



Kari Jääskeläinen

# SIVUVIRTOJEN KÄYTTÖ KIERTOLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA SEKÄ LANNOITUSKÄYTÖSSÄ

Centria-ammattikorkeakoulu  
Kiertolannoite-esiselvityshanke

Joulukuu 2024

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 80.

Kari Jääskeläinen

# SIVUVIRTOJEN KÄYTTÖ KIERTOLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA SEKÄ LANNOITUSKÄYTÖSSÄ

Centria-ammattikorkeakoulu  
Kiertolannoite-esiselvityshanke

Joulukuu 2024



**JULKAISIJA:**

Centria-ammattikorkeakoulu  
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

**TAITTO:** Centria-ammattikorkeakoulun viestintäpalvelut

**KANNEN KUVA:** Kiertolannoite-esiselvityshanke

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 80.

ISSN 2342-933X

ISBN 978-952-7173-96-1

# SISÄLLYSLUETTELO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....  | 5  |
| 2     | LANNOITTEISIIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....  | 6  |
| 2.1   | LANNOITELAKI (711/2022).....   | 6  |
| 2.2   | EU:N LANNOITEVALMISTUSASETUS (2019/1009).....  | 7  |
| 2.3   | MAA- JA METSÄTALOUSHALLITUKSEN ASETUS LANNOITEVALMISTEISTA (24/11).....  | 8  |
| 2.4   | EU:N SIVUTUOTEASETUS (1069/200) .....  | 8  |
| 2.5   | EU-TÄYTÄNTÖÖNPANOASETUS (142/2011) ELÄIMISTÄ SAATAVISTA SIVUTUOTTEISTA .....   | 9  |
| 2.6   | LAKI ELÄIMISTÄ SAATAVISTA SIVUTUOTTEISTA (517/2015).....   | 9  |
| 2.7   | MAA- JA METSÄTALOUSHALLITUKSEN ASETUS 783/2015.....  | 9  |
| 2.8   | LANNAN KÄYTTÖ LANNOITEVALMISTEISIIN.....   | 9  |
| 2.9   | EU:N JÄTEDIREKTIIVI (2008/98) JA JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN SUOMEN<br>LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ.....                                    | 10 |
| 2.10  | EU-DIREKTIIVI YMPÄRISTÖN, ERITYISESTI MAAPERÄN, SUOJELUSTA KÄYTETTÄESSÄ<br>PUHDISTAMOLIETETTÄ MAANVILJELYSSÄ (86/278)..... | 10 |
| 2.11  | LUOMUTUOTTEIDEN VALMISTUKSEEN SOVELTUVAT LANNOITEVALMISTEET .....  | 11 |
| 2.12  | TUHKALANNOITTEET .....   | 11 |
| 2.13  | OPPAAT LANNOITEALAN TOIMIJOILLE.....   | 11 |
| 3     | PULLONKAULAT SIVUVIRTOJEN KÄYTTÄMISESSÄ KIERTOLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA<br>JA LANNOITTEINA .....                         | 13 |
| 3.1   | SIVUVIRTOJEN KÄYTÖN RAJOITTEIDEN TAUSTAA.....  | 13 |
| 3.2   | KIERTOLANNOITTEIDEN VALMISTUKSEN PULLONKAULAT TUTKIMUSTEN PERUSTEELLA.....   | 13 |
| 4     | KIERRÄTYSLANNOITEVALMISTEIDEN TUOTANTO JA VALMISTUSMENETELMÄT .....  | 17 |
| 4.1   | BIOMASSAT KIERRÄTYSLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA.....  | 17 |
| 4.1.1 | ELINTARVIKETEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEET .....   | 18 |
| 4.1.2 | METSÄTEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEET .....   | 18 |
| 4.1.3 | JÄTEVESILIETTEET .....   | 19 |
| 4.1.4 | MAATALOUDEN SIVUTUOTTEET .....   | 20 |
| 4.2   | FOSFORIN TALTEENOTTOMENETELMÄT.....  | 21 |
| 4.3   | STRUVIITIN VALMISTUS.....  | 22 |
| 5     | BIOKAASUTUKSEN HYÖDYNTÄMINEN KIERTOLANNOITEVALMISTUKSESSA.....   | 24 |
| 5.1   | BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN NESTEJAKEEN PROSESSOINTI.....  | 24 |
| 5.2   | KESKI-POHJANMAAN ALUEEN BIOMASSAPOTENTIAALI.....   | 25 |
| 5.2.1 | KAUSTISEN SEUTUKUNNAN ALUEEN BIOENERGIAN KYSYNTÄ JA ALUETALOUS .....   | 25 |
| 5.2.2 | TEKNISTALOUDELLINEN LASKELMA BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN<br>JATKOKÄSITTELYLLE KIERTOLANNOITEVALMISTEIKSI.....      | 27 |
| 6     | YHTEENVETO .....   | 29 |
|       | LÄHDELUETTELO.....   | 31 |

# 1 JOHDANTO

Sivutuotteita ja jätteitä kannustetaan käyttämään myös lainsäädännön toimesta yhä enemmän raaka-aineina kiertotalousajattelun mukaan, niin sanotun vihreän siirtymän nopeuttamiseksi ja ihmisen toiminnan hiilineutraaliuden edistämiseksi. Erilaisia teollisuuden sekä maa- ja metsätalouden materiaaleja, joita tulee toiminnan sivutuotteina ja jätteinä, voidaan hyödyntää esimerkiksi lannoitteina tai lannoitteiden raaka-aineina. Näiden sivutuote- ja jätemateriaalien käytölle lannoitteina tai lannoiteraaka-aineina on kuitenkin lainsäädännön asettamia rajoitteita. Mitä tahansa materiaalia ei voida käyttää mihin tahansa lannoitekäyttöön. Esimerkiksi ympäristönsuojelun näkökohdasta luonnolle haitallisia aineita sisältäviä lannoitteita ei voida levittää pelloille ja terveydellisistä näkökohdista katsoen viljeltäviin elintarvikkeisiin tai eläinten rehuun ei saa päätyä haitallisia aineita lannoitteista. Siksi lainsäädäntö säätää erilaisia rajoituksia lannoitteille ja niiden valmistuksen raaka-aineille.

Kasvilannoitteina ja -ravinteina käytetään kasveille hyödyllisiä alkuaineita tai yhdisteitä sisältäviä materiaaleja. Kasveille hyödyllisiä aineita ovat mm. typpi, fosfori, kalium ja useat hivenaineet helposti kasvin käytettävissä olevissa yhdisteissä. Siten kaikki teollisuuden tai maa- ja metsätalouden sivutuotteet ja jätteet eivät sovellu lannoitevalmistukseen. Hyödynnettävien sivuvirtojen tulee sisältää hyödyllisiä alkuaineita tai yhdisteitä ja olla muutettavissa sopiviksi tuotteiksi kannattavalla tavalla. Jotkin materiaalit sopivat lannoitevalmistukseen, vaikka niillä ei olisi lannoitevaikutusta, koska niillä voidaan muokata esimerkiksi lannoitetuotteen maanparannusominaisuuksia.

Tämän raportin ensimmäisessä osassa esitetään yleisellä tasolla lannoitteiden valmistamiseen ja käyttöön liittyviä lainsäädännön määräyksiä ja rajoituksia sille, mitä lannoitteiden valmistuksessa voidaan käyttää lähtöaineina, kuinka lannoitteet luokitellaan eri ryhmiinsä ja mitä laatuvaatimuksia eri lannoitteille asetetaan. Lait voivat olla kansallisia tai EU-tasoisia lakeja, asetuksia tai määräyksiä. Viimeisimmät tiedot kansallisen ja EU-tason lainsäädännöstä saa maa- ja metsätalousministeriöstä. Raportointi pohjautuu laajasti maa- ja metsätalousministeriön sekä Ruokaviraston Internet-sivujen tietoihin. Lainsäädäntöä tai määräyksiä ei esitetä tässä kattavasti, vaan tarkoitus on luoda katsaus siihen, millaisia tuoteluokitukset ovat, millaisia raaka-aineita tuotteiden valmistukseen voi käyttää ja mitä tuotteilta yleisesti vaaditaan.

Lainsäädäntökatsauksen jälkeen raportissa nostetaan esiin kiertolannoitteiden käyttöönottoon ja valmistukseen liittyviä esteitä ja haasteita, eli ns. pullonkauloja, joita on nostettu esille tutkimuksissa ja alan toimijoiden haastatteluissa. Raportin jälkimmäinen puolisko koostuu katsauksesta kierrätyslannoitteiden valmistusprosesseihin sekä Keski-Pohjanmaan alueella kiinnostavaan ravinnekierron ja energiaomavaraisuuden yhdistävään biomassojen käsittelyyn, eli biokaasutukseen ja sen potentiaaliin alueella. Raportointi on tehty osana Kiertolannoite-esiselvityshanketta, jonka on rahoittanut Keski-Pohjanmaan liitto Alueiden kestävä kasvun ja elinvoiman tukemisen määräraha (AKKE) -rahoituksesta.

## 2 LANNOITTEISIIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

Erilaisten lannoitetuotteiden lainsäädännön pohjana on lannoitelaki (711/2022) ja EU:n lannoitevalmisteasetus (2019/1009). Niillä on muun muassa tarkoitus yhdenmukaistaa EU-lainsäädäntöä, tuotelainsäädäntöä ja elintarviketekijun muuta lainsäädäntöä (Ruokavirasto 2023i). Lannoitelaisissa on määräyksiä lannoitevalmisteiden valmistuksesta, käytöstä, kuljetuksesta, varastoinnista, markkinoille saattamisesta, tuonnista ja viennistä. Lannoitelaki on korvannut lannoitevalmistelain (539/2006). (Ruokavirasto 2023g) EU:n asetus 2019/1009 on korvannut EY-asetuksen 2003/2003.

EU-direktiivi 76/116 määrää yksi- ja moniravinteisten ”ETY-lannoite”-merkinnällä markkinoitavien lannoitteiden koostumuksesta, tyyppinimistä (joista on kuitenkin jo luovuttu) ja tuotemerkinnöistä. Edellä mainittu direktiivi ei ole enää määrävä. EY-lannoitteita voidaan edelleen asettaa saataville markkinoille 16.7.2022 jälkeen, jos ne on saatettu markkinoille EY-asetuksen 2003/2003 mukaisesti ennen kyseistä päivämäärää. EY-asetuksen 2003/2003 mukaan päivämäärä, jolloin EY-lannoite ”saatetaan markkinoille”, on silloin, kun yksittäinen tuote

- 1) tosiasiallisesti toimitetaan joko maksua vastaan tai ilmaiseksi, tai
- 2) varastoidaan toimitusta varten, tai
- 3) on tuotu EU:n tullialueelle.

Nämä tuotteet voivat olla markkinoilla niiden viimeiseen käyttöpäivään asti. Kumotun lainsäädännön (lannoitevalmistelain) mukaisia tyyppinimillä varustettuja tuotteita voi valmistaa kansallisina tuotteina 31.12.2023 saakka ja saattaa markkinoille 31.12.2024 asti (Ruokavirasto 2023e). 16.7.2022 jälkeen valmistetut lannoitevalmisteet ovat EU:n lannoitevalmisteasetuksen ja Suomen lannoitelain mukaisia. (Ruokavirasto 2023b)

Lakimuutos ei koske eläinperäisistä raaka-aineista valmistettavia sivutuoteasetuksen (1069/2009) mukaisia tuotteita. Ne kuuluvat sivutuoteasetuksen piiriin. Eläinperäisten tuotteiden käsittelyn vaatimukset eivät ole muuttuneet lakimuutoksen mukana. (Ruokavirasto 2023e)

### 2.1 LANNOITELAKI (711/2022)

Lannoitelain tavoitteena on edistää hyvien ja turvallisten lannoitevalmisteiden tarjontaa, niiden käyttöä sekä niistä tiedottamista ostajille ja käyttäjille. Lannoitelakia sovelletaan myös lannan käyttöön lannoitevalmisteiden lisäksi. Lannoitelaki luokittelee lannoitevalmisteet tuoteluokkiin. Valmisteen komponentteina ja raaka-aineina käytettävät aineet määritellään ainesosaluokissa ja ainesosina. Lannoitelaki määrittelee suomalaisiksi (kansallisiksi) lannoitevalmisteiden tuoteluokiksi epäorgaaniset lannoitteet, orgaaniset lannoitteet, orgaaniset kivennäislannoitteet, kalkitusaineet, orgaaniset maanparannusaineet, epäorgaaniset maanparannusaineet, kasvualustat, biostimulantit ja lannoitevalmisteiden seokset.

