotto, vesistöjen hyvän tilan saavuttaminen/ylläpitäminen sekä ravinneomavaraisuus ja liiketoiminnan kasvu alalla. (Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelma 2019–2030, 4.)

Maa- ja metsätalousministeriö vastaa RKKO -ohjelmasta (2016–2025), jonka avulla on rahoitettu ravinnerikkaiden biomassojen (esim. lanta, jätevesiliete) prosessointia, ravinteiden talteenottoa sekä kierrätystä, lannoitevalmisteiden tuotekehitystä ja tuotannon investointeja. Rahoitusmuoto on suunnattu pk-yrityksille sekä yhteisöille. (Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma n.d.)

RAKI -ohjelma on puolestaan Ympäristöministeriön asettama ohjelma (2012–2025), jonka avulla rahoitusta on myönnetty hankkeille, joissa on edistetty mm. yhdyskuntaperäisten biomassojen tai sivuvirtojen (jätevesiliete) ravinteiden hyödyntämistä, kierrätystä tai talteenottoa, yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn energiatehokkuutta ja -neutraaliutta ja luotu ravinnekierrätyksestä liiketoimintamahdollisuuksia esim. symbioosien avulla (Raki-ohjelma n.d.). Toimintakauden päättyessä osa RAKI-hankkeen tavoitteista on siirretty AHTI -hankkeen (2023–2027) teemakategoriaan. Hankkeen ”Resurssit talteen ja käyttöön” -teema sisältää vanhastaan yhdyskuntien ja vesistöjen ravinteiden kierrätystä ja jätevesien käsittelyn energiatehokkuutta, joten näille hankkeille on jatkossakin mahdollista saada rahoitusta. (Vesien ja meren tilan parantaminen 2023–2027 n.d.)

Edellä mainittujen lisäksi alalla on ollut hanketoimintaa liittyen ravinnekierrätykseen, kierrätyslannoitteisiin ja käyttöturvallisuuteen. Esimerkiksi LEX4BIO -hankkeen (2019–2024) päätavoitteena oli selvittää ja hyödyntää kierrätyslannoitepotentiaaleja Euroopan alueelta sekä vähentää tällä tavoin

riippuvuutta tuontilannoitteista. Monivuotiseen ohjelmaan sisältyi ravinnerikkaiden sivuvirtojen potentiaalin kartoitusta ja arviointia, selvityksiä lannoitteiden vaikutuksista kasvien kasvuun sekä maaperän terveydentilaan, kasvien lannoitustarve- ja lannoitteiden lannoitusvaikutusmäärittämiä kenttäkokein (typpi, fosfori), analyysjä lannoitteiden sisältämistä haitta-aineista sekä niiden riskeistä, elinkaariarviointia sekä logistiikkakustannusten ja tarvittavien poliittisten toimien määrittelyä. (Objectives and Methodology n.d.)

Monialainen CINURGI-hanke (2023–2026) puolestaan pyrkii edistämään ravinteiden kiertotaloutta Itämeren alueella erilaisten synergiaetujen avulla (maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden biomassat). Hanke tähtää standardien kehittämiseen, kierrätysstrategian laatimiseen, ravinnekierrätyksen edistämiseen, liiketoimintamahdollisuuksien tutkimiseen sekä ravinnekierrätyksen poliittisen päätöksenteon yhtenäistämiseen. (Cinurgi n.d.)

### **4.3 Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, SBB**

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry (SBB) toimii valtakunnallisesti sekä biokaasun, että kierrätyslannoitteiden ja -ravinteiden liiketoiminnan keskiössä. Yhdistys on perustettu vuonna 2019, jolloin Suomen Biolaitosyhdistys ry ja Suomen Biokaasuyhdistys ry yhdistettiin. Yhdistys pyrkii kehittämään alaa, varmistaa toimijoille hyvät toimintaedellytykset ja ylläpitää tuotteiden kilpailukykyä. Lisäksi SBB:n ydintehtäviin kuuluu kestävän ja vastuullisen toiminnan edistäminen (biohajoavien ja orgaanisten jätteiden tai sivuvirtojen käsittely, jalostaminen sekä myynti), alan seuraaminen ja kehittämistyö (lausunto- ja työryhmät), puolueettoman ja ajankohtaisen tiedon jakaminen, yhteydenpito ja verkostoituminen, viestintä ja tiedottaminen (tapahtumat, tilaisuudet), neuvontatyö sekä yhteistyö hanke- ja projektitasolla. (Yhdistys n.d.)

SBB viestii päättäjille erilaisten lausuntojen ja viestien avulla. Yhdistys on ollut mm. mukana laatimassa ”Biokaasuvision 2030” ja ”Ravinteet ja hiili tehokkaaseen kiertoon vuoteen 2030 mennessä” julkilausumia. Julkilausumien avulla allekirjoittaneet odottavat hallitukselta toimenpiteitä kohti lisääntyntä kotimaisen biokaasun tuotantoa ja käyttöä (4 TWh), ravinnerikkaiden materiaalivirtojen tehokkaampaa ja turvallisempaa kiertoa, vähentyneitä päästöjä maaperään, ilmaan ja veteen, vahvistunutta ravinne- ja energiaomavaraisuutta sekä lisääntyneitä liiketoimintamahdollisuuksia. Julkilausumiin on kirjattu eri tasoisia tavoitteita ja toimenpiteitä, joiden avulla visio on mahdollista saavuttaa. (Yhdistys n.d.; Julkilausuma n.d.)

## 5 Gasum Oy ja Kiertoravinne Oy

Gasum Oy on energia-alan asiantuntijayritys, jonka ydintoimintoihin kuuluu polttoaineen, energian ja energiamarkkinapalveluiden tarjoaminen teollisuuteen, maantie- ja meriliikenteeseen sekä yrity maailmaan. Yrityksen omistuspohja kuuluu kokonaan Suomen valtiolle, mutta sillä on kansallisen elinkeinotoiminnan lisäksi tuotantoa tai muuta yritystoimintaa myös Ruotsissa, Norjassa, Saksassa ja Tanskassa. (Gasum sustainability report 2024, 3; Gasum lyhyesti n.d.)

Konsernin tuote- ja palvelukategoriaan kuuluu sekä paineistetun, että nesteytetyn maakaasun (CNG, LNG) hankinta, myynti ja jakelu. Maakaasun ohella Gasum on erikoistunut myös biokaasun (CBG) ja nesteytetyn biokaasun (LBG) hankintaan, tuotantoon ja jakeluun sekä kaasun tankkaus- asemaverkoston ylläpitoon. Vuonna 2024 biokaasua tuotettiin Suomessa ja Ruotsissa yhteensä 17 laitoksella ja niiden toiminta eroaa toisistaan mm. tuotantomäärien, prosessin tekniikan ja teknologian, syötämateriaalien tai lopputuotteiden perusteella. Lähivuosien aikana laitosten lukumäärä ja kapasiteetit ovat eläneet jonkin verran, sillä yhtiö on perustanut lisää biokaasun tuotantoa molempiin maihin sekä aikoo tulevaisuudessakin kasvattaa joidenkin jo olemassa olevien laitosten vastaanotto- ja käsittelykapasiteettia (Biokaasulaitokset n.d.; Suomilammi 2024). Alla olevasta kuvioista voi havaita yhtiön biokaasulaitosten sijainnit Suomessa ja Ruotsissa (ks. kuvio 5).



Kuvio 5. Gasumin biokaasulaitokset (Gasum sustainability report 2024, 73)

Biokaasun tuotannon rinnalla Gasum tarjoaa myös kiertotalousratkaisuja yrityksille ja loppukäyttäjille. Tähän kokonaisuuteen kuuluu paikallisten biohajoavien jätteiden käsittelymahdollisuudet, kierrätyslannoitteiden ja -ravinteiden tuottaminen tuotannon sivuvirroista sekä lopputuotteiden toimittaminen asiakkaille. (Gasum sustainability report 2024, 38–39; Kierrätysravinteet n.d.) Vuoden 2024 aikana yhtiössä käsiteltiin kokonaisuudessaan noin 965 000 tonnia biohajoavia jätteitä. Kierrätyslannoitteita ja -ravinteita tästä määrästä tuotettiin noin 825 000 tn (Gasum sustainability report 2024, 74). Viljakaisen (2023) mukaan pelkästään suomalaisilla laitoksilla syntyy vuosittain noin 400 000 tn kierrätyslannoitevalmisteita. Mädätteen ja muun lannoitevalmisteen ottaa vastaan noin 1000 maatilaa ja tilaa kohden mädätettä viedään noin 400 tn/tila (Viljakainen 2023, 12). Varsinaiseen tuotekategoriaan kuuluu edellä mainittujen kierrätyslannoitteiden ja -ravinteiden lisäksi maanparannusaineet ja lisäaineet (Gasum sustainability report 2024, 39).

Kiertotalousratkaisuihin linkittyy keskeisesti vuoden 2022 aikana perustettu yhteisyritys Kiertoravinne Oy, joka markkinoi, myy ja toimittaa Gasumin laitoksilla valmistetut lopputuotteet asiakkailleen (teollisuus, maatalous). Yhteisyrityksen muita omistajia ovat Biolan Oy ja Pöytyän Maanparannus. (Kierrätysravinteet n.d.) Kierrätyslannoitevalmisteiden tuotenimikkeet ovat Gasum Perus (lietemäinen mädätysjäännös), Gasum Humus (kuiva-ainepitoinen jae), Gasum Voimakas (NP-konsentraatti), Gasum Typpivahvenne (ammoniakkivesi) ja Gasum Peltotyyppi (rejektivesi). Lisäksi tuotekategoriasta löytyy teollisuuteen tarkoitettuja väkevoityjä ravinteita. (Tuotteet n.d.) Lannoitevalmisteiden lisäksi Kiertoravinne Oy tarjoaa palvelukonsepteja, jossa maatalousyrittäjä voi joko tehdä usean vuoden toimitussopimuksen tai tilata lietemäisten tai nestemäisten tuotteiden levityksen pellolle. (Maatalous n.d.)

## 5.1 Oulun biokaasulaitos

Oulun biokaasulaitos on Gasumin omistama pohjoisin biokaasulaitos Suomessa. Laitos sijaitsee Oulussa Ruskon teollisuusalueella, paikallisen jätehuoltoyhtiön yhteydessä. Gasumin muiden biokaasulaitosten tapaan myös Oulun laitos tuottaa biokaasua, mahdollistaa orgaanisten jätteiden käsittelyn sekä toimii kierrätyslannoitevalmisteiden/maanparannusaineiden valmistajana. (Oulun biokaasulaitos n.d.)

Jatkuvatoimisen märkäreaktorin tavoin toimiva laitos on perustettu vuonna 2015 ja se toimii mesofiilisessä lämpöolosuhteessa (35–38 °C). Märkätyyppisessä prosessissa vastaanotettavien raaka-

aineiden kuiva-ainepitoisuus (TS) liikkuu keskimäärin noin 18 % osuuksissa. Itse prosessin kuiva-ainepitoisuus on kuitenkin tätä alhaisempi; tavoitearvona voidaan pitää 14 %. Todellinen kuiva-aineprosentti vaihtelee johtuen kuitenkin erilaisten syötteiden keskinäisestä suhteesta, jolla niitä prosessiin syötetään. (Lupapäätös 147/2021.)

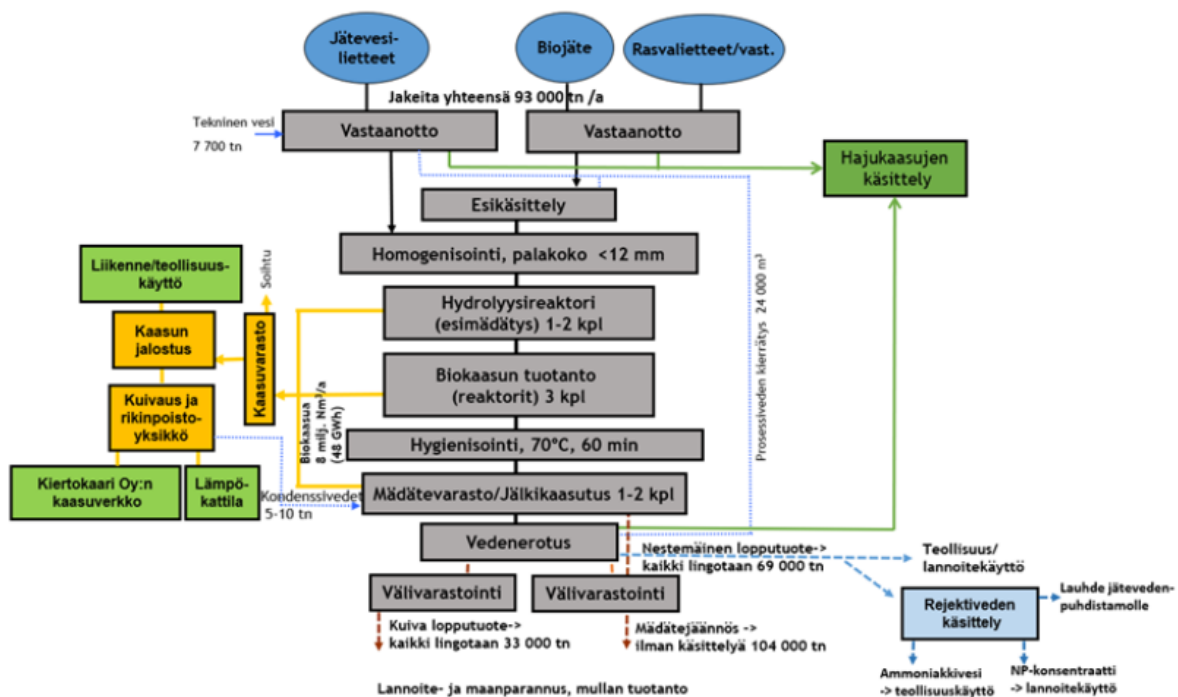
Kevään 2024 aikana laitoksen vastaanotto- ja käsittelykapasiteettia kasvatettiin laajennuksen myötä. Suunniteltu käsittelykapasiteetti ylittää laajennuksen jälkeen ympäristöluvan mukaisesti maksimissaan 93 000 tonniin vuodessa ja tästä määrästä muodostuu anaerobisen hajotuksen myötä noin 48 GWh raakakaasua, eli puhdistamatonta biokaasua ( $\text{CH}_4$  n. 60 %). Kaasua voidaan puhdistaa ja jatkojalostaa metaaniksi liikenteeseen. (Lupapäätös 147/2021.)

Laitoksella vastaanotetaan pääasiassa jätevesilietteitä, biojätteitä (erilliskerätty, pakkauksellinen), elintarviketeollisuuden sivuvirtoja (esim. maitopohjaiset tuotteet), eläinperäisiä 3. luokan sivutuotteita (ml 2. luokan hyväksytyt maitopohjaiset jakeet ja lanta), rasvakaivolietteitä sekä vähäisempiä määriä muita biohajoavia jakeita. Raaka-aineita vastaanotetaan laitoksella vaihtelevia määriä aika ajoin, mikä tarkoittaa, ettei raaka-aineiden keskinäinen suhde ole aina sama. Ennen vastaanottoa arvioidaan ja varmistetaan, että syötettävä raaka-ainemateriaali soveltuu käsittelyyn ja prosessissa syntyvä lopputuote täyttää voimassa olevan lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset. (Lupapäätös 147/2021, 8–9, 12.)

Käsittelykapasiteetin nosto vaikuttaa myös prosessissa tuotettuihin lopputuotemääriin. Ympäristöluvan mukaisesti lietemäistä mädätysjäännöstä muodostuu arviolta noin 140 000 tn/vuosi. Jäännös luokitellaan maanparannusaineeksi ja sitä on mahdollista hyödyntää pelloilla sellaisenaan. Mädätteestä voidaan erottaa linkoamalla maksimissaan 33 000 tn kuivajaetta ja 69 000 tn nestejaetta, mutta käytännössä linkousmääriä ohjaa kysyntä ja markkinatilanne. Kuivajaetta käytetään mädätteen tapaan pelloilla, kun taas nestejaetta ohjataan viemäriin tai jatkojalostetaan. (Oulun biokaasulaitos n.d.; Lupapäätös 147/2021, 14.) Vuonna 2023 laitokselta toimitettiin yhteensä noin 64 000 tn maanparannusaineita, josta noin 90 % oli mädätettä ja loput 10 % kuivajaetta. Rejektivettä syntyi vuoden aikana karkeasti arvioituna noin 47 000 m<sup>3</sup> (Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto).

## 5.2 Biokaasun tuotantoprosessi laitoksella

Alla oleva kaavio havainnoi Oulun laitoksen prosessin kulkua (ks. kuvio 6). Laitosmainen biokaasuprosessi lähtee käyntiin, kun laitos vastaanottaa raaka-aineita lietemäisessä ja kiinteässä muodossa. Kiinteämpi raaka-aine, kuten biojäte, vaatii esikäsittelmistä, joka tässä tapauksessa tarkoittaa murskausta erillisen laitteen avulla. Murskauksen lisäksi raaka-ainetta lietetään joko rejektiveden tai lauhdeveden avulla, jotta sen kuiva-ainepitoisuus laskee märkäprosessille sopivalle tasolle (max 14 %). Liettämisen jälkeen massasta erotellaan pois epäpuhtaudet, kuten muovipakkaukset, kivet, muut esineet. (Lupapäätös 147/2021.)



Kuvio 6. Biokaasulaitoksen toimintojen prosessikaavio (Aluehallintovirasto 2021, 17).

Raaka-aineet sekoitetaan keskenään ja ohjataan tarkempaan murskaukseen, jossa massan palakokoa pienennetään uudelleen EU:n täytäntöönpanoasetuksen mukaisesti alle 12 mm kokoiseksi. Tämän jälkeen homogenisoitu massa syötetään hydrolyysireaktoriin noin viikoksi, jonka aikana varsinainen mikrobitoiminta käynnistyy hydrolyysivaiheen avulla. (Lupapäätös 147/2021.)

Hydrolyysivaiheen jälkeen syöte siirretään täyssekoitteisiin märkämädätysreaktoreihin noin 18–23 vuorokauden ajaksi (Lupapäätös 147/2021). Viipymän aikana syöte käy läpi reaktorissa asidogeneesin, asetogeneesin ja metanogeneesin vaiheet, jotka kuvattiin luvussa 3.5. Mädätysprosessin jäljelle jäänyt mädätejäännös pumpataan reaktorista panostoimisiin hygienisointiyksiköihin. Sivutuotelainsäädäntö edellyttää eläinperäisiltä sivutuotteilta hygienisointia osana tautiriskien hallintaa (Salmonella, Escherichia Coli), kun sivutuotteita hyödynnetään maanparannusaineen tai lannoitevalmisteen raaka-aineina. Lisäksi hygienisointia edellytetään myös puhdistamolietteilä. Hygienisointi tapahtuu nostamalla jäännösmassan lämpötilaa vähintään tunnin ajaksi 70 asteeseen lämmönvaihtimien avulla. Toimenpiteen jälkeen käsitelty mädäte pumpataan säkkimäiseen säiliöön välivarastointia varten. Vuodenajasta ja markkinatilanteesta riippuvan varastointiajan aikana tai jälkeen mädätettä toimitetaan asiakkaille sellaisenaan käytettäväksi maanparannusaineeksi. (Lupapäätös 147/2021, 19, 14–15.)

Varastointisäiliöstä mädätettä johdetaan dekantterilingolle vedenerotukseen (ts. mekaaninen kuivaus), jossa lietemäisestä massasta erotellaan keskipakovoiman avulla erilleen fosfori- ja kiintoainepitoinen kuivajae sekä typpipitoinen nestejae, eli rejektivesi. Linkoaminen muuttaa tarkoituksellisesti kuiva-aineen, orgaanisen aineksen, ravinteiden yms. määräsuhteita, joista lisää luvussa 6.2. Erotusprosessin apuna käytetään kemiallisia polymeerejä, jotka tehostavat veden erottumista mädätteestä. (Lupapäätös 147/2021; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 102.) Muodostuneesta rejektivedestä seulotaan epäpuhtaudet pois.

Vedenerotuksesta rejektivettä voidaan johtaa laimennusvedeksi uudelleen prosessiin, talvi- tai välivarastointiin (laitokselle tai tiloille lietelantasäiliöihin), suoraan loppukäyttöön (peltokäyttö) tai vaihtoehtoisesti jatkojalostusprosessiin. Jatkojalostuksessa rejektivedestä muodostuu haihdutusstrippaustekniikan avulla väkevöityjä typpiravinteita (15 % ammoniakkivesi, NP-konsentraatti) ja lauhdevettä. Typpiravinteita voidaan rejektiveden tavoin varastoida tai kuljettaa suoraan käyttöön

ja lauhdetta kierrättää prosessissa prosessivetenä tai johtaa sitä viemäriin jäteveden puhdistukseen. Kuiva-ainejae johdetaan vedenerotuksen jälkeen välivarastoon erilliselle varastointialueelle, josta sitä toimitetaan jatkojalostukseen tai loppukäyttäjälle. (Lupapäätös 147/2021, 20–21.)

Muodostunut biokaasu siirretään reaktoreilta kaasugarastoon. Varastosta kaasua johdetaan kuivaukseen ja suodatukseen, jossa siitä poistuu vesihöyry sekä rikkiyhdisteet muine epäpuhtauksineen. Puhdistettua kaasua voidaan hyödyntää mm. laitoksen omaan energian tarpeeseen ja/tai jatkojalostaa se paineistetuksi biometaaniksi, joka soveltuu liikennekäyttöön. (Lupapäätös 147/2021, 21.)

## 6 Rejktivesi

Aiemmissa luvuissa (ks. luvut 5.1 ja 5.2) kuvattiin, kuinka rejktivettä syntyy anaerobisen käsittelyn ja vedenerotuksen lopputuotteena. Aiemmin mainittiin myös, kuinka rejktivesi voi toimia myös välituotteena typpi- ja fosforiravinteiden talteenottoprosesseissa (jatkojalostus). Tässä asiayhteydessä jatkojalostus rajataan kuitenkin tarkastelun ulkopuolelle.

### 6.1 Koostumus ja ominaisuudet

Laitosten rejktivesien koostumukset ja ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi. Sekä Heinosen (2014, 14), että Merinin (2016, 26) mukaan koostumusvaihteluun vaikuttavia tekijöitä ovat anaerobisen käsittelyn lämpötila ja tehokkuus, raaka-aineiden koostumus ja heterogeenisyys, vedenerotuksen tekniikka sekä prosessi. Esimerkiksi termofiilinen mädätysprosessi (n. 50–55 °C) saattaa nostattaa rejktiveden ammoniumtyypen pitoisuutta 30 % sekä kemiallisia hapenkulutusrvoja jopa 3,4 kertaisiksi verrattuna mesofiiliseen mädätysprosessiin (Heinonen 2014, 15; viitattu lähteeseen Kangas ym. 2011). Raaka-aineen merkitys lopullisessa koostumuksessa sekä sen laadussa on merkittävä: siinä, missä jätevesilietteiden käyttö saattaa kasvattaa rejktiveden typpipitoisuuksia, hiilihydraatti- ja rasvapitoisilla jakeilla voidaan puolestaan alentaa typpikuormaa. (Merin 2016, 29; Viitattu lähteeseen Gustafsson 2010.).

Kyseessä on siis nestemäinen ja ravinnepitoinen jae, joka sisältää yleensä huomattavia määriä liukoisia typpi- ja kaliumyhdisteitä (esim.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ), vähäisempiä määriä fosforia, useita hivenravinn-

teita sekä suspendoituneita ja kolloidisia kiintoaineita. Rejktiveden kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet sekä hapenkulutusarvot ( $COD_{Cr}$ , BOD) ovat tyypillisesti pelkkää jätevettä korkeampia, mikä tekee rejktivedestä konsentroituneemman. (Heiskanen 2022, 7; Merin 2016, 26, 30.) Rejktiveden kokonaistypestä keskimäärin noin 80 % on liukoisena ammoniumtyyppinä ja loput 20 % orgaanisena tyyppinä (liukoinen, stabiili). Myös fosforista suurin osa on liukoisessa muodossa. (Martinen ym. 2013, 16–17.)

Korkeisiin typpipitoisuuksiin vaikuttaa osaltaan jätevesilietteen käyttö osana raaka-ainepohjaa ja raaka-aineiden käsittely yhteiskäsittelylaitoksessa (Merin 2016, 29). Lisäksi pitoisuuksia nostattaa rejktiveden kierrättäminen laimennusvetenä: ilman laimennuskiertoa ja prosessin alhaisilla KAPitoisuuksilla typpipitoisuudet voivat jäädä alhaisemmiksi (Kinnunen ym. 2021). Kierrättäminen voi kuitenkin nostattaa pitoisuudet tasolle, joka itsessään alkaa inhiboida biokaasuprosessia (Heinonen 2014, 15).

Rejktivesiä on tutkittu useissa eri lähteissä ja niiden koostumukset ovat vaihdelleet laajalti. Esimerkiksi Heittolan (2023) mukaan Latvala (2009) arvioi rejktiveden COD- arvoksi jopa 10 000 mg/l, TN-arvoksi 4 000 mg/l,  $NH_4-N$ -arvoksi 3 500 mg/l sekä alkaliteettitasoksi 100–200 mg/l (Heittola 2023, 23). Heinosen (2014, 14) mukaan puolestaan Wäger-Baumannin (2011) tutkimustuloksissa pelkän biojätepohjaisen rejktiveden vaihteluvälit voivat olla seuraavat: COD-arvo 15 000–80 000 mg/l, BOD-arvo 1 000–15 000 mg/l, TN-arvo 3 000–8 500 mg/l,  $NH_4-N$  arvo 2 500–7 500 mg/l ja TS-arvo 1,5–7 %. Alla olevaan kuvioon (ks. kuvio 7) on koottu erilaisia rejktivesiä, sekä niiden kemiallisia koostumustietoja.

Parametri (mg/l)	Kiinto- aine	BOD <sub>7</sub>	COD <sub>Cr</sub>	Kok-P	Kok-N	NH <sub>4</sub> -N	Alkali- teetti
Biokaasulaitosten rejektivesi (Lehto 2010)	-	1 270 -	3 770 -	5 -	1 250 -	-	-
		3600	11 500	111	3 000		
Yhteiskäsittelylaitos Suomessa (Merin 2016)	1 700 -	367 -	4 200 -	9,2 -	640 -	1800	54
	2 300	2 000	7 500	800	6 000		
Yhteiskäsittelylaitoksen rejektivesi (Latvala 2009)	3860	1790	6550	82	1003	642	59
Nenäinniemen puhdistamon mädätyksestä tuleva rejektivesi (Kehus 2012)	1000	-	-	13,5	935	830	-
Jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksen rejektivesi (Latvala 2009)	6190	1120	142	1,5	993	734	77
Viikinmäen jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksen rejektivesi ennen selkeytystä (Hienonen 2009)	1470	900	-	25,7	870	700	60,2
Yhdyskuntajätevesi (Lindquist 2003)	200	190	380	7	30	-	-
Riihimäen biokaasulaitos (Karjalainen 2021)	1 500 -	1 500 -	6 000 -	-	3 000 -	2 700 -	-
	5 000	3 000	10 000		5 500	4 500	
Kouvolan biokaasulaitos (Karjalainen 2021)	350 -	750 -	2 500 -	-	700 -	450 -	-
	3 700	4 500	8 500		3 500	2 000	

Kuvio 7. Rejektiveden koostumuksia kirjallisuudessa (Heittola 2023, 23)

Yksityiskohtaisempaa vertailupohjaa rejektiveden ravinnepitoisuuksille (N, P, Ca, Cu, K, Mg, Mn, Na, B, Fe, Zn, Mo) on löydettävissä vertailupohjaa Niskasen (2021) opinnäytetyön mittaustuloksista. Työssä tutkittiin erilaisten teollisten sivuvirtojen ravinnepitoisuuksien analysointimenetelmiä. Yhtenä näytteenä työssä käytettiin Gasumin biokaasulaitoksen rejektivettä. (Niskanen 2023, 23.) Työstä ei käy ilmi, mistä laitoksesta rejektivesi on peräisin ja mitä raaka-aineita prosessiin on syötetty. Alla tutkitut parametrit ja rejektiveden mittaustulokset.

Taulukko 2. Rejektiveden pitoisuustietoja (tiedot Niskanen 2021, 23)

Parametri	Yksikkö	Gasum rejektivesi	Tekniikka
pH-arvo	-	5,7	Horiba
Sähkönjohtavuus	mS/cm	25,2	Horiba
Liuennot happi	mg/l	10,08	Horiba
Kalsium, Ca	mg/l	74	MP-AES
Kalium, K	mg/l	1294	MP-AES
Kupari, Cu	mg/l	5	MP-AES
Magnesium, Mg	mg/l	12	MP-AES
Natrium, N	mg/l	1508	MP-AES

Mangaani, Mn	mg/l	20	MP-AES
Boori, B	mg/l	8	Kittitestit
Rauta, Fe	mg/l	21,4	Kittitestit
Fosfaatti -tot	mg/l	143,5	Kittitestit
Ortofosfaatti H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	mg/l	78,7	Kittitestit
Sinkki, Zn	mg/l	3,4	Kittitestit
Molybdeeni, Mo	mg/l	2	Kittitestit
Sulfaatti, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	600	Kittitestit
Nitraatti, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	13	Kittitestit
Ammoniumtyppi, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	3185	Kittitestit
Kokonaistyyppi, N	mg/l	3348	Kittitestit
Orgaaninen hiili -tot	mg/l	4245	Kittitestit

Kuten edellä mainittiin, rejektivesien hapenkulutusarvot (COD<sub>Cr</sub>, BOD) ovat tavanomaista korkeampia. Arvojen keskinäinen suhde kuvaa rejektiveden biohajoavuutta ja arvoa 0,5 pidetään rajana. Tämän alle menevät suhdeluvut viestivät haitallisista yhdisteistä, joita mikrobit eivät kykene hajottamaan. Sekä suomalaisilla, että ruotsalaisilla yhteiskäsittelylaitoksilla suhdeluku on vaihtelee tyypillisesti 0,25–0,35 välillä. (Merin 2016, 21; Viitattu lähteestä Tchobanoglous 2003.)

Vastaanotetun raaka-ainepohjan myötä rejektiveteen voi mahdollisesti päätyä raaka-aineen sisältämiä haitallisia yhdisteitä, kuten esimerkiksi lääkeaineita, antibioottijäämiä, hormoneja, torjunta-ainejäämiä, palonestoaineita (Äystö ym. 2022, 47, 48, 65). Esimerkiksi biojätteiden mukana voi kulkeutua kemikaalijäämiä, kuten pesuaineita, desinfiointiaineita tai rasvoja (Heittola 2023, 19; viitattu lähteeseen Lehto 2010). Marttisen ym. (2013, 61) tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa vesiliukoisista haitta-aineista (esim. ibuprofeeni) päätyi vedenerotuksessa nestejakeeseen, kun taas rasvaliukoiset yhdisteet (esim. PAH, PCDD/F) kulkeutuivat kuivajakeeseen. Haitta-aineista ja epäpuhtauksista on lisää luvussa 9.1.

Rejektivesille ominaista on korkeahko pH-arvo (7,5–8,0) ja lämpötila (25–35 °C). Heittola (2023, 25) toteaa, että arvojen tyypillinen vaihtelu on kapeampaa Lehdon (2010) tuloksissa (8,3–8,5). Valitsevaan lämpötilaan vaikuttaa mädätysprosessin lämpötila (mesofiilinen vs. termofiilinen) ja viipymäaika mahdollisessa jälkikaasutusaltaassa ennen vedenerotusta. Rejektivesien valonläpäisykyky on heikkoa (sameus) ja väri on tyypillisesti tumma, mikä johtuu metallisulfidireaktioista mädätyksen aikana (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 104; Heittola 2023, 25; Merin 2016, 28).

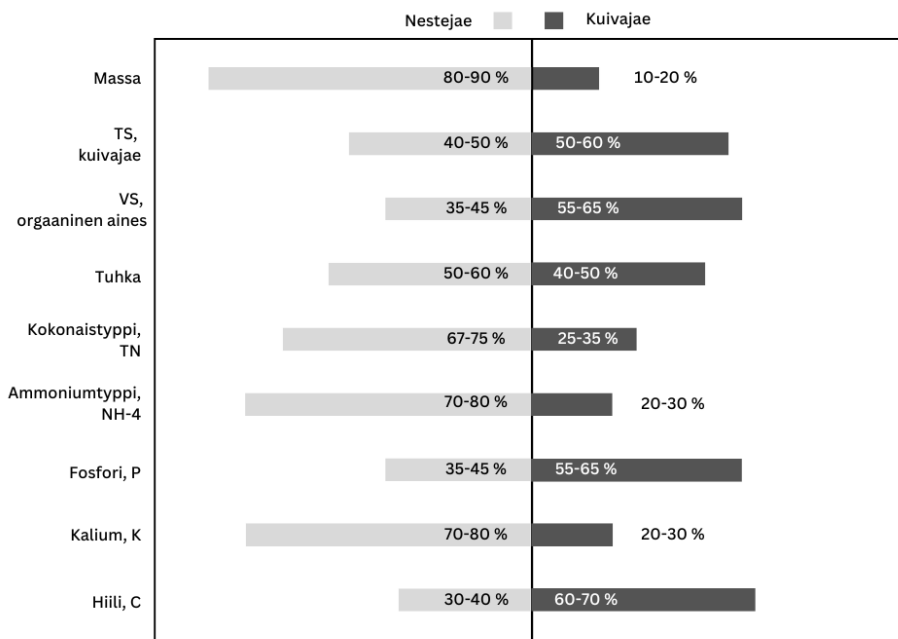
## 6.2 Vedenerotus ja ravinteiden jakautuminen

Sekä Heinonen (2014, 10), että Heittola (2023, 18) toteavat, että rejektiveden syntymismäärää ohjailee sekä prosessin raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuus, että vedenerotuksessa tavoiteltu kuiva-ainepitoisuus. Karkeasti arvioiden rejektivettä muodostuu noin 75–90 % mädätteestä tai noin 1,3–2,9 m<sup>3</sup> syötetonna kohden. Rejektivettä muodostuu vähemmän (m<sup>3</sup>/syöte-tn), mikäli prosessin syötteen ka-pitoisuutta kasvatetaan. (Heittola 2023, 18; Viitattu lähteeseen Lehto 2010.)

Vedenerotuksessa kiintoaineen, orgaanisen aineen sekä ravinteiden määräsuhteet muuttuvat tarkoituksellisesti. Mädätteen sisältämä vesiliukoisten ravinteiden määrä vaikuttaa rejektiveteen päätyvien ravinteiden määrään. Esimerkiksi puhdistamolietepohjainen mädätysjäännös sisältää kemiallisen saostuksen vuoksi vain vähäisiä määriä liukoista fosforia, mikä aiheuttaa alhaisen liukoisen fosforin pitoisuuden rejektivedessäkin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 99–100.) Veden laadun vaihteluun vaikuttaa keskeisesti myös se, optimoidaanko linkojen toimintaa kuivajakeen vai rejektiveden näkökulmasta. Mikäli säädöillä tavoitellaan kuivajakeen korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, rejektiveteen päätyy suhteessa enemmän kiintoainesta ja ravinteita. Jos tavoitteena on puolestaan rejektiveden puhdas laatu, kuivajakeen laatu heikkenee. (Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto 25.9.2024.)

Alla oleviin kuvioihin on hahmoteltu vedenerotuksen vaikutuksia eri parametrien osalta (Ks. kuvat 8 ja 9). Mädätteen vesipitoisesta massasta suurin osa, noin 80–90 % erottuu mekaanisessa kuivauksessa rejektivetenä. Sekä kuiva-aineesta, että orgaanisesta aineksesta hieman vajaa puolet erottuvat rejektiveteen loppujen päätyessä kuivajakeeseen. Kokonaistypestä noin 75 % ja ammoniumtypestä 70–80 % päätyy myös rejektiveteen. Kokonaisfosforin osalta tilanne on toinen: suurin osa (55–75 %) siitä pidättyy kuivajakeeseen ja pienempi osa (35–45 %) rejektiveteen. Kaliumia pidättyy enimmäkseen (70–80 %) rejektiveteen ja hiiltä puolestaan kuivajakeeseen (60–70 %). Lehtoranta ym. (2021, 14) esittää edellä mainitusta hieman poikkeavia kuivajakeen arvoja esimerkiksi fosforin (40–90 %), kokonaistypen (17–47 %) ja ammoniumtypen (9–30 %) osalta. Prosentuaaliset osuudet riippuvat kuitenkin käytössä olevasta erotustekniikasta sekä sen tehokkuudesta. (Lehtoranta ym. 2021, 14.)

## Tärkeimpien parametrien jakautuminen vedenerotuksessa



Kuvio 8. Parametrien jakautuminen vedenerotuksessa. (tiedot Heiskanen 2022, 8, viitattu lähteeseen Wellinger ym. 2013, 284)

Ylemmästä kuviosta ei kuitenkaan voida suoranaisesti päätellä parametrien määrää jakeissa. Täähän tarvitaan todellisia mädätteen arvoja. Alempi kuvio kuvaa edellisten prosentuaalisten jakaumien lisäksi tummilla riveillä parametrien pitoisuutta jakeessa. (Heiskanen 2022, 8.)