Ruokavirasto määrittelee lannoitteen aineeksi tai valmisteeksi, joka on tarkoitettu edistämään kasvien kasvua tai parantamaan sadon laatua ja jonka vaikutus perustuu ensisijaisesti kasviraavinteisiin. ETY-lannoite taas on yhteisölainsäädännön mukainen ’ETY-LANNOITE’-merkinnällä varustettu epäorgaaninen lannoite tai kalkitusaine, joka on poistumassa käytöstä ja tilalle on jo tullut vastaavia CE-merkittyjä lannoitteita. [CE-merkitty lannoitevalmiste](#) tarkoittaa lannoitevalmisteasetuksen mukaan valmistettua lannoitevalmistetta, joissa voidaan käyttää CE-merkintää. (Ruokavirasto 2023j)

Edelleen Ruokaviraston määrittelyn mukaan kalkitusaineet ovat aineita tai valmisteita, jotka sisältävät kalsiumia tai magnesiumia, oksideja, hydroksideja, karbonaatteja tai silikaatteja ja ne on tarkoitettu korjaamaan maaperän happamuutta. Maanparannusaineilla tarkoitetaan aineita tai valmisteita, jotka on tarkoitettu parantamaan maan tai kasvualustan fysikaalista tai kemiallista ominaisuutta, rakennetta tai biologista aktiivisuutta ja joiden vaikutus perustuu pääasiassa muihin vaikutuksiin kuin kasviraavinteisiin. Maanparannusaineet voivat sisältää ravinteita. Kasvualustat taas ovat kasvien ja sienten kasvatukseen tarkoitettua kiinteää tai nestemäistä ainetta tai valmistetta, joihin on tai voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita, kuten lannoitteita ja kalkitusaineita ja joka on muuta kuin paikan päällä olevaa maa-ainesta. Biostimulantit ovat valmisteita, jotka kiihdyttävät kasvin ravinteiden ottoa. Niiden ainoana tarkoituksena on parantaa kasvin tai kasvin ritsosfääriin ravinteiden hyväksikäytön tehokkuutta, abioottisen stressin kestävyttä, laatuominaisuuksia tai maaperään tai ritsosfääriin sitoutuneiden ravinteiden saatavuutta. Lannoitevalmisteiden seos on valmiste, joka koostuu kahdesta tai useammasta lannoitevalmisteesta ja jonka jokainen seoksen osana oleva lannoitevalmiste täyttää kyseiselle tuoteluokalle asetetut vaatimukset. (Ruokavirasto 2023j)

Lannoitevalmisteet tehdään ainesosista, joiden on sisällyttävä Ruokaviraston julkaisemaan ainesosaluetteloon, johon lannoitevalmisteen valmistajat voivat hakemuksella lisätä uusia ainesosia tai niitä voidaan poistaa siitä.

Ruokaviraston ainesosaluettelossa oli kesällä 2023 yksitoista ainesosaluokkaa:

1. ensiomateriaaleista koostuvat aineet ja seokset,
2. kasvit, kasvien osat ja kasviuutteet,
3. komposti,
4. mädäte,
5. eläimistä saatavat sivutuotteet,
6. teollisuuden sivutuotteet,
7. EEJ-ainesosat (ei enää jätettä -ainesosat),
8. tuhkat ja kuonat,
9. pyrolyysihili,
10. käsitelty jätevesiliete ja
11. teollisuuden jätejakeet.

Ainesosaluettelo sisältää eri ainesosia koskevia yleisiä ja aineen käsittelyvaatimuksia, jos niitä on olemassa. Lannoitelaki määrää myös valmisteiden merkintävaatimuksista, esimerkiksi fosfori-, kalium-, kalsium-, natrium-, magnesium- ja rikkipitoisuudet on ilmoitettava alkuaineina.

Lannoitelaki määrää lisäksi lannoitevalmisteiden pakkaamisesta, toiminnanharjoittamisesta, toiminnan ilmoitusvelvollisuudesta, laatujärjestelmästä, vaatimustenmukaisuuden arviointilaitoksista, viranomaisten tehtävistä, valvonnasta ja hallinnollisista pakkokeinoista ja seuraamuksista.

Lannoitteiden tyyppinimistä on luovuttu ja se antaa paremmat mahdollisuudet uusien lannoitevalmisteiden kehittämiseen ja myymiseen. Valmistustoiminnalta edellytetään valmistajan omaa laatujärjestelmää, valmistajilla on enemmän omaa vastuuta toiminnastaan, ja orgaanisten lannoitevalmisteiden laitoshyväksyntävelvoite sekä viranomaisten ennakkohyväksyntä valmistustoiminnalle poistuvat. Maa- ja metsätalousministeriön valmisteilla olevat asetukset antavat yksityiskohtaisempia vaatimuksia toiminnalle ja tuotteille. (Ruokavirasto 2023i)

Uuden lannoitelain mukaan fosforin käyttöön liittyvät vaatimukset laajenevat eli koskevat nyt myös viher- ja ympäristörakentamista sekä viljelijöitä, jotka eivät ole fosforinkäytön ympäristökorvauksia koskevien rajoitusten piirissä. (Ruokavirasto 2023i) Fosforin käyttömääristä lannoituksessa säädetään valtioneuvoston asetuksessa 64/2023. Asetus koskee fosforin käyttöä eikä sinällään rajoita lannoitetuotteiden valmistamista. (Ruokavirasto 2023g) Asetuksessa esitetään eri lannoitteiden käyttömäärät erilaisilla maalajeilla ja eri viljavuusluokissa, kuinka eri kierrätyslannoitteiden fosforimäärät huomioidaan fosforin laskennassa ja kuinka joitakin laskennallisia korjauksia fosforimääriin tehdään eri lannoitustapauksissa.

## 2.2 EU:N LANNOITEVALMISTUSASETUS (2019/1009)

EU:n lannoitevalmisteasetus määrää, mihin tuoteluokkiin lannoitevalmistaja voi määrittellä tuotteensa. Valmistaja saa päättää markkinoille saatettavan lannoitevalmisteen tuoteluokasta itse, mikäli se sopii ominaisuuksien perusteella useampaan tuoteluokkaan. Lannoitevalmisteasetus määrittelee lannoitevalmisteiden toimintoperusteiset tuoteluokat (PFC) (kuten lannoitelakikin) alaluokitteluineen ja kunkin luokan tuotevaatimukset, kuten haitta-aineiden raja-arvot (tyypillisesti ilmoitetaan alkuaineet Cd, Cr(VI), Hg, Ni, Pb, As), patogeeniraja-arvot, ravinteille asetetut raja-arvot ja niin edelleen. Liitteessä 2 on määritelty ainesosaluokat ja niiden vaatimukset. Tässä asetuksessa ainesosaluokkia on 15 eli enemmän kuin Ruokaviraston luettelossa. Suomessa valmistettavan lannoitevalmisteen on täytettävä sekä Ruokaviraston luettelon että lannoitevalmisteasetuksen liitteen 2 vaatimukset ainesosilleen. Liitteen 2 vaatimukset koskevat esimerkiksi ainesosien prosessointivaatimuksia, PAH-yhdistepitoisuuksien raja-arvoja, toksisuuskokeita, alkuainepitoisuuksia, laadunvalvontaa ja testausmenetelmiä.

Lannoitevalmisteasetus määrää myös eri toimijoiden velvollisuuksista lannoitevalmisteiden tuotannossa, jakelussa ja laadunvalvonnassa. Lannoitevalmistaja voi valmistaa lannoitteita joko kansallisille tai eurooppalaisille markkinoille tai molempiin. Vain suomalainen lainsäädäntö tulee täyttää valmistettaessa lannoitevalmisteita Suomen markkinoille. Eurooppalaisille markkinoille tarkoitettujen lannoitteiden on oltava CE-merkittyjä ja valmistajan on ilmoitettava toiminnastaan Ruokavirastolle, mutta CE-merkittyjen tuotteiden valmistus ei tarvitse Ruokaviraston hyväksyntää erikseen. (Ruokavirasto 2023b)

Lannoitevalmiste voi olla kansallisen tuoteluokan tai EU:n lannoitevalmisteasetuksen liitteessä 1 mainitun tuoteluokan (PFC) mukaisesti valmistettu. Lannoitevalmisteiden seos voi sisältää sekä kansallisen että EU-lannoitevalmistelainsäädännön mukaisia tuoteluokkia. Tällainen seos on kuitenkin kansallisen lannoitelainsäädännön mukainen, eikä sitä voi markkinoida CE-merkittynä lannoitevalmisteena. (Ruokavirasto 2023n)

Lannoitevalmisteasetuksen liitteen 3 ilmoittamien eri tuoteluokkien vaatimusten mukaiset pakkausmerkinnät voidaan tehdä kaikille tuotteille Euroopan komission tiedonannon (2021/C 119/01) ohjeiden mukaan. Tiedonannossa esitetään kunkin tuoteluokan tuotteille tuoteseloste-esimerkkejä siitä, miten tiedot tuotteesta esitetään. CE-merkittyyä tuotetta voidaan valmistaa pakattuna tai pakkaamattomana, mutta tuotteen mukana on oltava aina tunnistetiedot ja tuoteselostetiedot (Ruokavirasto 2023b).

Euroopan komission delegeoitu asetus 2022/973 täydentää lannoitevalmistusasetusta vahvistamalla joidenkin ainesosaluokkien sivutuotteiden maataloudellista tehoa ja turvallisuutta koskevia kriteereitä eli asettaa raja-arvoja ja ilmoitusvelvollisuuksia lannoitevalmisteiden sisältämille haitta-aineille.

## 2.3 MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖN ASETUS LANNOITEVALMISTEISTA (24/11)

Tarkemmat säännöt eri tuoteluokkien pitoisuuksien merkinnöistä ja ilmoitustavasta lannoitevalmisteiden tuotepakkauksissa on MMM:n (Maa- ja metsätalousministeriön) asetuksessa lannoitevalmisteista. Lisäksi asetuksessa säädetään valmisteiden pakkaus-, kuljetus-, varastointi-, käyttö- ja muista vaatimuksista. Edelleen asetus määrää Cd-, As- ja Se-pitoisuusrajoista eri tuotteissa, räjähtämättömyyskokeesta sekä joistakin lannoitteiden käyttörajoituksista. Asetuksen liitteenä 1 on lannoitelain tuoteluokkien pitoisuus- ja raaka-aine-vaatimuksia, liitteenä 2 on sivu- ja hivenaineiden vähimmäispitoisuudet sekä luettelot sallituista orgaanisista aineista ja liitteenä 3 on esitetty sallitut poikkeamat tuoteselosteen pitoisuuksissa eri tuoteluokille. Liitteessä 4 on esitetty sallitut haitta-aine-, eliö- ja epäpuhtauspitoisuudet. (MMM 2023a)

EU-komission päätös 2006/348/EY rajoittaa Suomessa käytettävien lannoitteiden kadmiumpitoisuuden muuta EU-aluetta alhaisemmaksi ympäristön ja ihmisten terveyden suojelemiseksi.

Eläimistä saatavien sivutuotteiden käytöstä lannoitteiden valmistukseen määräävät EU:n sivutuoteasetus 1069/2009 eläinperäisten raaka-aineiden terveysnäkökohdista (joka kumosi aiemman sivutuoteasetuksen 1774/2002), EU-täytäntöönpanoasetus 142/2011, Suomen kansallinen sivutuotelaki 517/2015 ja kansallinen maa- ja metsätalousministeriön asetus 783/2015. Edelliset lait ja asetukset määräävät kaikesta muusta eläinperäisen aineksen hyötykäytöstä paitsi ihmisravinnoksi tarkoitetuista eläinperäisistä tuotteista.

Lannoitelaki ja lannoitevalmistusasetus saattavat määrätä poikkeavia raja-arvoja erilaisille haitta-aineille lannoitevalmisteissa muun muassa tuhkalannoitteille, metsälannoituksessa käytettäville lannoitteille tai muille lannoitteille silloin kun tietyistä alkuaineista on puutetta lannoituskohteessa. Tautia aiheuttavien tai indikoivien mikro-organismien määriä on rajoitettu muun muassa kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa lannoitteissa. Lisäksi lannoitevalmisteet eivät saa sisältää kasvinterveyttä uhkaavia kasvintuhoajia (tiettyjä organismeja, sieniä, bakteereja, fytoplasmoja tai viruksia). (Ruokavirasto 2023c)

## 2.4 EU:N SIVUTUOTEASETUS (1069/200)

Sivutuoteasetuksen määräyksillä pyritään minimoimaan ihmisten ja eläinten terveysriskejä eläimistä saatavista sivutuotteista ja suojelemaan elintarvike- ja rehuturvallisuutta. Asetus koskee tuotteita, joita ei lainsäädännön mukaan saa käyttää ihmisravinnoksi. Asetus sisältää määräykset siitä, miten eläimistä saatavia sivutuotteita pitää käsitellä. Asetus koskee sivutuotteiden keräämistä, kuljetusta, käsittelyä, jatkokäsittelyä, muuntamista, jalostamista, varastointia, markkinoille saattamista, jakelua, käyttöä ja hävittämistä. Asetus määrää toimijoiden tai laitosten rekisteröinnistä, laitosten hyväksynnästä ja hygieniavaatimuksista ja omavalvonnasta. Asetuksessa käsitellään neljä eri sivutuoteryhmää: muiden tuotantoeläinten, kuin turkiseläinten ruokintaan tarkoitettujen tuotteiden, orgaaniset lannoitteet ja maanparannusaineet, muun lainsäädännön alaiset säännellyt johdetut tuotteet ja muut johdetut tuotteet. Asetus vaatii myös alan toimijoiden rekisteröintiä ja hyväksymistä ennen toiminnan aloittamista. Ruokavirasto julkaisee sivutuoteasetuksen mukaisten rekisteröityjen laitosten luettelon (Ruokavirasto 2023l).

Sivutuoteasetuksen mukaan eläimistä saatavista raaka-aineista valmistetuille tuotteille, esimerkiksi lannoitteille, tulee määrittää tuotteen valmistusketjun päätepiste, jonka jälkeen tuote ei ole enää sivutuoteasetuksen alainen. Eläimistä saatavia tuotteisiin sopivia aineita ja materiaaleja ovat muun muassa liha- ja luujauho, lihaluujauho, eläinten veri, hydrolysoitujen proteiinien, käsittelylanta, komposti, biokaasun mädätteet, höyhenjauho, glyseriini, biodieselin ja uusiutuvien polttoaineiden valmistuksesta johdetuista aineksista valmistettujen tuotteiden, lemmikkieläinten ruoka, rehu ja koiran

puruluut, tuotteet, jotka on johdettu eläinten verestä, vuodista ja nahoista, kaviosta ja sarvista, lepakoiden ja lintujen guanosta, villasta ja karvasta, höyhenistä ja untuvista ja sianharjaksista.

Eläimistä saatavat sivutuotteet luokitellaan eri luokkiin terveystarvikkeiden vakavuuden perusteella. Eläimistä saatavia asetuksen kattamia materiaaleja ei poisteta asetuksen piiristä, mutta niiden luokitus voi muuttua. Luokat ovat 1, 2 ja 3 siten, että luokan 1 materiaaleilla on suurin terveystarvike ihmisille tai eläimille. Esimerkiksi lanta kuuluu luokkaan 2 ja sulat, höyhenet, munat ja munankuoret luokkaan 3.

## 2.5 EU-TÄYTÄNTÖÖNPANOASETUS (142/2011) ELÄIMISTÄ SAATAVISTA SIVUTUOTTEISTA

Tämä täytäntöönpanoasetus vahvistaa sivutuoteasetuksen täytäntöönpanotoimenpiteet. Asetuksessa luetellaan ne johdetut eläinperäiset tuotteet, joiden markkinoille saattamisessa ei ole rajoituksia (biodiesel, käsitelty lemmikkieläinten ruoka, puruluut, sorkka- ja kavioläimien vuodat ja nahat, villa ja karva, sulat, höyhenet ja untuva sekä turkis). Lisäksi määrätään eläinperäisten raaka-aineiden käsittelylaitoksista, raaka-aineiden hävittämisestä ja käytöstä sekä eri riskiluokkiin kuuluvien raaka-aineiden sallituista käyttökohteista esimerkiksi eläinten ruokintaan. Edelleen asetus määrää käsittelylaitosten rekisteröinnistä ja hyväksynnästä, tuotteiden (kuten orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden) markkinoille saattamisesta ja käytöstä, välituotteista sekä tuonnista, kauttakuljetuksesta ja viennistä sekä toiminnan valvonnasta. Asetuksen liitteessä 1 on asetuksen termien selitykset, liitteessä 11 lanta- ja lantajohdannaisten sekä orgaanisten maanparannusaineiden määräyksiä ja kuljetusasiakirjamalli, liitteessä 12 määräyksiä välituotteista, liitteessä 15 raaka-aineiden terveystodistusten mallit tuontia ja vientiä varten ja liitteessä 16 tietoja toimijoiden ja hyväksytyjen laitosten luetteloista.

Luokan 2 lihaluujauhon tai luokan 3 käsitellyn eläinvalkuaisen käyttö lannoitevalmisteissa vaatii visuaalisesti erottuvan merkkiaineen lisäämistä lannoitevalmisteeseen, jotta lannoitevalmistetta ei vahingossa käytetä eläinten rehuna vaan maaperälannoitteena siellä, minne tuotantoeläimet eivät pääse. Tällaisia käyttökohteita ovat muun muassa maisemointi, viherrakentaminen, puutarhatalous ja kotipuutarhat. (Ruokavirasto 2023a)

## 2.6 LAKI ELÄIMISTÄ SAATAVISTA SIVUTUOTTEISTA (517/2015)

Suomen kansallinen laki eläimistä saatavista sivutuotteista panee täytäntöön EU:n sivutuoteasetuksen. Laki sisältää määräyksiä sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden käyttöön ja hävittämiseen usein EU:n sivutuoteasetukseen viitaten. Lisäksi määritellään toimijoiden ja laitosten rekisteröinnistä ja hyväksymisestä, toiminnan harjoittamisesta, valvontaviranomaisista ja valvonnasta sekä mittauslaboratorioista ja pakkokeinoista ja rangaistuksista. Muutoksia edelliseen lakiin on annettu laissa 1118/2022 eläimistä saatavista sivutuotteista annetun lain muuttamisesta.

## 2.7 MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖN ASETUS 783/2015

Tämä asetus täydentää kansallista lakia (517/2015) ja määrää sivutuotteiden käytöstä eläinten ruokintaan sekä sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden hävittämisestä. Syrjäiset alueet sivutuotteiden hävittämisen yhteydessä on määritelty tässä asetuksessa. Muutoksia tähän asetukseen annetaan MMM:n asetuksessa 1142/2022 asetuksen 783/2015 muuttamiseksi. (MMM 2023a)

## 2.8 LANNAN KÄYTTÖ LANNOITEVALMISTEISIIN

Kun tuotantoeläinten lantaa tuotteistetaan ja markkinoidaan lannoitevalmisteena, toimija tarvitsee tuotannolle sivutuoteasetuksen mukaisen laitoshyväksynnän ja toimijalla on toiminnan ilmoitusvelvollisuus lannoitelain mukaan. Alkuperäisen lannan luovuttajan tai myyjän ei tarvitse ilmoittautua valvontarekisteriin, mutta on pidettävä kirjaa luovutetusta lantamäärästä, ajankohdasta ja vastaanottajasta. Lanta ei saa sisältää vakavan tartuntataudin leviämiskäynnä. Lannasta tehdyllä tuotteella on oltava tuoteseloste ja sen on täytettävä lainsäädännön laatuvaatimukset. Tyyppinimiluettelossa (joka ei ole enää määrävä) lannasta valmistettavia lannoitteita nimitetään muun muassa maanparannuskompostiksi, mädätysjännökseksi, lantaseokseksi tai kuivarakeeksi. (Ruokavirasto 2023h)

Kun lantapohjainen lannoitotuote markkinoidaan vain Suomeen, sen valmistamiseen riittävät kansalliset vaatimukset, jotka perustuvat taudinaiheuttajien vähenemiseen ja hukkakauran hävittämiseen. Käsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi kompostointi siten, että lämpötila on yli 55 Celsiusastetta 14 vuorokauden ajan, mädätys meso- tai termofiilisessä biokaasureaktorissa tai kuumennuskäsittely kuivarakeiksi tai -jauheeksi, joiden kosteus on enintään 10 %. Käsittelyn jälkeisille salmonella- ja E. coli -bakteerimäärille on annettu raja-arvot. (Ruokavirasto 2023h)

Suomen ulkopuolelle markkinoitavilla lantapohjaisilla lannoitetuotteilla on voimassa sivutuotelaki ja lämpökäsittelyssä lämpötilan on oltava vähintään 70 °C vähintään 60 minuuttia tai muu kokeiltu ja validoitu lämpötilaohjelma. Salmonella- ja E. coli -bakteerimäärävaatimukset ovat samat kuin edellä. Lannan poltosta saatavaa tuhkaa voidaan myös käyttää lannoitevalmisteissa.

Valtioneuvoston asetus 1250/2014 (niin sanottu nitraattiasetus) määrää lannan käytölle raakalannoitteena pelloilla ja lannan varastoinnille rajoituksia lannan sisältämän nitraatin (typen) määrän rajoittamiseksi maaperässä, vesistöissä ja ilmassa. Varastointimääräykset voivat koskea myös kierrätyslannoitevalmisteita valmistavia laitoksia. Asetuksen taustalla on EY-direktiivi 91/676 vesien suojelemisesta maatalouden käyttämien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta.

## **2.9 EU:N JÄTEDIREKTIIVI (2008/98) JA JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN SUOMEN LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ**

EU:n jätedirektiivi 2008/98 esittää määräyksiä ja suosituksia jätteiden määrän vähentämiseksi käyttämällä eri tuotantoaloilla raaka-aineina muiden toimialojen sivutuotteita ja jätteitä. Jätedirektiivi antaa kehykset sille, mihin luokkiin jätteitä luokitellaan, mihin niitä voidaan käyttää raaka-aineena, kuinka jätteiden haitta-aineita mitataan ja kuinka jätteiden jätestatus voidaan poistaa.