	Osuus (m-%)	DM (%)	N (%)	NH4-N (%)	P (%)	K (%)
Mädätysjäännös	100	100	100	100	100	100
		6,4 %	5,7 %	4,2 %	1,6 %	2,6 %
Kuivajäte	14	65	25	15	75	17
		30 %	10,1 %	4,5 %	8,7 %	3,1 %
Nestejäte	86	35	75	65	25	83
		2,6 %	4,9 %	4,2 %	0,5 %	2,5 %

1

Kuvio 9. Dekantterilinkoamalla tehdyn vedenerotuksen vaikutukset (Heiskanen 2022, 9, viitattu lähteeseen Al Seadi ym. 2008, 58)

### 6.3 Gasum Peltotyyppi, Huittinen

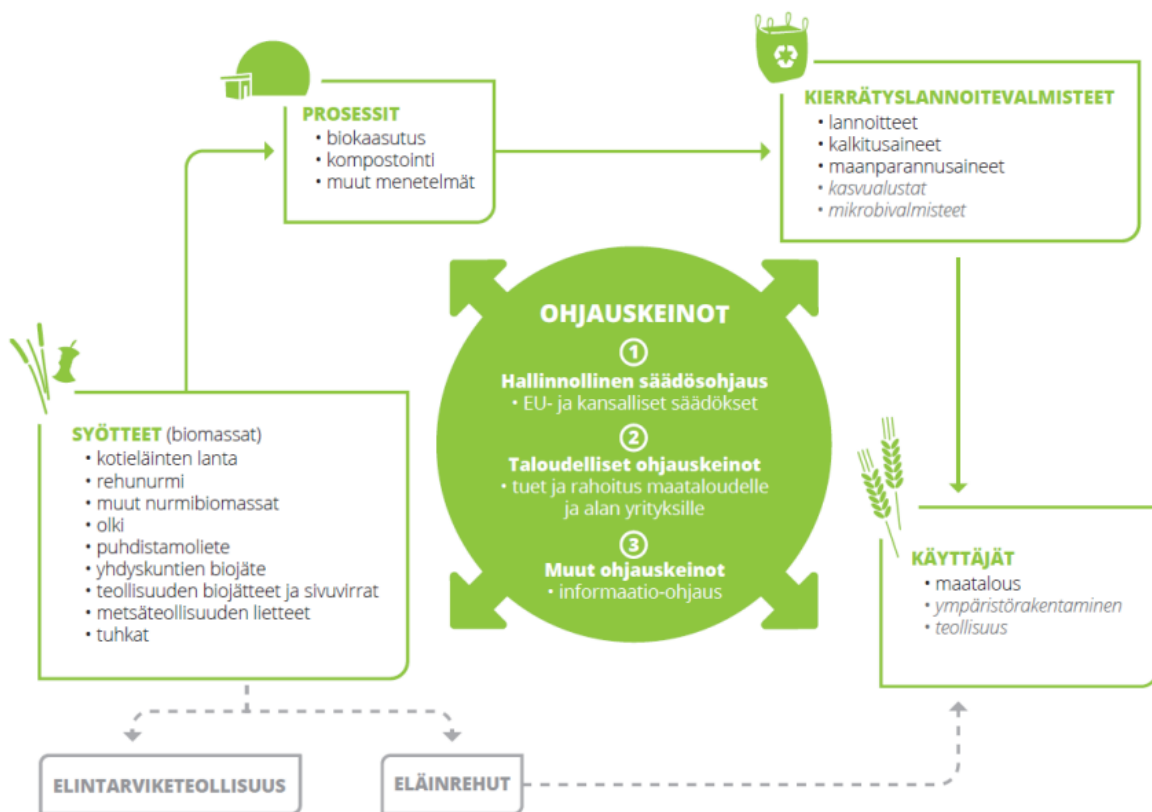
Kiertoravinne on ottanut kokeiluun Huittisten biokaasulaitoksella valmistetun rejektiveden nimellä Peltotyyppi (Ylikahri 2024 henkilökohtainen tiedonanto). Kyseessä on siis nestemäinen kierrätyslannoite, jonka kuiva-ainepitoisuus on Oulun rejektiveden tapaan alhainen (1,0 %). Olomuodostaan huolimatta valmiste ilmoitetaan orgaanisena maanparannusaineena tai ravinnelisinä, jota on mahdollista hyödyntää esim. viljan, sokerijuurikkaan, tärkkelysperunan tai öljykasvien viljelyaloille 1.4.–30.10. aikana. Peltotyyppi sisältää nimensä mukaisesti kokonaistyyppiä (4–8 kg/m<sup>3</sup>), vähäisiä määriä kokonaisfosforia (0,1–0,5 kg/m<sup>3</sup>) ja kokonaiskaliumia (0,5–1 kg/m<sup>3</sup>). Tilalle toimitettuna tuotteen hinta on 2 €/tn (alv 0 %), johon lisätään mahdolliset rahtikulut 1,4 €/tn/10 km. (Tuotteet n.d.)

Valmistelle on laadittu tuoteseloste, johon on kirjattu seuraavat seikat: valmistaja, tuoteluokka, valmistuspaikka, kauppanimi, laitoksen hyväksyntänumero, raaka-aineet, käsittelymenetelmä, pakkauskoko, tuote-erän tunnus ja tuotantoaika. Peltotyypin ominaisuuksia ilmoitetaan tilavuuspainon, kuiva-aineen, pH-arvon, karkeusasteen, patogeenien, sähkönjohtavuuden, orgaanisen hiilen sekä hiilityppi -suhteen avulla. Lisäksi tuoteselosteen loppuun on lisätty käyttötarkoitus, käyttöohjeet (sis. nitraatti- ja fosforiasetuksen rajoitukset), ohjeet raskasmetallipitoisuuden määrittämiseen viljelyalalta. Valmisteen sisältämien ravinteiden (pääravinteet, hivenravinteet) sekä raskasmetallien pitoisuudet on ilmoitettu yksiköissä g/kg kuiva-ainetta tai kg/m<sup>3</sup> tuorepainossa. Lisäksi tuoteselosteeseen on lisätty laskennassa huomioitavat typen ja fosforin pitoisuudet. (Tuoteseloste 2024.) Tarkemmat pitoisuudet on esitelty liitteessä 6.

Valmisteen raaka-aineina on käytetty puhdistamolietettä (23 %), entsyymiteollisuuden sivuvirtoja, eläinperäisiä 3. luokan sivutuotteita, biojätettä ja rasvakaivolietettä. Ainesosaluokaksi on määritetty 10: käsitelty jätevesiliete. Tuote on hygienisoitu 1 h ajan 70 asteessa. Laskennassa huomioitava tyypipitoisuus on 4,4 kg/m<sup>3</sup> ja fosforipitoisuus 0,17 kg/m<sup>3</sup>. (Tuoteseloste 2024.) Tyypityksistä lisää luvussa 8.

## 7 Ohjauskeinot

Tässä luvussa tarkastellaan ohjauskeinoja sekä niiden määrittelemiä reunaehtoja, joita rejektive-  
delle kohdistuu sen arvoketjun eri vaiheissa. Ohjauskeinot voidaan jakaa karkeasti hallinnollisiin tai  
lainsäädännöllisiin, taloudellisiin sekä informaatiotason ohjauskeinoihin (ks. kuvio 10) ja ohjausta  
suuntautuu koko arvoketjuun (Pitkänen 2024; Kinnunen & Pirkkamaa 2020). Luokittelua voidaan  
tehdä laajemminkin, jolloin voidaan ottaa huomioon myös toimintaan vaikuttavat ylätason toi-  
menpidekokonaisuudet sekä vapaaehtoiset laatujärjestelmät. Edellisistä työn tarkasteluun on si-  
sällytetty kansallinen laatulannoitejärjestelmä. Informaatiotason ohjaukseen ei puolestaan ole  
keskitytty syvemmin.

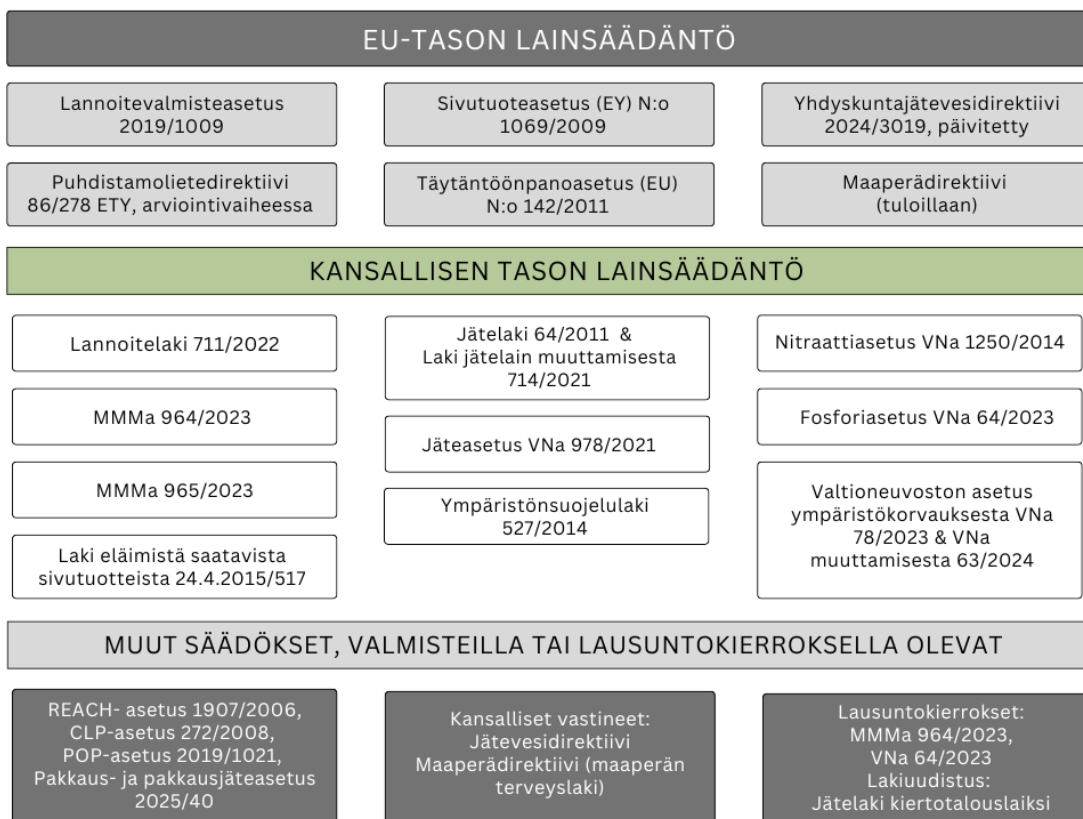


Kuvio 10. Ohjauskeinojen viitekehys (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 3)

Kinnunen ja Pirkkamaa (2020, 20) jakavat hallinnollisen ohjauskeinokokonaisuuden seuraaviin aihealueisiin: yleinen kestävä kehitys (biotalous, kiertotalous), lannoite-, jäte-, kemikaali- ja maata-

loustukilainsäädäntö sekä muut säädökset. Taloudellisiin ohjauskeinoihin on liitetty tuet ja rahoitusinstrumentit, mutta myös erilaiset verot sekä -maksut, päästökauppa ja palautus- ja panttijärjestelmät (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 37).

Rejektiveden, kuten muidenkin kierrätyslannoitevalmisteiden valmistusta tai käyttöä koskeva ohjauskeinokokonaisuus on laaja ja monitasoinen (ks. kuvio 11). Osa ohjauskeinojen sääntelystä suuntautuu ensisijaisesti muualle ja liittyy rejektivesikokonaisuuteen epäsuorasti. Näidenkin vaikuttimien huomioon ottaminen palvelee kuitenkin monitahoista rejektiveden arvoketjua sekä sen toimijoita. (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 3–4.) Lukuun 7 on koottu yleistietoja keskeisimmistä hallinnollisista ja taloudellisista ohjauskeinoista sekä luku laatulannoitejärjestelmästä. Rejektivettä koskevat käytännön rajoitteet ja huomioitavat seikat kuvataan luvussa 8.



Kuvio 11. Rejektiveden lainsäädännöllinen kehys

## 7.1 Lannoite- ja sivutuotelainsäädäntö

Rejektiveden lannoitelainsäädäntökokonaisuuteen kuuluu keskeisesti vuonna 2019 annettu EU:n lannoitevalmisteasetus (2019/1009) sekä kansallisella tasolla Lannoitelaki (711/2022) sekä Maa- ja metsätalousministeriön asetukset lannoitevalmisteista (964/2023) ja lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (965/2023). Sekä EU-tason, että kansallisen tason säädökset sääntelevät lannoitealan arvoketjun toimintaa: valmistusta (käsittelyä) markkinoille saattamista, käyttöä, kuljetusta ja varastointia, sekä tuontia ja vientiä (Jääskeläinen 2024, 6). Sääntelyyn sisältyy mm. tuoteluokat (perustuu käyttötarkoitukseen) ja ainesosaluokat (perustuu raaka-aineisiin tai niiden osiin) valmisteen määrittelyä varten, tuote- ja ainesosaluokkakohtaiset laatu- ja käsittelyvaatimukset, tuoteluokkakohtaiset merkintävaatimukset sekä sallitut poikkeamat, ilmoitusmenettelyt ja muut vaatimukset lannoitevalmisteen käyttöä koskien. Lisäksi EU-lannoitevalmisteasetus mahdollistaa lannoitevalmisteen (epäorgaaninen, orgaaninen) joustavan kauppaamisen ja liikkumisen EU:n alueella, valmistelle CE-merkinnän ja jätteen määritelmän päättymisen asetuksessa vahvistettujen kriteereiden ansiosta. (Välinen ym. 2024, 18; Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009.) Kansallisen lainsäädännön tuoteluokat ja ainesosaluokat on koottu liitteeseen 1.

Lannoitelain 5 §:n mukaan lannoitevalmisteita voidaan valmistaa ja saattaa markkinoille joko EU-lainsäädännön tai kansallisen lainsäädännön mukaisesti. Lisäksi markkinoille saattaminen on mahdollisista vastavuoroisen tunnustamisen kautta. Keskeistä on, että lannoitevalmisteet ovat asianmukaisia ja turvallisia käyttää, eivätkä ne sisällä haitallisia ominaisuuksia (aineet, yhdisteet, eliöt) sellaisia määriä, että käytöstä voisi aiheutua vaaraa tai haittaa ihmiselle, eläimelle, kasveille tai ympäristölle. (L 711/2022, 5 §.)

Lannoitevalmisteasetuksen liitteen 2 mukaisesti lannoitevalmiste saa sisältää ainoastaan asetukseen hyväksytyjä ainesosaluokkia. Asetus ei kuitenkaan tunnusta jätevesilietteitä mädätteen hyväksytyiksi ainesosiksi (CMC 5 Muu mädäte, kuin tuorekasvimädäte), joten valmisteiden markkinoille saattaminen ei ole mahdollista EU-asetuksen mukaan. Tällaisissa tilanteissa sovelletaan voimassa olevan kansallisen lainsäädännön asettamia vaatimuksia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009, 38 artikla, liite 1; Äystö ym. 2022, 14) Jätevesilietteen käytöstä ja siitä aiheutuvasta maaperän analysointivelvoitteesta säädetään tarkemmin kansallisella lannoitevalmisteasetuksella (MMM 964/2023, 7 §).

Rejektiveden raaka-aineina käytettäviin eläinperäisiin sivutuotteisiin (myös biojäte) kohdistuu EU-tasolla sivutuoteasetuksen (1069/2009) ja täytäntöönpanoasetuksen (142/2011) vaatimukset ja rajoitteet. Kansallisella tasolla sivutuotteita säätelee laki eläimistä saatavat sivutuotteet (517/2015) ja maa- ja metsätalousministeriön asetus eläimistä saatavista sivutuotteista (783/2015).

Sivutuoteasetuksen tarkoitus on suojella ihmisten ja eläinten terveyttä, hallita sivutuotteista leviäviä tautiriskejä sekä suojella elintarvike- ja rehuketjun turvallisuutta. Eläinperäiset sivutuotteet tarkoittavat muita, kuin ihmisravinnoksi tarkoitettuja sivutuotteita. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009, 1–2.) Sivutuotelainsäädäntö keskittyy suurimmalta osin sivutuotteiden käsittelyyn, mutta sääntelyä kohdistuu myös keräämisen, varastoinnin, kuljetuksen, jatkojalostamisen, markkinoille saattamisen ja hävittämisen vaiheisiin (Jääskeläinen 2024, 8). Asetus kategorisoi sivutuotteet terveysriskin vakavuuden mukaan luokkiin 1–3 ja määrittelee jokaiselle luokalle sallitun hävitys- tai käsittelymenetelmän. (A 1069/2009, 8–10, 12–14, 25). Edellisten lisäksi asetus määrittelee sivutuotteille lähtö- ja päätepisteet sekä sivutuotteita käsittelevien toimijoiden vastuut (yleiset hygieniavaatimukset, laitoshyväksyntäprosessi, omavalvonta ja HACCP-menettely, kaupalliset asiakirjat). Asetus sallii sekä biokaasun, että orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotannossa käytettäväksi 3. luokan sekä tiettyjä 2. luokan sivutuotteita. Lisäksi niistä johdettuja lannoitevalmistetuotteita voidaan asetuksen 32 artiklan mukaisesti saattaa markkinoille. (Jääskeläinen 2024, 8; A 1069/2009, 15–16, 32.) Reunaehdoista tarkemmin luvussa 8.

Sivutuotelainsäädännön täytäntöönpanoasetus sisältää puolestaan tarkempia määräyksiä esimerkiksi käsittelylaitosten vaatimuksista (yleiset, hygieniavaatimukset), eri sivutuoteluokkien käsittelystä, keräyksestä ja kuljetuksesta, vaadittavista dokumenteista ja niiden sisällöistä (kaupallinen asiakirja, terveystodistus, tunnistusmerkinnät) sekä valvonnasta ja siihen sisältyvistä tarkastuksista. Lisäksi täytäntöönpanoasetus vahvistaa sekä biokaasun, että lannoitevalmisteiden tuotannon erityisluonteiset vaatimukset. Näihin sisältyy mm. laitoksiin sovellettavat käsittely- ja hygieniavaatimukset, mitattavat ja seurattavat parametrit, mädätysjäännöistä koskevat vaatimukset, markkinoille saattamista, varastointia ja levitystä koskevat vaatimukset ja rajoitukset. (Komission asetus (EU) N:o 142/2011, liite 4, liite 5).

Kansallisella sivutuotelailla (517/2015) toimeenpannaan EU-tasoiset säädökset Suomessa. Pääsääntöisesti lain sisältö on sama, kuin EU-tason säädöksissäkin. Poikkeuksina laki kuitenkin sallii mm. käsittelemättömän lannan kuljettamisen tilalla tai tilojen välillä ilman vaadittavia asiakirjoja tai terveystodistuksia sekä tiettyjen 3. luokkaan ja 2. luokkaan kuuluvien sivutuotteiden (esim. maito ja maitopohjaiset tuotteet) hyödyntämisen ilman hygienisointikäsitteilyä laitoksessa. Lakiin on myös kirjattu laitoshyväksyntäprosessin hakemiseen liittyvät seikat sekä toimijan luotettavuus-käsite. (L 517/2015, 16, 19, 33, 41a §.)

## 7.2 Jäte- ja ympäristölainsäädäntö

Jäte- ja ympäristölainsäädäntö kattaa seuraavat säädökset: Jätelain (646/2011) sekä lain jätelain muuttamisesta (714/2021), valtioneuvoston asetuksen jätteistä (978/2021), ympäristönsuojelulain (527/2014) ja vastikään päivitetyn yhdyskuntajätevesidirektiivin (2024/3019). Säädöksiä yhdistää se, että ne käsittelevät useita orgaanisia lannoitevalmisteita jätteinä tai sivutuotteina niiden sisältämien raaka-aineiden tai ainesosien perusteella.

Jätelaki keskittyy nimensä mukaisesti jätteisiin sekä erilaisiin toimintoihin, joissa jätteitä syntyy (L 646/2011, 2 §). Lailla pyritään mm. vähentämään syntyvän jätteen määrää, torjumaan ja minimoimaan jätteen aiheuttamaa vaaraa tai haittaa (terveys, ympäristö). Lisäksi jätelaki pyrkii omalta osaltaan edistämään kiertotalouden toteutumista ja resurssitehokasta luonnonvarojen käyttöä. (L 646/2011, 1 §.) Ympäristönsuojelulain tavoitteet ovat osittain linjassa jätelain kanssa: jätteen määrän ja haittavaikutusten vähentämisen ja ehkäisemisen tavoitteet on kirjattu sinnekin. Ympäristönsuojelulaki korostaa kuitenkin ympäristön pilaantumisen ehkäisemistä ja niihin aiheuttavien haittojen poistamista sekä ympäristövahinkojen torjumista. (Äystö ym. 2022, 18.)

Jätelainsäädäntö linkittyy orgaanisten lannoitevalmisteiden arvoketjuun erityisesti jätepohjaisten raaka-aineiden, niiden käsittelyvaatimusten sekä käytön rajoitusten kautta (Välinen ym. 2024, 12). Lannoitevalmisteiden näkökulmasta eräitä keskeisimpiä jätelain kohtia ovat jätteen määritelmä, sivutuotteen määritelmä sekä jätteeksi luokittelun päätyminen. Jättemateriaali on siis käytöstä poistettavaa tai jo poistettua ainetta tai muuta esinettä. Sivutuotteeksi laki katsoo aineen tai esi-neen, jota syntyy tuotantoprosessissa, mutta ei päädy lopputuotteeseen (hävikki). Täyttääkseen sivutuotteen määritelmän, seuraavien kriteereiden täytyy täytyä: 1. Aineella on varmaa jatkokäyt-

töä, 2. Sitä voidaan hyödyntää sellaisenaan (pl. tavanomaiset teolliset muuntelut), 3. Aineen syntyminen on keskeinen osa prosessia ja 3. Aine on suunnitellun käyttötarkoituksen mukainen (ympäristö- ja terveystaamukset) eikä aiheuta vaaroja tai haittoja. (L 646/2011, 5 a §.) On huomioitava, että jätelain sivutuotteen määritelmä ei tarkoita samaa, kuin sivutuotelainsäädännön mukainen eläinperäinen sivutuote. Jätteen luokittelu päättyy, mikäli: 1. Jätettä on tarkoitus käyttää erityisiin tarkoituksiin, 2. Sen käytöllä on kysyntää tai markkinoita, 3. Se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset, että vastaavien tuotteiden säännösten ja standardien vaatimukset, 4. Sen käyttäminen ei aiheuta ympäristö- tai terveyshaittoja tai -vaaroja. (L 646/2011, 5 b §.)

Orgaanisen lannoitevalmisteen kohdalla on olennaista huomioida lannoitelain- ja jätelainsäädännön rinnakkainen suhde. Vaikka lannoitelainsäädäntö kohtelee mädätettä, sen kuiva- tai nestejakeita lannoitevalmisteenä, ovat ne silti jätelain näkökulmasta edelleen jätettä. Jättestatus ei kuitenkaan estä nestejakeen hyödyntämistä lannoitevalmisteenä (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 30). Jätteen määritelmä poistuu ainoastaan, mikäli aine tai esine käy läpi EEJ-menettelyn (Ei-enää-jätettä). Määritelmän päättäminen mahdollistaa jätteen uusiokäytämisen tuotannon toissijaisena raaka-aineena. EEJ-menettelyitä voidaan toteuttaa pääasiassa 3 eri tavalla: EU-tasojen säädösten sisältämien arviointiperusteiden avulla, kansallisen lainsäädännön arviointiperusteiden avulla tai ympäristönsuojelulain mukaisella tapauskohtaisella harkinnalla. EU:n lannoitevalmistesäätöjen vaatimustenmukainen CE-merkitty lannoitevalmiste päättää myös sen jättestatuksen. Kansallisella tasolla tästä ei ole säädetty, joten lannoitevalmisteille, joiden valmistuksessa ei noudateta EU-lannoitevalmisteen vaatimuksia, vaihtoehdoksi jää ympäristölupaprosessin tapauskohtainen harkinta. (Äystö ym. 2022, 26; Välinen ym. 2024, 12–13; Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 30.) EEJ- menettelyn tai ympäristölupaprosessin läpi käynyttä valmistetta säätelee jatkossa pelkästään lannoitelainsäädäntö sekä valmisteen tyypistä, ominaisuuksista ja käyttötarkoituksesta riippuen mahdolliset tuote- ja kemikaalisäädökset. (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 31–32.)

Jätteen tuottajia, käsittelijöitä, kuljettajia sekä tietyissä määrin myös tuotteiden valmistajia laki velvoittaa mm. noudattamaan toiminnassaan aiemmin mainittua etusijajärjestystä (ks. luku 2.1), huolehtimaan tuotteita koskevista erinäisistä seikoista (esim. resurssitehokkuus, jätteen määrän vähentäminen), varmistamaan hyödynnettävän jätteen laatu (esim. epäpuhtauksien poisto), seuraamaan, tarkkailemaan sekä pitämään kirjaa toiminnassa syntyvistä sekä käsitellyistä jätteistä. (L 646/2011, 8–9, 12, 15 b, 118, 120, 124 §.)

Jätelakia täydentävässä jäteasetuksessa säädetään mm. jätteen pakkaamisesta, merkinnöistä, kuljettamisesta sekä käsittelystä (Väänänen 2025, 11). Asetus velvoittaa jätelain tapaan sekä jätteen tuottajia, että käsittelijöitä kirjanpitoon, tiedonantoon, jätteenkäsittelyn seurantaan ja tarkkailuun (VNa 978/2021, 33–41 §). Edellisten lisäksi, asetus luokittelee sekä jätteen hyödyntämis- ja loppukäsittelytoimet ja eri jätemateriaalit. Mädätysprosessi, eli orgaanisen jätteen anaerobinen käsittely on saanut hyödyntämistoimena koodin R3.3, kun prosessin lopputuote hyödynnetään tuotteena kierrätyksessä tai materiaalina tai aineena pellolla (lannoitus, maanparannus). Rejektiveden jätenimikkeenä listalta löytyy seuraava: yhdyskuntajätteiden anaerobisessa käsittelyssä syntyvä neste ja koodina 19 06 03. (VNa 978/2021, liite 1, liite 3.)

Ympäristönsuojelulain (527/2014) keskeisin kirjaus on toiminnan luvanvaraisuus eli ympäristölupa. Yleisesti ottaen lain 27 §:n mukaiseen toimintaan, josta aiheutuu ympäristön pilaantumista, on haettava lupa (Äystö ym. 2022, 18). Lain liitteessä 1 määritellään tarkemmin luvanvaraiset toiminnot ja ne on jaoteltu direktiivilaitoksiin ja muihin laitoksiin. Oulun biokaasulaitos luetaan taulukon mukaiseksi direktiivilaitokseksi, jossa harjoitetaan 13. kohdan mukaista ammattimaista jätteenkäsittelyä tai jätevesien käsittelyä ja hyödynnettävät jätteet ovat f) kohdan mukaisesti muita, kuin vaarallisia jätteitä (Lupapäätös 147/2021, 68). Hyödynnettävien jätteiden määrät vaikuttavat siihen, onko lupa haettava kunnan sijaan aluehallintovirastosta (Äystö ym. 2022, 27). Ympäristöluvat sisältävät määräyksiä mm. pilaantumisen ehkäisemisestä, BAT-tekniikasta, jätteistä ja jätehuollosta, seurannasta ja tarkkailusta tai viemäriin johdettavista jätevesistä (L 527/2014, 52–53, 58, 62, 67 §).

Ympäristönsuojelulaki asettaa kuitenkin muutamia poikkeuksia, joihin ympäristölupa ei ole tarpeellinen. Kuten luvussa 3.1 mainittiin, lain 32 §:n mukaisesti lupaa ei vaadita haitattomaksi käsittelystä jätevesilietteestä, umpi- tai sakokaivolietteestä tai kuivakäymäläjätteestä, kun niitä käytetään lannoitelainsäädännön mukaisesti maataloudessa. Lupaa ei tarvita myöskään haitattomien luonnonaineksien (syntyneet maa- ja metsätaloudessa) käytöstä maa- ja metsätaloudessa (Äystö ym. 2022, 18). Lupaa ei myöskään ole tarpeen hakea lyhytaikaisesta koetoiminnasta, edellyttäen, että toiminnan seurauksena ympäristöön ei kohdistu pilaantumisen vaaraa. Koetoiminnasta on ilmoitettava 30 vrk sisällä sähköisesti lupaviranomaiselle. (L 527/2014 31, 119 §).

Raaka-aineena käytettävään jätevesilietteeseen kohdistuu myös osaltaan vastikään päivitetyn ja pian voimaan astuvan yhdyskuntajätevesidirektiivin (2024/3019) vaatimukset. Tiukentunutta sääntelyä kohdistuu keräämiseen ja erityisesti käsittelyyn (ravinteiden ja mikroepäpuhtauksien poistovelvoitteet, energiatehokkuus), lietteeseen sekä seurantaan. Ravinteiden (typpi, fosfori) poistovelvoitteet (90 % P, 80 % N tai 87,5 % P, 80 % N reduktio) tiukentuvat vuosittain porrastetusti laitosten ja taajamien koon mukaan. Mikroepäpuhtauksien poisto tapahtuu joko porrastetusti tai riskiperusteisesti, mutta kuitenkin niin, että aineiden vähimmäispoistoteho on 80 %. Direktiivi suosittelee, että liete käsitellään jätepuitedirektiivin jätehierarkian mukaisesti. Lisäksi direktiivi velvoittaa jäsenvaltioita seuraamaan ja tarkkailemaan lietteen sisältämiä mikromuovipitoisuuksia yli 10 000 avl taajamissa sekä erityisesti niissä tapauksissa, joissa lietettä hyödynnetään maataloudessa. Seuranta tehdään joko 1 krt/2 vuotta tai 2 krt/1 vuosi. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2024/3019.)

### 7.3 Muut mahdolliset lainsäädäntökokonaisuudet

Sekä Äystö ym. (2022, 28), että Kinnunen & Pirkkamaa (2020, 35) korostavat, että mikäli kierrätyspohjaisten lannoitevalmisteiden jätestatus päätetään, on olemassa riski, että valmisteille kohdistuu tällöin kemikaali- ja/tai tuotelainsäätelyn vaatimukset ja velvoitteet. Lähtökohtaisesti mädäte on vapautettu REACH-asetuksesta, mutta sen raaka-ainepohja aiheuttaa tulkinnanvaraa, erityisesti, jos raaka-aineena on käytetty lietteitä. Rejektivesien kohdalla koostumuksen ja epäpuhtauksien vuoksi tulisi arvioida, täyttyykö REACH -asetuksen mukainen rekisteröintivelvoite. (Kinnunen & Pirkkamaa 2020, 34.)

Kemikaalilainsäädäntö voi sisältää esim. REACH -asetuksen (1907/2006), CLP-asetuksen (272/2008) tai POP-asetuksen 2019/1021 sääntelyitä. Tuotesäätely sisältää mm. Markkinavalvontalain (1137/2016). Näitä ei ole tarkasteltu tässä yhteydessä enempää.

Rejektiveden biojätepohjaiseen raaka-aineeseen kohdistuu epäsuorasti myös vastikään julkaistu EU:n pakkaus- ja pakkausjäteasetus (2025/40). Asetuksella pyritään vähentämään alati kasvavaa pakkausjätteen määrää ja edistämään kiertotalouden toteutumista. Asetus sisältää mm. sääntelyä koskien kierrätysmateriaalin käyttöä pakkauksissa ja biohajoavan muovin käytön rajoittamista pakkausratkaisuihin, paitsi biojätepusseihin tai hedelmätarroihiin. Asetuksen ohessa tarkastellaan

myös EN-13432-standardia, joka käsittelee pakkausten biohajoavuutta teollisissa olosuhteissa. (Välinen ym. 2024, 40.)

## 7.4 Valmisteilla oleva lainsäädäntö

Edellä käsitelty kansallinen lannoitevalmisteasetus on työn kirjoitushetkellä lausuntokierroksella. Maa- ja metsätalousministeriön muistiossa (31.10.2024) esitetään mm. hygienisointivaateiden lieventämistä tapauksissa, joissa käsittelylaitokseen saapuva ainesosa tai raaka-aine on jo lähtöpai- kassaan hygienisoitu ennen kuljetusta. Toisena muutoksena esitetään helpotuksia jätevesilietettä sisältävien lannoitevalmisteiden analysointivelvoitteisiin. Muutoksessa analysointivelvoite koskisi viljelysmaata, jonka pH arvo olisi alle 5,8 ja kalkkistabiloidun jätevesilietteen levitystapauksissa 5,5. Raskasmetallien analysoiminen viljelymaasta luo kustannuksia ko. lannoitevalmisteiden käyttöön ja keventämällä velvoitteita edistettäisiin viljelijöiden taloushyötyjä. Jätevesilietteet sisältävät Suomessa kuitenkin alhaisia pitoisuuksia raskasmetalleja ja lietteen levitysmääriä rajoitetaan. Koko asetuksen muutosajankohta ei ole toistaiseksi tiedossa ja analysointivelvoitteista todetaan, että niiden tarkastelu siirtyy puhdistamolietedirektiivin (85/278/ETY) uudistumisen jälkeiseen aikaan. (VN/30951/2024, 2–3.)

Jätevesilietteen käytön maataloudessa mahdollistaa ja ohjailee puhdistamolietedirektiivi (86/278/ETY). Direktiivillä tavoitellaan lietteen asianmukaista käyttöä ja toisaalta sen haitallisten vaikutusten (maaperä, kasvillisuus, eläimet, ihmiset) torjumista. Direktiivi mm. ohjaa puhdistamolietteen käyttöä ja levittämistä (esim. käytön rajoitukset, varoajat), asettaa sekä lietteelle, että maaperälle raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot (elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki) ja määrittelee maaperän analysointivelvoitteet lietteen käytön turvallisuuden takaamiseksi. (Äystö ym. 2022, 17; Jääskeläinen 2024, 10.) Puhdistamolietedirektiiviä on viime vuosina arvioitu uudelleen ja se on tarkoitus päivittää. Direktiivin päivitys aiheuttanee myös muutoksia kansalliselle tasolle. (Äystö ym. 2022,17; Välinen ym. 2024, 38–39).

Myös jätelakiin ja EEJ-menettelyihin on odotettavissa muutoksia. Jätelaki muutetaan tulevien vuosien aikana kiertotalouslaiksi ja samalla jätelain sisältöä päivitetään. SBB:n uutisessa (2025) arvioidaan, että päivittäminen vaikuttanee myös kierrätyslannoitevalmisteiden jätestatukseen. Uutisen mukaan SYKE selvittää vuoden 2025 loppuun mennessä eri biomassoille mahdolliset EEJ-kriteerit,

jotka olisi mahdollista säädellä kansallisesti. (Kyöstilä 2025.) Kansalliset arviointikriteerit tai säädöskehys ylipäättään sujuvoittaisi jätteen luokittelun päättymistä.

EU:n maaperästrategia vaikuttaa tulevaisuudessa myös lainsäädännöllisellä tasolla. EU valmistelee maaperädirektiiviä. Maaperädirektiivillä tavoitellaan maaperän riskien vähenemistä (erosio, suo-laantumisen, tiivistyminen, maaperän hiilen väheneminen, pilaantuminen) sekä ihmisten terveyden ja elintarviketurvallisuuden suojelua. Kirjoitushetkellä direktiivin ehdotukseen sisältyy mm. maaperäseurantaa ja maaperän terveystietoa sisältävän tietokannan ylläpitäminen. (Perälä 2023.) Direktiivistä on odotettavissa kansallinen vastine, maaperän terveyslaki.

## **7.5 Maataloustukijärjestelmä ja ehdollisuuden vaatimukset**

Maataloustuet (78/2023, 63/2023) sekä niihin liittyvät nitraatti- ja fosforiasetukset (64/2023, 1250/2014) voidaan sijoittaa sekä hallinnollisiin, että taloudellisiin ohjauskeinoihin. Uuden CAP-kauden (2023–2027) ansiosta maataloustukijärjestelmä uudistui vuoden 2023 alusta. Tukikokonaisuus pitää sisällään useita erilaisia tukia, joita rahoitetaan joko kokonaan tai osittain EU:n tai kansallisten rahoitusjärjestelmien kautta. Maataloustukijärjestelmällä sekä siihen sisältyvillä rajoituksilla on merkittävä vaikutus rejektiveden käyttömahdollisuuksiin, sillä suurin osa tiloista kuuluu ympäristökorvausjärjestelmään. Vain noin 13,6 % tiloista, jotka olivat saaneet perustukea, eivät olleet ympäristökorvauksen piirissä vuonna 2018. Vastaavasti vain 5,7 % peltopinta-alasta ei ollut ilmoitettu tuen piiriin. (Järvenranta, Kykkänen, Mattila, Salo, Termonen & Virkajärvi 2022, 10)

Saadakseen maataloustukea viljelijää sitoo tuen perusehdot: aktiiviviljelyn vaatimus, viljelykierto-vaatimus, talviaikainen peitteisyys sekä ehdollisuuden vaatimukset (ks. kuvio 12). Vuoden 2024 alusta lähtien viljelykierto poistettiin lohko-kohtaisista muistiinpanoista sekä kerääjäkasvien toimenpiteestä ja se liitettiin perusehtoihin. Muutos koskee nykyisellään suurinta osaa tiloja joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta ja sen perimmäinen tarkoitus on ylläpitää sekä parantaa viljelymaan kasvukuntoa. Yksivuotisessa viljelykierrossa on toteuduttava vuosittaisella tasolla vaihtuvuutta vähintään 33 % yksivuotisen viljelykasvin alasta. Usean vuoden viljelykierron vaatimuksella puolestaan varmistetaan, että vaihtuvuutta tapahtuu lohko-kohtaisella 3 vuoden välein. Kierrossa on kuitenkin sallittua käyttää ns. välikasvia, joka kylvetään pääasiassa satokasvien väliin. Vaikutus tuen näkökulmasta nähdään vasta seuraavana vuonna, vaikka varsinaisesti kylvö tapahtuukin edellisenä

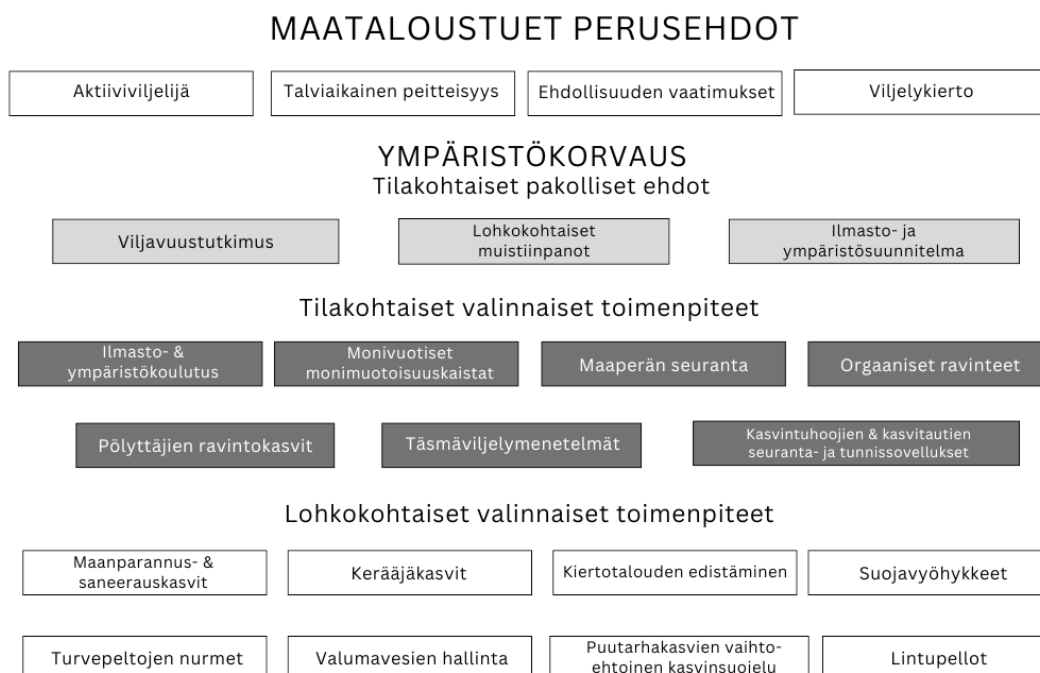
vuonna. Viljelykiertovaatimusta ei tarvitse noudattaa mm. joidenkin vihannesten (porkkana, peruna, sipuli, sokerijuurikas, keräkaali, tietyt juurikkaat), monivuotisten kasvien tai nurmien viljelyssä. (Ehdollisuuden opas 2025.)

Ehdollisuuden vaatimukset tarkoittavat perustason vaatimuksia tai käytännön toimenpiteitä, joiden noudattamisesta ei makseta, mutta mahdollistavat tuen saamisen. Ehtojen peruspohjana on lainsäädännön asettamat velvoitteet sekä hyvän ympäristön ja maatalouden ehdot. Ehtojen luku 3. Vesien suojelu sisältää vaatimuksia sekä rajoituksia koskien suojavyöhykkeitä, ympäristöluvan mukaista toimintaa, maaperän ja pohjaveden suojelua, lannoitusta, lannan varastointia ja prosessointia. Ehtojen mukaisesti vesistön lähellä sijaitsevalle lohkolle täytyy jättää 3 metrin kaistale, jonka alueella ei ole sallittua muokata, lannoittaa tai käyttää kasvinsuojeluaineita. Ylipäättään toiminnassa on pyrittävä siihen, ettei maaperän tai pohjaveden laatu pilaannu ravinnepäästöjen tai erilaisten haitta-ainepäästöjen seurauksena. (Ehdollisuuden opas 2025.)