Lisäksi jätteiden hyödyntämisestä on valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021, jonka liitteinä on jäteluokittelutaulukko, esityksiä jätteiden hyödyntämismahdollisuuksista ja loppukäsittelystä sekä määräyksiä yhdyskuntajätevesilietteen laadun määrittämisestä. Asetus esittää myös yhdyskuntajätteen hyödyntämistavoitteita ja uudelleenkäyttöä sekä esim. käymäläjätteiden ja yhdyskuntajätevesilietteen käsittelyvaatimuksia ennen kuin sellaista jätettä voidaan käyttää lannoitteena. Lisäksi asetus määrää jätehuollon toimijoiden vastuista ja velvoitteista, hyväksynnästä toimijoiksi ja rekisteröinnistä. Valtioneuvoston asetus 843/2017 eli ns. MARA-asetus määrää lisäksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa, esittää hyödyntämiskelpoiset jätelajit ja esittää raja-arvot jätteiden haitta-aineille ja määrää jätteiden näytteenotosta ja analyysistä. Asetus antaa edellytykset joidenkin jätteiden käyttöön maanrakentamisessa ilman ympäristölupaa ja määrää jätteen käytön laadunhallintajärjestelmästä. Aiempi MARA-asetus oli valtioneuvoston asetus 591/2006. MARA-asetuksesta on julkaistu soveltamisohje jätteiden hyödyntäjille.

## **2.10 EU-DIREKTIIVI YMPÄRISTÖN, ERITYISESTI MAAPERÄN, SUOJELUSTA KÄYTETTÄESSÄ PUHDISTAMOLIETETTÄ MAANVILJELYSSÄ (86/278)**

Erilaisista jätevesi- ja muiden puhdistamolietteiden käytöstä maanviljelyyn luonnon tai ihmisten terveyden suojelemiseksi on säädetty EU-direktiivi 86/278 (ns. puhdistamoliettedirektiivi) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetukset 12/12 ja 7/13. Niissä säädetään muun muassa viljelymailla lannoitukseen käytettyjen puhdistamolietteiden ja viljelymaan sallittuista raskasmetallipitoisuuksista. Eritellyt raskasmetallit ovat kadmium, kupari, nikkeli, lyijy, sinkki, elohopea ja kromi. Lisäksi tulee mitata kuiva-aine, orgaaninen aine, pH-arvo, tyyppi ja fosfori. Lisäksi direktiivissä säädetään lietteen käytön jälkeisistä varoajoista ennen ravintokasvien kasvatusta sekä lietteen ja maaperänäytteiden alkuainemäärittämisistä.

Jätevesiliete tulee käsitellä kompostoimalla, mädättämällä tai kalkkistabiloimalla ennen käyttöä lannoitteena. Jätevesilietteenä luetaan yhdyskuntajätevesi- ja sakokaivolietteet, kiinteistö- ja maatilakohtaiset jätevedenkäsittelyjärjestelmän lietteet, kuivakäymäläjätteet ja muiden jätevedenpuhdistamoiden lietteet. (Ruokavirasto 2023d)

Haitta-aineiden raja-arvot lannoitevalmisteille koskevat myös jätevesiliettestä valmistettuja lannoitteita. Lisärajoitteita raja-arvoille ja lannoitteiden levittämiseksi on annettu muun muassa lannoitevalmisteille, joiden raaka-aineista yli 10 % on jätevesilietettä. Viljelymaan pH-arvon on oltava riittävän korkea jätevesi-lietepohjaisen lannoitteen levittämiseksi, ja vain tiettyjä viljelykasveja (joita ei käytetä ravinnoiksi tuoreena, joiden maanalaista osaa ei syödä tai jotka kasvatetaan eläinten rehuksi) saa kasvattaa. Muita viljelykasveja saa kasvattaa viiden vuoden päästä siitä, kun tällaisen lannoitevalmisteen käyttö pelloilla on lopetettu. Jätevesilietteen metsälevitys on kiellettyä. (Ruokavirasto 2023d)

Jätevesilietepohjaisten lannoitevalmisteiden mukana on oltava tiedot käytetyn lietteen käsittelyprosessista, lietteen käytöstä tehdyt sopimukset, lietteen vastaanottajan tiedot ja käyttöpaikan tiedot ja viljelymaan laatua kuvaavat määrätyt ominaisuudet. (Ruokavirasto 2023d)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 11/12 lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta säätää toiminnanharjoittajan ilmoitusvelvollisuudesta ja joidenkin toiminnanharjoittajien eläinperäisiin sivutuotteisiin liittyvästä tiedostonpitämis-, omavalvonta- ja ennakoilmoitusvelvollisuudesta, rekisteröinnistä, laboratoriohyväksynnästä, lannoitevalmisteiden sisämarkkinakaupasta ja maahantuonnista koskien lannoitevalmisteita. Joitakin muutoksia tai kumoamisia edelliseen asetukseen antavat MMM:n asetukset 13/15 ja 22/15.

Tuotelainsäädäntöön liittyviä lakeja ja asetuksia, joiden sisältöön ei perehdytä tässä tarkemmin, ovat muun muassa seuraavat:

- laki eräiden tuotteiden markkinavalvonnasta 1137/2016,
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1020 markkinavalvonnasta ja tuotteiden vaatimustenmukaisuudesta,
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) 765/2008 akkreditoinnin vaatimusten vahvistamisesta ja Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/515 kaupallisten tavaroiden vastavuoroisesta tunnustamisesta.

## 2.11 LUOMUTUOTTEIDEN VALMISTUKSEEN SOVELTUVAT LANNOITEVALMISTEET

Lannoitevalmisteille ei ole Suomessa erillistä hyväksyntämenettelyä. Luomutuotantoon käytettävien lannoitevalmisteiden tulee täyttää lannoitevalmisteita koskeva lainsäädäntö sekä lantaa ja sen käsittelyä koskeva lainsäädäntö. Ravintovirasto pitää yllä luetteloa luomutuotantoon soveltuvista lannoitevalmisteista, mutta valmisteluettelo ei ole kattava vaan muitakin sopivia lannoitevalmisteita voi olla markkinoilla ja voidaan valmistaa. Soveltuvuus luomutuotantoon arvioidaan lannoitteen koostumuksen perusteella. (Ruokavirasto 2023k) Luonnonmukaisesta tuotannosta on annettu EY-asetus 889/2008, mutta se ei määrää erityisesti mitään luomutuotannossa käytettävien lannoitteiden koostumuksesta.

## 2.12 TUHKALANNOITTEET

Joistakin raaka-aineista polttamalla saatavaa tuhkaa voidaan käyttää lannoitteena tai lannoiteraaka-aineena. Tuhkalannoitteiden valmistusta koskevat samat määräykset kuin muidenkin lannoitteiden valmistusta. Tuhkan valmistuksen sallitut raaka-aineet ja vaatimukset tuhkan tai kuonan ominaisuuksille on esitetty EU:n lannoitevalmisteasetuksessa. Tuhkalannoitteen on täytettävä lannoitteiden laatuvaatimukset. Luovutettavalla tai myytävällä tuhkalannoitteella on oltava tuoteseloste. (Ruokavirasto 2023m)

Lannoitevalmistuksessa käytettävä tuhka voi muodostua kasviperäisistä raaka-aineista tai lannan poltosta. Tuhkaa muusta eläinperäisen materiaalin poltosta saa käyttää vain tuhkan valmistajan omien peltojen maaperän lannoitteena. (Ruokavirasto 2023m)

Kasviperäinen tuhka muodostuu turpeen, puuhakkeen, kuorijätteen, peltobiomassojen (ruokohelmi, olki, vilja, öljykasvit, paju ja järviruoko) ja tiettyjen sellu- ja paperiteollisuuden kuitua sisältävien kasviperäisten jätteiden poltosta. Lisäksi tietty A- tai B-luokan biopolttoaine (puupolttolaitoksen laatuohjeen mukaan) sopii tuhkan tuotantoon. Eläinperäinen tuhka muodostuu sivutuoteasetuksen mukaan hyväksytyissä polttolaitoksissa tai jätteiden polttamisesta annetun valtioneuvoston asetuksen 362/2003 mukaisista jätteenpolttolaitoksista. Lannoitevalmisteisiin saa kuitenkin käyttää vain lannan polton tuhkaa, kuten edellä on mainittu. (Ruokavirasto 2023m)

Rakeistettuun lannoitevalmisteeseen voidaan lisätä muita seosaineita tuotteen vaatimusten täyttämiseksi tai käytettävyyden parantamiseksi. Tuhkalannoitteiden haitta-aineiden (kuten boorin, kadmiumin ja arseenin) raja-arvot riippuvat käyttökohteista.

Lannoitevalmisteista määritetään useita ominaisuuksia ja ainepitoisuuksia tarpeen ja lannoitevalmistetyypin mukaan. Tavallisia tutkittavia ominaisuuksia ovat ravinnemäärät ja haitta-ainemäärät. Mitattavia pääravinteita ovat typpi, fosfori ja kalium, sivuravinteita puolestaan kalsium, magnesium, natrium ja rikki sekä hivenaineita boori, koboltti, kupari, rauta, mangaani, molybdeeni, sinkki, seleeni ja vanadiini. Sekä kokonais- että liukoisten ravinteiden pitoisuudet voidaan määrittää erikseen. Tavalliset analysoitavat haitta-aineet ovat kadmium, kromi, kupari, arseeni, elohopea, nikkeli, sinkki ja lyijy. Muita mitattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kalkitusaineiden neutralointikyky, nopeavaikutteinen neutraloiva kyky ja hienousaste sekä kasvualustojen ja maanparannusaineiden pH, johtokyky, tilavuuspaino sekä orgaanisen aineen määrä. (Ruokavirasto 2023f)

## 2.13 OPPAAT LANNOITEALAN TOIMIJOILLE

Lainsäädännön vaatimusten selventämiseksi ja alan toimijoiden toiminnan helpottamiseksi eri organisaatiot julkaisevat selventäviä oppaita ja soveltamisohjeita lainsäädännöstä. Tässä esitetään joitakin lannoitealan oppaita, joista voi olla enemmän apua kuin laajan lainsäädännön lukemisesta.

Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille (Tampio, Vainio, Virkkunen, Rahtola, Heinonen 2018) on Luonnonvarakeskuksen työryhmän julkaisu. Opas pyrkii ohjaamaan alan toimijoita löytämään tarvittavaa tietoa oikeista paikoista.

Oppaan taustalla oli valmistetuottajille suunnattu kysely toimijoiden tietotarpeista. Kysely lähetettiin 65 yritykselle, joista 26 vastasi kyselyyn. Oppaan sisältämä lainsäädäntö ei ole välttämättä täysin ajan tasalla. Opas sisältää tietoa kierrätyslannoitteiden raaka-aineista, prosessointimenetelmistä, lannoitevaikutuksesta, toiminnan aloittamiseen liittyvästä lainsäädännöstä, tuoteturvallisuudesta ja valmistuksen raja-arvoista, laatujärjestelmistä, tuotteiden markkinoinnista, varastoinnista, kuljetuksesta ja levityksestä sekä alan koulutuksesta. Oppaassa on muun muassa esimerkkeinä lupaprosessikaaviot biokaasulaitoksen, kompostointilaitoksen tai tuhkalannoitevalmistuksen käynnistämiseksi ja käyttämiseksi. Oppaan sisältämät kirjallisuusviitteet ovat hyviä lisätietolähteitä huomioiden, että viitteiden lainsäädäntö on myös vuodelta 2018 tai sitä edeltävää.

Oppaan mukaan yksi haaste kierrätyslannoitevalmisteissa on niiden hinnoittelu. Kivennäis- ja väkilannoitteiden hinnoittelu perustuu niiden ravinnemäärään mutta kierrätyslannoitteissa on usein paljon muitakin kuin perusravinteita. Tuotteilta vaaditaan kilpailukykyistä hintaa, tasalaatuisuutta ja ravinnetarpeen sekä laatukriteerien täyttämistä.