Ravinnepäästöjen kontrolloimiseksi ehtoihin on kirjattu useita lannoitevalmisteiden käytön rajoituksia ja lannoituksen enimmäismääriä, jotka on johdettu osittain joko nitraattiasetuksesta (VNa 1250/2014) tai fosforiasetuksesta (VNa 64/2023). Rajoitukset ovat pääosin samoja, kuin ympäristökorvauksen vähimmäisvaatimukset kiertotaloustoimenpiteelle, joten ne on kuvattu tarkemmin kuviossa 13. Ehtojen mukaisesti ennen lannoitusta on oltava selvillä tai selvitettävä viljavuustutkimusten avulla lohkon maalaji ja viljavuusluokka. Sekä nitraattiasetus, että fosforiasetus edellyttävät, että lohkokohteisessa lannoituksessa otetaan huomioon ainakin kasvilaji, maalaji (typpi), viljavuusluokka (fosfori) sekä keskimääräinen satotaso. Lisäksi nitraattiasetus edellyttää viljelyvyöhykkeen ja kasvinvuorotuksen huomioimista, mutta näitä ei ole mainittu ehdollisuuden oppaassa. Typen lannoituksessa otetaan huomioon kaikki ravinnesyöte, jota lohkolle on lisätty (epäorgaaninen, orgaaninen, laidunnus). Fosforin lannoituksessa otetaan huomioon kaikki käytetty lannoitevalmiste, jonka tuoteseloste sisältää fosforia ja jota levitetään lohkolle yli 1 kg/ha. Syyslannoituksessa (1.9. lähtien) levitettyt määrät lasketaan seuraavan viljelykasvin lannoitukseen mukaan. (Ehdollisuuden opas 2025, VNa 1250/2014, 10 §; VNa 64/2023, 4 §.)

Orgaanisten lannoitevalmisteiden kokonaistypen enimmäislevitysmäärä on 170 kg/ha. Liukoisen typen enimmäismäärät määräytyvät kasvilajikohtaisesti. Mikäli liukoisen typen kokonaismäärä ylit-

tää 150 kg/ha, määrä jaetaan kahteen lannoituskertaan, joiden välissä on vähintään 2 viikkoa aikaa. Syyslannoituksessa (1.9. lähtien) lannoitevalmisteiden maksimi sallittu liukoisen typen levitysmäärä on 35 kg/ha. Myös fosforilannoituksen enimmäisrajat määräytyvät kasvilajikohtaisesti. Lannoitevalmisteen sisältämästä kokonaisfosforista otetaan huomioon yleensä 100 %, lukuun ottamatta umpi- ja saostussäiliölietteitä sekä puhdistamolietteitä, joiden kohdalla lasketaan 60 %. Mikäli lannoitevalmiste sisältää kuitenkin useita eri fosforinlähhteitä, lasketaan fosforimäärä massaosuuksien ja käyttökelpoisuuksien mukaan. Valmisteissa, joissa fosforin massaosuuksia ei ole ilmoitettu, oletetaan osuuden olevan 100 %. (Ehdollisuuden opas 2025.) Fosforin kierrätystoimenpiteessä levitysmäärä tippuu 5 kg/ha:n, mikäli valmisteen fosfori on peräisin mädätteen fosforinerotuksesta sekä tilanteissa, joissa kokonaistypen ja fosforin pitoisuuksien suhde on 10 tai enemmän. (VNa 64/2023, 5 §.) Fosforilannoituksessa on mahdollista hyödyntää myös fosforintausta sekä vuoden 2026 loppuun asti lantapoikkeusta (Ehdollisuuden opas 2025).



Kuvio 12. Maataloustuet ja ympäristökorvaus-järjestelmä (tiedot Ehdollisuuden opas 2025)

## 7.6 Ympäristökorvaus ja sitoumusehdot

Ympäristökorvaus kuuluu viljelijätukiin, jota rahoitetaan sekä EU:n maatalouden tukirahastosta, että kansallisesta maaseuturahastosta. Tuen taustalla on Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta (VNa 78/2023). Tuen tarkoituksena on vähentää ympäristökuormitusta. Tuki sisältää viisivuotisen sopimuskauden ja ajoittuu ajanjaksolle 1.5–30.4. (VNa 78/2023, 1 §; Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024.)

Ympäristökorvaus velvoittaa perusehtojen lisäksi noudattamaan tilakohtaisia pakollisia (viljavuustutkimus, lohko-kohtaiset muistiinpanot, ilmasto- ja ympäristösuunnitelma) ja valinnaisia toimenpiteitä (ks. kuvio 12). Viljelijä valitsee mielensä mukaan 2 kpl toimenpiteitä tilakohtaisista valinnaisista toimenpiteistä. Tilakohtaisten toimenpiteiden lisäksi viljelijä voi valita omavalintaisen määrän lohko-kohtaisista valinnaisista toimenpiteistä. Tilakohtaisista toimenpiteistä korvausta on mahdollista saada 45 €/ha peltokasveilta ja 113 €/ha puutarhakasveilta sekä kuminalta. (Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024; Vna 78/2023.)

Rejektiveden näkökulmasta merkityksellisin tukitoimenpide on kiertotalouden edistäminen. Kiertotalouden edistäminen -toimenpide käsittää lannan tai orgaanisen lannoitevalmisteen levittämisen lohkolle. Tukiehdot täyttyvät, jos levitettävä materiaali on joko A) lietelantaa, virtsaa, lietelannan separoitua nestejätettä tai nestemäistä orgaanista lannoitetta, tai B) orgaanista lannoitetta, maanparannusainetta tai niiden seoksia, joiden kuiva-aineprosentti on vähintään 20 %. Kiertotalouden edistäminen -toimenpiteestä korvataan 37 €/ha ja tuki kattaa 80 % korvauskelpoisesta alasta. (Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024.) Hyväksyttävät aineet on listattu liitteeseen 5.

Lannoitus suoritetaan joko sijoittavalla tai multaavalla laitteella (myös työkoneeseen kytketyt multausratkaisut). Olennaista on, että aine sijoitetaan peltomaan sisään. Levitysmäärä on maksimissaan 15 m<sup>3</sup>/ha. Orgaanisilla aineilla, joiden KA-prosentti on yli 20, levitysmäärä tippuu 10 m<sup>3</sup>/ha ja ravinnepitoisten aineiden (fosforipitoisuus väh. 3 kg/m<sup>3</sup>) levitysmäärä puolestaan 5 m<sup>3</sup>/ha sekä nestemäisillä, että kiinteillä aineilla. (Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024.)

## KIERTOTALOUDEN EDISTÄMINEN

### Vähimmäistason vaatimukset

Fosforilannoitteiden käytön kirjaus lohko kohtaisesti muistiinpanoihin. Lannoitteen tyyppi/nimi, levitysmäärä ja -ajankohta, ravinnepitoisuus, fosforintasauksen alkamiskohta, satotasokorjausta varten aiemmat satotasot.

Typen ja fosforin sallittujen enimmäislannoitustasojen noudattaminen (kg/ha). Nitraattiasetus (VNa 1250/2014, 11 §) ja Fosforiasetus (VNa 64/2023, 4 §).

Levitys tai lannoitus ajanjakson 1.11.–31.3. ulkopuolella. Ei lumen peittämään, routaiseen tai veden kyllästämään maahan. Syyskuussa 15.9. jälkeen levitys vain sijoittamalla talviaikaisille kasvipeitteisille alueille.

Vesistöjen varrelle jätettävä 5 m lannoittamaton suojakaista. Jos lannoitus tapahtuu seuraavan 5 m päässä, muokkaus maaperään alle 1 vrk sisällä.

Nestemäisten valmisteiden levitys vain sijoittamalla, mikäli koko pelto tai jokin sen osa on kaltevuudeltaan yli 15 %.

Levityksen jälkeen aineen muokkaus maahan 1 vrk sisällä levityksestä.

Kuvio 13. Ympäristökorvauksen sitomusehtojen vähimmäistason vaatimukset 2024 (tiedot Ehdollisuuden opas 2025)

Yllä olevaan kuvioon on koottu vähimmäistason vaatimuksia, joita toimenpiteelle kohdistuu. Keskeistä on huomioida, ettei levitettävä vähimmäismäärä ylitä aiemmin ilmoitettuja typen ja fosforin enimmäisrajoituksia, eikä levitys tapahdu marraskuun ja maaliskuun aikana tai muulloin, kun peltomaa on luminen, routainen tai veden vallassa. Mikäli aine vastaanotetaan tilan ulkopuolelta, täytyy valmisteesta olla asiakirja (luovutus sopimus, kuitti, rahti- tai kuormakirja), josta ilmenee tuotteen tyyppi, toimittaja, määrä ja ravinnesisältö. (VNa 78/2023, 24 §.)

### 7.7 Laatulannoitejärjestelmä

Suomessa otettiin käyttöön ensimmäinen kansallinen kierrätysravinteiden vapaaehtoinen laatujärjestelmä vuonna 2020 ja sitä ylläpitää Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Laatujärjestelmä on kehitetty muutamien ulkomaisten käsikirjojen pohjalta ja sen painopiste sijaitsee lopputuotteiden laadun varmistuksessa. Järjestelmä pyrkii laadun varmistuksen ohella myös raaka-aineiden jäljitettävyyteen sekä sen ketjun läpinäkyvyyteen. Tämä tarkoittaa, että järjestelmässä seuranta

kohdistuu koko valmistusketjuun (raaka-aineet, valmistus, lopputuote). Lannoitevalmisteiden valmistajille keskeisin hyöty on kuitenkin tuotteen lainsäädännön tasoa korkeamman laadun todentaminen. (Välinen ym. 2024, 28; Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024, 4, 7.)

Kierrätyslannoitteen valmistaja voi hakea lopputuotteelleen käyttöoikeutta sertifikaattiin. Saadaksesen käyttöoikeuden, yritys käy läpi kaksivaiheisen (noin vuoden mittaisen) hyväksyntäprosessin, jossa mm. yritys laittaa hakemuksen liitteineen vireille ja suorittaa järjestelmän vaatimukset. Vaatimukseen kuuluu mm. ulkoiset ja sisäiset auditoinnit sekä näytteenotot, sopimukset, hiilijalanjälki, laatujärjestelmän täsmentävät vaatimukset ja suorituskyvyn arviointi. Puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden prosessiin liittyy keskeisesti teollisuusjätevesilomakkeen täyttäminen ja lietteen laadun selvittäminen puhdistamoilta. Hakuvaiheen hyväksytysti läpäisseen yrityksen jäsenyys vahvistetaan ja yritys siirtyy merkin ylläpitovaiheeseen. (Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024, 5–6, 8.)

Laatujärjestelmän avulla on mahdollista sertifioida MMMa 964/2023 mukaisia ainesosaluokkia 2–11 ja seuraavia tuoteluokkia: 1 A. Orgaaninen lannoite, 1 B. Orgaaninen kivennäislannoite sekä 3 A. Orgaaninen maanparannusaine. Järjestelmän vaatimukset sisältävät erilaisia seurattavia parametrejä ja raja-arvoja, joista suurin osa on tiukempia, kuin kansallisen lannoitevalmisteasetuksen raja-arvot. Osalle valmistajista laatujärjestelmä on hyvä ponnahduslauta kohti CE-merkintäprosessia. Järjestelmä on myös integroitavissa tai sillä voidaan täydentää muita laatu- tai ympäristöjärjestelmiä esimerkiksi MMMa 964/2023 laatujärjestelmävaatimusta, HACCP-periaatteet, ISO- 9001, ISO 14001 -standardeja. (Välinen ym. 2024, 28; Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024, 7, 19.)

Eri parametrien analysointitiheys määritellään joko tuotantomäärän, riskiperusteisuuden tai ainesosaluokkien perusteella. Raskasmetallit analysoidaan vähintään 4 krt/vuosi, patogeenit ja ravinteet väh. 4 krt sekä muut parametrit (orgaaninen aines, epäpuhtaudet, pH, kosteus, tilavuuspaino, johtokyky) väh. 4 krt vuodessa. Edellisten lisäksi lisäparametrit (PAH<sub>16</sub>, PCB, PFOS, PFOA, PFAS<sub>4</sub>, triklosaani) analysoidaan 1 krt vuodessa. Näytteet analysoidaan luotettavilla menetelmillä akkreditoidussa laboratorioissa. (Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024, 7.) Alla olevassa taulukossa on aiemmin vaadittuja määritysmenetelmiä. Parametrien tarkemmat raja-arvot löytyvät taulukosta 4.

Taulukko 3. Laatulannoitejärjestelmän edellyttämät määrittämenetelmät (tiedot Laatukäsikirja 2020, 22-23).

Parametri	Määrittämenetelmä
Kokonaistyyppi	SFS-EN 13654-2 tai Kjeldahl
Ammoniumtyppi	SFS 3032 tai SFS-EN 13652
Nitraattityppi	SFS-EN 13652
Kokonaisfosfori	SFS-EN 13650
Liukoinen fosfori	SFS-EN 13652
Kalium	SFS-EN 13651
pH-arvo	SFS-EN 13037
Tilavuuspaino	SFS-EN 13040
Kosteus (määdäte)	SFS-EN 13040
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 13038
Orgaaninen aines	SFS-EN 13039
Epäpuhtaudet, roskat	CEN/TS 16202 (2013)
Escherichia coli	NMKL 125:2005
Salmonella	NMKL 71:1999

Käsikirjan mukaan mikromuovien analysointimenetelmää selvitetään. Mikromuovien seuranta ja vaatimus lisätään listalle, kun analytiikkaa on saatavilla yleisesti kohtuulliseen hintaan. (Laatulan-  
noitejärjestelmän vaatimukset 2024, 29.)

## 8 Reunaehdot käytännössä

Tässä luvussa kuvataan käytännön tasolla, mitä seikkoja rejektiveden arvoketjun eri vaiheissa on otettava huomioon. Alla oleva kuvio havainnoi useimpien hallinnollisten reunaehto-  
jen sijoittamista eri vaiheissa.

## Rejektivesilannoitteen arvoketjun reunaehdot

Raaka-aine	Biokaasuprosessi & vedenerotus	Kuljetus & varastointi	Loppukäyttö
<p>Jätettä vai sivutuotetta?</p> <p>Jätevesilietteen käsittely haitattomaksi</p> <p>Sivutuotelainsäädäntö 2. &amp; 3. luokat Jäljitettävyyden kaupallinen asiakirja</p>	<p>Ympäristölupa Laatujärjestelmä Omavalvonta+ HACCP Laitoshyväksyntä Vuosi-ilmoitus</p> <p>Anaerobinen käsittely Hygienisointi 1h 70° C Palakoko &lt; 12 mm Ei Salmonellaa /25 g E.coli &lt; 1000 pmy/g Ristikontaminaation ehkäiseminen</p> <p>Tuoteluokka 3 A Ainesosaluokka 10 Raja-arvot Ravinnepitoisuudet Epäpuhtaudet Stabiilisuus Laboratorioanalyysit Sallitut poikkeamat</p>	<p>12 kk varastointi-kapasiteetti laitoksella</p> <p>Vesitiivis, katettu varastointitila</p> <p>Varastointitilan sijoitusrajoitukset</p> <p>Jätehuoltorekisteri kuljettajille</p> <p>Sivutuotteita käsittelevien ajoneuvojen ja säiliöiden puhdistaminen ja desinfiointi asianmukaisilla välineillä</p>	<p>Ehdollisuuden vaatimukset &amp; Sitoumusehdot</p> <p>Kiertotalouden edistäminen-toimi Hyväksyttävät aineet</p> <p>Viljavuustutkimus Lohkokohtaiset muistiinpanot Viljelykiertovaatimus</p> <p>Analysointivelvoite Maan raskasmetallit Typen &amp; fosforin enimmäislevitysmäärät</p> <p>Kirjanpito väh. 2 v 60 % otetaan huomioon puhdistamopohjaisesta fosforista</p>
Myynti & Markkinointi	Pakkaus- ja tuoteselostemerkinnot		

Kuvio 14. Rejektivesilannoitteen ohjauskeinojen reunaehdot

Reunaehtojen keskeisin toimenpide on määrittellä rejektivedelle sen käyttötarkoitusta ja ominaisuuksia vastaava tuote- ja ainesosaluokka. Marttisen ym. (2017, 11) mukaan mädätysjäännös ja siitä erotellut kuiva- ja nestejakeet on määriteltävä aiemman lannoitevalmisteasetuksen mukaan maanparannusaineiksi. Käyttötarkoituksestaan (lannoitus) huolimatta rejektivesi nähdään voimassa olevan asetuksen (MMM 964/2023, liite 1) näkökulmasta 3 A. *orgaanisena maanparannusaineena*, johon myös laitoksen rejektiveden primaaristen pääravinteiden ja pääravinteiden osuudet riittävät. Tuoteluokka 3 A. kattaa sekä kiinteän, että nestemäisen maanparannusaineen. Tuoteluokkavalintaa puoltaa myös Huittisten laitoksen rejektiveden (Peltotyyppi) tuoteluokkavalinnan samankaltaisuus.

Sekä Huittisten rejektiveden, että Oulun rejektiveden ainesosaluokaksi määräytyy luokka 10. *käsitelty jätevesiliete*. Siitä huolimatta, että prosessiin syötetään jätevesilietteiden lisäksi useita erilaisia raaka-aineita, luokitellaan koko lopputuote käsitellyksi jätevesilietteeksi. Ruokaviraston ainesosaluettelon (ks. liitteet 2, 3 ja 4) mukaisesti ainesosaluokkaan 4 (mädäte) hyväksytään mm. biojätteet, eläinperäiset sivutuotteet (ainesosaluokka 5), rasvakaivolietteet yms., mutta ei jätevesilietteitä. Sen sijaan ainesosaluokassa 10. hyväksytään ainesosaluokan 4 ja sen ohella myös luokan

5 raaka-aineet. Valmiste käsitellään luokkien 4 ja 5 vaatimusten mukaisesti (käytännössä sivutuotelainsäädäntö), mutta lopputuotteen katsotaan olevan kuitenkin kokonaan käsiteltyä jätevesilietettä.

## 8.1 Hygienia- ja laatuvaatimukset

Lannoitevalmisteasetuksen (MMM 964/2023) mukaisesti 10. ainesosaluokan jätevesilietteet täytyy käsitellä, ennen kuin niitä voidaan käyttää lannoitteena. Käsittelemiseksi luetaan mädättäminen mesofiilisissä olosuhteissa edellyttäen, että liete on tasalaatuista ja hygieenistä. Täytöntöönpanoasetus edellyttää, että eläinperäisiä sivutuotteita (2. ja 3. luokat) sisältävä raaka-aine homogenoidaan enintään 12 mm palakokoon ennen prosessiin syöttämistä. Taudinaiheuttajien eliminoinniseksi syöte hygienisoidaan eli lämpökäsitellään 70 asteessa vähintään 60 minuutin ajan. Mikäli hygienisointitapahtuma epäonnistuu, on syöte ohjattava uudelleen lämpökäsittelyyn. Taudinaiheuttajien indikaattoriparametreiksi on asetettu *Escherichia Coli* tai *Enterococcaceae* ja *Salmonella*. (MMM 964/2023, liite 1; Komission asetus (EU) N:o 142/2011, liite 5, 2 luku, 1 jakso, 2 jakso.)

Asetus määrittelee maanparannusaineen orgaanisen hiilen sekä primaaristen pääravinteiden pitoisuudet. Nestemäisen orgaanisen maanparannusaineen kriteereinä on joko vähintään 2 m-% orgaanista hiiltä tai yhteensä 0,2 m-% primaarisia pääravinteita (N, P, K). Orgaanisen maanparannusaineen tuoteluokkaan on kirjattu myös raskasmetallien (arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki) ja patogeenien (*Salmonella*, *Escherichia Coli* tai *Enterococcaceae*) pitoisuuksien raja-arvot. Yleisesti ottaen valmisteisiin ei saa lisätä fosfonaatteja, mutta mikäli niitä löytyy valmis-teesta, pitoisuus ei saa ylittää 0,5 massaprosenttia. (MMM 964/2023, liite 1.) Ainesosaluokka sisältää mädätteen nestemäiselle osalle myös stabiilisuuskriteerit sekä raja-arvot epäpuhtauksille. Stabiilisuuskriteereitä (hapenottokyky tai biokaasujäännöspotentiaali) sovelletaan vuoden 2027 alusta lähtien. Epäpuhtauksien (lasi, metalli, muovi) raja-arvot on porrastettu vuoden 2027 loppuun ja vuoden 2028 alkuun (MMM 964/2023, liite 2). Toisin kuin lannoitelaatujärjestelmä, kansallinen lannoitelainsäädäntö ei aseta työn kirjoitushetkellä orgaanisten haitta-aineiden raja-arvoja jätevesilietepohjaisille orgaanisille maanparannusaineille. Stabiilisuuskriteerit, raskasmetallien, patogeenien ja epäpuhtauksien raja-arvot on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Rejektiveden seurattavat parametrit (tiedot MMMa 964/2023 ja Laatulannoitejärjestelmän vaatimukset 2024)

<b>Rejektivedestä seurattavia parametrejä</b>		
	MMMa 964/2023*	Laatulannoite 3.0
<b>Haitalliset metallit, mg/kg ka</b>		
Arseeni, As	40	25
Elohopea, Hg	1	0,5
Kadmium, Cd	1,5	1
Kromi, Cr	300	200
Kupari, Cu	600	500
Lyijy, Pb	100	50
Nikkeli, Ni	70	50
Sinkki, Zn	1500	800
<b>Orgaaniset haitta-aineet; mg/kg tai µg/kg ka</b>		
PAH (16)	-	3
PCB	-	0,1
PFOS	-	0,025
PFOA	-	0,025
PFAS (4)	-	30
Triklosaani	-	Seurataan
<b>Epäpuhtaudet, g/kg ka, vuosikohtaiset rajat 2027/2028</b>		
< 2 mm epäpuhtaudet (lasi, metalli, muovi)	5/2,5	5
Epäpuhtauksia enintään yhteensä	10/5	10
<b>Patogeenien enimmäismäärät, 25 g/ml tai pmy 1 g /1 ml</b>		
Salmonella	Ei todettu	Ei todettu
Escherichia coli / Enterococcaceae	1000	1000
<b>Stabiilisuuskriteerit, mmol O<sub>2</sub>/kg orgaanista ainesta/h tai l biokaasua/g VS (alk. 2027)</b>		
Hapenottokyky	25	-
Biokaasujäännöspotentiaali	0,25	-

\*Kun 3 A. Orgaaninen maanparannusaine ja 10. Käsitelty jätevesiliete

Lannoitevalmisteiden pitoisuudet analysoidaan standardoiduilla tai muilla validoiduilla menetelmillä. Pitoisuudet voivat tietyiltä osin poiketa asetetuista raja-arvoista. (MMMa 964/2023, 10–11 §.) Maanparannusaineille sallitaan seuraavat poikkeamat:

• pH-arvo	±1 yksikön verran
• Orgaaninen hiili (C <sub>org</sub> )	±25 %, mutta enintään 3,0 prosenttiyksikköä
• N-kok	±50 %, mutta enintään 1,0 prosenttiyksikköä
• P-kok	±50 %, mutta enintään 1,0 prosenttiyksikköä
• K-kok	±50 %, mutta enintään 1,0 prosenttiyksikköä
• Kuiva-aine	±19 % ilmoitetusta arvosta
• Sähkönjohtavuus	±50 % ilmoitetusta arvosta

Sallittujen poikkeamien avulla voidaan määrittää pitoisuuksien sallitut vaihtelut. Esimerkiksi, jos kokonaistypen massaprosenttiosuus on 0,37 m-% (laskettu yksiköstä mg/l) ja sallittu suhteellinen poikkeama 50 %. Massaprosentteina kokonaistypen pitoisuus saa vaihdella lainsäädännön mukaan 0,18 %-0,55 %. Absoluuttiset poikkeamat olisivat prosenttiyksikön 1,0 mukaan 0 % (arvo ei voi olla negatiivinen) ja 1,37 %. Mikäli suhteellinen poikkeama ylittää tai alittaa prosenttiyksikön poikkeaman, käytetään tällöin rajana prosenttiyksikön antamaa arvoa. Massan avulla laskettuna sallittu suhteellinen poikkeama tarkoittaa vähintään 1800 mg/l ja enintään 5400 mg/l.

## 8.2 Valmistusvaiheen huomiot

Kuten aiemmin todettiin, jätteen ammattimainen käsittely edellyttää ympäristönsuojelulain mukaisen ympäristöluvan. Tämän lisäksi sivutuoteasetus velvoittaa 24 artiklan mukaan biokaasua ja lannoitevalmisteita tuottavia laitoksia hakemaan valvontaviranomaiselta (Ruokavirasto) toiminnalleen laitoshyväksynnän ja ottamaan käyttöön oma- ja valvontamenettelyn sekä HACCP-järjestelmän (sis. vaara-analyysi ja kriittiset valvontapisteet). Ruokavirasto pitää yllä hyväksytyjen ja rekisteröityjen toimijoiden rekisteriä. (A 1069/2009, 24, 28–29.)

Lannoitelainsäädäntö velvoittaa toimijoita pitämään lannoitevalmisteiden tuotannosta eräkohtaista kirjaa ja säilyttämään niitä 5 vuotta siitä ajankohdasta lähtien, kun valmiste on saatettu markkinoille. Eräkohtaisesta kirjanpidosta on löydettävä tietoja lannoitevalmisteiden tai niiden osien alkuperästä, käsittely- ja tuotantomääristä, myynti- ja luovutusmääristä, varastointipaikoista, vaatimusten todentamisen tiedoista ja tuloksista, näytetuloksista ja hylättyjen erien käsittelyistä tai hävittämismenettelyistä. (L 711/2022, 16 §; MMMa 965/2023, 3 §.) Säädökset sisältävät myös ilmoitusvelvollisuuden, mikä tarkoittaa, että valmistajat (tai talouden toimijat) ovat velvollisia tekemään Ruokavirastolle kirjallisen ilmoituksen, kun toimintaa a. aloitetaan, b. toiminnassa muuttuu jokin keskeisesti tai c. toiminta lopetetaan. Valmistajia koskee myös vuosi-ilmoitus, jossa Ruokavirastolle ilmoitetaan valmisteiden tuotantomäärät, niissä käytetyt ainesosat ja ainesosaluokat,

markkinoille saatettujen valmisteiden tiedot (esim. määrät, ravinnesisällöt, raskasmetallien pitoisuudet, käyttökohteet) ja toimipaikan yhteystiedot. Ruokavirasto pitää yllä rekisteriä ilmoitusvelvollisista toimijoista. (L 711/2022 14, 16, 33 §; MMMa 965/2023, 2 §.)

Sekä Lannoitelaki (711/2022), että Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (965/2023) velvoittavat valmistajia ottamaan käyttöön laatujärjestelmän. Laatujärjestelmä tarkoittaa kirjallista tuotosta, johon on sisällytetty tietoja valmistuksesta, laadunvalvonnasta- ja varmistuksesta, tekniikasta, prosesseista ja toimenpiteistä, prosessin eri vaiheiden tarkistuksista ja testimenetelmistä sekä niiden tiheydestä (L 711/2022, 17 §). Ruokavirasto edellyttää ohjeissaan tietoja myös henkilöstöperehdytyksistä, eräkoon määrityksistä ja eräkohtaisesta jäljitettävyydestä, tuoteluokka- ja ainesosaluokkakohteisista vaatimuksista, seurattavista parametreista, käsittely- ja laatuvaatimuksista, häiriötilanteista ja laatu-poikkeamista, varastoinnista ja kuljetuksesta, tuotekehityksestä ja koetoiminnasta. Ainesosaluokasta 10 (käsitelty jätevesiliete) vaaditaan selvitystä käytetyistä ainesosista, käsittelyprosessien luonteesta, käsittelyparametrien täyttymisen todentamisesta, epäpuhtauksien vaatimustenmukaisuuden todentamisesta, jätevesilietteen hygieenisyyden testaustiheydestä, stabiilisuusvaatimusten täyttymisen seurannasta (kompostointi, mädätys) sekä näytteenottosuunnitelmasta. (Laatujärjestelmäohje kansallisille lannoitevalmisteiden valmistajille 2024.)

Mikäli prosessissa käsitellään myös EU:n sivutuotelainsäädännön mukaisia eläinperäisiä sivutuotteita, vaaditaan valmistajilta laatujärjestelmän ohella myös edellä mainittu HACCP-järjestelmä (Hazard Analysis and Critical Control Points). Valmistajan laatujärjestelmä korvaa EU:n sivutuotelainsäädännön vaatiman omaavontasuunnitelman. Laatujärjestelmä voidaan sisällyttää valmistajan muuhun laatujärjestelmään (esim. ISO -standardit), mikäli sellainen on käytössä. (Laatujärjestelmäohje kansallisille lannoitevalmisteiden valmistajille 2024.)

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto on myöntänyt Oulun biokaasulaitoksen toiminnalle nykyisen ympäristöluvan vuonna 2021. Lisäksi laitoksella on EU:n sivutuoteasetuksen mukainen laitoshyväksyntä ja sitä koskee lannoitelain mukainen ilmoitusvelvollisuus (vuosi-ilmoitus). Laitoksella on myös käytössä Ruokaviraston ohjeistuksen mukainen omaavontasuunnitelma, joka kattaa tietoja mm. vastaanotettavista raaka-aineista, käsittelyprosessista (sis. parametrit), hygieniasta, näytteenotosta (sis. suunnitelma), riskienhallinnasta, perehdytyksistä, HACCP-järjestelmästä (sis. vaarojen

arviointi, kriittiset valvontapisteet), poikkeamista, korjaus- ja kunnossapitotoimenpiteistä sekä jätelainsäädännön edellyttämistä jätteen seuranta- ja tarkkailuvaatimuksista. (Lupapäätös 147/2021, 6; Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto.) Lisäksi laitokselle on myönnetty ISO -sertifikaatteja: 9001 (laadunhallinta), 14001 (ympäristöjärjestelmä), 45001 (työterveys ja -turvallisuus) ja 50001 (energianhallinta). (Oulun ruskon biokaasulaitos n.d.).

Sivutuotelainsäädäntö asettaa joitakin laitoksiin ja sivutuotteiden käsittelyyn liittyviä määräyksiä. Sivutuotteiden ja muiden raaka-aineiden käsittelyssä on varmistettava, että raaka-aineen sisältämä tautiriski pienenee hyväksyttävälle tasolle eikä lopputuote aiheuta terveysriskejä eläimille tai ihmisille. Käsitelty lopputuote testataan, jotta voidaan varmistua sen turvallisuudesta. (A 1069/2009, 38 artikla). Täytäntöönpanoasetus puolestaan määrittelee, että sivutuotteet on käsiteltävä mahdollisimman pian vastaanottamisen jälkeen. Ylipäätään mädätteitä käsitellään niin, etteivät ne pääse saastumaan uudelleen. Kuljetuksessa käytetyt ajoneuvot ja säiliöt yms. puhdistetaan ja desinfioidaan pesupaikalla, jotta vältetään ristikontaminaatio. Laitosalueella olevat tuholaiset on torjuttava. Jokaiselle tilalle määritellään oma puhdistusmenettely ja siihen tarkoitettut välineet. Hygieniää valvotaan säännöllisesti. Tehdyistä tarkastuksista sekä niiden tuloksista kirjataan merkinnät asiakirjoihin. Lisäksi asetus edellyttää lämpökäsittelyyn jatkuvasti tallentavat mittarit sekä turvajärjestelmän, jotta käsittelyn lämpötilaa voidaan valvoa ja ettei lämpötila lähde laskemaan liian alas. Mittauslaitteet kalibroidaan säännöllisesti ja näytteet analysoidaan akkreditoitussa laboratoriossa. Luokan 3 sivutuotteille (esim. biojäte) edellytetään laitteita, joilla aineksesta on mahdollista seuloa epäpuhtauksia (pakkausmateriaalit, metallit) pois ennen käsittelyä. Syntynyt pakkausjäte hävitetään polttamalla tai kierrätetään se jätelain mukaisesti. (Komission asetus (EU) N:o 142/2011, liite 5, 1 luku, 1 jakso, 2-luku.)

### **8.3 Pakkaus-, varastointi- ja kuljetusvaiheen huomiot**

Sivutuotelainsäädäntö sisältää sääntelyä koskien sivutuotteiden keräämistä, pakkaamista ja kuljetamista. Asetuksen 17 artiklan mukaisesti sivutuotteita sisältävä aines kuljetetaan katettujen kaltaisissa tiiviissä säiliöissä ja niiden puhtaudesta pidetään huolta (puhdistus, desinfiointi). Ajoneuvojen on oltava puhtaita ja kuivia ennen käyttöä. Sivutuotteista ja niistä johdettavista tuotteista ei ole välttämätöntä laatia kaupallista asiakirjaa kuljetuksen ajalle, mikäli lannoitevalmiste toimitetaan saman valtion sisällä suoraan loppukäyttöön. (Komission asetus (EU) N:o 142/2011, 3 luku.)

Ruokavirasto kuitenkin edellyttää, että sivutuotteiden siirroista annetaan vähintään rahtikirjan, kuormakirjan, lähetyskirjan tai siirtoasiakirjan kaltainen dokumentti (Kaupallinen asiakirja n.d.).

Lannoitelain (711/2022, 11 §) mukaisesti valmiste voidaan saattaa markkinoille joko pakattuna tai irtotavarana. Pakkauksessa noudatetaan lisäksi myös lannoitevalmisteasetusta ja sivutuoteasetusta. Täytöntöönpanoasetuksen mukaisesti pakkaamattomat orgaaniset lannoitevalmisteet on säilytettävä ja kuljetettava niin, että ehkäistään valmisteen pilaantuminen tai saastuminen (Komission asetus (EU) N:o 142/2011, liite 11, 2 luku, 2. jakso).

Lannoitelain (711/2022, 9 §) ja lannoitevalmisteasetuksen (MMM 964/2023, 10 §) mukaan irrallisenä toimitettavan lannoitevalmisteen mukana on annettava erillinen asiakirja (esim. tuoteseloste). Tuoteselosteeseen on kirjattava ainakin seuraavat tiedot: valmistaja tai tuoja, tuoteluokka tai -luokat, ainesosaluokka tai -luokat (suurimmasta pienimpään, ilmoitetaan ainesosat, joiden osuus > 5 % nestemäisen tuotteen kuivapainosta), valmisteen määrä (massana tai tilavuutena), ominaisuudet, käsittelymenetelmä, käyttö- ja varastointiohjeet (yleiset ja ainesosakohtaiset käytönrajoitteet, käyttömäärä, -ajankohta ja -tiheys, kohdekasvit), laitoshyväksyntänumero, tuotantoaika tai -päivä ja erätunniste. Lisäksi maanparannusaineen tuoteselosteessa ilmoitetaan kuivaainepitoisuus (m-%), typpi- ja fosforipitoisuudet (ilmoitetaan, jos osuus > 0,3 m-%), pH-arvo, sähkönjohtavuus (mS/m), orgaanisen hiilen pitoisuus (m-%),  $C_{org}/N$  -suhde ja tilavuuspaino. Ravin-teista fosfori, kalium, kalsium, natrium, magnesium sekä rikki ilmoitetaan joko alkuaineina tai oksideina. Lakisääteisiä minimivaatimuksia alhaisempia ravinnepitoisuuksia ei saa ilmoittaa. Valmisteen sisältämä seleenipitoisuus ilmoitetaan, jos sen määrä ylittää 10 mg/kg ka. Tuoteselosteeseen lisätään myös raskasmetallien (elohopea, kupari, kromi, lyijy, nikkeli, sinkki) pitoisuudet yksikössä mg/kg ka. (MMM 964/2023, 10 §.)

Yksikielisissä kunnissa tuoteselosteen kielenä voidaan käyttää suomea. Pakkaamattoman lannoitevalmisteen toimitustilanteissa käytetään joko suomea tai ruotsia (loppukäyttäjän kieli). Muissa tilanteissa tuoteseloste laaditaan myös ruotsiksi. Muita tietoja, joita lannoitevalmisteesta ilmoitetaan, koskee seuraavat vaatimukset. Tuoteselosteessa ei saa olla harhaanjohtavaa tietoa eikä väittää perusteettomasti asioita, joita ei voida tarkistaa. Selosteessa ei ole sallittua käyttää ilmaisuja, joissa valmisteella on tauteja tai haitallisia organismeja ehkäisevä, hoitava tai suojeleva vaiku-

tus. Ylipäätään lannoitevalmisteiden ominaisuuksista tai eduista ei saa esittää väitteitä, joita valmisteella ei tosiasiasa ole. Mikäli väitteitä esitetään, tulee niiden perustua joko lainsäädäntöön, standardeihin tai muihin yksilöityihin järjestelmiin. (L 711/2022, 9–10 §.)

Nitraattiasetuksessa (VNa 1250/2014) säädetään pakkaamattomien lannoitevalmisteiden varastoinnista. Nestemäisen orgaanisen lannoitevalmisteiden varastointitila on oltava vesitiivis, mitoitettu koko lannoitemäärälle sekä katettu (kiinteä tai kelluva kate), jotta valmisteesta ei vapaudu varastoinnin aikana ammoniakkia tai hajupäästöjä. Lisäksi edellytetään, että rakenteet ja laitteet estävät valmisteiden valumisen ympäristöön, kun lannoitevalmistetta siirretään tai käsitellään tai varastointitilaa tyhjennetään. Kuormausta varten oleva alusta on oltava tiivis. Varastointitilaa ei ole sallittua sijoittaa pohjavesialueelle tai tulvaherkälle alueelle. Lisäksi on huomioitava, että varastointitilan etäisyys vesistöistä tai talousvesikäyttöön tarkoitetuista vedenottopaikoista (kaivo, lähde) on vähintään 50 metriä sekä valtaojasta ja norosta 25 metriä. (VNa 1250/2014 4, 6–7 §.)

#### **8.4 Loppukäyttövaiheen huomiot**

Orgaanisia maanparannusaineita ei ole sallittua levittää maaperään, jossa on lumipeitettä, routaa tai joka on vetinen (Nitraattiasetus 1250/2014, 10 §; MMMa 964/2023 6 §). Lannoitevalmisteasetuksen mukaan jätevesilietettä sisältävän valmisteiden enimmäislevitysmäärä on vuosittain 6 000 kg/ha tai maksimissaan 30 000 kg ka/ha viiden vuoden annoksena. Tarkempi levitysmäärä laskeaan jätevesilietteen massaosuuden perusteella (lietteen prosenttiosuus: lopputuotteen kokonaismassa). Mikäli osuutta ei ole ilmoitettu tuoteselosteessa, oletetaan osuuden olevan 100 %. Levitysmäärissä on huomioitava kuitenkin nitraattiasetuksen, fosforiasetuksen ja ympäristökorvauksen asettamat käyttörajoitukset. Nämä on kuvattu luvuissa 7.5. ja 7.6.

Lannoitusikäikäytössä on noudatettava asetuksen mukaisia varoaikoja: rehuja viljeltäessä 1 vuosi, elintarvikkeita viljeltäessä 2 vuotta. Kyseisenä aikana ei ole sallittua viljellä a. tuoreena syötäviä kasveja, b. kasveja, joiden syötäväksi tarkoitettu osa on välittömässä kosketuksessa maahan, c. kasveja, joiden syötävä osuus on maanalainen. Kiellot koskevat sekä rehukasveja, että ihmiselle tarkoitettuja viljelykasveja. (MMMa 964/2023, 7–8 §.)

Lannoitevalmisteasetus velvoittaa 7 § ja liitteen 5 mukaisesti analysoimaan standardisoiduilla menetelmillä viljelymaan raskasmetallipitoisuudet *ennen* jätevesilietepohjaisen (ainesosta väh. 90

%) lannoitevalmisteen levitystä. Levitys on sallittua vain sellaisella maaperällä, jossa metallipitoisuudet (mg/kg ka) eivät ylitä seuraavia arvoja: elohopea (0,2), kadmium (0,5), kromi (100), kupari (100), lyijy (60), nikkeli (50) ja sinkki (200). Tutkimukset suoritetaan maanäytteinä, jossa jokainen näyte koostuu 7 eri osanäytteestä ja näytteet on otettu maaperän muokkauserroksista. Näytteiden lukumäärä on vähintään 1 peruslohkoa kohden, kun peruslohko on vähintään 0,5 ha. Yli 5 ha lohkoista otetaan 5 näytettä jokaista hehtaaria kohden ja linjanäytteenotossa (kolmen vuoden välein) näytteenottotiheydeksi riittää 1 näyte jokaista 10 hehtaaria kohden. Näytteistä tutkitaan edellä mainittujen raskasmetallien lisäksi pH-arvo. Analysointi on syytä tehdä 5 vuoden välein, mikäli arvojen ylitys on mahdollista. (MMMä 964/2023, liite 5.)

Useat säädökset (esim. VNa 1250/2014, VNa 64/2023, L 711/2022, Komission asetus (EU) N:o 142/2011, 4 luku, 4 jakso; VNa 78/2023, 13, 24 §) velvoittavat lannoitevalmisteen loppukäyttäjää pitämään kirjaa seuraavista seikoista: Lannoitevalmisteen määrästä, käyttöajakohdasta, käyttöpaikasta (lohkokohtaisesti, fosforiasetuksessa myös pinta-aloittain), valmisteen sisältämistä ravinteista sekä niiden pitoisuuksista (kokonais- ja liukoiset ravinteet), liukoisten ravinteiden osuuksista kokonaisravinteista, satotasoista ja fosforintasauksen alkamisajasta (mahdollisissa satotaso- korjaustilanteissa) sekä lannoituksesta seuraavan laidunnuksen tai sadonkorjuun ajankohdasta. Kirjanpidon lisäksi tilan ulkopuolisesta lannoitevalmisteesta täytyy säilyttää asiakirjaa, josta käy ilmi määrien ja ravinnetietojen ohella myös tuotteen tyyppin ja toimittajan tiedot (VNa 78/2023, 24§). Kirjanpitoa sekä tuoteselostetta säilytetään vähintään 5 vuotta (L 711/2022, 6 §).

## 9 Muut huomioitavat tekijät

### 9.1 Haitta-aineet ja epäpuhtaudet

Yhdyskuntaperäiset biohajoavat jätteet sisältävät useita erilaisia haitallisia aineita ja yhdisteitä, joista esimerkkeinä ovat taudinaiheuttajat, raskasmetallit, orgaaniset haitta-aineet, lääkeaineet ja hormonijäämät sekä epäpuhtaudet (esim. mikromuovi). Lannoitevalmisteiden laadun ja turvallisuuden näkökulmasta voivat aiheuttaa riskitekijöitä. (Marttinen ym. 2013, 31; Äystö ym. 2022, 67.) Nykyinen kansallinen lannoitelainsäädäntö asettaa rejektiveden patogeeneille ja raskasmetalleille sekä epäpuhtauksille raja-arvoja (ks. luku 8.1), mutta orgaanisille haitta-aineille tai lääkeaineille ei toistaiseksi ole sääntelyä.

Haitta-aineiden kirjo on laaja kokonaisuus, joka käsittää käytännössä kaiken aineen ja yhdisteen, jota yhdyskuntaperäisen jätteen (esim. jätevesi) keräys- tai viemäröintialueella käytetään. Näin ollen lietteen sisältämä haitta-ainekoostumus (tyyppi ja pitoisuus) heijastaa suoraan alueen toimintaa: kulutus- ja käyttäytymistottumuksia, teollisuutta ja maankäyttöä. Tutkittu tieto kattaa arviolta vain murto-osan kokonaismäärästä. (Vieno 2018, 20, 22.) Jätevesilietteiden haitta-aineiden tutkiminen on haasteellista yhdisteiden laajan skaalan ja jatkuvan vaihtuvuuden vuoksi. Jätevesiin päätyy teollisuudesta ja kotitalouksista käytössä olevien yhdisteiden lisäksi jo poistettujakin yhdisteitä. (Äystö ym. 2022, 58, 66)

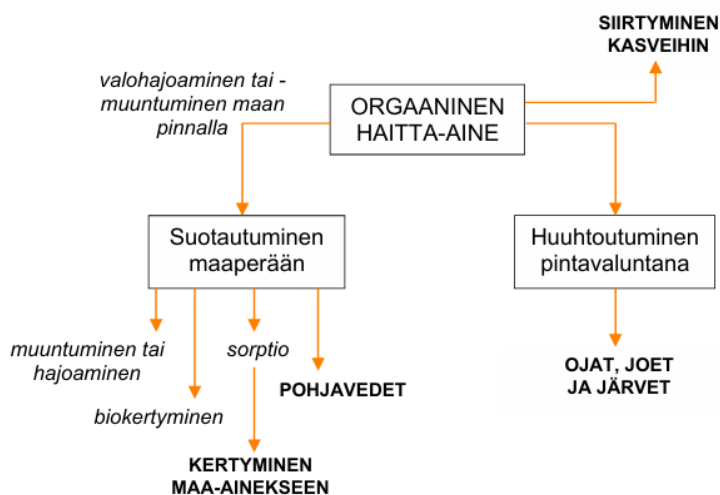
Äystö ym. (2022) kuitenkin arvioi, että jätevesilietepohjaisten lannoitevalmisteiden käytön edistämässä mm. palonestoaineet (bromatut, organofosfori), lääkeaineet, fenoliset yhdisteet, PFAS-yhdisteet, ftalaatit, hormonit, erilaiset synteettiset hajusteet, siloksaanit, LAS-yhdisteet ja klooriparafiinit aiheuttavat riskejä (Äystö ym. 2022, 66). Lähdekirjallisuudessa on kuitenkin tutkittu useita erilaisia haitta-aineryhmiä. Niistä alla esimerkkejä.

Taudinaiheuttajiin kuuluu bakteereja (esim. *Campylobacter*, *Clostridium*, *Salmonella*, *Escherichia Coli*, *Legionella*, *Listeria*, *Mycobacterium*, *Yersinia*), viruksia (esim. adeno-, noro-, hepatiitti- ja enterovirukset) ja loisia (esim. *Cryptosporidium*, *Giardia* -alkueläimet). Orgaanisiin haitta-aineisiin ja yhdisteisiin kuuluu mm. PAH16- yhdisteet, PFAS- eli perfluoratut yhdisteet (PFOS, PFOA), palonestoaineet (PBDE, HBCD), ftalaatit (DEHP, DBP, DiBP), PCB-yhdisteet, triklosaani, siloksaanit, dioksiinit ja furaanit, öljyhiilivedyt, kasvinsuojelu- ja torjunta-aineet (glyfosaatti, klopuralidit). Vastaavasti lääkeaineisiin kuuluu laaja joukko kipulääkkeitä (ibuprofeeni, ketoprofeeni, diklofenaakki, parasetamoli), antibiootteja (tetrasykliini, siprofloksasiini, sulfadiatsiini, erytromysiini), psyyke- ja epilepsialääkkeitä (sitalopraami, fluoksetiini, karbamatsepiini), sydän- tai verenpainelääkkeitä (propranololi, metoprololi, sotaloli), hormoneita (estroni, progesteroni) ja loislääkkeitä (flubendatsoli). (Vieno ym. 2018, 24–26; Marttinen ym. 2013; Äystö ym. 2022.)

Haitta-aineet käyttäytyvät eri tavoin ominaisuuksiensa takia esim. jäteveden puhdistusprosessissa, anaerobisen käsittelyn aikana ja lietteen levityksen jälkeen maaperässä. Puhdistusprosessissa lietteeseen aineet päätyvät pääasiassa sitoutumalla (orgaaninen aines, soluseinämät, rasvamolekyylit, sähköinen varaus). Aineen ja lietteen varauksella ja rasvaliukoisuudella on tässä kohtaa merkitystä: rasvaliukoisemmat ja varaukseltaan varauksettomat ja positiivisesti varautuneet aineet sitoutuvat

todennäköisimmin lietteeseen kiinni. Mädätyksessä puolestaan hajoavat anaerobiselle hajoamiselle herkät yhdisteet. Reagoimattomia, eli pysyviä yhdisteitä on tutkimusten myötä todettu olevan mm. PFAS-yhdisteet, BPDE-yhdisteet, antibiootit (siprofloksasiini, ofloksasiini, norfloksasiini, tetrasykliini), psyykelääkkeet (sitalopraami, fluoksetiini), verenpainelääkkeet (metoprololi, propranololi) ja hormonit (estroni, progesteroni). (Vieno ym. 2018, 23–24; Viitattu lähteeseen Fjäder 2016 ja Vieno 2015)

Maaperässä haitta-aineet voivat kulkeutua ja hajota useita eri reittejä pitkin. Alla olevan kuvion mukaisesti orgaaniset haitta-aineet voivat hajota (fysikaalinen, biologinen, kemiallinen) tai muuntua (muut hajoamistuotteet) maaperän pinnalla tai sen sisällä, sitoutua maaperän hiukkasiin, suotautua maaperästä edelleen pohjaveteen, huuhtoutua pintaveden mukana vesistöihin tai kulkeutua kasveihin. Vienon ym. (2018, 48) mukaan McCarthy ym. (2015) esittää, että monimutkaisiin kulkeutumisen- ja hajoamisprosesseihin vaikuttaa mm. haitta-aineen omat ja maaperän ominaisuudet sekä vallitsevat olosuhteet. McCarthy listaa aineen ominaisuuksiin sen vesiliukoisuuden, molekyylikoon, aineen sisältämät funktionaaliset ryhmät sekä niiden varauksen. Maaperän tekijöihin kuuluu puolestaan happamuus (pH-arvo), orgaaninen hiili, mineraalikoostumus sekä partikkelien koko. Lisäksi aineen käyttötavalla ja -ajankohdalla (sääolot, lämpötila) on omat vaikutuksensa kulkeutumiseen ja hajoamiseen. (Vieno ym. 2018, 48; Viitattu lähteestä McCarthy 2015)



Kuvio 15. Orgaanisten haitta-aineiden kulkeutumisreitit ja käyttäytymistavat (Vieno ym. 2018, 49)

Tarkemmin tarkasteltuna maaperässä hajoaminen tapahtuu pääosin biologisten mekanismien (biomuuntuminen, biohajoaminen) kautta. Näihin prosesseihin vaikuttaa maaperän mikrobien aktiivisuuden taso sekä kyky sopeutua, hapen pitoisuus ja happamuuden taso (pH), lämpötila ja kosteus, ravinteiden saatavuus sekä aineen omat kemialliset ominaisuudet. Aineet, jotka ovat herkkiä sitoutumaan maa-ainekseen, eivät ole mikro-organismeille helposti biosaatavassa muodossa, eivätkä näin ollen hajoa tai muunnu kovin nopeaa. Lisäksi niiden kulkeutuminen veden mukana vesistöön tai syvemmälle maakerrokseen on hitaampaa. Vesiliukoisten haitta-aineiden funktionaaliset ryhmät vaikuttavat aineiden sitoutumiseen maaperään dissosioitumalla eli muuttamalla aineen sähköistä varausta. (Vieno ym. 2018, 49; Viitattu lähteistä Ren ym. 2018 ja Pan ja Chu 2017.)

Orgaanisten haitta-aineiden molekyylien koko sekä rasvaliukoisuus vaikuttavat aineiden siirtymiseen kohti kasvien juuristoa. Kooltaan yli 1000 g/mol massaiset aineet ovat herkkiä siirtymään juuriin, mutta toisaalta niiden kyky dissosioitua vähentää tätä ominaisuutta. (Vieno ym. 2018, 50; Viitattu lähteeseen Zhang ym. 2017.) Aineen vesiliukoisuus ja kasvin vesipitoisuus vaikuttavat puolestaan siihen, miten aine kulkeutuu juuristosta kohti kasvin muita osia. (Vieno ym. 2018; Viitattu lähteeseen Pan ja Chu 2017). Kulkeutumisen ohella yhdisteet voivat myös kertyä kasveihin tai eliöihin, mikä saattaa johtaa pitoisuuksien konsentroituamiseen. Esimerkiksi lieröihin haitta-aineita kertyy niiden hajottaessa maa-ainesta, josta irtoaa kiinnittyneitä yhdisteitä. Useissa tutkimuksissa on todettu, että esimerkiksi PFAS- ja PBDE-yhdisteet, triklosaani, karbamatsepiini, diklofenaakki, fluoksetiini ja orlistaatti käyttäytyvät tällä tavalla. (Vieno ym. 2018, 50.)

Lääkeaineiden määrä mädätteessä nousee sitä mukaa, mitä enemmän prosessiin syötetään jätevesilietteitä. Aineiden kyky hylkiä vettä (hydrofobisuus) vaikuttaa jonkin verran lietteeseen sitoutumisen määrään. Lääkeaineet voivat mm. hajota elimistössä (esim. ibuprofeeni, parasetamoli, karbamatsepiini), muuttua osittain (siprofloksasiini, tetrasykliini) tai ne voivat muuntua alkuperäisiksi yhdisteiksi mm. jäteveden tai lietteen käsittelyprosesseissa. Karkeasti ottaen niitä on kuitenkin tavattu sekä rejektivedessä, että kuivajakeessa. (Tampio ym. 2018, 51; Viitattu lähteeseen Vieno 2007 ja Marttinen ym. 2014.)

Äystö ym. (2022) tutkivat kirjallisuuskatsauksen avulla eri haitta-aineiden tyypillisiä pitoisuuksia jätevesilietteissä tai niistä johdetuissa lannoitevalmisteissa. Tutkimuksessa havaittiin, että suoma-

laisten mädätetyiden lietteiden pitoisuudet pääosin alittavat käytössä olevat POP-jätteelle asetetut raja-arvot, Lannoitevalmisteasetuksen raja-arvot tai kansallisten tasojen raja-arvot (esim. Saksa, Tanska, Ranska). Tutkittuja yhdisteitä oli mm. PBDE-, PFOS-, PFOA-, PAH-, DEHP-, PCDD/F-yhdisteet, diklofenaakki sekä siprofloksasiini. Lisäksi tutkimuksessa kartoitettiin bentso(a)pyreenin, bentso(ghi)peryleenin, triklosaanin, estradiolin, diklofenaakin, siprofloksasiinin, PCDD/F- ja PFOS-yhdisteiden riskiperusteisia viitearvoja lannoitekäytössä. (Äystö ym. 2022, 57)

LEX4BIO -hankkeessa (2024) tutkittiin mm. 19 eri jättepohjaisen lannoitevalmisteen sisältämiä PFAS-, PCB-, PCDD/F- ja PAH-yhdisteitä, niiden suhdetta Euroopan alueen tiukimpiin raja-arvoihin sekä maaperään aiheutuvia haitta-ainekuormituksia. Osa valmisteista oli jätevesilietepohjaisia, osa biojättepohjaisia ja osa maatalous- ja elintarviketehojaisia. Tuloksien mukaan PCB-yhdisteiden tulokset vaihtelivat seuraavasti: 5,2–7,8 µg/kg (jätevesiliete), 7,9–14,8 µg/kg (biojäte), <LOQ–0,4 µg/kg (maatalous ja elintarviketehojaiset). PAH-yhdisteillä pitoisuudet olivat alhaisempia: 0,9–3,1 µg/kg (jätevesiliete), 0,7–1,0 µg/kg (biojäte), 0,02–0,9 µg/kg (maatalous- ja elintarviketehojaiset). PCDD/F-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat suuremmalla välillä: 0,7–3,7 µg/kg (jätevesiliete), 0,6–2,4 µg/kg (biojäte), <LOQ–1,6 (maatalous- ja elintarviketehojaiset). PFAS-yhdisteiden pitoisuudet olivat seuraavat: 6,1–29,0 µg/kg (jätevesiliete), 3,7–9,8 µg/kg (biojäte), <LOQ–6,9 µg/kg (maatalous- ja elintarviketehojaiset). Jokainen em. arvo täytti EU-alueen tiukimmat raja-arvot: 200 µg/kg PCB-yhdisteet, 3 mg/kg PAH-yhdisteet, 20 ng/TEQ kg PCDD/F- yhdisteet ja 100 µg/kg PFOS- ja PFOA-yhdisteet. Tuloksien mukaan yhden levityskerran aiheuttama kuormitus on PAH-yhdisteiden osalta 0,004 mg/kg, PFAs-yhdisteiden osalta 0,04 µg/kg, PCB-yhdisteiden osalta 0,033 µg/kg ja PCDD/F-yhdisteiden osalta 0,009 ng TEQ/kg. (Estoppey, Knight, Allan, Ngundu, Slinde, Rundberget, Ylivainio, Hernandez-Mora, Sørmo, Arp & Cornelissen 2024.)

Laskennallisissa 10, 15 ja 20- vuoden mallinnuksissa maaperään lisättyjen yhdisteiden pitoisuudet (PFOS <0,3 µg/kg, PAH <0,3 mg/kg, PCDD/F <0,1 ng TEQ/kg, PCB <0,25 µg/kg) eivät ylittäneet maaperän taustapitoisuuksia (PFOS 2,7 µg/kg, PAH 0,37 mg/kg, PCDD/F 3,18 ng/kg, PCB 2,9 µg/kg). Mikäli valmisteita lisätään maahan, johon on käytetty em. valmisteita, maaperän pitoisuuden arvioidaan nousevan 11 % (PFAS), 8 % (PCB), 3 % (PCDD/F) ja 12 % (PAH). Tutkimuksessa todetaan, että tällaisten määrien ei odoteta aiheuttavan saastumisriskejä maaperään tai viljelykasveille. Näin ollen, tutkimuksessa tarkasteltujen kaupallisten lannoitevalmisteiden pitoisuudet eivät edusta riskiä maatalousmaan saastumiselle, sillä edellytyksellä, että valmisteiden pitoisuudet ovat tutkimuksen

kanssa samalla tasolla. Muilta osin tutkimuksessa suositetaan haitallisten pitoisuuksien seurantaa (esim. PFAS-yhdisteet) ja ekotoksikologisia testejä. (Estoppey ym. 2024)

Rejktiviesien haitta-aineita on tutkinut ainakin Marttinen ym. (2014). Marttinen ym. (2014, 14) toteaa, että nestejakeeseen päätyy pääasiassa vesiliukoisia yhdisteitä, jotka eivät hajoa anaerobisessa käsittelyssä. Rejktiveden kemikaalipitoisuudet riippuvat pitkälti jakeen kuiva-ainepitoisuudesta, joka puolestaan on riippuvainen erotustekniikan tehokkuudesta. Rejktiviesien kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat tutkimuksessa 0,2–4,2 %:n välillä. Kuivajakeiden kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 21–36 %, joten suurin osa kemikaaleista päätyivät hiukkasin sitoutuneina kuivajakeisiin. Rejktiveteen verrattuna mädätysjäännösten ja kuivajakeiden pitoisuudet yhdisteestä riippuen olivat kymmen- tai jopa satakertaisia. PAH-yhdisteistä korkeimmat pitoisuudet tavattiin naptaleenilla. Marttinen kuitenkin painottaa, että yhdisteen haitallisuuden arviointiin tarvitaan pitoisuustiedon lisäksi riskitarkastelu, jossa arvioidaan yhdisteen ominaisuuksia ja altistumismääriä. (Marttinen ym. 2014, 9, 36) Alla olevaan taulukkoon on koottu keskeisimmät rejktiveden pitoisuudet sekä tuorepainoa, että kuiva-ainetta kohden.

Taulukko 5. Rejktiveden haitta-ainepitoisuuksia (tiedot Marttinen ym. 2014, 32–33, 48–50)

Yhdiste	Pitoisuus tuorepainoa kohden	Pitoisuus kuiva-ainetta kohden
PBDE	0,2–4,7 (ka. 1,8, Md. 0,6) µg/kg	6,8–569 (ka. 187, Md. 99) µg/kg
PAH-yhdisteet	0,001–0,01 (ka. 0,005, Md. 0,001) mg/kg	0,06–2,1 (ka. 0,69, Md. 0,30) mg/kg
PFC-yhdisteet	0,06–1,8 (ka. 0,5, Md. 0,2) µg/kg	4,00–282 (ka. 58,9, Md. 23,9) µg/kg
Ftalaatit (DEHP)	0,02–0,3 (ka. 0,1, Md. 0,06) mg/kg	4,00–7,00 (ka. 5,35, Md. 5,00) mg/kg
LAS-yhdisteet	<LOQ-2,6 (ka. 1,3, Md. 1,3) mg/kg	<LOQ-400 (ka. 200, Md. 200) mg/kg
Atenololi	<LOQ- 1 (ka. 0,4, M.d. 0,3) µg/kg	<LOQ-205 (ka. 57,4, M.d. 36) µg/kg
Diklofenaakki	<LOQ-15 (ka. 3,1, M.d. 2,0) µg/kg	<LOQ-1040 (ka. 337, M.d. 252) µg/kg
Estradioli	<LOQ-1 (ka. 0,1, M.d. 0) µg/kg	<LOQ-31 (ka. 3,1, M.d. 0) µg/kg
Flubendatsoli	0,1–3,6 (ka. 1,8, M.d. 1,8) µg/kg	16–87 (ka. 51,5, M.d. 51,5) µg/kg
Ibuprofeeni	<LOQ-561 (ka. 62,9, M.d. 21,0) µg/kg	<LOQ-40100(ka. 7570, M.d.3550) µg/kg
Karbamatsepiini	<LOQ-16 (ka. 2,2, M.d. 0,9) µg/kg	<LOQ-1150 (ka. 282, M.d. 195) µg/kg
Ketoprofeeni	<LOQ-12 (ka. 1,8, M.d. 0,4) µg/kg	<LOQ-871 (ka. 215, M.d. 75,4) µg/kg
Metoprololi	<LOQ-15 (ka. 3,0, M.d. 0,9) µg/kg	<LOQ-2170 (ka. 343, M.d. 115) µg/kg

Naprokseeni	<LOQ-1 (ka. 0,2, M.d. 0) µg/kg	<LOQ-95 (ka. 18,1, M.d. 0) µg/kg
Norfloksasiini	<LOQ-1 (ka. 0,2, M.d. 0) µg/kg	<LOQ-156 (ka. 22,5, M.d. 0) µg/kg
Siprofloksasiini	<LOQ-7 (ka. 2,4, M.d. 1,1) µg/kg	<LOQ-993 (ka. 269, M.d. 212) µg/kg
Sitalopraami	<LOQ-1 (ka. 0,1, M.d. 0) µg/kg	<LOQ-74 (ka. 8,7, M.d. 0) µg/kg
Sotaloli	<LOQ-1 (ka. 0,7, M.d. 0,7) µg/kg	<LOQ-355 (ka. 94,4, M.d. 78,5) µg/kg
Sulfadiatsiini	<LOQ-33 (ka. 16,3, M.d. 16,3) µg/kg	<LOQ-4667 (ka. 2334, M.d. 2334) µg/kg

\*ka. = keskiarvo. Md. =mediaani. <LOQ =pitoisuus alle määrittäysrajan.

Samassa tutkimuksessa arvioitiin myös haitta-aineista johtuvat kuormitustasot maaperään. Rejektiveden laskennalliset haitta-ainekuormitukset arvioitiin seuraavasti: PBDE (ka. 17, Md. 5,5 ng/kg), PAH (ka. 46, Md. 22 ng/kg), PFC (ka. 4,1, Md. 1,7 ng/kg), DEHP (ka. 1,1, Md. 0,5 µg/kg), LAS (ka. 18, Md. 18 µg/kg). Yhden levityskerran yhdistekohtaiset kuormitukset ovat seuraavat: PBDE (ka. 54, Md. 18 mg/ha), PAH (ka. 150, Md. 72 mg/ha), PFC (ka. 14, Md. 54 mg/ha), DEHP (ka. 3,4, Md. 1,7 g/ha) ja LAS (ka. 40, Md. 40 g/ha). Laskennallisesti rejektiveden PBDE-, PAH- ja LAS- yhdisteiden maaperään aiheuttamat kuormitukset ovat merkittävästi vähäisempiä verrattuna kuivajakeeseen tai mädätysjäännökseen. Ftalaatin (DEHP) kohdalla kuormitus oli samaa tasoa mädätysjäännöksen ja PCF-yhdisteiden kohdalla sekä mädätysjäännöksen, että kuivajakeen tasolla. Yhteenvetona Marttinen ym. (2014) arvioi, että rejektivesien lannoitekäyttö ei aiheuta maaperään mädätysjäännöstä tai kuivajakeetta suurempaa kuormitusta. (Marttinen ym. 2014, 36, 40–41, 57.)

Edellisen lisäksi rejektivettä on tutkinut Koskue ym. (2022). Koskue tutki rejektivestä jalostetun konsentraatin lääkeainepitoisuuksia ja PFAS-yhdisteitä. Tutkimuksessa käytetyn rejektiveden taustapitoisuudet olivat seuraavat: karbamatsepiini oli 2,9 µg/l, siprofloksasiini 1,0 µg/l, diklofenaakki 1,8 µg/l, erytromysiini 0,1 µg/l ja metoprololi 0,8 µg/l. Syötteen eli rejektiveden PFAS-yhdisteiden pitoisuudet olivat taulukon 2B mukaan keskimäärin seuraavat: PFPeA (0 µg/l), PFHxA (0,036 µg/l), PFHpA (0,006 µg/l), PFOA (0,027 µg/l), PFNA (0,005 µg/l), PFDA (0,006 µg/l), PFHxS (0,01 µg/l) ja PFOS (0,018 µg/l). (Koskue ym. 2022, 5.) PFAS-yhdisteiden laskennallinen yhteispitoisuus on 0,11 µg/l).

Marttinen ym. (2014, 37) tutki haitta-ainetutkimuksen ohella myös mineraalilannoitteiden sisältämiä haitta-ainepitoisuuksia kirjallisuuskatsauksen avulla. Katsauksesta kävi ilmi, että myös kalkitusaineet ja mineraalilannoitteet voivat sisältää pieniä pitoisuuksia dioksiineja, PCB-yhdisteitä, PAH-

yhdisteitä, NP+NPEO-yhdisteitä, ftalaatteja, ja LAS-yhdisteitä. Tieto viittaa siihen, että kierrätyslannoitteet eivät ole ainoa haitta-aineiden lähde.

Maaperässä haitta-aineiden ja epäpuhtauksien lisäksi ongelmia voi aiheuttaa antibiooteille resistentit eli vastustuskykyiset bakteerikannat. Käytännössä resistenssi ilmenee bakteerin kehittyneenä ominaisuutena, joka auttaa sitä vastustamaan antibiootin tai muun kemikaalin (esim. biosidit, raskasmetallit) vaikutuksia. Antibioottiresistenssistä voi aiheutua yksilön sairastuminen, mikäli resistentti bakteeri kykenee siirtymään elimistöön, lisääntymään ja infektoimaan yksilön. Vastustuskyvyn kehittyminen edellyttää ympäristön, jossa resistentin kannan kehittyminen on bakteerin selviämisen ja kilpailun kannalta välttämätöntä. (Vieno ym. 2018, 62, 58.) Myös ympäristön valintapaineet vaikuttavat resistettien kantojen lisääntymiseen. Resistenttejä kantoja on todettu sekä jätevesilietteistä, että lannoista (esim. sika- ja karjatilat). Erään tutkimuksen mukaan lannan talvi-varastoinnin aikana resistenttien geenien määrä on rikastunut, mutta vähentynyt 6 viikon päästä maahan levityksestä. (Äystö ym. 2022, 67, 45) Vienon ym. (2018) mukaan jätevedenpuhdistusprosessin on todettu joissakin tutkimuksissa vähentävän resistenttien kantojen määrää. Tämä on todettu vertaamalla kantojen määrää tulevan jäteveden, puhdistetun jäteveden ja kuivatun tai mädätetyn lietteen määriin. Mädätysprosessin aikana resistentit kannat voivat sekä hajota, että rikastua. Aiheesta on kuitenkin varsin vähän tutkimustietoa. (Vieno ym. 2018, 30; Viitattu lähteeseen Karkman ym. 2016)

Haitta-aineiden ohella kierrätyslannoitteiden riskitekijäksi on tunnistettu mikromuovit. Maaperään päätyy muovia (mikro- tai nanomuovia) useista eri lähteistä. Kierrätyslannoitteet ovat eräs potentiaalinen pistekuormittaja, mutta muovia kulkeutuu myös kastelusta, maataloustoiminnasta (kate-muovit, aumamuovit, paalimuovit) tai työkoneista (Äystö ym. 2022, 68). Puhdistamolietteeseen mikromuovia kulkeutuu liikenteestä, kotitalouksista, teollisuudesta, hulevesien mukana ja kaatopaikkojen suotovesistä (Lehtoranta ym. 2021, 15).

Muovi tarkoittaa keinoitekoisesti muodostettua polymeeriketjua, johon on liittynyt useita yksinkertaisia monomeerejä. Valmistuksessa polymeeriseosta käsitellään paine- ja lämpötilakäsittelyillä ja seokseen voidaan lisätä lisäaineita, jotta muoville saadaan aikaan erilaisia ominaisuuksia. Jaottelu makro- ja mikromuovien välillä vaihtelee lähteittäin, mutta MAP-hankkeessa (2022–2023) makromuoveiksi katsotaan olevan yli 20 mm partikkelit ja mikromuoveiksi puolestaan 1 mikrometristä 5

millimetriin. Nanomuoveiksi luokitellaan alle 0,1  $\mu\text{m}$ :n kokoiset hiukkaset. (Raninen, Uurasjärvi, Peräniemi, Soininen, Vepsäläinen, Järvelä, Riekinen, Karim, Selenius, Savolainen, Visuri, Koistinen & Tomppo 2023, 70, 23)

Lehtorannan ym. (2021, 16) mukaan mikromuoveja syntyy pääasiassa kahdella tavalla: primääriset mikromuovit tuotetaan tarkoituksellisesti jotakin toimintoa varten (esim. muovirakeet) ja sekundääriset syntyvät suurempikokoisen partikkelin rapautuessa pienemmiksi partikkeleiksi. Mikromuovin hajoamisprosessissa muovi fragmentoituu eli pilkkoutuu pienemmiksi partikkeleiksi (polymeeriketju katkeaa) ja sen sisältämät kemialliset yhdisteet (esim. lisäaineet) vapautuvat ympäristöön. Fragmentoitumisen jälkeen tai sen yhteydessä mikromuoviin kasvaa biofilmiä ja se hajoaa oksidatiivisesti. (Raninen ym. 2023, 154)

Vuoden 2021 aikana Euroopassa muovia käytettiin eniten pakkauksissa (39,1 %) ja niistä 60 %:lla tuotettiin elintarvikkeiden (ruoka, juoma) pakkauksia. Muovipakkausten polymeerimuodot vaihtelevat, mutta yleensä käytetään joko polyetyleniä, polypropyleeniä, polyetyeenitereftalaattia, polystyreeniä tai polyvinyylidikloridiä. Pakkausmuovit voivat sisältää erilaisia kemiallisia yhdisteitä, jotka ovat päätyneet muoviin joko tarkoituksellisesti (esim. lisäaineet) tai ei-tarkoituksellisesti. Lisäaineina käytetään mm. pehmittimiä, palonestoaineita, stabilisaattoreita, biosidejä, pinta-aktiivisia aineita, voitelu- ja liukuaineita, kovetteita ja vaahdotteita. (Raninen ym. 2023, 135–136, 138, 163).

Maaseudun tulevaisuus (2024) uutisoi syksyllä 2024 kierrätyslannoitteen mukana tulleesta muovisilpun määrästä. Pohjois-Pohjanmaalaiselle tilalle toimitettiin Oulun biokaasulaitokselta mädätteenjäännöstä, jonka mukaan oli päässyt huomattavia määriä muovisilppua. Lannoitelainsäädännön epäpuhtauksien raja-arvot kuitenkin sallivat suurienkin muovirokamäärien päätymistä lannoitevalmisteeseen. (Laine 2024, 4.) Uutisesta nousi keskusteluita ja eri toimijoiden kannanottoja pitkälle syksyyn.

Vuorinen (2021) tutki työssään biojätteen sisältämän pakkausmuovin määrää eri toimeksiantajan biokaasulaitoksilla. Tutkimuksessa vertailtiin murskaamiseen ja välppäykseen perustuvan (Tiger Hub) ja vesierotukseen perustuvan (Waste Pulper) laitteiston erotustehokkuuksia. Tutkimus toteutettiin seulomalla reaktoriin menevää biojättesyötettä ja vertailemalla seuloille jääneen muovin

määrää biojätteen sisältämään kokonaismäärään (HSY). Tuloksissa saatiin selville, että Tiger-Hub kykeni erottelemaan 94 % ja Waste Pulper puolestaan jopa 98 % biojätteen sisältämästä muovista. (Vuorinen 2021, 35, 44.) Tiger-Hub- laitteiston toiminta perustuu materiaalin murskaukseen/repimiseen. Tästä syystä laitteistolla on mahdollista käsitellä muoviset, pahiset, metalliset elintarvikepakkaukset ja -tölkit. Murskauksen lisäksi syöte käy läpi väljän ja hiekanerotuksen, jonka jälkeen yli 12 mm kokoiset partikkelit erottuvat syötemassasta. (Vuorinen 2021, 20–21). Biojätteen käsittelymäärien kasvaessa käsittelylaitteiston erotustehokkuudella on yhä suurempi rooli biojätteistä valmistettujen lannoitevalmisteiden laadun ja turvallisuuden näkökulmasta.

Muovihaasteisiin etsitään parhaillaan poliittisella tasolla ratkaisuja. Ongelmaan on ehdotettu mm. omavalvonnan ja ketjun eri toimijoiden toimintatapojen muutoksia, erilliskeräyksen kehittämistä, epäpuhtauksien raja-arvojen tiukennusten aikaistamista sekä kansallisia lannoitevalmisteiden EEJ-kriteereitä. (Ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö 2024.)

## 9.2 Kuljetus ja varastointi

Rejektivettä on mahdollista kuljettaa samoilla kalustoilla, kuin mädätettäkin. Mädätettä kuljetaan yleensä säiliöautoilla, joko puoliperävaunu- tai täysperävaunuyhdistelmillä. (Ylikahri 2024 henkilökohtainen tiedonanto.) Lannoitevalmisteita siirretään biokaasulaitokselta tilalle Kiertoravinne Oy:n urakoitsijoiden toimesta (Maatilat n.d.). Viljakaisen (2023) mukaan kuljetuskustannusten vuoksi lannoitteita toimitetaan noin 50–70 km säteelle biokaasulaitosiin nähden. Valmisteet toimitetaan joko tilojen lietealtoiin tai suoraan pellolle vuodenajan mukaan. Pääsääntöisesti toimituksia on mahdollista tehdä vuoden ympäri. Suurella osalla vastaanottajista (70 %) on lieteallas jo entuudestaan ja noin 5 % on rakentanut kierrätyslannoitteita varten sellaisen. Pieni määrä toimituksista (5 %) toimitetaan yhtäjaksoisesti laitokselta peltoon ilman varastointia. (Viljakainen 2023, 10–12.) Rejektivettä varastoidaan joko laitoksella säiliössä tai tilalla katetussa tai kattamattomassa lietealtaassa.

Kierrätyspohjaisia lannoitevalmisteita varastoidaan levitysajankohtien ulkopuolella. Erityisesti talviaikainen varastointi on välttämätöntä, sillä useat lainsäädännöt kieltävät lannoitteen levityksen 1.11–31.3. aikana. Sekä Tampio ym. (2018, 61), että Seppänen ym. (2019, 8) painottavat organisten lannoitevalmisteiden varastoinnin vaikutusta valmisteiden laatuun (esim. typpihävikit). Marttinen ym. (2013, 42–43) puolestaan korostaa hygieenisen laadun säilymistä varastoinnin aikana.

Varsin pitkät varastointiajat voivat aiheuttaa nestemäisissä lannoitevalmisteissa aktiivista mikrobikäymistä, minkä vuoksi valmisteiden käyttö olisi suositeltavaa mahdollisimman pian. (Marttinen ym. 2013, 42–43)

Varastointiin ja levitysvaiheeseen vaikuttaa erityisesti ammoniumtypen ja ammoniakkin välinen suhde. Tasapainoyhtälö on esitelty luvussa 3.4. Käytännössä mädätysprosessin aikana liukoistunut ammoniumtyppi haihtuu ammoniakkin ilmaan - mikä vähentää kasveille päätyvän liukoisen typen määrää. Valmisteen varastointiolosuhteet vaikuttavat keskeisesti haihtumisen voimakkuuteen. Toisaalta olosuhteita kontrolloimalla voidaan sekä minimoida typpipäästöjä, että ohjata suurempi määrä kasville saakka. Nestejae kannattaakin säilyttää tästä syystä katetussa olosuhteessa ja sijoittaa se välittömästi maahan levityksen yhteydessä. (Horn ym. 2020, 13.) Ammoniumtypen käyttäytymiseen varastoinnin aikana vaikuttaa oleellisesti varastointitila (rakenteet), -aika, lämpötila, sääolosuhteet, sekoitus.

### 9.3 Käyttö ja lannoitusvaikutukset

Lähtökohtaisesti kierrätyslannoitevalmisteita voidaan käyttää ensisijaisena ravinteen lähteenä, mikäli niiden ravinnepitoisuudet riittävät kattamaan kasvin ravinnetarpeet. Valmisteiden ravinnemäärää voidaan myös täydentää joko mineraalilannoitteilla, muilla kierrätyspohjaisilla lannoitevalmisteilla tai biologisen typensidonnan avulla. Käytettäessä useaa ravinnelähdettä on kuitenkin huomioitava liukoisten ja orgaanisten ravinteiden kokonaismäärät sekä erityisesti orgaanisen typen mineralisoituminen kasvin ravinneottoon nähden. (Horn ym. 2020, 15.) Rejektivedestä on mahdollista myös tehdä ns. valmis lannoitevalmisteseos tuoteluokan 6 mukaisesti, edellyttäen, että seoksen jokainen ainesosa on lannoitelainsäädännön vaatimusten mukainen (MMM 964/2023, liite 1). Seoksien muodostamisessa on kuitenkin oltava huolellinen, jotta ei tule muodostaneeksi keskenään reagoivia seoksia. Esimerkiksi mineraalipohjaisen nitraattitypen sekoittaminen orgaanisiin aineisiin saattaa aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaroja. (Välinen ym. 2024, 56; Sepänen ym. 2019, 6)

Kiertoravinteen mukaan rejektiveden levitys tapahtuu mädätteen tapaan lietteenlevityskalustolla (Ylikahri 2024 henkilökohtainen tiedonanto). Ympäristökorvaus edellyttää maahan multaavaa tai sijoitettavaa tekniikkaa. Rejektiveden tarkkaa käyttömäärää (tn/ha, m<sup>3</sup>/ha) ei ollut saatavilla. Kierrätyspohjaisten lannoitevalmisteiden käyttömäärästä on muutama arvio, laajimmillaan noin 10–30

m<sup>3</sup> hehtaaria kohden (Viljakainen, 2023, 19). Marttinen ym. (2014, 39) käyttivät maaperän laskennallisissa kuormitustutkimuksissa rejektivedellä käyttö määrää 30 tn/ha, joka kuiva-ainetta kohden tarkoittaa noin 120–820 kiloa. Puhdistamolietepohjaisen rejektiveden lannoitusvaikutuksista ei ole saatavilla lähdekirjallisuudesta kovin paljoa tutkittua tietoa. Useimmat tutkimukset kohdistuvat joko mädätteisiin, kuivajakeisiin, konsentraatteihin tai muihin rejektivesiin (eläin- ja kasvipäriset).