Ruokavirasto on julkaissut lannoitevalmistajille omavalvontaohjeen 'Omavalvontaohje lannoitevalmistealan toimijoille' (Evira 2012), joka on entisen Elintarvikevalvontaviraston ohje vuodelta 2012. Samantyyppinen Eviran ohje, joka on saatavana Ruokavirastosta, on 'HACCP-ohje sivutuoteasetuksen mukaan hyväksytyille ja hyväksyntää hakeneille biokaasu- ja kompostointilaitoksille' (Evira 2011). Näissä ohjeissa mainittu lainsäädäntö voi olla osin vanhentunutta.

'Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa' (ProAgria 2013) on Vesilaitosyhdistyksen julkaisu vuodelta 2020. Opas esittelee puhdistamolietteen käyttömahdollisuuksia lannoitevalmisteissa, soveltuvuutta viljelyyn, lietteen laadunhallintaa, lainsäädäntöä, lannoitus suunnittelua sekä lietteen käsittelyä ja hyödyntämistä.

Yksittäisten sako- ja umpikaivojen tai lietteiden yhteiskäsittelypisteiden kalkkistabilointiohjeen 'Sakokaivolietteen kalkkistabilointiohje' on julkaissut ProAgria (Pohjois-Karjala) vuonna 2015. Ohje on suunnattu yksityisille mutta sitä voidaan käyttää myös lannoitevalmisteiden kaupallisen tuotannon ohjeena. Kalkkistabiloitua lietettä voidaan käyttää peltolannoitukseen lainsäädännön käyttörajoitusten puitteissa. Ohjeessa on esitetty stabilointimenetelmän käyttö, viljelymaan raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot ja stabiloidun lietteen raskasmetallien raja-arvot sekä tietoja luvista ja lainsäädännöstä. (ProAgria 2015)

Eläimistä saatavien sivutuotteiden käyttöön, hävittämiseen ja lainsäädäntöön on kirjoitettu opas pienteurastamoille. Oppaan ovat toimittaneet Lehto (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta), Salminen (Maa- ja metsätalousministeriöstä), Valtari (Turun yliopistosta) ja Venelampi (Evirasta) (2015) Turun yliopiston Brahea-keskuksen valtakunnallisessa lähiruuan koordinaatiohankkeessa. Opas esittää pienteurastamoiden toimintaan liittyvän keskeisen lainsäädännön sivutuotteista, niiden säilytyksestä, merkitsemisestä, keräyksestä ja kuljetuksesta, varastoinnista ja hyödyntämisestä sekä hävittämisestä. Hyödyntämisessä esitetään mm. rehukäyttöä, teknistä käyttöä, kompostointia, mädätystä ja lannan käsittelyä. (Lehto, Salminen, Valtari, Venelampi 2015)

Kierrätyslannoitteiden ja muiden lannoitevalmisteiden valmistajille tietoa löytyy myös suoraan Ruokaviraston sekä maa- ja metsätalousministeriön sivuilta. Lannoitevalmisteiden tarpeesta, markkinoista ja valmistuksesta löytyy runsaasti tietoa muiden toimijoiden, kuten Luonnonvarakeskuksen tai Suomen ympäristökeskuksen tutkimuksista ja edelleen muista tutkimuslaitoksista ja yliopistoista.

## 3 PULLONKAULAT SIVUVIRTOJEN KÄYTTÄMISESSÄ KIERTOLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA JA LANNOITTEINA

Tässä luvussa käsitellään ensin yleisesti kiertolannoitteiden tai suoraan ravinteikkaiden sivutuotteiden valmistukseen ja käyttöön liittyviä pullonkauloja. Sitten esitetään tarkemmin alan toimijoiden ja muiden organisaatioiden tekemien haastattelujen ja kartoitusten perusteella tarkemmin niitä tekijöitä, joiden nähdään rajoittavan tai haittaavan ravinteikkaiden sivutuotteiden käyttöä.

### 3.1 SIVUVIRTOJEN KÄYTÖN RAJOITTEIDEN TAUSTAA

Kun ajatellaan sitä, että erilaisista tuotannon sivuvirroista saatavat ravinteet voisivat korvata varsin suuren osan ulkomailta tuotavista väkilannoitteista, voidaan pohtia, miksi sivuvirtojen ravinteita ei käytetä paremmin hyödyksi. Paremman hyötykäytön rajoitteita on usean tyyppisiä. Jotkut rajoitteet liittyvät sivuvirtojen ravinteiden sallittuihin käyttömääriin (lähinnä typen ja fosforin määriin) esimerkiksi maatalouden lannoitteina. Toisaalta rajoitteet saattavat liittyä lannoitevalmisteiden valmistusprosessien lainsäädännöllisiin vaatimuksiin. Nämä rajoitteet pyrkivät takaamaan puhtaiden lannoitevalmisteiden tuotannon, jolloin kierrätysraaka-aineista ei koidu haittaa maataloudelle tai elintarviketuotannolle (esimerkiksi ruoan laadulle). Osa rajoitteista voi johtua kierrätysraaka-aineiden imagosta. Tällainen on tilanne usein esimerkiksi yhdyskuntajätevesilietteiden käytössä ravinteiden kierrättämiseen. Alan tukiorganisaatiot, kuten tuotekehitystä tukevat rahoittajat ja lainsäätäjät, näkevät myös omalta kannaltaan joitakin pullonkauloja kiertolannoitteiden valmistuksen esteenä tai hidasteena.

Eri lannoitevalmistealan toimijoille on suunnattu vuosien ajan useita kyselyitä, joissa on selvitetty sitä, mitkä tekijät eri toimijoiden mielestä ovat tuotteiden kehittämisen ja käytön pullonkauloina ja kuinka sivuvirtojen ravinteiden kiertoa voitaisiin parantaa. Alan toimijoita ovat esimerkiksi maanviljelijät, lannoitevalmistajat, vesi- ja jätevesilaitokset, biokaasualan toimijat, jätteidenkäsittelijät, elintarvikealan toimijat, tuotevalmistustekniikoiden kehittäjät (tki-toimijat), investointitukiorganisaatiot ja alan lainsäätäjät.

### 3.2 KIERTOLANNOITTEIDEN VALMISTUKSEN PULLONKAULAT TUTKIMUSTEN PERUSTEELLA

Luonnonvarakeskuksen kyselyssä (Tampio, Vainio, Virkkunen, Rahtola, Heinonen 2018, 43-44) lannoitealan toimijat pitivät lainsäädäntöä ja valvontaa tarpeellisena. Viranomaisyhteistyötä pidettiin hyvänä. Jossakin määrin työlääksi katsottiin omavalvonnan järjestäminen. Lainsäädäntöä pidettiin joidenkin vastaajien mielestä vaikeaselkoisena. Sääntelyä pidettiin liian rajoittavana ja osittain liian raskaana. Toimijat toivoivat lisää mahdollisuuksia koulutukseen työn ohessa siten, että lähikoulutus tapahtuu iltaisin. Lisäksi alan toimijat toivovat viikonloppukursseja, sekä ylemmän, että alemman korkeakouluasteen koulutusta ja toisen asteen koulutusta. (Tampio ym. 2018, 68-69)

Fosforin talteenotossa jätevesistä vesilaitokset ja jätevedenpuhdistamot ovat arvioineet, että suurimmat muutokset nykyisiin prosesseihin tarvittaisiin, jos jätevesiliete poltetaan ja fosfori erotetaan tuhkasta. Myös saostetun fosforin erottaminen jätevesilietteestä vaatisi paljon muutoksia nykyisiin prosesseihin. (Tampio ym. 2018, 24) Fosforin hyödyntämistä kierrätyslannoitteissa haluttaisiin edistää runsaasti, sillä yli 90 prosenttia EU:ssa käytetyistä fosforilannoitteista tulee EU:n ulkopuolelta (Tampio ym. 2018, 31)

Kesällä 2023 on ollut valmisteilla asetus, jolla annetaan tarkempia säännöksiä lannoitelain (711/2022) mukaisten lannoitevalmisteiden laadusta, ainesosaluokista ja niiden laatuvaatimuksista, käytöstä, merkitsemisestä ja ravinnepitoisuuksista. (MMM 2023b) Asetusluonnoksen jätevesilietteiden käytön kahden vuoden varoaikaa myös käsitellyille (hygienisoiduille) lietteille on pidetty liian rajoittavana ja siihen on ehdotettu muutosta siten, että käsitellyillä jätevesilietteillä varoajat ovat eri tapauksissa yksi vuosi tai 30 vuorokautta.

Lisäksi valmistellun asetuksen mukaan tulisi voida käyttää lannoitteena myös alhaisia ravinnepitoisuuksia sisältäviä biokaasulaitosten mädätysjännöksiä, jotta biokaasulaitokset vastaanottavat sellaisia biomassoja tai raaka-aineita, joista saadaan runsaasti biokaasua alhaisesta ravinnepitoisuudesta huolimatta. (Pärkkä 2023)

Fosforipitoisen biomassan, erityisesti lannan, sisältämän fosforin saaminen entistä helpommin kuljetettavaan muotoon on tärkeää. Silloin lantafosforilla voitaisiin korvata suurempi osa fosforiväkilannoitteista, koska lannan sisältämä fosfori riittäisi koko maan lannoitefosforitarpeen tyydyttämiseen. Fosforin erottaminen jätevesilietteistä helposti hyödynnettävään muotoon ei ole vielä kannattavaa. (Tampio ym 2018, 32)

Materiaalien kierrättämistä voidaan edistää, jos jättemateriaaleja voidaan ottaa raaka-aineiksi kierrätyslannoitteisiin. Jätteen vaarattomuus ympäristölle täytyy ensin tutkia ja jätteen tulee saada jätteeksi luokittelun päättymisstatus. Jätteeksi luokittelun päättymisen kriteereitä ei ole tällä hetkellä olemassa orgaanisille materiaaleille, mutta ympäristöviranomaiset voivat tehdä jättestatuksen päättymispäätöksen tapauskohtaisesti. (Tampio ym. 2018, 38)

EU:n säätelyn alle tulevat lähitulevaisuudessa myös orgaaniset lannoitevalmisteet, jotka ovat tällä hetkellä EU:n lannoiteasetuksen ulkopuolella. Siten tulevaisuudessa orgaanisia lannoitevalmisteitakin voidaan myydä CE-merkinnällä. (Tampio ym. 2018, 44)

Tuotekehitystä erityisesti orgaanisille lannoitevalmisteille pitäisi kehittää siten, että tuotteiden ravinnepitoisuudet vastaavat tarkemmin kasvien ja maaperän ravinnetarvetta, jotta ylimääräiset ravinteet eivät aiheuta ylilannoittamista.

Lannoitealan toimijat ovat toivoneet tuotteiden markkinointiin lisää tukea ja osaamista, mutta resurssien puutteen koetaan vaikeuttavan tuen saantia. Jätevesilietteen negatiivinen imago lannoitevalmisteraaka-aineena nähdään ongelmana. Tutkimuksen lisäämistä on toivottu myös, koska tutkimustuloksilla saataisiin lisätietoa ja argumentteja viestintään ja markkinointiin. Valmistajien välinen yhteistyö voisi olla tiiviimpää, jolloin yhtenäisempi viestintä ja tiedonvälitys parantaisi tuotteiden markkinointia. Yhteisiä foorumeita, kuten Biolaitosyhdistys ry, toimijoille on kuitenkin olemassa. Tuotteiden niin sanottuun brändäykseen (tuotemielikuvien luominen) pitäisi panostaa enemmän. (Tampio ym. 2018, 59)

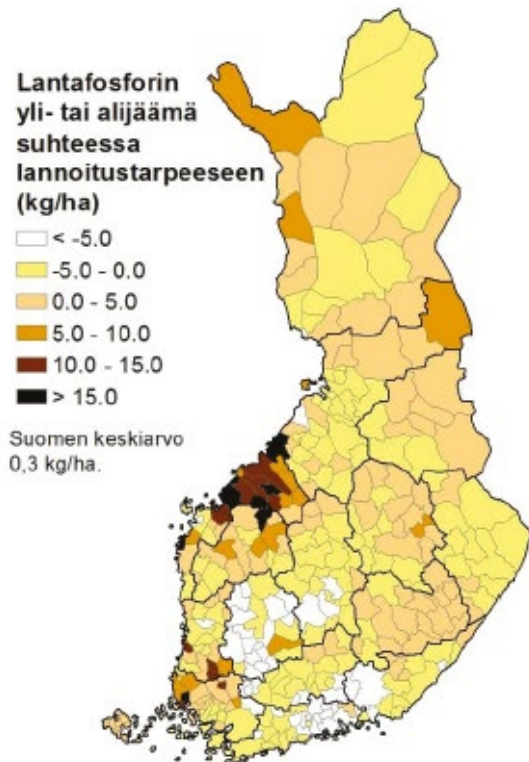
Lannoitevalmisteiden tuottajat näkevät kierrätyslannoitemarkkinat vielä kehittymättöminä. Kilpailu epäorgaanisten (väki)lannoitteiden kanssa on vaikeaa ja investoinnit tuotannon teknologioihin kalliita, mikä tuo kannattavuushaasteita toimintaan. Tuotteiden hinnoittelu jakaa tuottajien ja maanviljelijöiden mielipiteitä. Tuotteiden levitys ja varastointi ovat myös haastavia tehtäviä, koska lannoitteiden tyyppipitoisuus saattaa muuttua varastoinnin aikana ja osa tyypeistä haihtua heti levityksen jälkeen. (Tampio ym. 2018, 60)

Lannoitevalmistealalla lannoitevalmisteiden tuottajilla tulee olla osaamista yritys- ja maataloudesta, tuotantoteknologiasta ja markkinoinnista sekä luonnontieteistä. Nämä tulivat esille Luonnonvarakeskuksen kyselyssä alan toimijoille. (Tampio ym. 2018, 68)

Ravinteiden kierrätyksen ohjauskeinoja, joilla pyritään avaamaan tuotannon pullonkauloja, ovat kartoittaneet Luonnonvarakeskuksen Marttinen ym. (2017). Raportti kartoittaa biomassojen ja ravinteiden alueellista jakaumaa ja antaa suosituksia toimenpiteistä ravinnekierrätyksen parantamiseksi. Marttisen ym. (2017) mukaan tutkitut kierrätyskelpoiset biomassat sisältävät fosforia yli koko Suomen vuotuisen tarpeen, mutta alueellinen jakauma kasvien tyyppien tarpeen ja biomassojen välillä on ongelma. Viidesosa vuotuisesta väkilannoitetyypistä voitaisiin korvata kierrätysbiomassoista saatavalla tyypellä, jos kaikki liukoinen tyyppi saadaan kierrätettyä hyödyllisesti. Lanta on paras tyyppi- ja fosforilähde tutkimuksessa käytetyistä eri biomassalähteistä. Lantafosforia muodostuu runsaasti ylimäärin Pohjanmaan ja Merenkurkun saaristoalueilla. Kuva 1 esittää lantafosforin riittävyttä suhteessa kasvien fosforitarpeeseen (Marttinen, Venelampi, Iho, Koikkalainen, Lehtonen, Luostarinen, Rasa, Sarvi, Tampio, Turtola, Ylivainio, Grönroos, Kauppila, Koskiahon, Valve, Laine-Ylijoki, Lantto, Oasmaa, zu Castell-Rüdenhausen 2017, 13).

Fosforia ja tyypeä käytetään eniten maataloudessa mutta myös teollisuudessa niille on käyttökohteita. Teollisuussovelluksissa vaatimukset tuotteelle ovat tapauskohtaisia. Jos lannoitevalmisteita pitää kuljettaa pitkiä matkoja, tuotteiden vesipitoisuuden tulisi olla mahdollisimman pieni. Kilpailussa väkilannoitteita vastaan kierrätyslannoitteiden tulee olla tasalaatuisia ja edullisia, niiden saatavuuden tulee olla ennustettavissa ja tuotantomäärien tulee olla riittäviä. Puhdistamolietteiden osalta ravinteiden kierrätys on usein toissijaista ja ensisijainen prosessoinnin tarkoitus on lietteen haitattomaksi tekeminen ja kuljetettavuuden parantaminen. (Marttinen ym. 2017, 14)

Ohjauskeinot biomassojen ravinteiden käytön tehostamiseksi koskevat Marttisen ym. (2017, 23) raportissa pääosin maataloutta, koska maatalous on ravinnekierrätyksen avaintoimija suurten biomassaj- ja ravinnemäärien vuoksi ja koska ravinteita tarvitaan ruoantuotantoon ja kasvinviljelyyn.



© Luonnonvarakeskus

KUVA 1. Lantafosforin yli- tai alijäämä verrattuna kasvien fosforitarpeeseen. (Ylivainio, Sarvi, Lemola, Uusitalo & Turtola 2014, 28)

Nykyisissä ravinteiden kierrätyksen ohjauskeinoissa pullonkauloina nähdään Marttisen ym. (2017, 41) selvityksen mukaan mm. seuraavat asiat:

- ympäristönsuojelulain lupajärjestelmässä biokaasu- ja prosessointilaitosten lupaprosessit ovat raskaita ja grittäjille työläitä,
- nitraattiasetuksessa osa määräyksistä vaikeuttaa biomassojen varastointia vaikkakin asetus pakottaa mieltämään hyötykäyttötapoja lannalle; lisäksi lannan raaka-ainekäytölle on erityismääräyksiä, jotka voivat olla kierrätyksen pullonkaulana,
- lannoitelainsäädäntö on epäsystemaattinen ja mutkikas kokonaisuus ja hallinnolliset prosessit ovat kankeita, mikä voi karsia pieniä yrityksiä aloittamasta lannoitustuotevalmistusta ja
- ympäristökorvausjärjestelmässä typen ja fosforin lannoitusrajoja on syytetty pullonkaulaksi, järjestelmän käytössä on paljon byrokratiaa ja paperityötä.

Investointi- ja innovaatiotukien käytössä ei nähty grittäjien puolelta suuria pullonkauloja, mutta tukiorganisaatioiden puolelta on esitetty tiettyjä parannuksia toimintaan, kuten hankkeiden parempaa seuranta ja tulosten hyödyntämistä sekä monistettavuutta. (Marttinen ym. 2017, 44) Ympäristökorvausjärjestelmän on katsottu tukevan laimeiden ravintetuotteiden kierrätystä eikä siten tukevan innovaatioita tai investointeja ravinteiden kierrätyksen kehittämiseen. Valvonnan puutteina nähdään se, että maaperäanalysejä ja ravinnepöytälaskelmia tehdään paljon, mutta niitä ei käytetä tarpeeksi ravinnekierrätyksen ohjaukseen. (Marttinen ym. 2017, 24) Marttinen ym. esittää yksitoista erilaista ohjauskeinoa tai niiden muutosta biomassojen ja ravinteiden kierrätyksen edistämiseksi.

Kaustisen seutukunnan bioenergiatuotannon käynnistämisen pohjaksi tehdyssä kartoituksessa pullonkauloiksi biokaasulaitoksen käynnistämiseksi katsottiin tuotannon kannattavuuden epävarmuus, mikä vaikuttaa toiminnan rahoituskelppoisuuteen ja tarjontaan. Lisäksi jakeluverkosto puuttuu. EU keskittyy autoilun sähköistämiseen, mutta polttomoottoriautojen valmistamisen suunniteltu päättyminen vuoteen 2035 mennessä koskee myös kaasuautoja. Monet valmistajat ovat siirtyneet niiden valmistamisesta sähköautoihin. Sähkön ja lämmön tuotannossa tuotanto ja asiakkaat saattavat olla kaukana toisistaan. Edellisten lisäksi kysyntää heikentävät mm. poistunut kaasuautojen hankintatuki, biokaasun valmisteveron käyttöönotto vuoden 2022 alusta, biokaasun raaka-aineen saatavuuden kiristynyt tilanne laitospäämäärän kasvaessa ja jotkut muut tekijät. (Finnilä, Latvala, Pohjola 2022, 5)

Maatalousyrittäjät toivovat biokaasulaitosten suunnittelun tai toiminnan käynnistämisen perustaksi ajantasaista, kattavaa ja helposti saatavaa tietoa, selkeää tiedotusta biokaasulaitoksen perustamis- ja toimintatukimuodoista ja konkreettisia kannattavuuslaskelmia suunnittelun tueksi. Seudullisen kehittämisen tarpeita ovat mm. yhtäaikainen bio-kaasun tarjonnan ja kysynnän löytäminen ja kunnan hallinnoima jätteenkeräys biomassasyötemäärän lisäämiseksi. Yhteistyöverkoston ja toimijoiden välisten symbioosien luomista pidettiin myös tärkeänä. (Finnilä ym. 2022, 21)

Berningerin ym. mukaan ohjauksena fosforin talteen ottamista ja fosforilannoitevalmistamista varten tulee käyttää eri ohjauksena toimintaketjun eri vaiheissa ja aikoina. Kansallisen vuoropuhelun ja toiminnan suunnan määrittämisen jälkeen lannoitevalmistaja tarvitsee vapaaehtoisen sopimuksen kierrätysravinteiden käytön vaiheittaiseksi lisäämiseksi lannoitevalmistajissa ja tarkastuspisteet toimien arvioimiseksi. Julkinen rahoitus tulee käyttää tueksi koehankkeille ja uusien teknologioiden käyttöönottoon. Lietteen käsittelyyn ja kierrätyslannoitteiden valmistukseen toimintaketjun vaikuttavimpaan osaan tulee ohjata tukea. Erityisesti jätevesilietepohjaisten, mutta myös muiden fosforipitoisten kierrätyslannoitteiden jatkuvan hyvän laadun varmistuttua tulisi määrätä kierrätyslannoitteiden sekoitteleminen muihin lannoitevalmistajiin. (Berninger, Pihl, Kasanen, Mikola, Tynkkynen, Vahala 2017, 69)

## 4 KIERRÄTYSLANNOITEVALMISTEIDEN TUOTANTO JA VALMISTUSMENETELMÄT

### 4.1 BIOMASSAT KIERRÄTYSLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA

Kierrätyslannoitevalmisteisiin käytettävissä olevia raaka-aineita sekä niiden sisältämiä ravinteita on useita. Hyvän tiivistelmän kierrätyslannoitevalmisteiden raaka-aineiden saatavuuteen, prosessointimenetelmiin ja tuotteiden luokitteluun sekä lannoitevaikutukseen antaa esimerkiksi Luonnonvarakeskuksen Tampion ym. opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille (Tampio ym. 2018).

Opas erittelee raaka-aineet seuraaviin ryhmiin: elintarviketeollisuuden sivuvirrat (0,26 Mt), metsäteollisuuden lietteet (0,58 Mt), yhdyskuntajätevesiliete (0,67 Mt), biojätteet (0,8 Mt), ylijäämänurmet (1,5 Mt) ja kotieläinten lanta (17,3 Mt). Biomassoja on yhteensä noin 21,1 Mt, joista kierrätettävää fosforia saadaan 26 000 tonnia ja typpeä 95 000 tonnia, josta liukoista typpeä on 34 700 tonnia (Tampio ym. 2018, 11) Edellä mainitut numeroarvot pohjautuvat täysin Marttisen (2017) raporttiin.