Lähimmäs rejektiveden lannoitusvaikutuksia on tutkinut ainakin Marttinen ym. (2013). Tutkimuskohteena oli mm. rejektivesi, jonka raaka-aineena oli käytetty puhdistamolietteiden sijaan sianlietteitä ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Tutkimuksessa tavoiteltiin liukoisien typen annosta 90 kg/ha. Rejektiveden lannoitusmääränä käytettiin 1. käsittelyssä 16 tn/ha ja 2. käsittelyssä 10 tn/ha. 2. käsittelyssä käytettiin myös 30 kg/ha mineraalilannoitetta. Tuloksien mukaan rejektivedestä saatiin yhtä suuri sato, kuin mineraalilannoitteesta. Mineraalilisän kanssa rejektiveden satotaso oli jopa 3,9 % parempi, kuin pelkällä mineraalilannoitteella, mutta pyörien kohdalta (tallaus) tuli hieman satotappiota. Tässä kohtaa olisi tärkeää käyttää mahdollisimman suurta työlevyettä. Rejektiveden liukoinen tyyppi oli kasvukauden alussa hyvin kasvien käytettävissä, mutta sen jälkivaikutus oli vähäinen. (Marttinen ym. 2013, 27.)

Puhdistamolietepohjaisesta rejektivedestä määritettiin mm. hiilidioksidintuottomäärä, akuutti toksisuus, krassin siementen itävyydet sekä juurenpituusindeksit vuonna 2010. Rejektiveden hiilidioksidintuottomäärä oli noin 1,7 mg CO<sub>2</sub>/g VS/vrk, mikä ei sinänsä vielä kerro merkittävästä mikrobiologisesta aktiivisuudesta. Valobakteeritesteissä (standardimaa, turve) vain 1 rejektivesinäyte antoi myrkyllisen vasteen. Sekä turpeeseen, että standardimaahan sekoitetut rejektivedet antoivat yli 95 % krassien juurien itävyyden, eli tulos on hyvä. Juurenpituusindeksi (MLV %) oli standardimaassa hieman yli 80 % ja turpeessa noin 110 %. Lisäksi rejektivedelle suoritettiin kasvatuskoe ohralla ja kiinankaalilla. Testikasvien itävyyttä tutkittiin itävyyden eston (%) avulla, jossa rejektiveden tulokset olivat standardimaassa noin – 1 % (kiinankaali) ja 2–3 % (ohra). Turpeeseen sekoitettuna tulokset olivat noin 3 % (kiinankaali) ja -6 % (ohra). Taimien tuorepainoa tutkittiin kasvuneston (%) avulla. Standardimaassa rejektiveden kasvunesto-%:t olivat n. 20 % (kiinankaali) ja -10–20 % (ohra). Turpeeseen sekoitettuna kasvunesto oli noin 10 % (kiinankaali) ja -20–30 % (ohra). Testikasvien väriä mitattiin värivirheiden avulla, jossa rejektiveden tulokset standardimaassa -5 % (kiinankaali) ja -10 % (ohra), eli tulos on hyvä. Turpeessa värivirheiden määrä oli noin 5 % kiinankaalilla ja ohralla yli 15 %. (Marttinen ym. 2013.)

Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös belgialaisessa tutkimuksessa, jossa havaittiin, että mädätteen nestemäisen jakeen seostaminen mädätteen tai sianlietteen kanssa tuottaa mineraalilannoitetta vastaavan satotason ja näin ollen vähentää synteettisten lannoitteiden tarvetta. Monivuotinen kasvatuskoe toteutettiin vuosina 2011–2013. Rejektiveden raaka-aineena käytettiin sianlantaa, energiamaissia ja ruokateollisuuden orgaanisia jätteitä. Kasvatuskokeen kasvina käytettiin rehumaissia, jonka sadonkorjuun jälkeen kylvettiin italianraiheinää jokaisena vuonna estämään typen huuhtoutumista. Rejektivettä sekoitettiin mädätteen ja sian lietteen sekaan (sekoitussuhteet 50:50 tai 40:60). Kokeessa havaittiin, että rejektiveseoksilla lannoitetut tuoresadot, kuivaainesadot, ravinteiden hyväksikäyttö tai maaperän ravinnevarannot eivät eronneet merkittävästi tavanomaisen lannoituksen vaikutuksista (mineraalilannoite + sian liete). Kokeen ensimmäisenä vuonna tuoresato ylitti tavanomaisen satotason. Toisena vuonna satotaso oli alhainen, johtuen todennäköisemmin kevään märkyydestä ja myöhäisistä kylvöistä, kuin lannoituksesta. Kaliumin kohdalla rejektivesipohjaisen seoksen käyttäminen johti synteettisen kaliumin käytön merkittävään vähenemiseen. Tuloksissa todettiin, että kaliumin sijaan natriumin otto vähentää suolariskien muodostumista kuivilla alueilla. Tutkimuksessa havaittiin myös, että raskasmetallien (Zn, Cu) pitoisuus oli alhaisin silloin, kun maahan lisättiin eniten rejektivettä. Typpi- ja kaliumpitoinen nestejakeella voisi olla erityistä käyttöä fosforiylijäämäisillä mailla. (Sigurnjak, Vaneckhaute, Michels, Ryckaert, Ghekiere, Tack & Meers 2017, 1886–1893.)

Puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksia on tutkittu OrVo-hankkeessa vuosina 2020 ja 2021. Tutkimuksessa oli mukana kontrolli 0 kg N, mineraalilannoitteet 80 ja 100 kg N, Luonnonvarakeskuksen mädätysjäännös (naudanlietepohjainen), Gasumin Vehmaan konsentraatti (raaka-aineena biolietteet, sianlietteet), Turun konsentraatti (puhdistamolietepohjainen) ja Honkajoen mädätejäännös (biojätepohjainen). Tuloksissa keskisato oli noin 3750 kg/ha (15 % kosteus), jossa Vehmaan konsentraatti tuotti 4470 kg/ha ja Turun konsentraatti 3420 kg/ha sadon. Vuoden 2021 nurmikokeiden tuloksissa keskiarvot olivat 4320 kg/ha ka (1. sato) ja 2510 kg/ha ka (2. sato). Orgaanisten lannoitevalmisteiden ensimmäisen sadon määrä vaihteli 4780 kg/ha ka ja 4930 kg/ha ka välillä ja toisen sadon 2910 kg/ha ka ja 2980 kg/ha ka välillä. Tuloksissa korkeimpiin satotasoihin (yli mineraalilannoitteen tason) yhdistettiin liukoisen typen osuus kokonaistypestä. Vehmaan konsentraatilla lähes koko typpimäärä oli liukoista typpeä, toisin kuin turun konsentraatilla tai Luken mädätysjäännöksellä. Jokaista lannoitetta voidaan satotasopotentialistaan huolimatta käyttää typpilannoitteina. (Temonen, Mustonen, Alhonoja, Järvenranta & Rätty 2022.)

Satotasojen vaihteluun vaikuttaa levitysmäärien ohella myös kierrätyslannoitevalmisteiden liukoisen typen määrän vaihtelu, tasalaatuisuuden vaihtelut sekä levityksen tasaisuus. Orgaanisten lannoitevalmisteiden sisältämät liukoisen typen pitoisuudet määräävät pitkälti typen lannoitusvaikutusta ja vaikuttavat satotasoon. Liukoisen typen vaihtelut kierrätyslannoitteissa vaihtelevat laajalti ja näin ollen vaihtelu voi heijastaa suoraan levityksen tasaisuuteen. (Tontti, Kapuinen, Ojajärvi, Joki-Tokola, Laurila, Ikäläinen, Kekkonen & Veijalainen 2015, 8, 74.) Letkulevittimellä ja sijoittavalla levittimellä nestemäisen lannoitteen levitysjäljestä saadaan tasainen edellyttäen kuitenkin, että valmisteen laatu on tasaista ja sitä on sekoitettu (Seppänen ym. 2018, 10).

#### 9.4 Markkinat ja kannattavuus

Useiden lähteiden mukaan orgaanisten lannoitevalmisteiden ja erityisesti puhdistamolietepohjaisten valmisteiden markkinat ovat vielä kehitysasteella ja niihin sisältyy useita pullonkauloja (Seppänen ym. 2018, 3, 36; Välinen 2024, 64, 66, Tampio ym. 2018, 60). Lannoitevalmisteita on perinteisesti luovutettu veloituksetta laitosten lähialueille, joissakin tapauksissa tähän on kuulunut myös kuljetukset ja levitykset. Laitosten tulonlähteinä on ollut biohajoavien jätteiden porttimaksut sekä tuotettu energia, eivät niinkään itse lannoitevalmisteet. (Tontti ym. 2015, 75.) Viljakainen (2023) kuitenkin painottaa, että mm. teollisten lannoitteiden hintojen nousu ja saatavuusongelmat ovat aiheuttaneet ajoittaisia kysyntäpiikkejä myös kierrätyslannoitevalmisteiden kohdalla. Tämän seurauksena lannoitevalmisteista on alettu perimään maksua loppukäyttäjiltä (Viljakainen 2023, 11).

Rejektivettä löytyy Kiertoravinne Oy:n hinnastosta (alkaen 18.2.2025) tuotenimellä Gasum Peltotyyppi. Kuten aiemmin mainittiin, rejektivettä on saatavilla Huittisten laitoksilta. Peltotyypin tonni-perusteiseksi hinnaksi on asetettu 2 €/tn (alv 0 %). Mikäli rejektivettä toimitetaan yli 50 kilometrin etäisyydelle laitoksesta, lisätään hintaan 1,40 €/tn suuruinen rahtilisä jokaiselta 10 kilometriltä. Muiden lannoitevalmisteiden (Gasum Perus, Gasum Humus) hinnat ovat samalla tasolla (0–2 €/tn). Korkeampaa markkina-arvoa löytyy jatkojalostetuilta ravinteilta, esim. typpivahventeelta (70 €/tn + mahdollinen rahtilisä). (Hinnasto n.d.) Oulun laitoksen rejektivettä ei toistaiseksi ole toimitettu peltokäyttöön.

Seppäsen ym. (2019, 8) sekä Heittolan (2023, 12) mukaan nestemäisten lannoitevalmisteiden kannattavuus on voimakkaasti riippuvaista kuljetusetäisyydestä. Valmisteen korkea vesipitoisuus nostattaa kuljetuskustannuksia, minkä vuoksi niitä on taloudellisesti kannattavaa toimittaa vain laitoksen lähialueille. Alla suuntaa antava esimerkki rejektiveden kannattavuuden tarkastelusta.

SYKE:n julkaisussa (2020) tarkasteltiin BioKymppin nestemäisen jakeen (rejektivesi) ja ravinnekonentraatin kannattavuutta. Valmisteen tuotannossa käytetään pelkästään luomutuotantoon soveltuvia raaka-aineita ja vedenerotus toteutetaan lingon sijaan ruuviseparaattorilla. Kannattavuuslaskelmien kustannuksissa huomioitiin sähkö, käytetyt kemikaalit, työ ja kunnossapito, logistiikka (etäisyys 50 km), levitys sekä investoinnit (tekniikka, rakenteet). Biokaasuprosessin kustannukset rajattiin ulos. Nestemäisen jakeen kokonaiskustannuksista eniten vei kuljetus (55 %), varastoaltan rakenteiden poistot (21 %) sekä lannoitteen levitys (18 %). Kustannukset olivat alhaisemmat kuin konsentraatilla. Vasta pitkillä kuljetusetäisyyksillä (< 80 km) ravinnekonentraatin kokonaiskustannukset peittosivat rejektiveden kustannukset. (Horn ym. 2020, 34-36.)

## 9.5 Loppukäyttäjän ja viljanostajan näkökulmat

Rejektiveden lannoitekäytön viljelijän näkökulmasta ei ole erikseen saatavilla tutkittua tietoa, mutta suuntaa antavaa tietoa voidaan saada kierrätyslannoitteisiin suuntautuneista kyselytutkimuksista. Eerola (2023) tutki kevään 2023 aikana viljelijöiden suhtautumista puhdistamolietettä sisältäviin lannoitevalmisteisiin (määdäte) sekä kartoitti valmisteiden kehittämismahdollisuuksia viljelyn näkökulmasta. Tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena, johon osallistui yhteensä 305 viljelijää eri tuotantosuunnista ympäri Suomea. Työn tilaajana toimi Kiertoravinne Oy. (Eerola 2023, 33.)

Kyselyn mukaan noin 81 % vastaajista ei ole käyttänyt mädätteitä tai niistä jalostettuja valmisteita lannoitteena. Useimmiten syyksi osoittautui lannoitteen mahdolliset haitalliset aineet (49 % vastaajista), riittämättömät tiedot mädätteiden soveltuvuudesta (29,6 %), mädätteiden maantieteelliset saatavuusongelmat (24,3 %) tai tiedonpuutteet mädätteistä lannoitteina ylipäätään (23,0 %). Kyselyyn vastanneista 19 % oli käyttänyt mädätettä pelloillaan ja eniten sitä oli käytetty viljan (79 %), öljykasvien (16 %) tai nurmen (18 %) lannoittamiseen. Tulevaisuudessa mädätettä voitaisiin käyttää pääasiassa samoille kasveille samassa järjestyksessä. (Eerola 2023, 36–38, 45.)

Merkittävimpänä valintaperusteena käytettiin ensisijaisesti hintaa (71 %) ja toissijaisesti maanparannusvaikutusta (64 %). Suurin osa (56 %) vastaajista vastasi käyttävänsä mieluiten rakeistettua tuotetta ja vain 5 % vastaajista kertoi, että toivoisi mieluiten lannoitetta nestemäisessä muodossa. Rakeistusta toivottiin mm. sen vuoksi, ettei ylimääräisen nesteen lisääminen peltoon raskailla koneilla rasittaisi pellon rakennetta tai salaojien kuntoa. Liukoisen typen pitoisuustoiveeksi (mediaaniarvo) osoittautui 10 kg/m<sup>3</sup> ja kaliumin pitoisuudeksi 3 kg/m<sup>3</sup>. (Eerola 2023, 41–42, 45.)

Puhdistamolietettä sisältävien lannoitteiden haasteellisuus näkyy myös Eerolan tuloksissa: noin 71 % vastaajista on huolissaan lietteen sisältämistä haitta-aineista. Lietteen turvallisuuskulma nousi kyselyissä useaan otteeseen esille. Osa viljelijöistä toivookin, että puhdistamolietteen laatua ja mainetta voitaisiin parantaa, jotta tilojen olisi mahdollista hyödyntää lietteitä lannoituksessa. (Eerola 2023, 44–45.)

Kyselyn lisäksi Eerola (2023) selvitti myös viljanostajien ja elintarviketeollisuuden toimijoiden (tärkkelysperuna, sokerijuurikas, kumina, öljykasvit) kantaa ja näkemyksiä puhdistamolietepohjaisen lannoitevalmisteen käytöstä. Pääsääntöisesti kanta on kielteinen lietteen sisältämien haitta-aineriskien takia, mutta yksittäisiä poikkeuksia löytyy. Näissä tapauksissa lietteen käyttöä on joko rajoitettu viljelyvuodelle (esim. sokerijuurikkaan vastaanottajat) tai vastaavasti sallittu vain viljelyn väli vuosina (esim. tärkkelysperunan vastaanottajat). Tilojen väliseen kauppaan kieltoja ei voida ulottaa. Selvityksestä käy ilmi, että sopimusehtoja tai kieltoja ollaan valmiita tarkastelemaan uudelleen siinä tapauksessa, jos tutkitun tiedon valossa voidaan varmistaa ja todentaa lietteen käytön turvallisuus. Tutkimustietoa kaivattaisiin erityisesti lietteen pitkäaikaisen käytön vaikutuksista (haitta-aineiden käyttäytyminen maaperässä, kulkeutuminen satoon) ja haitta-aineiden (lääkeaineet, raskasmetallit, bakteerit) ja epäpuhtauksien (mikromuovi) vaikutuksista. (Eerola 2023, 49, 52–53.)

Eerolaa aiemmin myös Myllyviita ja Rintamäki (2017) ovat kartoittaneet viljelijöiden suhtautumista kierrätyspohjaisia lannoitevalmisteita kohtaan. Kyselytutkimuksen otanta on 649 vastaajaa eri tuotantosuunnista ja maakunnista. Tuloksien mukaan kierrätyslannoitteisiin oltiin suurimmaksi osaksi tyytyväisiä ja noin kolmasosa viljelijöistä oli valmis käyttämään niitä uudelleen. Kokemukset perustuivat suurimmaksi osaksi vain lantapohjaisiin lannoitteisiin. Noin 70 % vastaajista (tilalliset) sekä

arviolta 84 % heidän asiakkaistaan suhtautuivat puhdistamolietteiin epäilevästi. Puhdistamolietteet eivät tosin olleet ainoa raaka-ainejae, jossa riskitekijöitä (haitta-aineet, raskasmetallit, lääkejäämät yms.) koettiin olevan. Lannoitevalmisteista toivottiin yhteistyötä sekä tutkimus- että kokeusperäistä tietoa. Lisäksi lannoitevalmisteilta toivottiin kuljetettavuutta, varastoitavuutta, saatavuutta, edullista markkinahintaa sekä optimaalisia ravinesuhteita. (Seppänen ym. 2019, 21–24; Eerola 2023, 32–33.)

MT toteutti kierrätyslannoitteisiin suunnatun kyselyn syksyllä 2024. Tutkimuksen toteutti Kantar Agri ja siihen vastasi 878 vastaajaa. Tuloksia oli eritelty uutisessa tuotantosuunnittain, peltoaloitain sekä viljelijän iän mukaan. Syksyllä 2024 otsikoihin noussut muovikohu vaikuttanee jonkin verran tuloksiin. Tulosten mukaan enemmistöllä (55 %) ei ollut aikaisempaa käyttökokemusta, mutta ei myöskään mielenkiintoa kokeilla. Vastaajista 27 % (ei aiempaa käyttökokemusta) ja 6 % suhtautuivat niihin avoimin mielin. Yllättävästi vain 2 % vastaajista, jotka olivat kokeilleet valmisteita, eivät halunneet jatkaa niiden käyttämistä. Pinta-alatarkastelussa yli 100 hehtaarin tiloilla oli eniten kokemusta ja kiinnostusta (13 %) ja toisaalta kiinnostusta löytyi myös tiloilta, joilla käyttökokemusta ei vielä ollut (29 %). Nuoret (< 40 v) viljelijät olivat keskimäärin kiinnostuneempia, kuin vanhempi ikäpolvi. Vähiten kiinnostusta löytyi sikatiloilta ja maitotiloilta. (Kiviranta 2024)

Jukkalan (2021) mukaan Haakanan (2020) pro gradu- tutkimuksessa saatiin selville, että kielteinen suhtautuminen jätevesilietettä kohtaan kumpuaa pääosin kyseenalaisesta maineesta. Suhtautumisen muodostumismekanismi toimii seuraavasti: Kuluttajan asenne ja ostopäätös vaikuttavat viljanostajan asettamiin laatuvaatimukseen ja vaatimukset puolestaan rajaavat viljelijän mahdollisuuksia tuottaa puhdistamolietteellä lannoitettua viljaa. (Jukkala 2021.) Viskari ja Kämäri (2020) toteavat artikkelissaan, että Tampereen ammattikorkeakoulun toteuttamien kyselytutkimusten (2018 ja 2019) tuloksien perusteella on havaittu kuluttajilla olevan paikoitellen puutteellista tai virheellistä tietoa lietepohjaisista kierrätyslannoitevalmisteista. Kuluttajan tietämys maataloudesta, tuotantomenetelmistä sekä lannoituksesta ylipäätään vaikuttaa suhtautumiseen kierrätyslannoitteita kohtaan. (Viskari & Kämäri 2020.)

## 10 Tutkimuksen tausta

### 10.1 Tutkimusongelma, tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Kuten aiemmin johdannossa mainittiin, selvitystarpeen taustalla on pääosin kierrätyspohjaisten lannoitevalmisteiden lainsäädäntökehityksen muutokset (A 2019/1009, L 711/2022, MMMa 964/2023, MMMa 965/2023 yms.). Aiempi lainsäädäntö määritteli rejektiveden orgaaniseksi lannoitteeksi, jota voi sellaisenaan käyttää lannoituksessa, mikäli sen raaka-ainepohja sisälsi enintään 10 % jätevesilietteitä (Tampio ym. 2018, 41, 29). Tästä syystä rejektivedet on johdettu takaisin jätevedenpuhdistamolle. Tarpeen taustalla on myös taloudelliset intressit (viemärintikustannukset), varastoinnin tilanpuutteet ja käytännön soveltuvuuden määrittely. Näistä muodostui työn tutkimusongelma: epätietoisuus siitä, millaiset erilaiset rajoitteet ja mahdollisuudet rejektiveteen kohdistuu, mikäli sitä käytetään lannoitteena maataloudessa.

Tutkimusongelmasta johdettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mitkä ovat rejektivesilannoitteen reunaehdot eri ohjauskeinojen näkökulmasta?
2. Millaisia muita huomioon otettavia rajoitteita tai mahdollisuuksia rejektivedelle kohdistuu?
3. Miten rejektiveden todelliset arvot suhtautuvat reunaehtojen raja- tai viitearvoihin?

Työn lopputuloksena syntyi kirjallinen tuotos eli selvitys, jossa on mukana kirjallisen osuuden lisäksi numeerisia näytetuloksia ja analyysien tulkintaa. Selvitystyön avulla voidaan tehdä päätöksiä rejektiveden tulevaisuuden suhteen. Työstä hyötyy ensisijaisesti toimeksiantaja ja Kiertoravinne Oy, joka myy ja markkinoi laitosten tuottamia lannoitevalmisteita loppukäyttäjille. Yleispätevien seikkojen ja suuntaviivojen avulla työstä voisi olla mahdollista hyötyä muillekin laitoksille ja yrityksille, joilla toiminnassa puhdistamolietepohjaista rejektivettä muodostuu. Lisäksi epäsuorasti työstä voi olla myös hyötyä loppukäyttäjille eli viljelijöille.

### 10.2 Aiheen näkökulma ja rajaus

Kuten aiemmissa luvuissa mainittiin, rejektivettä käsiteltiin tässä työssä tuotannon välituotteen sijaan lopputuotteena, jota ei enää vedenerotus- ja seulontavaiheen jälkeen käsitellä. Näkökulma rajasi teollisuuden ja viherrakentamisen tarpeisiin jalostetut ravinnetuotteet (typpikonsentraatit)

sekä niiden käsittelymenetelmät ulos. Rejektiveden loppukäyttäjänä tarkasteltiin ainoastaan maataloutta. Näkökulmasta ja tutkimuskysymyksistä johtuen myös biokaasun tuotanto sekä jalostus jätettiin työn ulkopuolelle.

Tapauskohtaisuuden vuoksi työssä tutkittiin vain kyseisen yhteiskäsittelylaitoksen rejektivettä. Rejektivesien ominaisuudet vaihtelevat voimakkaasti erilaisten raaka-aineiden ja käsittelyprosessien vaikutuksesta, joten työn tutkimustulokset eivät liene täysin vertailukelpoisia muun tyyppisten rejektiviesien (mm. maatilakokoluokan separoidut nestejakeet, jäteveden puhdistamalla muodostuvat rejektiviedet, luomutuotantoon soveltuvat nestemäiset jakeet) kanssa. Jätevesilietteen sekä 2. ja 3. luokan eläimistä saatavien sivutuotteiden käyttö luovat lannoitevalmisteelle erillisiä lainsäädännöllisiä huomioita ja konkreettisia toimenpiteitä, joita ei esim. nurmi- tai lantapohjaisten lannoitevalmisteiden tuotannossa tai käytössä ole tarpeen ottaa huomioon.

Ajallisten resurssien vuoksi työssä sivuttiin lyhyesti joitakin käytännön seikkoja (varastointi, logistiikka, levitys), markkinointia sekä kannattavuutta. Tutkimuksista rajattiin ulos myös epäpuhtauksien määritykset, kasvatuskokeet, biotestit (esim. stabiilisuus, toksisuus) sekä suurin osa orgaanisista haitta-aineista (esim. lääkeaineet). Esimerkiksi hiilidioksidintuottoa ja juurenpituusindeksiä ei ollut teknisesti mahdollista määrittää rejektiveden nestemäisen olomuodon vuoksi, joten nämä tutkimukset jouduttiin rajaamaan pois.

## **11 Tutkimuksen toteutus**

### **11.1 Tutkimusote**

Opinnäytetyön tutkimusotteeksi sopii parhaiten selvitysluonteinen tapaustutkimus, eli Case-tutkimus, joka tarkoittaa laadullisen sekä määrällisen tutkimusotteen yhdistelmää. Case-tutkimuksen aineistonkeruu- ja analyysimenetelmissä suositaan yleensä monimenetelmäisyyttä, joka tarkoittaa molempien tutkimusotteiden menetelmien yhdistämistä kokonaisvaltaisen ja syvemmän ymmärryksen muodostamiseksi (Kananen 2016). Eriksson & Koistinen toteavat (2014, 9) tekstissään, että monimenetelmäisyys antaa tutkijalle vapauksia valita ja yhdistää parhaat tutkimusmenetelmät, jotka vastaavat parhaiten tutkimuskysymyksiin. Toinen monimenetelmäisyyden vahvuus on se, että molempia (laadullinen, määrällinen) menetelmiä voidaan käyttää samanaikaisesti tai vuoron perään. (Eriksson & Koistinen 2014, 10)

Työn tutkimuksen kohteena oli Oulun biokaasulaitoksen rejektivesi. Rejektiveden tutkimisessa pääpaino oli erilaisten reunaehtojen ymmärtämisessä sekä tietojen kokoamisessa, mutta työssä käytiin myös läpi ohjauskeinojen asettamien numeeristen arvojen (esimerkiksi raskasmetallit) suhtautumista nestejakeen todellisiin arvoihin. Tapaustutkimusta puolsi tutkittavan kohteen tapausluontoisuus ja ainutkertaisuus, kun tutkittiin Oulun biokaasulaitoksen tuottamaa nestejakeita. Ominaisuuksiltaan täysin identtistä valmistetta lienee haasteellista löytää muilta laitoksilta tai yrityksiltä.

Monimenetelmäisyyden tapaan opinnäytetyössä käytettiin laadullisia, määrällisiä, että kokeellisia menetelmiä. Työn **laadullinen osuus** sisälsi kirjallisia selvityksiä (mm. lainsäädännön vaatimukset, maataloustukijärjestelmän ehdollisuuden vaatimukset, yrityksen sisäiset aineistot ja tutkimukset aiheesta) sekä tietojen yhteen vetämistä. **Määrällinen osuus** sisälsi rejektiveden näytteenoton, jossa tutkittiin veden laatua (kemialliset, mikrobiologiset parametrit). Laboratoriotuloksia verrattiin raja- ja viitearvoihin (lainsäädäntö, laatujärjestelmä) ja tuloksia tulkittiin niiden perusteella. Lisäksi tuloksia verrattiin muutamien vastaavien lannoitevalmisteiden tuloksiin. **Kokeellisen tutkimuksen keinoin** selvitettiin rejektiveden varastoinnin ja sen olosuhteiden vaikutusta liukoisen typen (ammoniumtypen) haihtuvuuteen/säilyvyyteen.

## 11.2 Aineistonkeruu, analysointi ja luotettavuus

Aineistoina työssä käytettiin sekä primääri- että sekundääriaineistoja. Primääriaineistoina toimivat näyteanalyysit, jotka teetettiin tarkastelua varten laboratoriossa. Sekundääriaineistoihin otettiin mukaan esim. yrityksen sisäisiä aineistoja (mm. ympäristölupa, muut näyteanalyysit, tuoteselosteet) sekä kirjallisia aineistoja tietoperustaa varten (esim. kirjalliset lähdeaineistot, seminaariesitelmät, kaaviot ja tilastot). Kirjalliset lähteet ja aineistot pyrittiin valitsemaan ajankohtaisuuden, tarkkuuden tai julkaisevan tahon mukaan. Määrällisen aineiston tutkittavat parametrit määriteltiin alussa lainsäädännöllisten vaatimusten mukaan, jotta pystyttiin säilyttämään parametrien yhteneväisyys ja vertailukelpoisuus. Parametreistä lisää tietoa alla olevissa kappaleissa.

Määrällistä aineistoa kerättiin rejektiveden ominaisuuksista, joita tutkittiin säännöllisten rutiini-näytteenottojen avulla ajanjaksolla 31.10.2023-31.12.2024. Opinnäytetyötä varten suoritettiin erillinen näytteenotto maaliskuussa 2024 ja näytteistä teetettiin laaja näyteanalyysi. Muut näyt-

teenotot toimeksiantaja suoritti laitoksen rutiininomaisten käytäntöjen mukaisesti, mutta näytteistä määritetyt analyysit olivat suppeampia. Pääasiassa aineisto on luonteeltaan poikkileikkaava, eli se kuvaa rejektiveden ominaisuuksia vain maaliskuun ajalta, mutta muiden analyysien avulla aineistossa on myös viitteitä pitkittäisyydestä. Pitkittäisesti leikkaava aineisto antaa mahdollisuuksia kuvata rejektiveden tiettyjen ominaisuuksien muutosta ajan suhteen. Näin ollen, aineistosta muodostuu jokseenkin tilkkutäkkimäinen. (Eriksson & Koistinen 2014, 25).

Näytteistä määritettiin kemiallisia tekijöitä, eli pää-, sivu- ja hivenravinteita sekä raskasmetalleja (ks. taulukko 6). Fysikaalis-kemiallisiin parametreihin kuuluivat pH, kuiva-ainepitoisuus, orgaaninen aines (hiili), sähkönjohtavuus, kiintoaine, hapenkulutusarvot (biologinen, kemiallinen) sekä tiheys. Mikrobiologisiin testeihin kuuluivat *Escherichia coli* ja salmonellan määritykset näytteistä. Näiden lisäksi tutkittaviin parametreihin saatiin lisättyä myös *PAH*<sub>16</sub>- ja VOC-yhdisteet. Muut haitta-aineet rajattiin tutkimusten ulkopuolelle. Määritettävät analyysit ja -menetelmät pyrittiin luotettavuuden ja vertailtavuuden vuoksi pitämään samoina.

Perusnäytteenottojen lisäksi työssä toteutettiin myös liukoisen typen varastointikoe (ammoniumtypen haihtuminen). Kokeessa oli tarkoitus simuloida rejektiveden varastointia ja seurata näytteenoton avulla, kuinka ammoniumtypen pitoisuus käyttäytyy kyseisen aikajakson sisällä. Kokeellista osuutta varten selvitettiin kirjallisuudesta ja laboratoriosta mahdollisia olemassa olevia ohjeistuksia tai menetelmiä, joilla koe olisi luotettavinta toteuttaa. Simuloinnissa pyrittiin tunnistamaan olosuhdemuuttujat, jotka vaikuttavat ammoniumtypen säilyvyyteen. Muuttujiksi osoittautuivat keskimääräinen varastointiaika ja -lämpötila sekä varastointisäiliön ominaisuudet (katettu, kattamaton, eräkohtainen vai jatkuvasti täyttyvä/sekoittuva).

Taulukko 6. Näytteistä tutkitut parametrit

<b>Kemialliset</b>		
<b>Pääravinteet</b>	<b>Sivu- &amp; hivenravinteet</b>	<b>Raskasmetallit</b>
N-tot, N-liuk	sinkki, rikki, boori	elohopea, kadmium
NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N	magnesium, koboltti	kromi, lyijy
P-tot, P-liuk, K-tot	mangaani, rauta, natrium	arseeni, nikkeli
N-liuk säilyvyys	molybdeeni, seleeni, kupari	kupari, sinkki
<b>Fysikaalis-kemialliset</b>		
pH	tiheys	kuiva-aine- %
Sähkönjohtavuus	kiintoaine	orgaaninen aines
Biokemiallinen hapenkulutus		Kemiallinen hapenkulutus
<b>Mikrobiologiset</b>		
Escherichia coli		Salmonella
<b>Haitta-aineet</b>		
PAH <sub>16</sub> -yhdisteet		VOC-yhdisteet

Näytteenotto suoritettiin Oulun laitoksella 5.3.2024 noin klo 9:30. Näytettä otettiin mädätteen linkohuoneen rejektivesisäiliöstä putkistoon asennetun laskuhanan avulla. Näytteenottoastioiksi valittiin 1 ja 2 litran muovipullot sekä 5 litran muoviasia varastokoetta varten. Yhteensä näytettä otettiin 3 + 5 litraa. PAH<sub>16</sub>-näytettä otettiin 500 ml lasipulloon (ks. kuvio 16).

Näytteenotto suoritettiin standardin SFS-EN 12579:2024 (Maanparannusaineet ja kasvualustat) tavoin. Standardin luvussa 7 ohjeistetaan käyttämään näytteenottovälineenä laskuhanaa, valuttamaan nestettä 2 kertaa putken tilavuuden verran epäpuhtauksien poistamiseksi ja valuttamaan nestettä puhtaaseen sekä kuivaan astiaan. Edellä mainittujen lisäksi standardi ohjeistaa desinfioimaan hanan ulostuloaukon ennen näytteenottoa ja jättämään noin neljänneksen näytteenottoastiasta tyhjäksi mikrobiologisia määrittämiä varten. (SFS-EN 12579:2024, 12–13.)

Ennen näytteenottoa valittiin sopiva näytteenottopaikka rejektivesisäiliön vierestä. Asennettava, irrallinen hana desinfioitiin ja asennuksen jälkeen hanasta juoksutettiin rejektivettä ulos, jotta saataisiin tasainen virta aikaiseksi ja putkistoon jääneet epäpuhtaudet eivät päätyisi näytteisiin. Tällä tavalla pyrittiin näytteen edustavuuteen. Näytteenoton pullot täytettiin melko täyteen ja korkit suljettiin. Tämän jälkeen asennettava hana irrotettiin ja putken liitännät käännettiin takaisin alkuperäiseen asentoonsa. Pullot pyyhittiin ulkopuolelta ja aseteltiin kylmälaukkuun odottamaan kulje-

tusta laboratorioon. Varastonäytettä varten rejektivettä valutettiin suljettavaan muoviasiaan. Astiaa säilytettiin ulkoilmassa useita kuukausia, jonka jälkeen se lähetettiin laboratorioon analysoitavaksi.



Kuvio 16. Rejektivesinäytteet laitoksella

Näytteet analysoi ulkopuolinen akkreditoitu laboratorio yleisesti hyväksytyjen standardimenetelmien avulla (ks. liite 7). Näytteen nestemäisen olomuodon vuoksi suunniteltuja parametrejä ja määrittämenetelmiä jouduttiin muuttamaan hieman. Tulokset ilmoitettiin yksiköissä mg/l tai µg/l. Tulokset laboratoriosta saapuivat noin 3 viikon jälkeen näytteenotosta. Analyysitulokset siirrettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan eri välilehdille ja tuloksista poistettiin eri organisaatioita koskevat sisäiset tiedot (anonymisointi). Lannoitelainsäädännön (MMM 964/2023) raja-arvojen vuoksi analyysitulokset muutettiin laskennallisesti tiheyden (g/l) ja kuiva-aineprosentin (%) avulla muotoon mg/kg ka tai g/kg ka. Lisäksi ravinteiden (pää-, sivu- ja hivenravinteet) tuloksia jouduttiin muuttamaan myös massaprosenteiksi, jotta lannoitevalmisteen sisältämien ravinteiden osuuksia oli mahdollista vertailla asetuksen asettamiin raja-arvoihin (MMM 964/2023). Marttisen ym.

(2014, 36) mukaan juuri rejektiveden olomuodon (nestemäinen jätevesi vrt. liete) vuoksi haitallisten aineiden pitoisuuksia kuvaa kuiva-aineen sijaan paremmin tuorepaino- tai tilavuuspitoisuudet (mg/l). Tästä syystä haitta-aineet ilmoitettiin työssä sekä tilavuutta, että kuiva-ainetta kohden.

Tulosten tarkastelussa hyödynnettiin yhden muuttujan menetelmää, jossa muuttujana käytettiin valittujen parametrien pitoisuustietoja. Parametrien arvoja vertailtiin ohjearvoihin ja raja-arvoihin. Lisäksi tuloksista määritettiin mahdollisuuksien mukaan keskiarvo sekä vaihteluväli suurimman ja pienimmän arvon avulla. Varastokokeen tulokset esitettiin kahden muuttujan (ammoniumtyypen pitoisuus mg/l ja varastointiaika) avulla. Työssä noudatettiin tieteellisen tutkimuksen käytänteitä. Tutkimuskohteen vuoksi työssä ei käsitelty henkilötietoja. Satunnaisiin lähdekirjallisuuden käsitteisiin, ilmiöihin, laskentakaavoihin sekä oikeinkirjoitusseikkoihin hyödynnettiin Microsoft Copilot-tekoälyä. Tekstit ja niiden asiasällöt, kuviot, kuva, taulukot (itse muodostetut) ovat omaa tuotosta, ellei lähdettä ole mainittu.

## 12 Tulokset

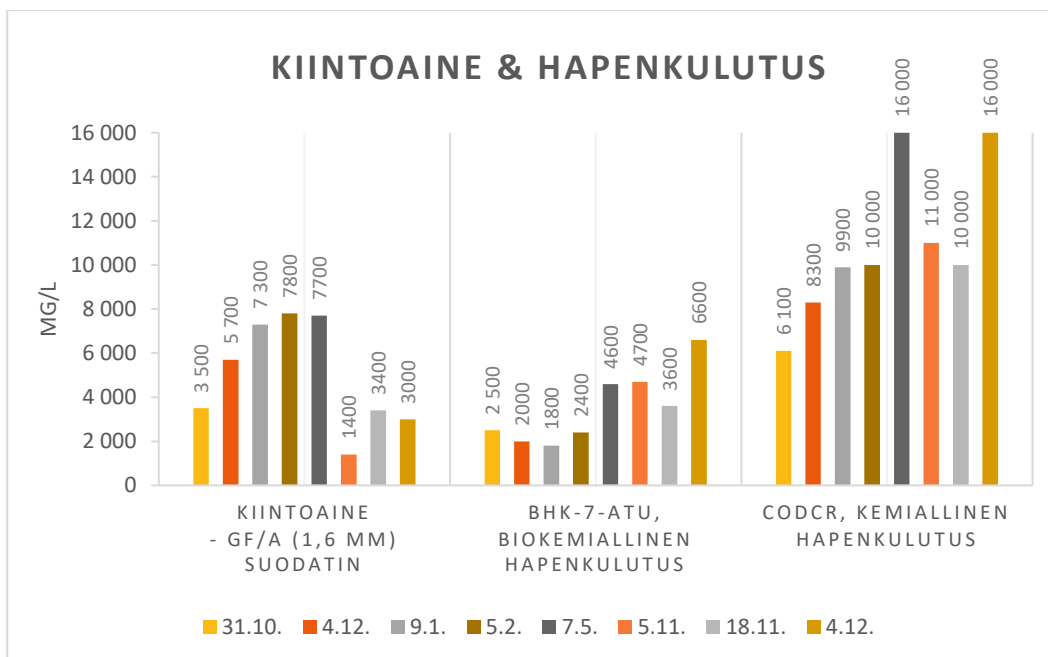
Alla oleviin lukuihin on koottu tulokset aihealueittain. Rejektivedestä on suoritettu näytteenottoja ajanjaksolla 31.10.2023-31.12.2024, lukuun ottamatta liukoisen typen varastokoetta (5.3.-10.7.2024). Tarkemmat näytetulokset ja niiden määrittäminen on koottu liitteisiin 5 ja 6. Muiden, kuin rejektiveden tulokset on koostettu tuoteselosteista, ajanjaksolta 1.2.-31.3.2024. Tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että yhden näytteenoton tulos kertoo tilanteesta vain 1 kuukauden ajalta. Vertailuja on tehty useissa yksiköissä: mg/l, g/kg ka, m-%.

### 12.1 Mikrobiologiset, pH, kuiva-aine ja muut määritykset

Salmonellaa ei todettu missään näytteessä ja Escherichia Colin pitoisuus pysyi alle 10 mpn/100 ml. Veden sähkönjohtavuudeksi saatiin maaliskuun näytteessä 2 400 mS/m ja tiheydeksi 973 g/l. Kuiva-aineen pitoisuus vaihteli välillä 0,8 %-1,1 % ja keskiarvoksi saatiin laskemalla 0,96 %. Kuiva-aineessa orgaanista ainesta tulosten mukaan oli noin 62 % TS.

Rejektiveden keskimääräinen pH-arvo on noin 8,15. Arvo vaihteli varsin kapealla välillä 8,0–8,3. Gasum Huittisten Peltotyypen pH-arvo pysyi samassa suuruusluokassa (8,3), joten eroa Oulun laitoksen rejektiveteen ei juurikaan ole havaittavissa. Arvot pysyvät lannoiteasetuksen (MMMa 964/2023) sallitun poikkeaman sisällä ( $\pm 1$  yksikkö).

Rejektiveden kiintoaineen määrä vaihteli 1 400 mg/l ja 7 800 mg/l välillä (ks. kuvio 17). Laskennalliseksi keskiarvoksi saatiin 4 975 mg/l. Korkeimmillaan kiintoaineen määrä oli 9.1.-7.5.2024 välillä, jolloin arvot ylsivät 7300–7800 mg/l. Biokemiallisen hapenkulutusarvon kehitys oli tasaisempaa: arvot vaihtelivat 1 800–4 700 mg/l välillä. Keskimääräinen laskennallinen biokemiallinen hapenkulutusarvo oli noin 3 525 mg/l. Kemiallisen hapenkulutuksen arvot ovat edellistä korkeampia: keskimääräinen laskennallinen arvo oli 10 913 mg/l ja vaihteluväli 6 100 mg/l ja 16 000 mg/l sisällä. Korkeimmat arvot (16 000 mg/l) mitattiin 7.5. ja 4.12. näytteistä. Rejektiveden laskennallinen BOD/COD- suhde on keskimäärin noin 0,32.

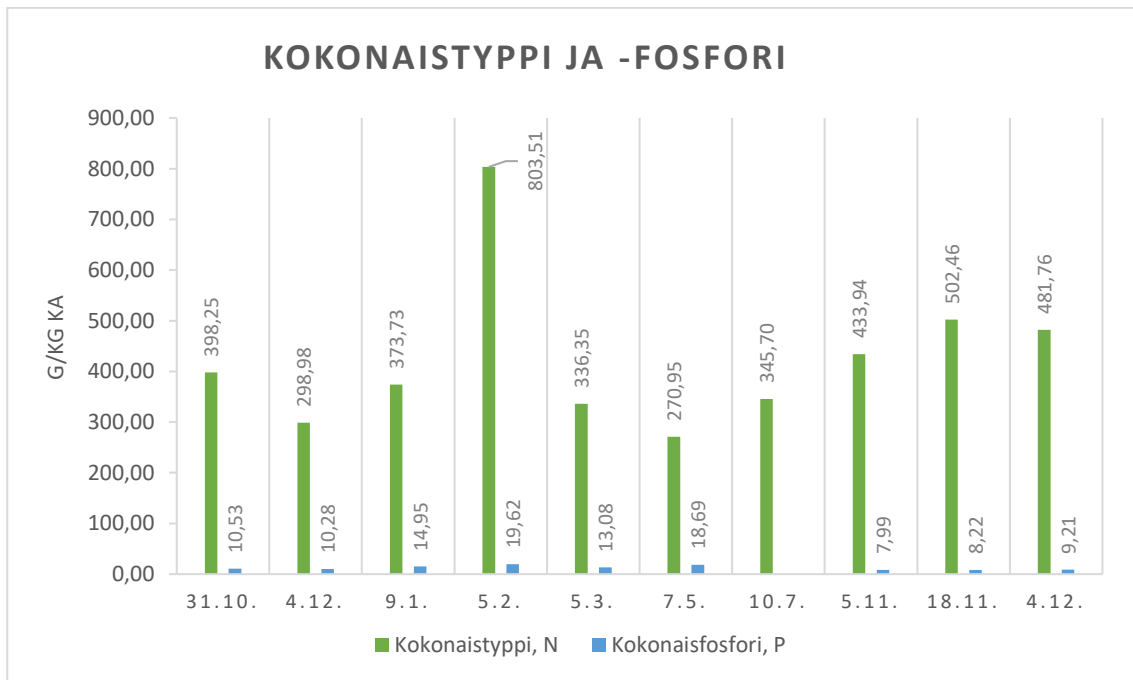


Kuvio 17. Rejektiveden kiintoaine- sekä hapenkulutusarvot

## 12.2 Pää-, sivu- ja hivenravinnevertailut

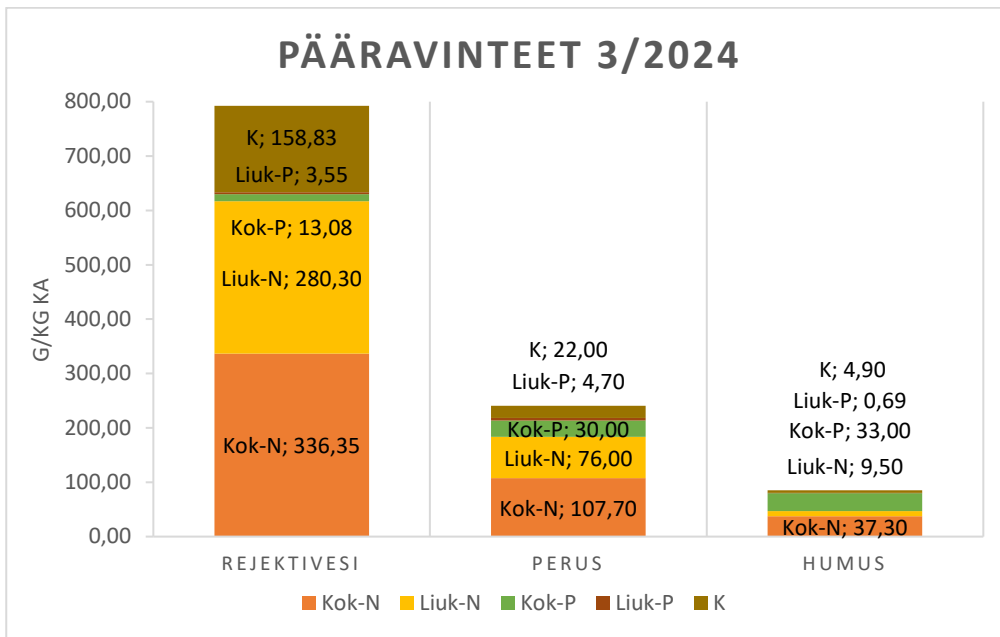
Oulun rejektivesi sisältää keskimäärin noin 424,5 g/kg ka kokonaistyyppiä ja 12,5 g/kg ka kokonaisfosforia. Mediaaniarvot ovat hieman alhaisemmat: 385,99 g/kg ka (N) ja 10,53 g/kg ka (P). Fosforin

osuus tyypestä on vain noin 3,2 %. (ks. kuvio 18). Lisäksi fosforipitoisuuksien vaihtelu on tyypeä vähäisempää: tarkasteluajanjaksolla arvot olivat 7,99–19,62 g/kg ka. Typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 270,95–803,51 g/kg ka. Tyyden maksimilukema (5.2.) viittaa tilapäiseen piikkiin. Kyseistä pitoisuutta lukuun ottamatta kaikki tyyden ja fosforin pitoisuudet ovat kansallisen lannoiteasetuksen suhteellisen poikkeaman sisällä ( $\pm 50\%$ ).



Kuvio 18. Rejektiveden kokonaistyyppi- ja fosforiarvot

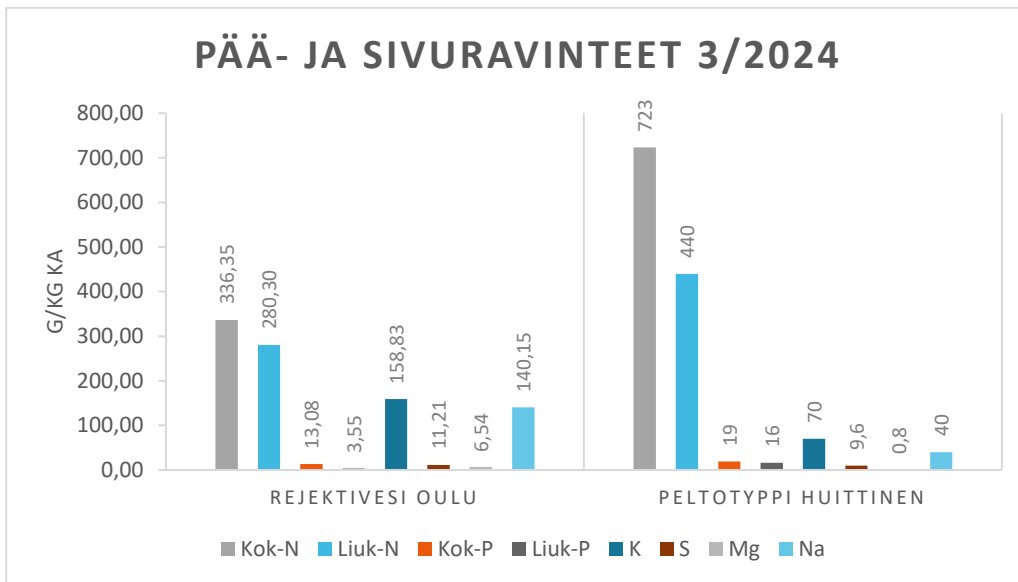
Oulun biokaasulaitoksen lannoitevalmisteiden sisältämiä pääravinteita verrattaessa *kuiva-aineki-  
loa kohti* havaitaan, että rejektivesi pitää sisällään suurimman osan kokonaistypestä (335,35 g/kg ka), liukoisesta tyypestä (280,30 g/kg ka) sekä kaliumista (158,83 g/kg ka). Näiden määrät kuiva-ainetta kohti ovat vähäisempiä mädätteessä (Perus), sekä siitä lingotussa kuivajakeessa (Humus). Selkeästi suurin osa kokonaisfosforista on pidättynyt vedenerotuksen aikana kuivajakeeseen (33,00 g/kg ka), joskin liukoinen fosfori on jäänyt vesipitoisempiin jakeisiin (rejektivesi 3,55 g/kg ka ja mädäte 4,70 g/kg ka).



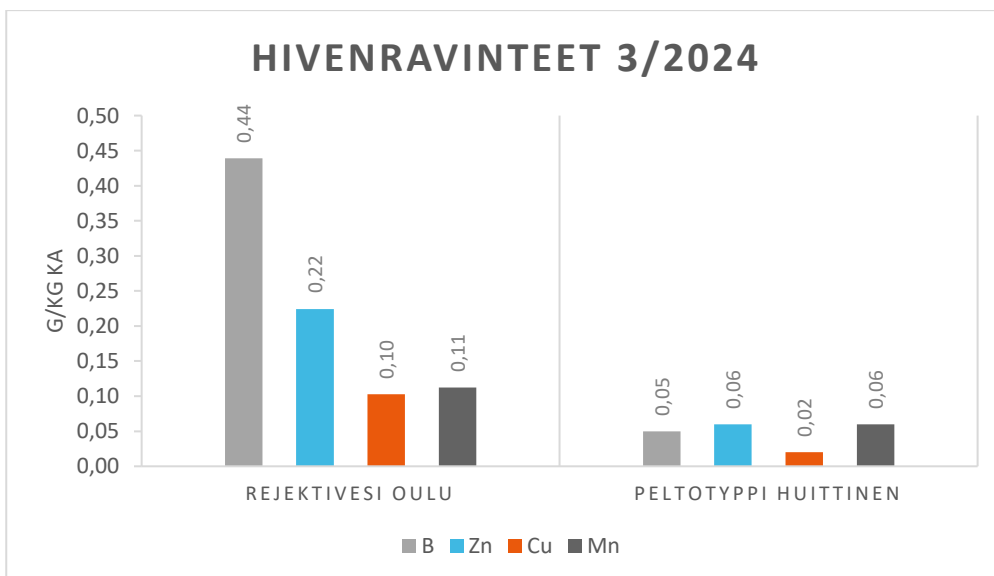
Kuvio 19. Oulun laitoksen lannoitevalmisteiden pääravinteiden vertailu

Sivu- ja hivenravinnevertailussa (S, Mg, Na, B, Zn, Cu, Mn) rikin pitoisuudet jäivät kaikilla kolmella jakeella melko tasaisiksi (11,21–14,00 g/kg ka), samoin magnesiumin pitoisuuksilla (6,54–3,50 g/kg ka). Natriumin kohdalla rejektivesi erottuu selvästi muista 140,15 g/kg ka pitoisuudellaan, samoin boorin (0,44 g/kg ka). Sinkin, kuparin ja mangaanin pitoisuudet jäävät rejektivedellä alhaisemmiksi, mutta ovat silti melko linjassa mädätteen ja kuivajakeen pitoisuuksien kanssa: 0,22–0,50 g/kg ka (Zn), 0,10–0,30 g/kg ka (Cu) ja 0,11–0,30 g/kg ka (Mn).

Gasum Huittisten Peltotyypen ja Oulun rejektiveden vastaavia eroavaisuuksia on kuvattu alla olevissa kuvioissa. Maaliskuun tuloksissa Peltotyypen ravinteista typpi- ja fosforipitoisuudet ovat rejektivettä korkeampia, mutta muiden ravinteiden kohdalla alhaisempia. Oulun laitoksen rejektiveden liukoisen tyypen osuus kokonaistypestä on ollut noin 83,3 % ja liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista 27,1 %. Huittisten Peltotyypen vastaavat lukemat ovat 60,9 % sekä 84,2 %. Huomionarvoisia pitoisuuksia löytyy myös edellä mainittujen kaliumin, natriumin ja boorin kohdilta.



Kuvio 20. Rejektiveden ja Peltotyypin pää- ja sivuravinteet maaliskuussa 2024



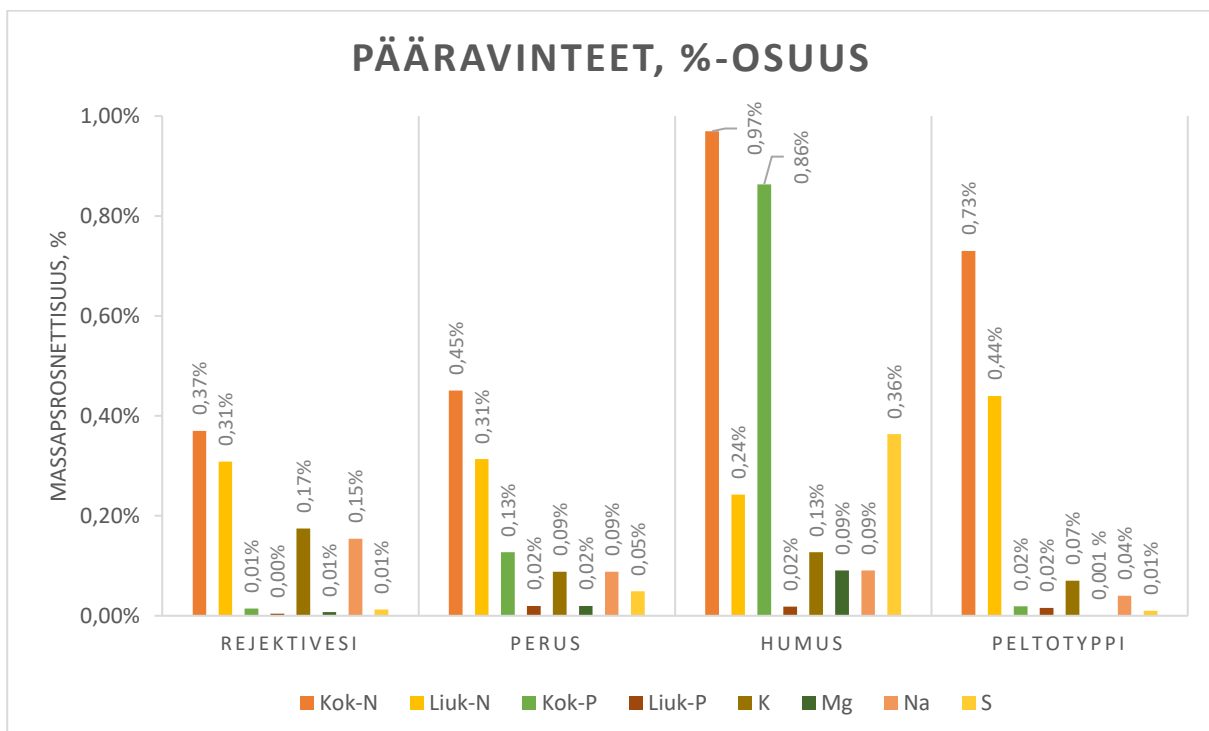
Kuvio 21. Rejektiveden ja Peltotyypin hivenravinteet maaliskuussa 2024

### 12.3 Ravinteiden massaprosenttijakaumat

Kun ravinnepitoisuuksia tarkastellaan kuiva-ainekilon sijaan kansallisen lannoitevalmisteasetuksen (MMM 964/2023) edellyttäminä *massaprosentteina*, havaitaan, että massa- tai tuorepainoon suhteutettuna ravinteiden osuudet muuttuvat (ks. kuvio alla). Rejektiveden pääravinteiden massa-

prosenttiosuudet olivat maaliskuussa yhteensä noin 1,05 % ja primaaristen pääravinteiden vastaava lukema 0,87 %. Primaariset pääravinteet täyttävät lainsäädännön vaatimuksen 0,2 massaprosentista. Osuudet jäävät kuitenkin alhaisemmiksi, kuin Gasum Humuksella ja Huittisten Peltotyypellä. Vastaavat massaprosentit olivat mädätteellä 1,16 % ja 1,0 %, kuivajakeella 2,77 % ja 2,22 % sekä Peltotyypellä 1,33 % ja 1,28 %. Arvoihin on sisällytetty kokonaistypen ja -fosforin lisäksi liukoiset arvot. Ilman liukoisia arvoja rejektiveden pääravinteiden osuus on vain noin 0,73 % ja primaaristen pääravinteiden osuus 0,56 %. Tosin arvot putoavat myös mädätteellä (0,82 % ja 0,67 %), kuivajakeella (2,51 % ja 1,96 %) sekä Peltotyypellä (0,87 % ja 0,82 %).

Rejektiveden suurimmat yksittäiset prosenttilukemat olivat kokonaistypellä (0,37 %), liukoisella tyypellä (0,31 %), kaliumilla (0,17 %) ja natriumilla (0,15 %). Liukoisesta tyypestä rejektivedessä on ammoniumtyyppiä massaan nähden noin 0,25 % (ei näy kuviossa). Mädätteen suurimmat pitoisuudet löytyvät typen muodoista: 0,45 % kokonaistyyppiä ja 0,31 % liukoista tyyppiä. Huomattavasti korkeimmat massaprosenttiosuudet löytyvät kuivajakeen kokonaistypen ja -fosforin pitoisuuksista: 0,97 % ja 0,86 %. Rikin pitoisuus kuivajakeessa on myös jokseenkin merkittävä: 0,36 %. Peltotyypen kokonaistypen osuus (0,73 %) on lähes kaksinkertainen rejektiveden maaliskuuseen arvoon nähden. Myös liukoisen typen osuus tuorepainosta ylittää rejektiveden osuuden: 0,44 %.

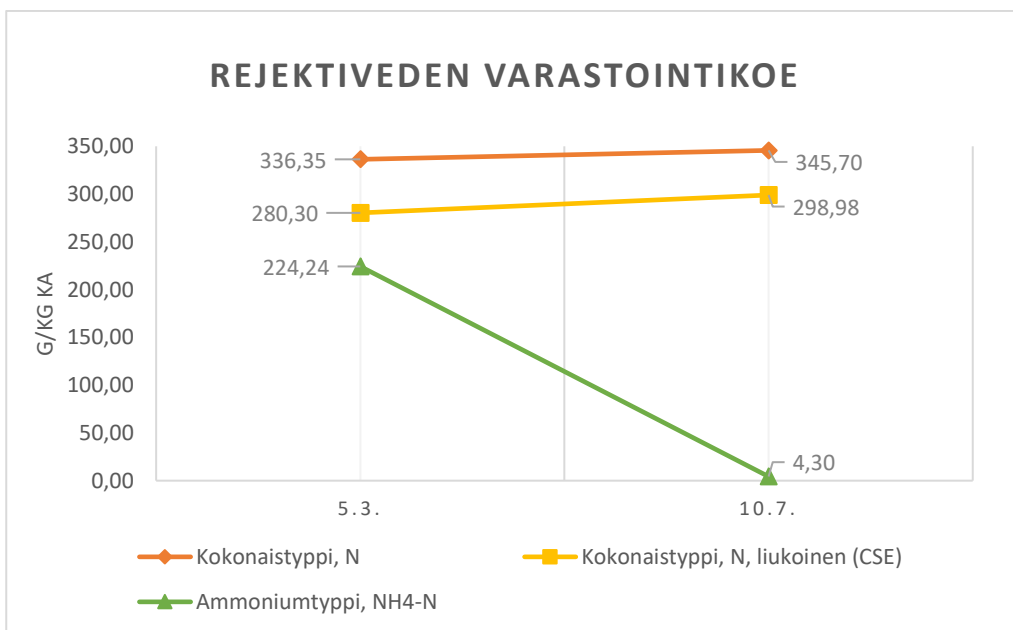


Kuvio 22. MMMa 964/2023 mukainen pääravinnevertailu maaliskuussa 2024.

## 12.4 Liukoisen typen varastointikoe

Varastointikokeen alussa rejektiveden kokonaistypen pitoisuus oli 336,5 g/kg ka, liukoisen typen (CSE) 280,30 g/kg ka ja ammoniumtypen 224,24 g/kg ka. Näytettä varastoitiin ajanjaksolla 5.3.-10.7.2024 eli yhteensä 4,2 kk. Ajanjakson keskimääräiset lämpötilat olivat maaliskuussa -2,0 °C, huhtikuussa 0,0 °C, toukokuussa 10,1 °C, kesäkuussa 15,9 °C ja heinäkuun alussa 15,35 °C.

Näytettä varastoitiin kannellisessa säiliössä suljettuna ulkoilmassa, joten paikalliset lämpötilavaihtelut ovat vaikuttaneet rejektiveden säilytysolosuhteisiin. Säilytyksen jälkeen rejektiveden kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuuksissa on nähtävissä hienoista kasvua (muutos 9,35 g/kg ka Kok-N ja 18,68 g/kg ka liuk-N), kun taas ammoniumtyppi on haihtunut melkein kokonaan (muutos 219,94 g/kg ka).



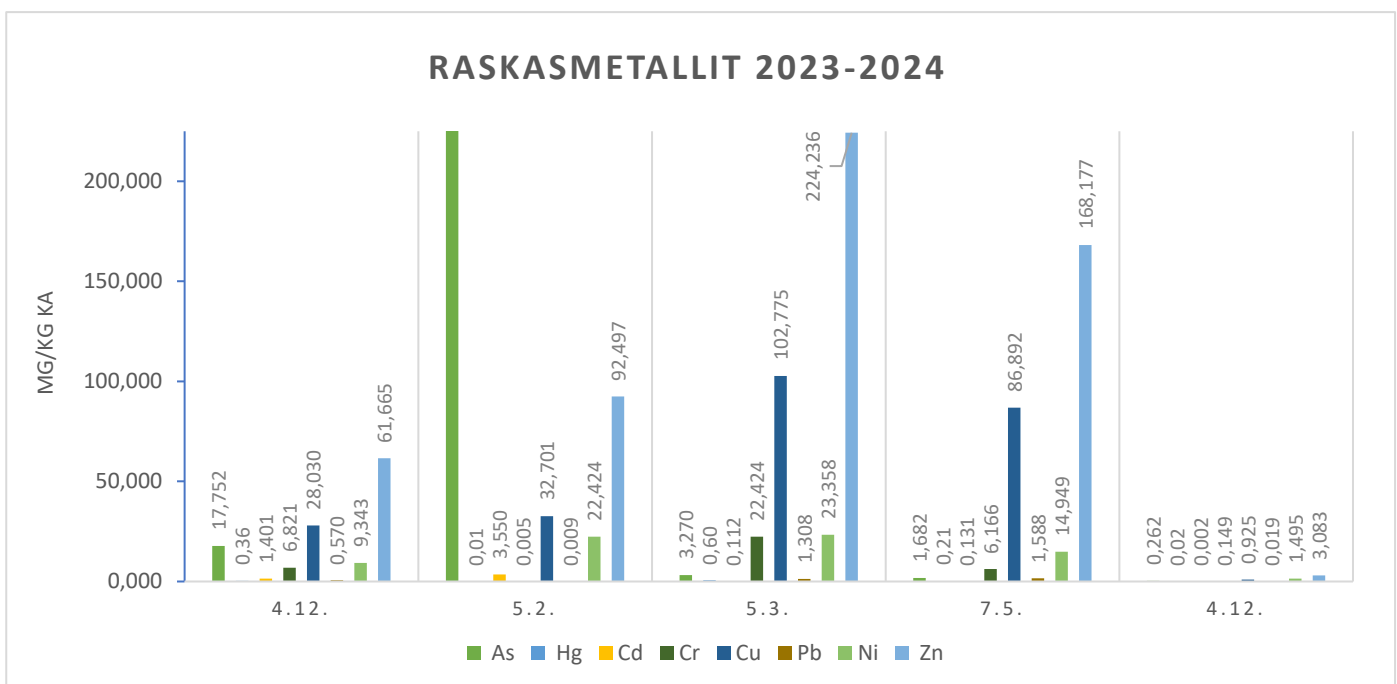
Kuvio 23. Liukoisen typen varastointikokeen pitoisuudet

## 12.5 Raskasmetallit, PAH16-yhdisteet ja VOC-yhdisteet

Raskasmetallien (ks. kuvio 24) tuloksien osalta voidaan todeta, että eri näytteenottojen välissä voi olla suurta vaihtelua. Tätä tukee tieto rejektivesien laadun vaihtelusta. Sinkin, kuparin, nikkelin ja yhden näytteen arseenin pitoisuudet erottuvat korkeilla pitoisuuksillaan, kun taas elohopean, kadmiumin, lyijyn ja kromin pitoisuudet ovat edellisiin nähden alhaisempia. Viimeisessä näytteessä

(4.12.) kaikki arvot ovat poikkeuksellisen alhaisia (huom. määrittämenetelmän päivitys ja laitoksen linkojen säädöt).

Yhtä näytettä lukuun ottamatta (5.2. arseeni 934 mg/kg ka, kadmium 3,55 mg/kg ka), arvot alittavat kuitenkin niille asetetut lainsäädännölliset raja-arvot (ks. taulukko 4). Tulokset ylittävät kolmessa näytteessä (4.12., 5.2. ja 5.3.) laatulannoitesertifikaatin asettamat tiukemmat raja-arvot arseenille, kadmiumille ja elohopealle. Muissa näytteissä arvot alittavat kaikki Laatulannoite 3.0 asettamat raja-arvot.



Kuvio 24. Rejektiveden raskasmetallipitoisuuksien vaihtelu

PAH-yhdisteiden kokonaistulos on 7,85 µg/l, joka tiheyden ja kuiva-aineen avulla laskettuna on yhteensä 0,733 mg/kg ka. Yhdisteistä tutkittiin yhteensä 16 kappaletta. Korkeimmat pitoisuudet olivat 2,6 dimetyynaftaleenilla (1,0 µg/l) ja naftaleenilla (0,90 µg/l). Peryleenin ja dibentso(a,h)ant-raseenin pitoisuudet olivat alhaisimmat (0,02 µg/l). Yhteistulos alittaa reilusti Laatulannoite 3.0 sertifikaatin edellyttämän tason (3 mg/kg ka). Lannoiteasetuksessa (MMMa 964/2023) ei ole määritelty erikseen kyseistä raja-arvoa orgaanisille maanparannusaineille.

Näytteistä tutkittiin laboratoriossa myös VOC-yhdisteitä. Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin kuuluu 91 erilaista kemiallista yhdistettä. Yhdisteiden pitoisuusarvot ovat epätarkkoja lukemia, sillä useiden yhdisteiden pitoisuudet olivat alle määrittämissä ja tulokset ilmoitettiin yhteislukuina (esim. < 5 µg/l) tarkkojen lukuarvojen sijaan. Yhteenlaskettuna pitoisuudet vaihtelivat 0,57 mg/l ja 2,81 mg/l välillä. Kuiva-ainetta kohti vaihteluväli oli 52,90–262,44 mg/kg ka. Laskennalliset keskiarvot olivat 1,36 mg/l ja 127,4 mg/kg ka. Huomionarvoisia pitoisuuksia esiintyi p-iso-propyleenitolueenilla, jolla jokaisen näytteen pitoisuus oli moninkertainen muihin verrattuna (140–2 300 µg/l). Kyseisen yhdisteen pitoisuus vaikuttaa merkittävästi vaihteluvälin maksimiarvoon. Myös kolmessa näytteessä erottuivat metyylietyyliketonin (MEK) ja limoneenin pitoisuudet. VOC-yhdisteille ei ole määritetty raja-arvoa lannoitelainsäädännössä.

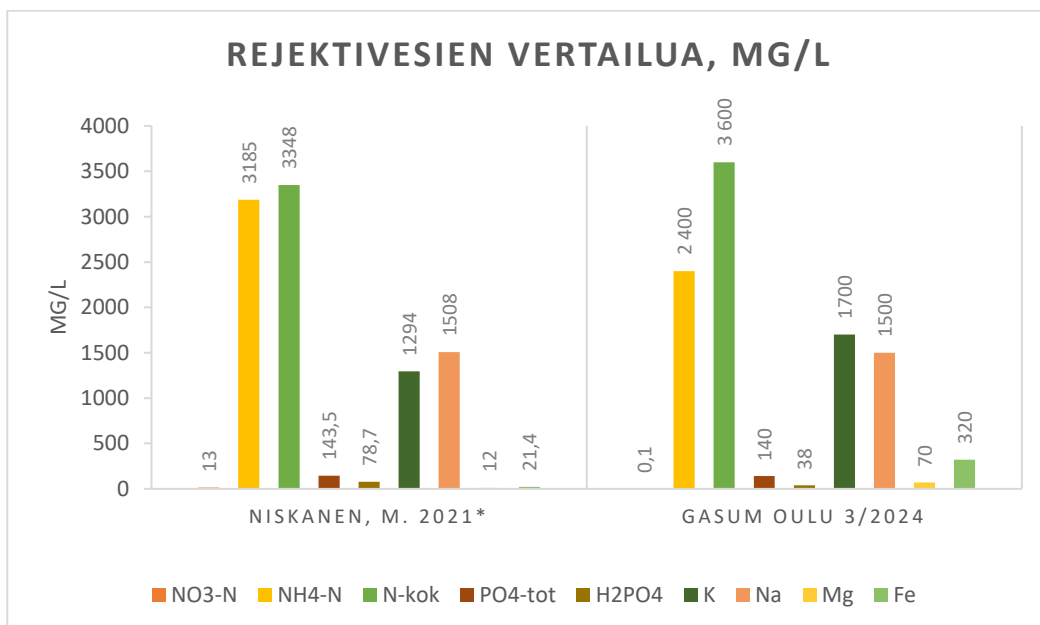
## 12.6 Rejktivesi suhteessa lähdekirjallisuuteen

Lähdekirjallisuuden pH-arvoihin verrattuna Oulun laitoksen rejktiveden pH on tyypillisesti hiukan korkeahko, mutta pysyy silti vielä viitearvojen sisällä. (Heittola, 2023, 25; Viitattu lähteeseen Lehto 2010, 34). Jakeen TS-osuus (%) on lähdearvojen alarajalla. Useiden lähteiden mukaan hapenkulutusrvojen vaihtelu on poikkeuksellisen suurta yhteiskäsittelylaitosten rejktivesissä (Heinonen 2014, 15; Viitattu lähteeseen Wäger-Baumann 2011; Heittola 2023, 23). Saman suuntaista kehitystä on havaittavissa myös Oulun laitoksen rejktiveden hapenkulutusrvoissa. Erityisesti COD-arvo voi vaihdella useita tuhansia milligrammoja litrassa. BOD-arvo vaihtelee myös, mutta väli on hieman kapeampi. Arvot ovat kuitenkin keskimäärin lähdekirjallisuuden viitearvojen sisällä, kun vertailukohteena käytetään yhteiskäsittelylaitosta. Muihin käsittelylaitoksiin ja prosesseihin verrattuna arvot ovat korkeita ja viitearvojen ylärajalla. Myös BOD/COD -suhde on samalla tasolla, kuin suomalaisten tai ruotsalaisten keskimääräisten laitosten viitearvot, mutta tavoitearvoon on vielä matkaa. Kiintoaineen pitoisuuksien tarkastelussa on jonkin verran eroavaisuutta lähdekirjallisuuteen: Oulun laitoksen kiintoaineen minimiarvo näyttäisi pysyvän viitearvojen sisällä, mutta maksimiarvo ylittää viitearvon korkeimman pitoisuuden (Heittola 2023, 23; Heinonen 2014, 14).

Oulun rejktiveden pitoisuudet vaikuttavat olevan monin verroin konsentroituneempia verrattuna jäteveteen. Rejktiveden kierrätys laitoksen prosessi- ja laimennusvetenä vaikuttaa lopputuotteiden ravinnepitoisuuksiin, kuten lähdekirjallisuudessa on todettu (Heittola 2023, 23–24). Kokonaistypen pitoisuuden vaihtelu asettuu jokseenkin samalle tasolle, mille lähdekirjallisuudenkin tyyppien pitoisuudet on ilmoitettu. Ammoniumtyypen pitoisuus sijoittuu lähdearvojen keskimääräiselle

tasolle ja sen osuus kokonaistypestä on tyypillisesti korkea. Muiden laitosten lähdearvoihin verrattuna Oulun laitoksen rejektiveden kokonaisfosfori on jokseenkin alhainen. Tulokset ovat hyvin linjassa ravinteiden näkökulmasta, ja nestejakeen luonnetta ilmentää sen korkeat typen ja kaliumin pitoisuudet. PAH<sub>16</sub>-yhdisteiden pitoisuudet (µg/l, mg/kg ka) asettuvat Marttisen (2014) tuloksien kanssa samalle tasolle.

Alla olevassa kuviossa on havainnoitu Oulun rejektiveden ravinnepitoisuuksia (mg/l) suhteessa Niskasen (2021, 23–24) mittaustuloksiin. Pitoisuuksissa on havainnoitavissa merkittäviä samankaltaisuuksia, vaikka rejektiveden raaka-ainepohjaa ei ole tiedossa. Molemmissa nitraattitypen pitoisuudet ovat lähes marginaalisia suhteessa ammoniumtyypeen, saati kokonaistyypeen. Oulun rejektiveden ammoniumtypen pitoisuus on jokseenkin alhaisempi Niskasen tuloksiin verrattuna. Fosforin (fosfaatti, ortofosfaatti), kaliumin ja natriumin pitoisuudet kulkevat myös samoissa suuruusluokissa tulosten välillä. Hienoista eroa tuloksissa on magnesiumin ja raudan kohdalla. Hivenravinteiden vertailussa (ei alla olevassa kaaviossa) boorin (4,7 & 8 mg/l), sinkin (3,4 & 2,4 mg/l), kuparin (5 & 1,1 mg/l) ja molybdeenin (2 & 0,17 mg/l) pitoisuuksissa on rejektivesien välillä vain muutamia milligrammoja eroa. Mangaanin kohdalla Niskasen tulos (20 mg/l) eroaa reilusti Oulun laitoksen pitoisuudesta (1,2 mg/l).



Kuvio 25. Gasumin rejektivesien vertailu. Mukailten: Niskanen, 2021.

## 13 Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli tutkia ja selvittää rejektivettä koskevat eri tasoiset rajoitteet ja mahdollisuudet, mikäli sitä käytettäisiin lannoitteena viljelyssä. Tutkimus suoritettiin monimenetelmäisenä tapaututkimuksena, jossa hyödynnettiin laadullisia, määrällisiä ja kokeellisia keinoja. Kirjallisuuskatsauksen avulla työssä oli mahdollista määrittää rejektivedelle mm. hallinnollisista ja taloudellisista ohjauskeinoista johtuvat valmistus-, pakkaus-, kuljetus- ja käyttörajoitukset, määrittää sille asianmukainen tuote- ja ainesosaluokka, tutkittavat parametrit sekä raja- ja viitearvot, joita rejektivedeltä vaadittaisiin lannoitevalmisteena. Näiden lisäksi tavoitteena oli kartoittaa käytännön tasolla, millainen rejektiveden käytettävyys on tai miten sen käyttöön suhtaudutaan. Näytteenottojen avulla tutkittiin rejektiveden ominaisuuksia: tyypilliset pitoisuustasot, vaihteluvälit, keskimääräiset tai mediaaniarvot sekä massaprosenttiosuudet. Lopuksi tuloksia verrattiin raja-arvoihin ja muihin lannoitevalmisteisiin sekä lähdekirjallisuuden arvoihin. Kokeellisessa osiossa simuloitiin rejektiveden varastointia ja tutkittiin ammoniumtyypen käyttäytymistä ajan suhteen.