Tampio ym. erittelee biomassojen käsittelytekniikat esikäsittelyyn, prosessointiin ja jatkojalostukseen. Esikäsittelyihin kuuluvat pääsääntöisesti seulonta, murskaus ja hygienisointi, mutta myös separointi, kuivaus ja esimerkiksi pakkausten poistaminen. Pääprosessointimenetelmiä ovat kompostointi, märkä- tai kuivamädätys sekä terminen kuivaus. Lisäksi jätevesilietteen käsittelymenetelmänä mainitaan kemiallinen hydrolyysikäsittely (Kemicond-käsittely) tai kalkkistabilointi. Jatkojalostusmenetelminä käytetään esimerkiksi jälkikompostointia tai hygienisointia. (Tampio ym. 2018, 15–23)

Mädätettä voidaan separoida kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi ja saatavaa nestejätettä edelleen strippata tai suodattaa. Nestejätettä pyritään väkevöimään (esimerkiksi fysikaalisesti suodattamalla tai haihduttamalla ja kemiallisesti strippaamalla tai kiteyttämällä). Kuivajakeelle jatkojalostusmenetelmiksi sopivat edelleen kuivaus, rakeistus (pelletointi, granulointi tai briketointi), poltto tai pyrolyysi. Tampio ym. esittelevät edelleen erilaisia kalvotekniikoita, strippausta ja struviittikiteytystä tarkemmin sekä kehitteillä olevia tekniikoita, joita ovat mm. hydroterminen hiiltäminen tai nesteyttäminen, suora osmoosi, membraanituslaus, elektrodialyyysi, ioninvaihto, levä- tai mikrobibiomassan tuotanto ja mikrobi-polttokennot. (Tampio ym. 2018, 15–23)

Yksittäisinä prosessitapauksina esitellään jätevesilietteen mädätys, jossa tuotteina ovat hiilijae, ammoniumfosfaatti ja fosforihappo. Toisena esimerkkinä on Gasum Oy:n kolmen tuotantoyksikön prosessit, joista saadaan ammoniumsulfattia, ravinnetiivistettä, kuivajätettä, fosforitiivistettä, ammoniakivettä ja biohiiltä. Pienemmän mittakaavan (maatilakokoluokka) tuotantona esitetään Jahotecin lannan ja jätevesilietteen (sekä mm. teurasjätteen, heinän, leipomojätteen) mädätys- ja biokaasuprosessi. (Tampio ym. 2018, 25–27) Raportissa on koottu yhteen useiden kierrätyslannoitustuotteiden ravinnearvoja (typpi, liukoinen typpi, fosfori, kalium, kuiva-aine ja haihtuva kuiva-aine). Lähdeviitteinä on useita hyviä kierrätyslannoitteiden nykytilan kartoituksia, joita eri organisaatiot ovat viime vuosina tehneet.

Marttinen ym. (2017) jakaa biomassojen prosessointimenetelmät erotukseen sekä biologisiin, termisiin ja kemiallisiin tekniikoihin. Marttisen raportti esittelee eri menetelmissä käytettävät laitteet ja toimintaperiaatteen, laitteille sopivat biomassat, typen, fosforin sekä orgaanisen aineksen jakautumisen eri jakeisiin, tekniikoiden erityispiirteet, edut ja haitat, teknologisen kypsyystason ja mittakaavan kirjallisuuskatsaukseen perustuen. (Marttinen 2017, 33–40) Marttisen katsauksessa olevaa kuutta eri biomassatyyppiä prosessoidaan nykyään kutakin sopivilla menetelmillään taulukon 1 mukaisesti. Muu käyttö taulukossa 1 on muun muassa lantojen kuivausta, kaatopaikkasijoitusta, lietteiden muut käsittelymenetelmät (Kemicond, kalkkistabilointi jne.) ja jäljittämättömät biomassat.

TAULUKKO 1. Biomassojen prosessointimenetelmät Suomessa (2013–2017) (Marttinen 2017, 16)

| %                                      | separointi | kompostointi | mädätys | poltto | etanoli-tuotanto | suora maatalouskäyttö | rehukäyttö | muu  |
|--|------------|--------------|---------|--------|------------------|-----------------------|------------|------|
| lannat                                 | 0,6        | 3,3          | 1,1     | 0,16   | -                | 95                    | -          | 0,02 |
| ylijäämänurmet                         | -          | -            | -       | -      | -                | 100                   | -          | -    |
| puhdistamolietteet                     | -          | 40           | 51      | -      | -                | -                     | -          | 9    |
| biojäte (asutus, palvelut, teollisuus) | -          | 30           | 19      | -      | 1                | -                     | -          | 50   |
| elintarviketeollisuus, sivuvirrat      | -          | 7            | 4       | 6      | 7                | 47                    | 16         | 12   |
| metsäteollisuus, lietteet              | -          | 32           | -       | 66     | -                | -                     | -          | 2    |

Taulukon 1 tilanteessa puhdistamolietteiden ja biojätteen mädätys kasvaa biokaasulaitosten lisääntyessä ja siten kompostointi vähenee. Mädätys ja puhdistamolietteen käsittely sisältävät lähes aina separoinnin. Mädätteen jatkojalostusprosesseihin kuuluvat muun muassa separointi, strippaus tai haihdutus. Puhdistamolietteissä kemiallisesti saostettu fosfori on huonosti kasvien hyödynnettävissä, jos fosfori saostetaan rautasuolalla. Lietteiden hyödyntämistä vaikeuttaa myös orgaanisten haitta-aineiden määrä, vaikka kuormitus on vielä erittäin pientä. Puhdistamolietteitä käytetään eniten viherrakentamisessa, ei niinkään viljelylannoitteena. (Marttinen 2017, 17)

Marttisen ym. (2017, 21) mukaan biomassojen prosessointitarpeiden osalta ravinneylijäämäisillä alueilla osa lannasta tulisi prosessoida sellaiseen muotoon, että se voidaan kuljettaa kannattavasti muille alueille käyttöön. Esimerkiksi kuvan 1 mukaan Keski-Pohjanmaan maakunnan maaperältään fosforikylläisiltä alueilta pitäisi kuljettaa lannasta separoitua kiinteää fosforirikasta jaetta Pirkanmaalle ja Keski-Suomeen (hieman yli 300 km:n päähän) samoin kuin jopa Uudellemaalle ja Kymenlaaksoon (yli 400 km:n päähän). Puhdistamolietteen ravinteiden hyödyntämistä pitäisi tehostaa siten, että fosforin käyttökelpoisuus kasveille pysyy hyvänä ja ravinteet voidaan erottaa lietteestä ja väkevöidä helposti kuljetettaviksi lannoitustuotteiksi. Myös muiden biomassojen sisältämien ravinteiden hyödyntämistä voidaan parantaa. Esimerkiksi metsäteollisuuden lietteiden käyttö lannoitekohteissa maanrakennuskohteiden sijaan edistäisi ravinteiden kiertoa sinne, missä niitä tarvitaan. (Marttinen 2017, 21)

#### 4.1.1 Elintarviketeollisuuden sivutuotteet

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat ovat joko eläin- tai kasviperäisiä aineita ja niitä käsitellään hyvin monin eri tavoin. Suora maatalouskäyttö on suurimmaksi osaksi perunoiden solunesteen käyttöä lannoitteena. Suora maatalouskäyttö pienenee, kun solunesteen prosessointilaitoksia otetaan käyttöön. Rehukäyttöön menee teuras- ja vihannesjätettä. Elintarviketeollisuuden sivuvirrat eivät päädy juurikaan kaatopaikalle. (Marttinen 2017, 18)

Elintarviketeollisuudessa perunan prosessoinnista syntyy esimerkiksi kuorimassaa ja perunan solunestettä. Kuorimassan kosteuspitoisuus on noin 74 % ja massassa on proteiineja noin 6 prosenttia, kuitua noin 7 % sekä ravinteita, kuten kalsiumia alle 0,8 g/kg, fosforia 1,4 g/kg, magnesiumia 0,85 g/kg ja kaliumia 20 g/kg. Solunesteessä kuiva-ainetta on noin 24 % ja kuiva-aineesta on tärkkelystä 17 %, proteiinia 3 %, kuitua 2 % ja ravinteita, kuten typpeä 0,33 % (puolet liukoista typpeä), fosforia 0,05 %, kaliumia 0,5 %, magnesiumia 0,03 % ja kalsiumia 0,002 %. Perunan käsittelyn sivuvirroissa tärkeimmät ainesosat ovat tärkkelys, kuidut, proteiini ja kivennäisaineet. (Ahokas, Välimaa, Kankaala, Lötjönen, Virtanen 2012, 8) Perunan prosessoinnin sivutuotteista (kuorimassasta ja solunesteestä) voidaan valmistaa biokaasulaitoksessa mädätettä, joka sopii lannoitteeksi. (Ahokas ym. 2012, 14)

#### 4.1.2 Metsäteollisuuden sivutuotteet

Metsäteollisuuden lietteiden mukana polttoon päätyy muitakin biomassoja kuin lietettä. Polton tuhkasta noin 20 % käytetään lannoitteena. Metsäteollisuuden puhdistamolietteistä 15 %, kuitu- ja pastalietteistä noin 60 % ja siistauslietteistä noin 50 % käytettiin maanrakennukseen. Näiden lietteiden käsittely mädätyksen avulla biokaasuksi lisääntyy. (Marttinen 2017, 19)

### 4.1.3 Jätevesilietteet

Jätevesien fosforin erottamiseksi ja ottamiseksi hyötykäyttöön lannoitevalmisteena on useita teknologioita. Fosforin saostaminen struviittina lienee tunnetuin menetelmä. Muitakin menetelmiä on kehitetty. Useimmat menetelmät eivät ole vielä kilpailukykyisiä fosforin erottamiseksi hyödynnettävään muotoon verrattuna väkilannoitteiden käyttöön. Valtioneuvoston kanslian työryhmä (Berninger ym. 2017) on julkaissut Aalto-yliopiston ja Tyrsky-Konsultointi Oy:n tekemän hankkeen loppuraporttina selvityksen jätevesien fosforin erottamisesta ravinteiden kierrättämiseksi hyötykäyttöön. Selvitys keskittyy juuri fosforin lannoitekäyttöön saamiseen. Lisäksi pohditaan ohjauskeinoja jätevesien fosforin erotuksen edistämiseen ja esitetään fosforin erotuksen päämenetelmien SWOT-analysit.

Yhdyskuntajätevesien laadussa raskasmetallit eivät ole enää ongelma. Niiden pitoisuudet ovat hyvin alhaisia. Ongelmana ovat enemmän orgaaniset haitta-aineet ja mikromuovit. Niillä on haitallisia vaikutuksia maaperän eliöstöön, ja ne saattavat kulkeutua lopulta elintarvikkeina käytettäviin kasveihin. Fosfori rehevöittää vesistöjä ja Suomessa jätevesien fosforista poistetaankin yli 95 % lietteeseen. Lietteen käsittelyssä fosfori pitäisi saada mahdollisimman hyvin käytettävissä olevaan muotoon lannoitevalmisteeksi. (Berninger ym. 2017, 1)

Kaiken ihmistoiminnan tuottamien jätevesien sisältämä ravinnemäärä vastaa noin kuutta prosenttia kaikesta maailmassa käytettävästä lannoitteesta. Jätevesissä on kuitenkin suhteellisen paljon fosforia ja muita ravinteita ja alueellisesti ne kerääntyvät usein samaan paikkaan eli jätevedenpuhdistamoille. Siten niiden prosessointi voi olla edullista. Suomen jätevesien fosfori, noin 4000 tonnia vuosittain, tulee pääosin ihmisten virtsasta ja pesuaineista. Siitä suurin osa erotetaan kiintoaineena jätevesilietteen lietteeseen mutta noin 160 tonnia päätyy vesistöihin. Vuosittain lannoitteena käytettävässä lietteessä on 221 tonnia fosforia ja fosforipitoisuus lietteessä on noin 3,1 %. (Berninger ym. 2017, 4)