Kirjallisuuskatsauksen avulla havaittiin, että reunaehtoja suuntautuu hallinnollisista, taloudellisista sekä informaatiotason ohjauskeinoista. Hallinnolliset ohjauskeinot asettavat vaatimuksille ns. pakollisen minimitaso, jonka rejektiveden on vähintään täytettävä. Taloudelliset vaatimukset täydentävät hallinnollisia keinoja ja ne perustuvat usein vapaaehtoisuuteen. Ohjaavina mekanismeina niillä on kuitenkin ehtonsa, joita eri toimijoiden (valmistaja, kuljettaja, markkinoija, loppukäyttäjä) on noudatettava. Ohjauskeinojen lisäksi rejektiveden käytettävyyteen vaikuttaa soveltuvuus kuljetukseen, varastointiin ja käyttöön (levitys, lannoitusvaikutus) sekä kysyntään markkina-arvo ja mielipiteet sekä asenteet.

Näytteenottojen tutkimustuloksista nousi myös esiin useita vastauksia tutkimuskysymyksiin. Rejektivettä määriteltiin tuoteluokaltaan 3 A. Maanparannusaineeksi ja ainesosaluokaltaan 10. Käsiteltyksi jätevesilietteeksi. Näytteistä tutkittiin patogeenit, kemialliset hapenkulutusarvot, kiintoaine, pH-arvo, tiheys, sähkönjohtavuus sekä TS- ja VS-arvot, pää- sivu- ja hivenravinteet, raskasmetallit sekä PAH- ja VOC-yhdisteet. Kahta näytepitoisuutta lukuun ottamatta kaikkien tutkittujen parametrien pitoisuudet täyttivät lannoitelainsäädännön mikrobiologiset, kemialliset ja fysikaaliskemialliset raja-arvot. Stabiilisuusarvojen, epäpuhtauksien ja muiden haitta-aineiden osalta tarvitaan vielä tutkimusta. Lannoitesertifikaattiin arvot eivät tällaisenaan vielä ihan ylittäneet, eikä määrittäminen menetelmiäkään saatu sertifikaatin mukaisiksi rejektiveden nestemäisyyden takia.

Ravinnevertailussa rejektiveden kokonaistypen, liukoisen typen ja kaliumin pitoisuudet (g/kg ka) vaikuttivat näytetulosten perusteella olevan moninkertaiset laitoksen muihin lannoitevalmisteisiin (Gasum perus, Gasum Humus) verrattuna. Kun vertailu tehtiin massaprosenttien (m-%) mukaisesti, asetelma kääntyi toisinpäin. Kuivajakeen sisältämät kokonaistypen ja -fosforin määrät nousivat korkeimmiksi. Erityisesti kuivajakeen kokonaistypen ja -fosforin sekä rikin osuudet näyttävätyvät vertailussa merkittävilä. Rejektivesien (Oulun laitos, Huittisten laitos) molemmissa vertailuissa (kuiva-aine, massaprosentti) Gasum Peltotyypen kokonais- ja liukoisen typen pitoisuudet olivat korkeampia kuin Oulun laitoksen pitoisuudet. Oulun laitoksen kaliumin, natriumin ja boorin pitoisuudet nousivat kuitenkin muita lannoitevalmisteita korkeammalle. Muilta osin rejektivesien pitoisuudet vaikuttaisivat olevan linjassa. Myös lähdekirjallisuuden arvoihin verrattaessa havaittiin, että rejektiveden pitoisuudet asettuvat pääsääntöisesti viitearvojen sisään, joskin arvojen vaihteluvälit olivat rejektivesille tyypillisesti laajoja.

Teknisesti nykyinen kansallinen lainsäädäntö (jäte, ympäristö, lannoite yms.) ei estä rejektiveden käyttöä typpipitoisena lannoitteena ja sitä on tarjottu jo markkinoille Peltotyyppi- tuotenimikkeen muodossa. Lainsäädäntö kuitenkin edellyttää, että markkinoille saatettava rejektivesi täyttää lannoitelainsäädännön asettamat vaatimukset valmistukseen, pakkaukseen, kuljetukseen ja käyttöön liittyen. Rejektivedelle on tehty jo tuoteseloste ja sen myyntiin, markkinointiin ja kuljetukseen on olemassa valmiit konseptit (Tuotteet n.d.; Tuoteseloste 2024).

Viljelijä voi saada ympäristökorvauksen kiertotalouden toimenpide- tukea nestejakeen levittämisestä viljelyalalle (37 €/ha, 80 % tukikelpoisesta alasta), mutta joidenkin viljelykiertovaatimusten (esim. viljat, öljykasvit), kasvivalintojen ja välivuosien yhteensovittaminen jätevesilietteen levitysjarjoiuksiin sekä varoikoihin vaatii toiminnalta erityistä suunnitelmallisuutta, jotta tukiehdot täyttyvät ja käytännön toteutus on mahdollista. Toiminnan palkitsee mm. vähentynyt riippuvuus synteettisistä tuontilannoitteista.

Rejektiveden, kuten muidenkin kierrätyslannoitevalmisteiden, raaka-ainepohja vaikuttaa merkittävästi siihen, että viljelijä saa niillä lannoitetut viljat ja muut kasvit markkinoitua. Jätevesilietteen käyttö vaikuttaa kierrätyslannoitteiden toimintoperusteiseen luokitukseen (maanparannusaine vai lannoite), ainesosaluokitukseen (mädäte vai käsitelty jätevesiliete), kysyntään, valmistustapaan ja

asenteisiin. Yleisesti ottaen kierrätyslannoitteiden markkinatilanteessa on vielä kehittämisen varaa. Useiden kyselytutkimusten perusteella kiinnostusta kierrätyspohjaisiin lannoitevalmisteisiin löytyy, mutta lietteen mahdolliset haitta-aineet jarruttavat mielipiteitä sekä käyttömahdollisuuksia käytännössä (ostosopimukset). Käyttöhalukkuutta löytynee lisää, mikäli huolta aiheuttavat turvallisuusnäkökulmat ratkaistaan ja lietepohjaisten lannoitevalmisteiden markkinatilanne paranee.

Rejektiveden suuri vesipitoisuus haastaa jakeen kannattavuutta, sillä veden siirtäminen logistisesti raskailla kalustoilla on kallista (Horn ym. 2020). Rejektiveden sisältämä typpi on liukoisessa muodossa, mikä aiheuttaa herkästi varastoinnin aikana typen muuntautumista haihtuvaksi ammoniakiksi. Haihdunnan seurauksena liukoisen typen määrä saattaa olla levityshetkellä alhaisempi, kuin näytteenottohetkellä. Raaka-ainevaihtelun ohella haihtuminen aiheuttaa vaihteluita rejektiveden typpipitoisuuksiin ja luo haasteita luotettavan vaihteluvälin määrittämiseen. Jakeen johtaminen viemärin kautta uudelleen puhdistukseen on kallista veden sisältämien pitoisuuksien vuoksi (korkeat pitoisuudet kuormittavat puhdistamoja) ja systemaattisempi toiminta vaatisi teollisuusjätevesisopimuksen laatimisen (Heittola 2023, 24).

Lannoitevalmisteelta on toivottu vuosien varrella tutkimustiedon ja käyttökokemusten lisäksi kuljetettavuutta, varastoitavuutta, saatavuutta, edullista hintaa ja käytäntöön sopivia ravinnesuhteita. Vain pieni osa viljelijöistä toivoo lannoitetta nestemäisessä olomuodossa (Eerola 2023; Myllyviita & Rintamäki 2018).

Taustatietojen ja tulosten perusteella rejektivedellä on useita potentiaalisia käyttömahdollisuuksia. Useissa lähteissä suositellaan, että rejektivesi varastoidaan katetuissa olosuhteissa ja levitetään sijoittavilla tai multaavilla laitteilla. Hygieenisen laadun säilymisen vuoksi rejektivettä ei suositella varastoimaan pitkiä aikoja. Rejektiveden typpipitoisuutta voisi hyödyntää erityisesti alueilla, joilla on nimenomaisesti puutetta tyypestä tai ylitarjontaa fosforista. Kasvivalinnoissa voidaan hyödyntää tuoteselosteen mukaisesti viljoja, tärkkelysperunaa, sokerijuurikasta ja öljykasveja. Lajikkeina kannattaisi hyödyntää sellaisia, joiden ravinteiden otto keskittyy kasvukauden alkuun, koska rejektivesi vapauttaa ravinteensa (ammoniumtyppi) pian lannoituksen jälkeen, eikä sillä ole orgaanisen typen vähäisyyden vuoksi kovin suurta jälkivaikutusta (Marttinen ym. 2013; Seppänen ym. 2019).

Rejektiveden täsmällisistä satovasteista ei ollut tarkkaa tutkimustietoa saatavilla, joten on haasteellista arvioida, riittääkö sen typen tai kaliumin pitoisuudet yksinään kattamaan kasvin ravinnetarpeet. Tästä tarvitaan lisää tutkimustietoa. Rejektivettä voisi kuitenkin käyttää nestemäisenä ravinnelisänä tai täydennyslannoitteena epäorgaanisen tai muun orgaanisen lannoitevalmisteen rinnalla. Yhdisteltynä esimerkiksi lietelantaan turvattaisiin kasvin ravinnetarpeet ja satotasotavoitteet. Rejektivettä voisi yhdistää lietelantaan, jossa se toimisi laimentavana tekijänä, mikäli liete on liian paksua (Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto). Toisaalta rejektivettä voitaisiin yhdistää jonkin muun maanparannusaineen tai lannoitevalmisteen kanssa ja tarjota seoksena markkinoille (tuoteluokka 6). Näissä tilanteissa kuitenkin lannoituksen kokonaisravinnetarpeet on tarpeen, jotta liukoisen typen määrät eivät ylitä.

Työn tutkimustuloksia voidaan hyödyntää osana päätöksentekoa, kun pohditaan rejektiveden käyttömahdollisuuksia. Tutkimuksesta on mahdollista teettää rinnakkaisia selvityksiä muillakin bio-kaasulaitoksilla, joilla puhdistamolietepohjaista rejektivettä muodostuu. Tuloksilla voi olla myös potentiaalisesti merkitystä Kiertoravinteen Peltotyyppi- kokeilussa.

## 14 Pohdinta

Eri lainsäädännöt katsovat rejektivettä eri näkökulmista. Lannoite- ja sivutuotelainsäädännön näkökulmasta rejektivesi nähdään joko lannoitevalmisteenä tai sivutuotteesta johdettuna tuotteena (maanparannusaine). Jätelainsäädäntö katsoo, että rejektivesi on jätemateriaalia, jota syntyy biologisessa jätteenkäsittelyprosessissa (mädätys). Työssä ei saatu kuitenkaan selville, luetaanko rejektivesi jätelain mukaiseksi jätteeksi vai sivutuotteeksi. Toimeksiantaja voidaan katsoa olevan eri lainsäädäntöjen mukaan jätteen käsittelijä tai -tuottaja ja toisaalta myös lannoitevalmisteen valmistaja tai talouden toimija. Opinnäytetyön aikana ei käynyt täysin selväksi, miten jäte- tai ympäristölainsäädäntö, saati lannoite- tai sivutuotelainsäädäntö kohtelee Kiertoravinnetta ja millaiset velvoitteet sen toimintaan kohdistuu.

Rejektiveden tuoteluokkaluokitus maanparannusaineena on itsessään jokseenkin ristiriitainen. Useissa lähteissä puhdistamolietepohjaisesta mädätteestä erotellut kuiva- ja nestemäiset jakeet on luokiteltu maanparannusaineiksi. Rejektiveden luokittelu maanparannusaineeksi ei täysin vastaa tässä työssä suunniteltua käyttötarkoitusta, saati lannoitelain määritelmää. Tiedetään, että vedenerotuksessa kuiva-aineet siirtyvät suurimmaksi osaksi kuivajakeeseen ja nestejakeisiin niitä jää

vain muutamia prosentteja. Kuiva-aineen ohella siirtyy myös suurin osa kokonaisfosforista ja osa orgaanisesta aineksesta. Tiedetään myös, että suurin osa liukoisista ravinteista, kuten ammoniumtypestä ja kaliumista, sitoutuu veteen. Herää kysymys, voiko nestejakeella, jonka kuiva-aineen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat tarkoituksella alhaiset, olla kovin suurta maata parantavaa vaikutusta. Mikäli rejektivedet luokiteltaisiin 1A. orgaanisiin lannoitteisiin, nousisi niiden ravinnesisällöt nykyistä suurempaan rooliin ja parametrien lakisääteinen seuranta olisi tarkempaa. Luokitus myös vastaisi lannoitelain määrittelemää käyttötarkoitusta paremmin.

Toisin, kuin muilla maanparannusaineilla (esim. kuivajakeet), rejektiveden käyttöä ei lähtökohtaisesti rajoita fosforin enimmäiskäyttömäärät, vaan lannoitusvaikutus pääsee täysiin oikeuksiinsa. Useiden maanparannusaineiden sisältämät ravinnepitoisuudet (yleensä fosfori) rajoittavat valmisteiden levitysmääriä ja tällöin itse maanparannusvaikutus voi jäädä varsin alhaiseksi, kun joudutaan ottamaan huomioon myös sen lannoitusvaikutus. Mikäli rejektivettä yhdistetään muuhun fosforipitoiseen ravinnelähteeseen, täytyy rajoitukset kuitenkin huomioida.

Opinnäytetyön ohessa pohdin asioita kiertotalouden edistämisen ja toteutumisen näkökulmasta. Raaka-aineisiin, kuten jätevesilietteeseen tai biojätteeseen, liittyy tiettyjä ristiriitaisuuksia. Jätevesiliete biokaasun tuotannon raaka-aineena ja maatalouden maanparannusaineena on murroksessa ja sille on odotettavissa muutamia keskeisiä säädösuudistuksia. Päivitetyin jätevesidirektiivin tiukentuneet poistovelvoitteet (typpi, fosfori, mikroepäpuhtaudet, haitta-aineet) eivät vielä kirjoitushetkellä näy kansallisella tasolla, mutta tilanteeseen on tulossa muutosta. Vaikka jätevesidirektiivi kannustaa käsittelemään ja kierrättämään lietteen jätedirektiivin jätehierarkian (4 artikla) mukaisesti, on vielä epäselvää, miten jätevesidirektiivin poistovelvoitteet todellisuudessa tulevat vaikuttamaan puhdistamolietteen kiertotalouden mukaiseen käyttöön. Toisin sanoen, vaikuttaako esim. typen poistovelvoite muodostuvan lietteen typpiominaisuuksiin vähentävästi vai lisäävästi ja muuttuvatko lietteen hyödyntämispotentiaalit biokaasulaitoksilla.

Sekajätteeseen päätyessään biojäte on kategorisesti hankalasti hyödynnettävissä. Ruokaviraston ainesosaluettelon 4. luokassa (mädäte) ei sallita yhdyskuntajätteestä erotettua biojätettä (ks. liite 2). Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteen 6b mukaisesti kaikesta syntyvästä biojätteestä on tarkoitus kierrättää 65 % vuoteen 2027 mennessä. Pohjois-Pohjanmaalla sekajäte sisältää silti

edelleen noin 28,5 % biojätettä. Tämä tarkoittaa, että kyseinen määrä jää vuosittain erilliskeräyksen ja biokaasun tuotannon ulkopuolelle. Ainesosaluettelon kielto vaikuttaa olevan ristiriidassa jätesuunnitelman tavoitteen kanssa. Jätesuunnitelman lisäksi voidaan pohtia kiellon vaikutuksia kiertotalouden edistämiseen. Käsitellyn jätevesilietteen ainesosaluokasta ei kuitenkaan käy ilmi, hyväksytäänkö sekajätteen sisältämää biojätettä sen joukkoon.

Kokonaiskuvassa tarkasteltuna tutkimusprosessi onnistui ihan hyvin. Tutkimuskysymysten luonteen vuoksi työstä muodostui monisäikeinen ja laaja, mutta tämä oli odotettavissakin. Eri tasoisia ja aiheisia lähdeaineistoja oli saatavilla runsaasti ja aineiston hallinnan sekä rajaamisen kanssa joutui työskentelemään ihan opinnäytetyön loppumetreille saakka. Toisaalta joistakin aiheista, kuten lannoitusvaikutuksista ei löytynyt millään tarkkaa, saati rejektiveteen rinnastettavaa tutkimustietoa. Myös Marttinen ym. (2014, 36) toteaa, että rejektivesien haitta-aineiden pitoisuustieto on kirjallisuudessa niukkaa ja tulosten vertailukelpoisuutta vähentää yksikkömuoto, jolla tiedot on ilmoitettu. Useissa lähteissä rejektivettä käsiteltiin osana jäteveden puhdistamon toimintaa (lietteen kuivaus) tai ravinteiden talteenottoa. Pohdin, onko tutkimusintresseihin ja aukkoon tutkimustiedossa vaikuttanut aiemman lainsäädännön selkeä kielto rejektiveden kohdalla. Muita haasteita työssä oli alkuvaiheilla rejektiveden näytteenottomenetelmän, tutkittavien parametrien ja liukoisen typen varastointikokeen olosuhteiden määrittäykset. Näistä ei ollut helposti saatavilla selkeätä kokonaisuutta tai yksittäistä luotettavaa lähdettä, vaan tietoja löytyi sieltä täältä. Haasteista huolimatta työssä onnistuttiin määrittämään tutkittavat parametrit ja niiden määrittämis menetelmät, suorittamaan näytteenotto ja liukoisen typen varastointikoe loppuun saakka, kokoamaan tulokset ja vertailemaan niiden arvoja asianmukaisesti rajoihin ja pitoisuuksiin ja paljon muuta.

### **14.1 Luotettavuuden tarkastelu**

Kun tutkitaan parametrejä näytteenottojen ja analyysien avulla, täytyy olla selvillä menetelmät, joilla luotettava tulos voidaan saada aikaiseksi. Selvityksistä huolimatta varastokoe varten ei saatu käyttöön erillistä ohjeistusta tai validia menetelmää. Myöskään aiempia tutkimuksia tai muita kokeita aiheesta ei ollut saatavilla, joten kokeen tulokselle kohdistuu tästä syystä tiettyä epävarmuutta. Tulos kertoo jotain ammoniumtypen haihtuvuudesta kyseisellä aikavälillä, mutta siitä ei voida vetää kovin luotettavia johtopäätöksiä ammoniumtypen käyttäytymisestä talven aikana, saati tilan lietealtaassa. Tämä tarkoittaa, että kokeen validiteetti ei välttämättä ole kovin kor-

kea mahdollisten virheiden vuoksi. Reliabiliteetti, eli menetelmän toistettavuus voi kärsiä häiriötekijöistä, kuten ulkolämpötilan heittelyistä. Luotettavuuden varmistamiseksi koe olisi hyvä toistaa uudelleen, mutta tarkemmilla olosuhdemäärityksillä.

Kokeessa päädyttiin suljettuun astiaan, joka simuloisi ns. katettua varastoa. Kuitenkin luotettavamman tuloksen olisi mahdollisesti saanut, jos säilyvyysnäytteen rinnalle olisi otettu avonainen astia simuloimaan kattamatonta säiliötä. Tästä olisi voinut saada hieman tarkempaa käsitystä mm. siitä, miten paljon tyypeä haihtuu näiden kahden olosuhteiden välillä. Säilytysrakenteiden ohella tulisi kiinnittää myös huomioita varastointiajankohtaan ja siihen liittyvään lämpötilaan. Mikäli haluttaisiin edelleen simuloida talvenaikaisen varastoinnin vaikutusta, tulisi varastointi aloittaa hyvissä ajoin (esim. marraskuu-joulukuu). Ajallisten resurssien vuoksi koe päästiin aloittamaan vasta maaliskuussa, jolloin keskimääräiset lämpötilat eivät vastaa enää keskimääräistä talviolosuhdetta. Toisena vaihtoehtona varastonäytteitä (suljettu, avonainen) voitaisiin säilyttää keinotekoisesti tietyissä lämpötilaolosuhteissa (viileä, pakkaneen), jotta voitaisiin tarkemmin määrittellä lämpötilojen vaikutusta ammoniumtyypen määrään. Lisäksi olisi hyvä tutkia mahdollisen sekoituksen vaikutusta massan lämpötilan vaihteluihin (esim. reunat, pinta, keskus) sekä tyyppien haihtumiseen. Tässä tutkimuksessa sekoitusta ei otettu huomioon muuttujana, mutta luonnollisissa olosuhteissa rejektivettä sekoitetaan joko rejektiveden säiliössä tai lietealtaassa tilalla.

Luotettavuuden näkökulmasta myös näytteenotosta muodostuu kriittinen piste. Suunnitelmavaiheessa näytteenottoa varten löytyi kaksi standardia: SFS-EN 12579:2024 (Maanparannusaineet) sekä SFS-EN 1482-1:2024 (Lannoitteet), joiden näytteenotto-ohjeet nestemäiselle maanparannusaineelle tai lannoitteelle ovat lähes identtiset. Tuoteluokan vuoksi rejektiveden näytteenotossa päädyttiin maanparannusaineen standardiin, sillä se ottaa huomioon myös mikrobiologiset testit. Standardissa huomautetaan, että putkien kautta otettavien monifaasisien näytteiden edustavuus kärsii, mikäli näytteenottohanan halkaisija alittaa 50 mm. Standardi edellyttää myös sekoituksen juuri ennen näytteenottoa ja ottamaan näytteitä satunnaisin väliajoin. Monifaasisien (suspendoituneet tai nopeasti laskeutuvat) nesteiden näytteenotoista huomautetaan, että kiintoaineiden laskeutumisilmiöiden ja pintakalvojen muodostumisen vuoksi nestettä olisi hyvä sekoittaa koko näytteenottotilanteen ajan. Mikäli se ei ole mahdollista, näytteenotto kannattaa ottaa nopeasti sekoituksen lopettamisen jälkeen. (SFS-EN 12579:2024, 17, 12, 28)

Puhdistamolietedirektiivi (86/278/ETY) ja lannoitevalmisteasetus (MMM 964/2023, 10 §) määrittelevät, että orgaanisten lannoitevalmisteiden tuoteselosteessa raskasmetallien pitoisuudet on ilmoitettava aina muodossa mg/kg ka, riippumatta siitä, onko kyseessä nestemäinen vai kuiva-ainepitoinen lannoitevalmiste. Massaan suhteutettu yksikkömuoto sopii kiinteiden lannoitevalmisteiden analysointiin ja määrittelyyn, mutta nestemäisten lannoitevalmisteiden pitoisuuksien tutkiminen tuottaa vaikeuksia juuri massan kohdalla. Tästä syystä rejektivettä ei voitu tutkia määritelmällä, joita esimerkiksi Laatulannoite -sertifikaatti on aiempina vuosina edellyttänyt (ks. taulukko 3), vaan yksikkö mg/kg ka saatiin aikaiseksi laskennallisesti kuiva-ainemäärityksen kautta. Lisäksi ominaisuuksiltaan vaihteleville rejektiville ei ole olemassa omaa yleisesti hyväksyttyä määrittelymenetelmää (esim. ISO-standardi), vaan rejektivinäytettä jouduttiin tutkimaan jäteveden kaltaisella matriisilla. Menetelmän puute vaikuttaa suoraan rejektiveden virhemarginaalin suuruuteen (tarkkuus) ja tuloksien luotettavuuteen.

Vaikka määrittelymenetelmät eivät olleet sertifikaatin mukaisia, melkein kaikki analysointimenetelmät olivat kuitenkin akkreditoituja ja niiden mittausepävarmuudet melko alhaisia. Esimerkiksi kiintoaineen ja hapenkulutusarvojen epävarmuus vaihtelee noin 10–15 %, ravinteiden 15–25 %, raskasmetallien 10–20 % alueella. PAH<sub>16</sub>-yhdisteillä tuloksen epävarmuus kasvaa 30–40 % ja VOC-yhdisteillä epävarmuutta löytyy jo 20–50 % alueelta. Tässä tutkimuksessa tulosten riittävää tarkkuustasoa ei kuitenkaan määritelty raja-arvoja lukuun ottamatta, joten mittausepävarmuuksien vaikutusta validiteettiin on paikoin haasteellista arvioida. Riittävä tarkkuus tulee ajankohtaiseksi lähinnä rajatilanteissa, jossa rejektiveden pitoisuusarvo on lähellä lakisääteistä absoluuttista rajaa tai sallittua poikkeamaa ja menetelmän epävarmuusprosentti veisi mahdollisesti pitoisuuden raja-arvon toiselle puolelle.

Menetelmät tulisi kuitenkin olla samat, jotta tulokset pysyvät vertailukelpoisina. Esimerkiksi Gassum Peltotyypin pitoisuustiedot on tiedossa, mutta analysointimenetelmää ei. On mahdollista, että menetelmien välillä on jonkin verran väljyyttä ja tämä vaikuttaa tuloksiin. Voi myös olla täysin mahdollista, että tuloksien eroavaisuus on kokonaan riippuvaista rejektivien ominaisuuksista, eikä menetelmillä ole osuutta arvojen vaihtelussa. Ylipäätään rejektivien laadun voimakas vaihtelu luo epävarmuutta luotettavuuteen. Raskasmetallien viimeisimmässä määrittelyssä (4.12.) käytettiin uudempaa standardia, joiden mittausepävarmuusprosentit ovat kahta poikkeusta lu-

kuun ottamatta samat, kuin vanhan standardin. Pitoisuudet kylläkin ovat todella paljon alhaisemmat. Vaihteluun voi vaikuttaa suuressa osassa itse raskasmetallien määrän lisäksi linkojen säädöt ja vastaanotetut raaka-aineet ko. ajankohtana. Mahdotonta tässä kohtaa luotettavasti todeta, mistä poikkeavat lukemat johtuvat.

Teknisten seikkojen vuoksi näyteaineiston käsittelyssä jouduttiin käyttämään rejektiveden tiheyden ja kuiva-aineen kohdalla maaliskuisia arvoja, sillä niitä ei huomattu lisätä muihin analyyseihin. Tästä syystä tulokset kuiva-ainetta kohden voivat heittää jonkin verran. Erityisesti loppuvuoteen asettuvien linkojen säädöt ovat vaikuttaneet todellisiin kuiva-ainepitoisuuksiin ja tiheyksiin. (Peräaho 2024 henkilökohtainen tiedonanto)

## 14.2 Kehittämisehdotukset

Työn ja tulosten pohjalta nousi laajalti erilaisia jatkokehitysaiheita ja -ideoita. Luotettavuuden tarkasteluosion mukaisesti liukoisen tyyppien varastokoe olisi hyvä uusina. Tarkempien olosuhdemäärittysten ja useampien koemuuttujien avulla tuloksista olisi mahdollista saada luotettavampaa tietoa ammoniumtyypin käyttäytymisestä.

Tässä työssä rejektivettä tutkittiin noin 1–2 kk välein. Analyysitulokset kertovat kuitenkin rejektiveden ominaisuuksista vain näytteenottohetkellä, joten tuoteselosteeseen kirjattu laboratorion vahvistama typpipitoisuus voi erota jonkin verran todellisesta typpipitoisuudesta (ilman varastoinnin vaikutusta). Toisin sanoen tuoteselosteen ilmoittamat vaihteluvälit eivät välttämättä kerro todellista hajontaa pitoisuuksien alati muuttuessa. Rejktiveden laadun vaihtelun todentaminen tuoteselostetta tarkemmin sekä tiheimmin (ja mahdollisesti pidempiaikaisesti) toisi tarkkuutta ja luotettavuutta parametritietoihin.

Eräs kehittämisenkohde voisi olla rejktiveden ja muiden kierrätyspohjaisten lannoitevalmisteiden ravinnesisällön tutkimisen sujuvoittaminen lähi-infrapunasäteilyn heijastus- ja absorptioarvoihin perustuvalla NIR-mittauslaitteella (Near Infrared). Ravinnesisällön tunteminen joka tuotannon ja käytön vaiheessa (tuotanto, varastointi, levitys) toisi kokonaisvaltaista tietämystä ravinteiden käyttäytymisestä, lisäksi arvoketjun läpinäkyvyyttä ravinteiden osalta ja tarkentaisi edellä mainitun vaihteluvälin vaivattomasti. Erilaisilla NIR-mittauksilla on mitattu mm. ravinnepitoisuuksia (N, P, K), kiintoainetta ja kuiva-ainetta. Voisi olla selvittämisen arvoista myös, mitä muita parametrejä (esim.

lääkeaineet, mikromuovi) NIR-laite kykenee tunnistamaan ja olisiko sillä käyttöä kierrätyslannoitteiden laadun varmentamisessa. Markkinoilta löytyy sekä lietalannalle, että maatilakokoluokan biokaasulaitoksen mädätteille tarkoitettuja NIR-laitteita. Mittauslaitteisto voidaan integroida kuljetuskalustoon kiinni, jolloin mitataan kuljetettavien erien tarkkoja pitoisuuksia ennen niiden päätymistä loppukäyttäjälle. Tästä on jo käyttökokemusta kuljetusalalla (Kierrätysravinteiden kokonaisvaltaista logistiikkapalvelua n.d.). Toisaalta NIR-laitteen mahdollisuuksia voisi kartoittaa integroimalla se suoraan laitoksen prosessiin kiinni, jolloin mitattaisiin joko prosessiin saapuvien erien tai varastoitavien erien pitoisuuksia. Parhaimmillaan laitoskohtainen mittaus antaisi nopeita, ellei jopa reaaliaikaisia ja toistuvia vastauksia käytännössä niistä osa-alueista, joiden tutkiminen laboratoriossa on tällä hetkellä hidasta ja paikoin kallista.

Ravinteiden tutkiminen NIR-laitteella voisi tuoda hyötyjä valmistajan ja markkinoijan ohella myös viljelijälle: Jos mädätteen tai rejektiveden liukoisen typen määrä heittelee varastoinnin aikana, viljelijä ei tiedä, mikä on todellinen typen määrä, vaan joutuu luottamaan tuoteselosteen sisältämään typpipitoisuuksiin (laskennassa huomioitava pitoisuus  $\text{kg/m}^3$ ) ja suunnittelemaan lannoituksen typpimäärät sen mukaan. Voi olla mahdollista, että liukoista typpeä on nimellisesti tuoteselosteella, mutta peltoon ei päädy juurikaan liukoista typpilisäystä. Jos liukoisen typen määrä tutkittaisiin NIR-laitteella ennen, kuin se lähtee laitokselta, olisi viljelijällä enemmän mahdollisuuksia suunnitella, paljonko liukoista typpeä kannattaa laittaa rejektiveden muodossa ja lisätä siihen tarvittaessa muita typen lähteitä (lietalanta, mineraalityppi) niin, ettei enimmäiskäyttörajoitukset (nitraattiasetus, jätevesilietteen käyttörajat) kuitenkaan ylity. Tällä hetkellä on kuitenkin epäselvää, että hyväksyykö viranomainen NIR-laitteen mittaustulosta luotettavaksi tavaksi ilmoittaa typen pitoisuudet, vai olisiko ravinteiden mittaustulokset vain suuntaa antavana apuna viljelijälle lannoituksen suunnittelussa.

Tässä työssä rejektiveden kasvatuskokeet (astiakokeet) ja useimmat haitta-ainemääritykset rajattiin tutkimuksista ulos. Kuitenkin tarkemman lannoitusvaikutuksen määrittämiseksi kasvatuskokeet tai peltokokeet olisivat tarpeen, mikäli rejektivettä päädytään tarjoamaan lannoitteen tapaan viljelijälle. Kasvatuskokeissa keskeistä olisi tutkia rejektiveden typen (sis. liukoinen typpi) satovaste suhteessa mineraalivastineeseen, jotta pystyttäisiin määrittellä tarkemmin, kuinka paljon kasvin keskimääräisestä ravinnetarpeesta on mahdollista kattaa rejektivedellä. Samalla joutuisi määrittämään rejektiveden tasalaatuisuuden suhde levitykseen. Lisäksi kannattaisi tutkia biotestien tavoin

rejektiveden toksisuus (esim. itävyys, juurenpituus tai valobakteeri) tai stabiilisuus (esim. hiilidioksidintuotto). Haitta-aineista kannattaisi tutkia mm. lannoitesertifikaatin määrittelemät haitta-aineet: PAH-, PCB-, PFOS-, PFOA- ja PFAS-yhdisteet sekä triklosaani (Laatulannoite-järjestelmän vaatimukset 2024, 16).

Lannoitelainsäädäntö tunnistaa lannoitevalmisteseokset yhtenä tuoteluokkana (ks. liite 1, tuoteluokka 6), joten rejektiveden sekoittaminen lantaan tai lannoitevalmisteeseen väkevöittäväksi tai laimentavana tekijänä voisi olla selvityksen arvoista. Mikäli rejektiveden lannoituskäytön konseptia halutaan jatkaa, olisi hyvä selvittää ja kehittää ennen kaikkea sen kannattavuutta ja markkina-arvoa ja tarvetta tilojen lannoituksessa (esim. fosforiylijäämäisillä mailla).

## Lähteet

L 517/2015. Laki eläimistä saatavista sivutuotteista. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 29.9.2024. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2015/517>.

L 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 29.9.2024. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/527>.

L 646/2011. Jätelaki. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 29.9.2024. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2011/646>.

L 711/2022. Lannoitelaki. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 9.4.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220711#Pidm46651396424912>.

VN/30951/2024. Ehdotus Maa- ja Metsätalousministeriön asetukseksi lannoitevalmisteista annetun Maa- ja Metsätalousministeriön asetuksen (964/2023) muuttamisesta. Maa- ja metsätalousministeriö. Muistio 31.10.2024. Viitattu 5.3.2025. [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/11/MMMa-muutos-lannoitevalmisteista\\_perustelumustio-%E2%80%93kopio.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/11/MMMa-muutos-lannoitevalmisteista_perustelumustio-%E2%80%93kopio.pdf).

VNA 64/2023. Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230064>.

VNA 78/2023. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230078>.

VNA 964/2023. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 9.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230964>.

VNA 965/2023. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 29.9.2024. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2023/965>.

VNA 978/2021. Valtioneuvoston asetus jätteistä. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 29.9.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210978#Pidm46111191587824>.

VNA 1250/2014. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Finlex-lakipalvelu. Nettisivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>.

Alueellinen ravinnekierrätyksen potentiaali. N.d. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Taulukko. Viitattu: 28.11.2024. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/indikaattorit/ravinteiden-kierrätyksen-indikaattori#tietokantataulut>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009. EU-lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja

(EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä asetuksen (EY) N:o 2003/2003 kumoamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). Euroopan unionin virallinen lehti L170, 25.6.2019, 1–114. Viitattu 21.10.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32019R1009>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2024/3019. Yhdyskuntajätevesien käsittelystä (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). Euroopan unionin virallinen lehti L3019, 12.12.2024. Viitattu 28.2.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32024L3019>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009. Muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). Euroopan unionin virallinen lehti L300, 14.11.2009, s. 1–33. Viitattu 28.2.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex%3A32009R1069>.

Biohajoavat jätteet ja ravinteiden kierto. 2024. Ympäristö.fi. Valtakunnallisen jätesuunnitelman seuranta. <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kierratys-ja-jatteet/valtakunnallisen-jatesuunnitelman-seuranta/biohajoavat-jatteet-ja-ravinteiden-kierto>.

Biokaasulaitokset. N.d. Gasum Oy. Nettisivu. Viitattu 27.2.2024. <https://www.gasum.com/fi/gasum/toimitusketju/biokaasulaitokset/>.

Biokaasu ja nesteytetty biokaasu (LBG). N.d. Gasum Oy. Nettisivu. Viitattu 27.2.2024. <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/>.

Biojäte. N.d. Kiertokaari Oy. Nettisivu. Viitattu 10.3.2024. <https://kiertokaari.fi/jatelaji/biojate/>.

Biojätteen lajitteluohje. N.d. Gasum oy. Nettisivu. Viitattu 26.11.2024. <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biojätteen-kasittely-ja-kierratys/biojätteen-lajitteluohje/>.

Butterfly diagram. N.d. Ellen McArthur Foundation. Ladattava kuva nettisivuilla. Ladattu 24.2.2024. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>.

Cinurgi. N.d. Cinurgi-hanke. Nettisivu. Viitattu 18.10.2024. <https://interreg-baltic.eu/project/cinurgi/>.

Deublein, S. & Steinhauser, A. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources -An Introduction. Second, Revised and Expanded Edition. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Kirja. Viitattu 9.3.2024.

Eerola, T. 2023. Kierrätysravinteiden käyttö ja käytön esteet peltoviljelyssä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 5.3.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792984/Eerola\\_Telle-Mari.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792984/Eerola_Telle-Mari.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Ehdollisuuden opas 2025. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/perusehdot/ehdollisuus/ehdollisuuden-opas/ehdollisuuden-opas-2025/#luku4>.

Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus. Kuluttajatutkimuskeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 11 • 2014. Julkaisu PDF- muodossa. Viitattu 5.3.2024. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/fecd7913-7363-4d9f-9e2e-2d9f3e597230/content>.

Estoppey, N., Knight, E., Allan, I., Ndungu, K., Slinde, G., Rundberget, J., Ylivainio, K., Hernandez-Mora, A., Sørmo, E., Arp, H. & Cornelissen, G. 2024. PFAS, PCBs, PCDD/Fs, PAHs and extractable organic fluorine in bio-based fertilizers, amended soils and plants: Exposure assessment and temporal trends. Science of the Total Environment. Volume 957. Viitattu 12.4.2025. <https://janet.finna.fi/>, Science Direct.

Gasum lyhyesti. N.d. Gasum Oy. Tietoa Gasumista. Nettisivu. Viitattu 29.2.2024. <https://www.gasum.com/fi/gasum/tietoa-gasumista/gasum-lyhyesti/>.

Gasum sustainability report 2024. 2025. Gasum Oy. Ladattava Pdf- muotoinen raportti. Viitattu 18.3.2025. <https://www.gasum.com/fi/gasum/tietoa-gasumista/avainluvut/>.

Gasum Peltotyyppi, Huittinen. 2024. Kiertoravinne Oy. Tuotetiedot verkkosivuilla. Viitattu 9.11.2024. <https://kiertoravinne.fi/tuotteet/tuote/peltotyyppi/>.

Heinonen, T. 2014. Biokaasulaitoksen rejektiveden kierrätys prosessivetenä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö, AMK. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78784/Heinonen\\_Taru.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78784/Heinonen_Taru.pdf?sequence=1).

Heiskanen, M. 2022. Biokaasulaitoksen ammoniumveden ominaisuudet ja ravinnekäyttö jätevedenpuhdistuksessa. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö. Viitattu 19.11.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/142857/HeiskanenMarikki.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Heittola, S. 2023. Biokaasulaitoksen rejektiveden puhdistus biosuodattimella. Opinnäytetyö, AMK. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.11.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792889/Heittola\\_Sanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792889/Heittola_Sanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Hinnasto. 2025. Kiertoravinne Oy. Ladattava hinnasto Pdf- muodossa. Viitattu 1.3.2025. [https://kiertoravinne.fi/wp-content/uploads/2024/06/KR\\_hinnasto225.pdf](https://kiertoravinne.fi/wp-content/uploads/2024/06/KR_hinnasto225.pdf).

Horn, S., Seppänen, A-M., Winqvist, E., Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismuutokset -vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen ympäristökeskus. Raportti Pdf- muodossa. Viitattu 20.3.2025. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/5cf956be-b620-43de-9c12-86e0d84b574e/content>.

Jätevesilietteiden käyttö lannoitevalmisteena. N.d. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 30.3.2024. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/jatevesilietteet/>.

Jukkala, J. 2021. Uskaltaako puhdistamolietteitä käyttää? Käytännön maamies- lehti. 06/2021. Viitattu 24.3.2025. <https://kaytannonmaamies.fi/share/33670/3ec044>.

Julkilausuma. N.d. Baltic Sea Action Group, Kierrätysteollisuus ry, John Nurmisen Säätiö, Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK ry, ProAgria Keskusten Liitto, Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, Suomen Kiertovoima ry ja Viherympäristöliitto ry. Ravinteet ja hiili tehokkaaseen kiertoon vuoteen 2030 mennessä. Viitattu 24.11.2024. [https://ravinnekierto2030.fi/wp-content/uploads/2023/03/Julkilausuma\\_ravinnekierto2030-visio.pdf](https://ravinnekierto2030.fi/wp-content/uploads/2023/03/Julkilausuma_ravinnekierto2030-visio.pdf).

Järvenranta, K., Kykkänen, S., Mattila, P., Salo, T., Termonen, M. & Virkajärvi, P. 2022. Typpi maatalouden tuotantopanoksena Suomessa. Julkaisussa Maatalouden typpihaaste -vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Synteesiraportti. Toim. E. Vainio. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Raportti Pdf- muodossa. Viitattu 21.4.2025. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/551964/luke-luobio\\_53\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/551964/luke-luobio_53_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Jääskeläinen, K. 2024. Sivuvirtojen käyttö kiertolannoitteiden raaka-aineina sekä lannoituskäytössä. Centria-ammattikorkeakoulu. Kiertolannoite-esiselvityshankkeen raportti. Viitattu 21.2.2025. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/877402/978-952-7173-96-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Kirja.

Kaupallinen asiakirja. N.d. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 13.5.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet-ja-kuolleet-elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/kaupallinen-asiakirja/>.

Kierrätyksestä kiertotalouteen -Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2027. 2022, 22. Helsinki: Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:13. Raportti Pdf- muodossa. Viitattu 10.3.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163978/YM\\_2022\\_13.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163978/YM_2022_13.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Kierrätysravinteiden kokonaisvaltaista logistiikkapalvelua. N.d. Kuljetus Tero Liukas Oy. Nettisivu. Viitattu 7.4.2025. <https://lietteensiirto.fi/>.

Kinnunen, R. & Pirkkamaa, J. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisessä -selvitys. Winto Better World Oy. T:mi Taitosuuli. Selvitysraportti Pdf- muodossa. Viitattu 29.9.2024. [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Ravinnekierto\\_ainsaadanto-ja-rahoitus\\_selvitys-21082020\\_uusio.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Ravinnekierto_ainsaadanto-ja-rahoitus_selvitys-21082020_uusio.pdf).

Kinnunen, V., Kymäläinen, M., Tiainen, S., Koskela, O., Honkasaari, M., Järvi, S., Somersalo, V., Vartiainen, P., Alhonoja, K., Karjala, R., Alarotu, M. & Mykkänen, E. 2021. Jäteveden ravinteet keskittään kiertoon (Järkki). Gasum Oy, Hämeen ammattikorkeakoulu. AHTI-ohjelman hankesivu. Ladattava loppuraportti Pdf-muodossa. Viitattu 27.1.2025. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM032:00/2023>.

Kiviranta, T. 2024. Kierrätyslannoitteet kiinnostavat kaikista eniten nuoria viljelijöitä. Maaseudun tulevaisuus, 3, 146. Lehtiartikkeli. Viitattu 27.9.2024. <https://janet.finna.fi/>, ePress.

Komission asetus (EU) N:o 142/2011. Muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveys säännöistä sekä asetuksen (EY) N:o

1069/2009 täytäntöönpanosta sekä neuvoston direktiivin 97/78/EY täytäntöönpanosta tiettyjen näytteiden ja tuotteiden osalta, jotka vapautetaan kyseisen direktiivin mukaisista eläinlääkärintarkastuksista rajatarkastusasemilla (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). Euroopan unionin virallinen lehti L54, 26.2.2011, s. 1–254. Viitattu 28.2.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0142>.

Kontu, M. 2020. Biokaasulaitoksen rejektivesikonsentraatin typen toimivuus erilaisilla kasvualustoilla. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 18.3.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/355096/Biokaasulaitoksen%20rejektivesikonsentraatin%20typen%20toimivuus%20erilaisilla%20kasvualustoilla.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Koskue, V., Monetti, J., Rossi, N., Nieradzik, L., Freguia, S., Kokko, M. & Ledezma, P. 2022. Fate of pharmaceuticals and PFASs during the electrochemical generation of a nitrogen-rich nutrient product from real reject water. Journal of Environmental Chemical Engineering. Volume 10, 107284. Viitattu 18.4.2025. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/141193/978-952-03-2511-4.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. BIOKAASUTEKNOLOGIA -Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen biokaasuyhdistys ry. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. E-kirja. Viitattu 3.3.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK\\_Biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf).

Kyöstilä, N. 2025. Ravinteiden kierrätyksen edistämiseksi on vahva tahtotila Suomessa -entistä tehokkaampia toimenpiteitä selvitetään. Suomen Biokierto ja biokaasu ry. Uutinen nettisivuilla. Viitattu 6.3.2025. <https://biokierto.fi/ravinteiden-kierrätyksen-edistämiseksi-on-vahva-tahtotila-suomessa-entista-tehokkaampia-toimenpiteita-selvitetaan/>.

Laatujärjestelmäohje kansallisille lannoitevalmisteiden valmistajille. 2024. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 11.12.2024. [https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/oppaat/laatujarjestelmaohje-kansallisten-lannoitevalmisteiden-valmistajille/laatujarjestelmaohje-kansallisten-lannoitevalmisteiden-valmistajille/](https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/oppaat/laatujarjestelmaohje-kansallisten-lannoitevalmisteiden-valmistajille/laatujarjestelmaohje-kansallisten-lannoitevalmisteiden-valmistajille/laatujarjestelmaohje-kansallisten-lannoitevalmisteiden-valmistajille/).

Laatukäsikirja. 2020. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Kansallinen laatujärjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille. Versio 2.1. Ladattava raportti Pdf- muodossa. Viitattu 7.3.2025. [https://laatulannoite.fi/media/2021/04/Laatukasikirja\\_versio-2.1\\_korjatut-liitenumerot2.pdf](https://laatulannoite.fi/media/2021/04/Laatukasikirja_versio-2.1_korjatut-liitenumerot2.pdf).

Laatulannoite-järjestelmän vaatimukset. 2024. Suomen Biokierto ja biokaasu ry. Kansallinen laatujärjestelmä kierrätyslannoitevalmisteille. Versio 3.0. Ladattava raportti Pdf- muodossa. Viitattu 7.3.2025. <https://laatulannoite.fi/media/laatulannoite-jarjestelman-vaatimukset-versio30-19122024-1.pdf>.

Laine, T. 2024. Kierrätyslannoitteen mukana pellolle päätyvä muovisilppu tyrmistytti viljelijän. Maaseudun tulevaisuus, 4, 109. Lehtiartikkeli. Viitattu 27.9.2024. <https://janet.finna.fi/>, ePress.

Lainsäädäntö. N.d. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 19.3.2024. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lainsaadanto2/>.

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18 | 2021. Opas Pdf- muodossa. Viitattu 9.4.2024. <https://helda.helsinki.fi/ser-ver/api/core/bitstreams/24373692-94ff-431b-b145-8d23c7c7d277/content>.

Lupapäätös 147/2021. Biokaasulaitoksen toiminnan olennainen muuttaminen, laitoksella tuotettavan ammoniakkiveden jätteeksi luokittelun päättymisen ja toiminnanaloittamislupa, Oulu. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. Vesi- ja ympäristölupien tietopalvelu. Ladattava Pdf-tiedosto. Viitattu 5.3.2024. <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1717792>.

Maatalous. N.d. Kiertoravinne Oy. LaTo -Lannoitteen toimituspalvelu. Nettisivu. Viitattu 9.9.2024. <https://kiertoravinne.fi/orgaaniset-kierratyslannoitteet-maataloudelle/>.

Mallat, S. 2020. Jätteiden mädätyksellä tuotetun biokaasun potentiaali uusiutuvan energian tuotannossa. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Kandidaatintyö. Viitattu 14.2.2025. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160662/Kandidaatinty%C3%B6\\_Mallat\\_Sanni.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160662/Kandidaatinty%C3%B6_Mallat_Sanni.pdf?sequence=1).

Marttinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Salo, T., Kapuinen, P., Rintala, J., Vikman, M., Kapanen, A., Torniainen, M., Maunuksela, L., Suominen, K., Sahlström, L. & Herranen, M. 2013. Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina. MTT Jokioinen. MTT Raportti 82. Viitattu 18.3.2024. <http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti82.pdf>.

Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjäännöksissä sekä niiden elintarviketieteen aiheuttaman vaaran arviointi. MTT Jokioinen. BIOSAFE-hankkeen loppuraportti Pdf-muodossa. Viitattu 12.4.2025. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482348/mtrraportti135.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

Merin, S. 2016. Reject water management at biogas plants and the utilization of reject water as a culture medium for microalgae. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 9.11.2024. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/125816/masters\\_thesis\\_2016\\_sara\\_merin.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/125816/masters_thesis_2016_sara_merin.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023. Euroopan parlamentti. Nettisivu. Viitattu 3.1.2025. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>.

Niskala, L. 2013. Bionurmien ravinnetaseet. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 25.3.2025. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57479/Niskala\\_Lauri.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57479/Niskala_Lauri.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Niskanen, M. 2021. Teollisten sivuvirtojen soveltuvuuden kartoitus nestemäiseksi lannoitteeksi. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 25.3.2025. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498996/Mirjami\\_Niskanen.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498996/Mirjami_Niskanen.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Objectives and Methodology. N.d. LEX4BIO-hanke. European Union's Horizon 2020. Viitattu 18.10.2024. <https://lex4bio.eu/objectives-2/>.

Orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisen mahdollisuudet uudistuvassa lainsäädäntökehikossa. 2020. Helsinki. Biokierto ja Biokaasu ry. Hankkeen loppuraportti Pdf- muodossa. Viitattu 22.2.2025. [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Orgaanisten-jatteiden\\_loppuraportti\\_1.10.2020.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Orgaanisten-jatteiden_loppuraportti_1.10.2020.pdf).

Oulun Ruskon biokaasulaitos. N.d. Gasum Oy. Nettisivu. <https://www.gasum.com/fi/gasum/toimitukset/biokaasulaitokset/oulu-biokaasulaitos>.

Paikkatietoikkuna n.d. Maanmittauslaitos. Paikkatietoportaali. Kuvakaappaus otettu 25.1.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/paikkatietoikkuna>.

Peräaho, O. 2024. Gasum Oy, Oulun biokaasulaitos. Henkilökohtainen tiedonanto 2024.

Perälä, P. 2023. Maaperän terveyttä koskeva direktiiviehdotus (Soil Monitoring Law). Ympäristöministeriö. Esitys Pdf- muodossa. Viitattu 2.10.2024. <https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2023/09/Paula-Perala.pdf>.

Pitkänen, N. 2024. Ohjauskeinot ravinteiden kierrätyksessä. Suomen biokierto ja biokaasu ry. Tiedote nettisivuilla. Viitattu 7.3.2024. <https://laatulannoite.fi/ohjauskeinot-ravinteiden-kierratyksessa/>.

Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015. 2016. Pöyry Finland Oy. Kotitalouksien ja palvelutoimialojen sekajätteen sekä Ämmäsuolla käsiteltävän biojätteen koostumustutkimus. Viitattu 24.2.2025. [http://kivo.fi/wp-content/uploads/HSY\\_2016.pdf](http://kivo.fi/wp-content/uploads/HSY_2016.pdf).

Raki-ohjelma. 2023. Ympäristöministeriö. Nettisivu. Viitattu 18.10.2024. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM032:00/2023>.

Raninen, K., Uurasjärvi, E., Peräniemi, S., Soininen, T., Vepsäläinen, J., Järvelä, E., Riekkinen, K., Karim, S., Selenius, M., Savolainen, R., Visuri, R., Koistinen, A. & Tomppo, L. 2023. Mikromuovien analytiikan ja poistomenetelmien kehittäminen teollisuuden laadunvalvontaan. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Science, Forestry and Technology, 4. Viitattu 17.3.2025. <https://erepo.uef.fi/items/e118a450-ccc2-4d6a-93d5-5ee368d55a5a>.

Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma. 2023. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Nettisivu. Viitattu 18.10.2024. <https://www.ely-keskus.fi/ravinteiden-kierratyksen-kokeiluohjelma-2020>.

Salonen, S. 2020. Kiertotalouden keskeisimmät periaatteet- miten kiertotalous on mukana talouden uudistuksessa. J. Koskenmäki Oy. Blogikirjoitus nettisivuilla. Viitattu 21.11.2024. <https://www.jkoskenmaki.fi/l/kiertotalouden-keskeisimmat-periaatteet-miten-kiertotalous-on-mukana-talouden-uudistuksessa/>.

Seppänen, A-M., Laakso, J. & Luostarinen, S. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi. Luonnonvarakeskus. Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden

mahdollisuudet Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. Viitattu 21.3.2025. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542095/luke-luobio\\_31\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542095/luke-luobio_31_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Seppänen, A-M., Luostarinen, S. & Pesonen, L. 2019. Kierrätyslannoitus -Suunnittelu, käytännöt ja mahdollisuudet tulevaisuudessa. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Opas Pdf-muodossa. Viitattu 9.9.2024. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544071/LUKE\\_Kierr%c3%a4tyslannoitus\\_opas.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544071/LUKE_Kierr%c3%a4tyslannoitus_opas.pdf?sequence=5&isAllowed=y).

SFS-EN 12579:2024. Maanparannusaineet ja kasvualustat. Näytteenotto. Suomen standardisoimisliitto SFS. Online-palvelu. Standardi haettu 10.11.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1311133.html.stx>.

Sigurnjak, I., Vaneeckhaute, C., Michels, E., Ryckaert, B., Ghekiere, G., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. Science of the Total Environment. Volumes 599-600, 1885-1894. Viitattu 24.2.2025. <https://janet.finna.fi>, Science Direct.

Suomilampi, A. 2024. Gasum aloittaa laajennushankkeen Riihimäen biokaasulaitoksella. Gasum Oy. Uutinen nettisivuilla. Viitattu 29.2.2024. <https://www.gasum.com/fi/uutiset-ja-asiakastarinat/uutiset-ja-tiedotteet/2024/gasum-aloittaa-laajennushankkeen-riihimaen-biokaasulaitoksella/>.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvarakeskus. Helsinki: Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. Opas Pdf- muodossa. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542240/luke-luobio\\_37\\_2018\\_2X.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542240/luke-luobio_37_2018_2X.pdf?sequence=8&isAllowed=y).

Tontti, T., Kapuinen, P. Ojajärvi, J. Joki-Tokola, E., Laurila, M., Ikäläinen, T., Kekkonen, J. & Veijalainen, A-M. 2015. Orgaanisten lannoitevalmisteiden varastointi, levittäminen ja annostelu. Käytännöllisiä ohjeita LeviLogi- hankkeesta. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2015. Raportti Pdf-muodossa. Viitattu 28.3.2025. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/518969/luke-luobio\\_46\\_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/518969/luke-luobio_46_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

Tuoteseloste. 2024. Gasum Oy. Gasum Peltotyyppi Huittinen. Viitattu 21.2.2025. <https://kiertoravinne.fi/wp-content/uploads/2024/07/Gasum-Peltotyyppi-Huittinen.pdf>.

Tuotteet. N.d. Kiertoravinne Oy. Tuotekategoria nettisivuilla. <https://kiertoravinne.fi/tuotteet/?categories=28>.

Tuuli, S. 2018. Maaperän typen mineralisaatio eri kuivikemateriaalien hajoamisprosesseissa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 18.2.2025. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149496/oppari14.5.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Vesien ja meren tilan parantaminen 2023–2028 (Ahti-ohjelma). N.d. Ympäristöministeriö. Nettisivu. Viitattu 18.10.2024. <https://ym.fi/vesien-ja-meren-tilan-parantaminen>.

Viljakainen, J. 2023. Kierrätyslannoitteista apua sadon turvaamiseen Web 12.01.2023. Gasum Oy. Esitys Pdf- muodossa. Viitattu 29.2.2024. <https://yriyssalo.fi/wp-content/uploads/2023/01/Gasum.pdf>.

Viskari, E-L. & Kämäri, T. 2020. Puhdistamolietteiden kierrätyksen sietämätön kestävyys. AMK-lehti/UAS-journal. 2/2020. Nettiartikkeli. Viitattu 24.3.2025. <https://uasjournal.fi/2-2020/puhdistamolietteiden-kestavyys/>.

Vuorinen, K. 2021. Biojätteen esikäsittelylaitteiston toiminnan vaikutukset prosessiin pääsevän muovin määrään. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.3.2025. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/503716/Bioj%C3%A4teen%20esik%C3%A4sittelylaitteiston%20toiminnan%20vaikutukset%20proses-siin%20p%C3%A4%C3%A4sev%C3%A4n%20muovin%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4n.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Välinen, N. 2024. Orgaanisten kierrätyslannoitteiden SWOT-analyysin tuloksia. Laatulannoite. Suomen biokierto ja biokaasu ry. Uutinen nettisivuilla. Viitattu 9.3.2024. <https://biokierto.fi/orgaanisen-kierratyslannoitealan-swot-analyysin-tuloksia/>.

Välinen, N., Virolainen-Hynnä, A. & Pitkänen, N. 2024. Toimiala-analyysi: Kierrätyslannoitteiden valmistus ja markkinat. Laatulannoite. Suomen biokierto ja biokaasu ry. Ladattava Pdf-muotoinen raportti. Viitattu 9.3.2024. [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/03/Toimiala-analyysi\\_Kierratyslannoitteiden-valmistus-ja-markkinat\\_SBB\\_5.3.2024.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/03/Toimiala-analyysi_Kierratyslannoitteiden-valmistus-ja-markkinat_SBB_5.3.2024.pdf).

Väänänen, J. 2025. Biojätteen erilliskeräyksen tehostaminen: Case Kiertokaari. Oulun yliopisto. Kandidaatintyö. Viitattu 24.2.2025. <https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/53883/nbnfioulu-202501281373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Yhdistys. N.d. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Nettisivu. Viitattu 24.11.2024. <https://biokierto.fi/yhdistys/>.

Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitys raportti. 2023. Ramboll Finland Oy. Ympäristöministeriö. Raportti Pdf-muodossa. Viitattu 20.3.2024. [https://ym.fi/documents/1410903/73050749/Yhdyskuntien+j%C3%A4tevesien+ravinteiden+talteenoton+menetelm%C3%A4selvitys\\_raportti+28.4.2023.pdf/07a08a7f-713b-3160-2534-fa65c8d65f6c/Yhdyskuntien+j%C3%A4tevesien+ravinteiden+talteenoton+menetelm%C3%A4selvitys\\_raportti+28.4.2023.pdf?t=1683646440065](https://ym.fi/documents/1410903/73050749/Yhdyskuntien+j%C3%A4tevesien+ravinteiden+talteenoton+menetelm%C3%A4selvitys_raportti+28.4.2023.pdf/07a08a7f-713b-3160-2534-fa65c8d65f6c/Yhdyskuntien+j%C3%A4tevesien+ravinteiden+talteenoton+menetelm%C3%A4selvitys_raportti+28.4.2023.pdf?t=1683646440065).

Ylikahri, J. 2024. Kiertoravinne Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024. Ruokavirasto. Nettisivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2024/#hyvaksyttavat-aineet-ymparistokorvauksen-kiertotalouden-edistaminen--toimenpiteessa>.

Ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö. 2024. Ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö etsivät sidosryhmien kanssa ratkaisuja kierrätyslannoitteiden muoviongelman. Maa- ja metsätalousministeriö. Tiedote nettisivuilla. Viitattu 16.4.2025. <https://mmm.fi/>

[/1410903/ymparistoministerio-ja-maa-ja-metsatalousministerio-etsivat-sidosryhmien-kanssa-ratkaisuja-kierratyslannoitteiden-muoviongelmaan.](#)

Äystö, L., Högmänder, P., Fjäder, P. & Salminen, J. 2022. Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27 | 2022. Raportti Pdf-muodossa. Viitattu 2.10.2024. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/456ee6d4-b33c-41a1-b151-29272f9cbdec/content>.

## Liitteet

### Liite 1. Tuoteluokat & Ainesosaluokat. MMMa 964/2023.

Luokitus	MMMa 964/2023 Tuoteluokat	Luokitus	MMMa 964/2023 Ainesosaluokat
1.	Lannoite	1.	Ensiömateriaaleista koostuvat aineet ja seokset
1 A.	Orgaaninen lannoite	2.	Kasvit, kasvien osat ja kasviuutteet
1 B.	Orgaaninen kivennäislannoite	3.	Komposti
1 C.	Epäorgaaninen lannoite	4.	Mädäte
1 C 1.	Epäorgaaninen pääravinnelannoite	5.	Eläimistä saatavat sivutuotteet
1 C 1.1.	Yksiravinteinen epäorgaaninen pääravinnelannoite	6.	Teollisuuden sivutuotteet
1 C 1.2.	Moniravinteinen epäorgaaninen pääravinnelannoite	7.	Jäteperäiset ainesosat, joiden jätteeksi luokittelu on päättynyt
1 C 2.	Epäorgaaninen hivenravinnelannoite	8.	Tuhkat ja kuonat
1 C 3.	Metsätuhkalannoite	9.	Pyrolyysihiihi
2.	Kalkitusaine	10.	Käsitelty jätevesiliete
3.	Maanparannusaine	11.	Teollisuuden jäte
3 A.	Orgaaninen maanparannusaine		
3 B.	Epäorgaaninen maanparannusaine		
4.	Kasvualusta		
5.	Biostimulantti		
6.	Lannoitevalmisteiden seos		

## Liite 2. Ainesosaluokka: 4. Määdte. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024.

AINESOSALUOKKA 4. MÄDÄTE	ALKUPERÄ	AINESOSAN TIEDOT
AINESOSA		
Biojäte	Erillislerätty jätteen synty paikalla	Ei saa sisältää sekalaisesta yhdyskuntajätteestä erotettua biojätettä. Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti.
Teollisuuden orgaanista ainesta sisältävät primääri-, sekundääri- ja tertiääri lietteet	Elintarvike-, metsä- ja rehuteollisuuden jätevedenpuhdistusprosessi	Ei saa sisältää yhdyskuntajätevedenpuhdistamolietetteitä.
Primääri liete	Puunjaloostusteollisuus	Ei saa sisältää yhdyskuntajätevedenpuhdistamolietetteitä.
Kuitusavi	Puunjaloostusteollisuus	Ei saa sisältää yhdyskuntajätevedenpuhdistamolietetteitä.
Orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä orgaanista ainesta sisältävät suodatusmassat.	Elintarvike-, rehu- ja lammoiteollisuus	Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti.
Entsyymituotannon orgaaniset jätteet, lietteet ja sakat sekä jätevedenpuhdistamolietteen	Entsyymiteollisuus	Ei saa sisältää yhdyskuntajätevedenpuhdistamolietetteitä.
Biopolttoaineen tuotantolaitoksen kasviperäinen jäte	Biopolttoaineen tuotantolaitos	Biopolttoaineen tuotantoprosessissa raaka-aineena käytettävästä kasvimassasta muodostuva jäte.
Kuummitteiset prosessivedet ja -lietteet	Orgaanisia massoja käsittelevät tai valmistavat toimitukset	Prosessilinjoiden ja -säiliöiden sekä varastosäiliöiden puhdistuksissa ja pesuissa muodostuvat biohajoavaa orgaanista ainesta sisältävät kiintoainepitoiset jätteet. Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti.
Biomassoja ja biohajoavia jätteitä käsittelevien laitojen käsitteilyjännökset	Kompostointi-, biokaasu- ja biopolttoaineiden tuotantolaitos	Kiinteä tai nestemäinen käsitteilyjännös, joka sisältää orgaanista ainesta, ravinteita ja vettä. Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti.
Rasvakaivolietteen	Elintarviketeollisuus, ravitsemissiilikkeet, suurtalouskeittiöt, elintarvikkeiden myyntipaikat ja muut elintarvikkeiden paistopisteet	Kasviperäistä rasvaa ja/tai öljyä sisältävät rasvalietteet
Kalaviljelylaitosten lietteet	Kalakasvatamot ja kalaviljelylaitokset	Lietteet voivat sisältää viljeltyjen kalojen ulosteita ja rehua.
Maa- ja puutarhatalouden orgaaniset jätteet	Maataloustoiminta, kasvihuoneet, ruokasienikasvatamot, avomaaviljelymät ja taimistot	Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimusten mukaisesti.
Puutarha- ja puistojätteet	Kaupungin viheralueet, puistot ja kotipuutarhat	
Ainesosaluokkaan 2 kuuluvat ainesosat		Käsitteilyn on täytettävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 vaatimukset ellei asetuksen mukaista käsittelyä ole tehty aiemmin.
Ainesosaluokkaan 5 kuuluvat ainesosat		Ei kaupallisiin tarkoituksiin pyydytety kalat, joiden ei epäillä kantavan tai sairastavan ihmisiin tai eläimiin tarttuvia tautia.
Kalat, jotka eivät kuulu ainesosaluokkaan 5	Hoitokalastuskala, energialaitosten vedenottamot	Ainesosaluokkaan 1 kuuluvat lisäaineet on rekisteröitävä REACH-asetuksen mukaisesti, ellei niitä ole vapautettu rekisteröintivelvoitteesta.
Mädätyslisäaineet, jotka ovat tarpeen mädätysprosessin tuottavuuden tai ympäristötehokkuuden parantamiseksi.		

### Liite 3. Ainesosaluokka: 10 Käsitelty jätevesiliete. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024

AINESOSALUOKKA 10. KÄSITELTY JÄTEVESILIETE	Ainesosaluokan 10 kaikkia ainesosia koskeva vaatimus: Ainesosaluokassa 10 käsitelty jätteet ovat kokonaisuudessaan ainesosaluokkaa 10. Pakkausmerkinnöissä on ilmoitettava ainesosaluokan lisäksi tieto jätevesilietteen käsitteytävistä a) - f).	
AINESOSA	ALKUPERÄ	AINESOSAN TIEDOT
Jätevesiliete (a) mädätetty b) kompostoitu c) vanhentamalla käsitelty d) kalkkistabiloimalla käsitelty e) happo ja hapetus käsitelty f) kuivaamalla käsitelty	Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoliete, saostus- ja umpisäiliöliete, muu kiinteistökohtainen tai maatilojen yhteisen jätevedenkäsitteilyjärjestelmän liete ja kuivakäymäläjäte sekä muu jätevedenpuhdistamoliete	a) Mesofiilinen mädätys, jossa liete on ennen tai jälkeen mädätyksen hygienisoitava, kompostoitava, termisesti kuivattava tai käsiteltävä muulla vastaavalla tavalla. b) Aerobinen kompostointi, jossa biohajoava materiaali on hajotettava kontrolloidusti pääasiassa aerobisesti ja biologisesti tuotetulla lämmöllä saadaan aikaan termofiilille bakteereille soveltuvat lämpötilat. c) Jätevesilietettä vanhennettaessa on kuivattua jätevesilietettä varastoitava vähintään kahden vuoden ajan. d) Jätevesiliete on käsiteltävä poltetulla tai sammutetulla kalkilla. Käsiteltäessä liete poltetulla kalkilla on liete-erän saavutettava pH-arvo 12 vähintään kahden tunnin ajan. Käsiteltäessä liete sammutetulla kalkilla on liete-erän saavutettava pH-arvo 12 vähintään kahden vuorokauden ajan. e) Jätevesiliete on hydrolysoitava suljetussa prosessissa kemiallisesti käyttämällä hapettavia vetyperoksidin perustuvia menetelmiä. Lietteen pH lasketaan ensin syöttämällä happoa, jolloin lietteen pH-arvo laskee neljään tai sen alle. Tämän jälkeen liete hapetetaan vetyperoksidilla ja lopuksi neutraloidaan natriumhydroksidilla tai kalkitusaineella. f) Jätevesiliete on käsiteltävä vähintään 70 celsiusasteessa vähintään kahden tunnin ajan. Kuivatun jätevesilietteen kosteus saa olla enintään 10 %.
Ainesosaluokkaan 3 kuuluvat ainesosat	Kompostoitavaa voi jätevesilietteen seassa käsitellä ainesosaluokassa 3 sallittuja ainesosia	Kaikki ainesosat on käsiteltävä ainesosaluokan 3 vaatimusten mukaisesti. Lopputuote on ainesosaluokan 10 mukaista käsiteltyä jätevesilietettä.
Ainesosaluokkaan 4 kuuluvat ainesosat	Mädätettävässä voi jätevesilietteen seassa käsitellä ainesosaluokassa 4 sallittuja ainesosia	Kaikki ainesosat on käsiteltävä ainesosaluokan 4 vaatimusten mukaisesti. Lopputuote on ainesosaluokan 10 mukaista käsiteltyä jätevesilietettä.
Turve		

**Liite 4. Ainesosaluokka: 5 Eläimistä saatava sivutuote. Ruokavirasto. Viitattu 12.10.2024.**

AINESOSALUOKKA 5. ELÄIMISTÄ SAATAVA SIVUTUOTE	AINESOSAN TIEDOT	
AINESOSA	ALKUPERÄ	
Asetuksen (EY) N:o 1069/2009 artiklan 9 kohdan a) mukainen lanta, mineraalisoimatonta quanoa ja ruuansulatuskanavan sisältö sekä asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukainen frassi	Tuotantoeläintilat, teurastamot, hyönteiskasvatamot	Sivutuoteluokkaan 2 kuuluva eläinperäinen sivutuote. Lannalla tarkoitetaan tuotantoeläinten muiden kuin viljeltyjen kalojen ulosteita ja/kai virtsaa kuivikkeiden kanssa tai ilman. Frassi on asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukaisista kasvatetuista hyönteisistä peräisin olevaa ulosteiden, ruokkimiseen käytetyn alustan, kasvatettujen hyönteisten osien ja kuolleiden munien seosta, jossa kuolleiden kasvatettujen hyönteisten osuus on enintään 5 tilavuusprosenttia ja enintään 3 painoprosenttia. Lanta ja frassi on käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukaisesti.
Asetuksen (EY) N:o 1069/2009 artiklan 10 mukaiset eläimistä saatavat sivutuotteet	Teurastamot, riistan käsittelylaitokset, elintarvikehuoneistot, kotitaloudet ja rehutehtaat	Sivutuoteluokkaan 3 kuuluva eläinperäinen sivutuote. Käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukaisesti.
Asetuksen (EY) N:o 1069/2009 artiklan 9 mukainen maito, maitoperäiset tuotteet, termimaito, munat ja munatuotteet sekä vesieläinperäinen aines	Tuotantoeläintilat, kalanviljelylaitokset	Sivutuoteluokkaan 2 kuuluva eläinperäinen sivutuote. Käsiteltävä asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukaisesti.
Asetuksen (EY) N:o 1069/2009 artiklan 9 mukaiset eläimistä saatavat sivutuotteet, lukuun ottamatta lantaa, mineraalisoimatonta quanoa, ruuansulatuskanavan sisältöä, maitoa, maitoperäisiä tuotteita, termimaitoa, muniä ja munatuotteita sekä vesieläinperäistä ainesta	Teurastamot, riistan käsittelylaitokset, elintarvikehuoneistot ja rehutehtaat	Sivutuoteluokkaan 2 kuuluva eläinperäinen sivutuote. Soveltuu lannoitevalmisteen raaka-aineksi ainoastaan sen jälkeen, kun on käsitelty asetuksen (EU) N:o 142/2011 mukaisesti hyväksytyssä käsittelylaitoksessa käsittelymenetelmällä 1 (paineesterilointi) ja syntyvä aines merkitty pysyvästi.

## Liite 5. Kiertotalouden edistäminen -toimenpiteen hyväksyttävät aineet. Ruokavirasto. 19.2.2025

### Hyväksyttävät sijoittavilla tai multaavilla laitteilla levitettävät aineet:

- Lietelanta
- Virtsa
- Lietelannasta erotettu nestejäte

### Lisäksi hyväksyttävät kansalliset lannoitevalmisteiden tyyppinimet:

- 1B1 8 Orgaaninen eläinperäinen lannoiteliuos
- 1B2 4 Orgaaninen lannoiteliuos
- 1B3 2 Merileväuute
- 1B3 4 Humusvalmiste tai -uute
- 1B3 5 Alkoolien vesiliuos tai öljyemulsio
- 1B3 6 Kasviuute
- 1B3 7 Aminohappovalmiste
- 1B4 1 Melassiuute
- 1B4 2 Vinassi ja vinassiuute
- 1B4 3 Perunan soluneste
- 1B4 4 Rejektivesi
- 3A2 6 Hapotettu ja stabiloitu puhdistamoliete
- 3A2 7 Maanparannuslahote
- 3A5 1 Kalkkistabiloitu puhdistamoliete
- 3A5 2 Määtysjäännös
- 3A5 3 Lahotettu puhdistamoliete
- 3A5 7 Kemiallisesti hapetettu puhdistamoliete

### Hyväksyttävät aineet, joiden kuiva-ainepitoisuuden on oltava yli 20 prosenttia

- Kuivalanta
- Lannasta erotettu kuivajäte

### Lisäsihyväksyttävät kansalliset lannoitevalmisteiden tyyppinimet:

- 1B1 Orgaaniset eläinperäiset lannoitteet
- 1B2 Orgaaniset ei-eläinperäiset lannoitteet
- 1C1 1 Orgaaninen eläinperäinen kivennäislannoite
- 3A1 Maanparannusturpeet
- 3A2 Orgaaniset maanparannusaineet
- 3A5 Maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet
- 5A1 Turpeet
- 5A2 1 Lannoitettu ja/tai kalkittu irtomulta
- 5A2 2 Kompostimulta
- 5A2 3 Juuresmulta
- 5A2 7 Teknisesti käsitelty irtomulta

## Liite 6. Näytteenoton tuloksia &amp; tuoteselosteiden pitoisuuksia

Parametri	Yksikkö	maalis*	heinä*	Gasum perus**	Gasum Humus**	Peltotyyppi Huittinen***
Typpi, N	g/kg ka	336,35	345,70	107,7	37,3	723,0
Typpi, N-liuk	g/kg ka	280,30	298,98	76	9,5	440,0
Ammoniumtyppi, NH4-N	g/kg ka	224,24	4,30	-	-	
Nitraattityppi, NO3-N	g/kg ka	0,01		-	-	
Fosfori, P	g/kg ka	13,08		30	33	19,0
Fosfori, P-liuk	g/kg ka	3,55		4,7	0,69	16,0
Kalium, K	g/kg ka	158,83		22	4,9	70,0
Natrium, N	g/kg ka	140,15		20	3,6	40,0
Rauta, Fe	g/kg ka	29,90		-	-	-
Rikki, S	g/kg ka	11,21		12	14	9,6
Magnesium, Mg	g/kg ka	6,54		3,5	3,3	0,8
Boori, B	g/kg ka	0,44		0,02	0,01	0,05
Sinkki, Zn	g/kg ka	0,22		0,4	0,5	0,06
Kupari, Cu	g/kg ka	0,10		0,3	0,2	0,02
Mangaani, Mn	g/kg ka	0,11		0,2	0,3	0,06
Koboltti, Co	g/kg ka	0,03		-	-	-
Molybdeeni, Mo	g/kg ka	0,02		-	-	-
Seleen, Se	g/kg ka	2,99		-	-	-
Arseeni, As	mg/kg ka	3,27		1	1	4
Elohopea, Hg	mg/kg ka	0,60		0,44	0,47	0,25
Kadmium, Cd	mg/kg ka	0,11		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kromi, Cr	mg/kg ka	22,42		24	31	6
Kupari, Cu	mg/kg ka	102,77		260	310	19
Lyijy, Pb	mg/kg ka	1,31		11	12	< 1
Nikkeli, Ni	mg/kg ka	23,36		28	28	16
Sinkki, Zn	mg/kg ka	224,24		400	480	59
E.coli	mpn/100 ml	< 10		< 10	< 10	< 10
Salmonella	/näyte	ei todettu		ei todettu	ei todettu	ei todettu/25 g
pH-arvo	-	8,2		8,1	8,2	8,3
Kuiva-aine	%	1,1		4,2	25,8	1,0
Sähkönjohtavuus 25 C	mS/m	2400		420	230	590
Orgaaninen aines	% TS	62		-	-	-
Tiheys	g/l	973		-	-	-
PAH16 -määrittäminen	mg/kg ka	7,85		-	-	-

\*Tulokset (mg/l ja µg/l) muutettu laskennallisesti yksiköihin g/kg ka & mg/kg ka.

\*\*Gasum Perus ja Humus -tiedot ovat tuoteselosteista, ajanjaksolta 1.2.–31.3.2024

\*\*\*Gasum Peltotyyppi Huittinen -tiedot ovat tuoteselosteesta, ajanjaksolta 1.1.–31.3.2024

## Liite 7. Määrittymenetelmät

Parametri	Määrittymenetelmä	Mittauksen epävarmuus-%
Typpi, N- kok	SFS-EN ISO 11905-1:1998	15
Typpi, N-liuk	SFS-EN ISO 11905-1:1998	15
Ammoniumtyppi, NH <sub>4</sub> -N	SFS-ISO 15923-1:2018, DA	15
Nitraattityppi, NO <sub>3</sub> -N	SFS-ISO 15923-1:2018, DA	15
Fosfori, P-kok	SFS-EN ISO 6878:2004, DA	15
Fosfori, P-liuk	SFS-EN ISO 6878:2004, DA	15
Kalium, K	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Natrium, N	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Rauta, Fe	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Rikki, S	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Magnesium, M	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Boori, B	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Sinkki, Zn	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Kupari, Cu	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Mangaani, Mn	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Koboltti, Co	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Molybdeeni, Mo	SFS-EN ISO 11885:2009	20
Seleeni, Se	SFS-EN ISO 17294-2:2016	25
Arseeni, As	SFS-EN ISO 17294-2:2016*	20
Elohopea, Hg	SFS-EN ISO 17294-2:2016*	20
Kadmium, Cd	SFS-EN ISO 17294-2:2016*	15
Kromi, Cr	SFS-EN ISO 11885:2009*	20
Kupari, Cu	SFS-EN ISO 11885:2009*	20
Lyijy, Pb	SFS-EN ISO 17294-2:2016*	20
Nikkeli, Ni	SFS-EN ISO 11885:2009*	20
Sinkki, Zn	SFS-EN ISO 11885:2009	20
E.coli	SFS-EN ISO 9308-2:2014	
Salmonella	ISO 19250:2010	
pH-arvo	SFS 3021:1979	3
Kuiva-aine	SFS 3008:1990	10
Sähkönjohtavuus 25 C	SFS-EN 27888:1994	5
Orgaaninen aines	SFS 3008:1990	5
Tiheys	Sisäinen menetelmä	20
Kiintoaine- GF/A (1,6 µm) suodatin	SFS-EN 872:2005	10
BHK-7-ATU, biokemiallinen hapenkulutus	SFS-EN ISO 5815-1:2019:en	15
CODCr, Kemiallinen hapenkulutus	ISO 15705:2002	15
PAH16, polysykliset aromaattiset hiilivedyt	ISO/TS 28581:2012	30–40**
VOC, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	ISO 20595:2018	20–50**

\*Nykyinen määrittymenetelmä SFS-EN ISO 17294-2:2023, korvaa edellisen

\*\*Yhdisteiden mittausepävarmuudet vaihtelevat ilmoitetulla välillä