Jätevesilietteen fosforipitoisuuden nostaminen olisi mielekästä, samoin fosforin erottaminen lietteestä kokonaan erilliseksi lannoitevalmisteeksi. Arviolta 95 % lietteistä käytetään viherrakentamiseen ja maisemointiin eikä peltolannoitteena, koska jätevesilietteen käytöllä lannoitteena on hieman negatiivinen julkisuuskuva. Peltolannoitteena fosforilisäys ei kaikilla alueilla lisää sadon määrää koska maaperässä on ennestään ylimäärin fosforia. Kemiallisesti saostetun lietteen fosfori on myös huonossa kasveille käytettävissä olevassa muodossa. Biomassoista fosforia on selvästi eniten eläinten lannassa (19300 tonnia), seuraavaksi eniten puhdistamolietteisissä (2880 tonnia) ja ylijäämänurmussa (2540 tonnia), pieniä määriä biojätteissä ja metsäteollisuuden lietteissä. (Berninger ym. 2017, 4)

Lannoitevalmisteasetus hyväksyy jätevesilietteen käytön joidenkin lannoitevalmisteiden (aineosaluokat CMC 12 ja CMC 13) ainesosina, joten lietettä ja siitä saostettua struviittia voidaan käyttää hyödyksi lannoitevalmisteissa (Torniainen 2021). Puhdistamolietteiden hygienisoinnissa odotetaan menetelmien kehittyvän, jotta liete saadaan hyväksyttäväksi raaka-aineeksi, kun haitta-aineet, lääkkeet, hormonit ja mikromuovit saadaan tehokkaasti käsiteltyä ja liete hygienisoitua. Lisäksi jätevesilietedirektiivi (86/278/ETY) säätelee puhdistamolietteen käytöstä maataloudessa ja jätedirektiivi (2008/98/EY) jätteeksi luokittelun päättymisestä, mikä voi mahdollistaa jätevesilietteen prosessoinnin tuotteeksi. Prosessoinnissa kemiallisesti muuttuneet aineet (kuten fosfori, joka saostetaan struviitiksi) kuuluvat REACH-asetuksen piiriin ja tuotteet pitää rekisteröidä ainakin kerran jossakin EU-maassa. Struviitti on jo rekisteröity, mutta sitä valmistavan lannoitetoimijan on osoitettava oma struviittituotteensa riittävillä analyyseillä samaksi tuotteeksi kuin REACH-rekisterissä oleva struviitti. (Berninger ym. 2017, 12)

Itämeren suojelukomissio HELCOM ottaa vahvasti kantaa jätevesien fosforin talteenoton puolesta ja on alkanut pitää rekisteriä fosforin talteenotosta jätevesistä, puhdistamolietteisistä ja tuhkaista. (Berninger ym. 2017, 14) Lainsäädännöllisten ohjauskeinojen joukossa useissa maissa on näköpiirissä fosforin talteenottovelvoite jätevesistä. Prosessin kannattavuus ja tuotteiden markkinat vaativat vielä kehittymistä. (Berninger ym. 2017, 28)

Suomessa jätevesien fosforin poistoon käytetään lähes ainoastaan kemiallista saostusta. Sen tuloksena fosfori jää kasveille heikosti käytettävään muotoon alumiini- ja rautayhdisteisiin. Saostuksen jälkeistä lietettä käsitellään eri tavoin sen saamiseksi lannoite- tai muuhun käyttöön. Fosforia voidaan ottaa talteen lietteestä eri menetelmillä. Lietteen fosforipitoisuus on tavallisesti 2–4 % fosforia kuivapainosta. Lietteen hygieniavaatimusten täyttymistä mitataan E.coli- ja salmonellamäärityksillä. Orgaanisille haitta-aineille ei ole vielä määrättyjä raja-arvoja. (Berninger ym. 2017, 34)

Lietteiden tavalliset esikäsittelymenetelmät ovat sakeutus, kuivaus ja mesofiilinen mädätys eli biokaasun tuotanto. Ennen mädätystä käytetään tavallisesti sakeutusta ja termistä tai kemiallista hydrolyysiä lietteen mädätyksen edistämiseksi. Mädätyksen jälkeen liete tavallisesti kuivataan. Mesofiilisen mädätyksen tuote jälkikompostoidaan tai kalkkistabiloidaan. Fosforin käyttökelpoisuus kasveille ei muutu mädätyksessä. Kompostoinnissa osa orgaanisista haitta-aineista voi hajota. (Berninger ym. 2017, 36)

Kemiallisessa käsittelyssä lietettä käsitellään kemikaaleilla. Menetelmiä ovat mm. peretikkahappokäsittely ja Kemi-cond-käsittely rikkihapolla ja vetyperoksidilla. Fosforin käyttökelpoisuus kasveille saattaa parantua Kemi-cond-käsitte-

lyssä. Kalkkistabiloinnissa lietteen pH nostetaan kalsiumyhdisteillä niin korkeaksi, että biologinen aktiivisuus lietteessä loppuu ja liete hygienisoituu. Terminen kuivaus on lietteen sisältämän veden haihduttamista lämpötilaa nostamalla. Käsitteily huonontaa fosforin käyttökelpoisuutta kasveille. (Berninger ym. 2017, 37)

Kuivattu liete voidaan polttaa yksin tai sekoittamalla muuhun polttoaineeseen. Polton jälkeisessä tuhassa fosfori on edelleen heikosti kasvien käytettävissä ja lietteen orgaaninen aines on poistunut. (Berninger ym. 2017, 37)

Fosforia voidaan ottaa talteen eri kohdissa jäteveden puhdistusprosessia, esimerkiksi mädätyksen, kuivauksen tai polton jälkeen, puhdistetusta vedestä jälkiselkeytyksen jälkeen tai kuivauksen vesifaasista ennen sen kierrätystä prosessin alkuun. Fosforin talteenottotekniikoita (prosesseja) mädätyksen ja kuivauksen jälkeen ovat Berningerin ym. (2017, 38) selvityksen mukaan seuraavat:

- Mephrec-prosessi: liete kuivataan, puristetaan briketiksi, brikitit kuumennetaan, tuotebriketeissä on 10-25 %  $P_2O_5$ :a. Tekniikka sopii kemiallisesti saostetulle lietteelle ja on kokeiluvaiheessa,
- Airprex-menetelmä: lietteeseen lisätään ammoniumioneja ja magnesiumia ja muodostuva struviitti poistetaan lietevirrasta ja pestään. Sopii vain biologisesti käsitellylle lietteelle ja on käytössä täysimittaisilla laitoksilla ja
- pyrolyysi, jossa liete kuumennetaan hapettomassa tilassa, tuotteena saadaan biohiiltä, kaasua ja öljyä. Fosfori (mutta myös raskasmetallit) päätyy biohiileen hitaasti vapautuvassa muodossa.

Biologisen fosforinpoiston jälkeisessä rejektivedessä, joka kiertää jätevesiprosessin alkupäähän, voi olla korkeita fosforipitoisuuksia. Struviittia rejektivedestä erottavia prosesseja ovat mm. Anphos, Phospaq, Phosnix ja Ostara Pearl. Täysimittakaavaisia erotuslaitoksia on kaikilla edellisillä paitsi Phosnixilla. Fosforin kiteytys kalsiumfosfaatiksi karbonaattien poistamisen jälkeen on myös mahdollista. (Berninger ym. 2017, 39)

Fosforin erottamiseen polttotuhkasta on olemassa mm. seuraavat menetelmät:

- PAKU-menetelmä: lietteen poltto ja raskasmetallien ohjaaminen määrättyyn pieneen tuhkakakeeseen ja lopun tuhkan käyttö lannoitteena,
- Ash Dec -prosessi: lietteen polton tuhkaan lisätään Mg- ja Ca-kloridia, seos kuumennetaan +1000 °C:een, raskasmetallien haihtuminen, fosfori muodostaa kasveille helposti hyödynnettäviä yhdisteitä. Sopii myös kemiallisesti saostetuille lietteille ja
- PASH-menetelmä: tuhkan fosforin uuttaminen suolahapolla ja fosforin saostaminen kalsiumin avulla, laboratorio- ja pilottikoetasoinen tekniikka. (Berninger ym. 2017, 40)

Jälkiselkeytyksen jälkeen fosforia voidaan poistaa samoilla rauta- tai alumiinisuoloilla, joilla tehdään primäärisaostus. Niin sanotussa RAVITA-prosessissa jälkiselkeytyksen saostuman fosfori ja strippauksessa vapautuva typpi prosessoidaan ammoniumfosfaatiksi. (HSY 2023) Fosforin erotusta adsorboimalla tai nanosuodatuksella on kokeiltu pienessä mittakaavassa (Berninger ym. 2017, 40).

Fosforin ja typen saostamiseksi jätevesistä voidaan hyvin käyttää teollisuuden sivuvirtoja, kuten sellu- ja paperiteollisuuden kalsinoitua kuitusavilietettä, lentotuhkaa tai kalsinoitua dolomiittia. Kuitusaviliete saostaa tehokkaasti fosforin ja jättää ammoniumtypen hyvin nestefaasiin. Kalsinoidun dolomiitin erittäin hieno raekoko on usein sellu- ja paperiteollisuudessa jätejätettä mikä sopii hyvin fosforin saostamiseen. (Myllymäki 2020, 77)

#### 4.1.4 Maatalouden sivutuotteet

Luvun 4.1 alussa todettiin maatalouden lantojen ja nurmibiomassojen yhteismääräksi noin 18,8 megatonnia vuonna 2017 (Marttisen (2017) raporttiin viitaten). Edelleen taulukkoon 1 viitaten noin 95 % 17,3 Mt:sta tuotantoeläinten lantaa käytetään suoraan peltolannoitteena ja kaikki ylijäämänurmi käytetään myös maataloudessa suoraan. Nurmia voidaan käyttää eläinrehuna tai biokaasulaitosten lisäsyötteenä biokaasun tuotannon tehostamiseksi. Säilötty ja käyttämättä jäänyt tai pilaantunut eläinrehu samoin kuin maataloudessa sivutuotteena muodostuva muu kasvi- tai vihannesjäte sopivat myös biokaasulaitosten syötteenä.

Lietelannan tyypillinen prosessointimenetelmä on neste- ja kuivajakeen separointi toisistaan dekantterilingolla tai muulla erottimella. Kuivalannasta ei välttämättä saada nestejätettä erilleen. Ravinteista fosforia päätyy enemmän separoinnin kuivajakeeseen ja typpeä sekä kaliumia nestejakeeseen. Lannan ravinneanalyysin perusteella jakeet voidaan käyttää peltolannoitukseen siten, että jakeista saadaan parhaalla tavalla haluttu määrä typpeä ja fosforia kasviravinteiksi.

## 4.2 FOSFORIN TALTEENOTTOMENETELMÄT

Lannoitevalmisteina paljon fosforia ja mahdollisesti myös tyyppeä, kaliumia ja hivenaineita sisältävät yhdisteet ovat suosittavia, kun fosforia saostetaan. Lannoiteteollisuudessa käytetään tavallisesti monokalsiumfosfaattia (superfosfaattia), dikalsiumfosfaattia, kolmoissuperfosfaattia, mono- ja diammoniumfosfaattia, kaliumdivetyfosfaattia ja struviittia. Muita mahdollisia talteenottoprosesseissa muodostuvia fosforiyhdisteitä ovat mm. Ca-, Na-, Mg-, Fe- ja Al-fosfaatit, fosforihappo ja zeoliitit. Lopputuotteen helppo käytettävyys on myös yksi tekijä fosforin erotusmenetelmiä valitessa. Berninger ym. (2017, 41) on koonnut eri erotustekniikoista saatavia lopputuotteiden olomuotoja yhteen (taulukko 2). Taulukossa 3 on lisäksi väkilannoiteteollisuudessa käytettäviä ja fosforin talteenotossa valmistuvia fosforiyhdisteitä ja niiden fosforipitoisuuksia (Berninger ym. 2017, 41)

TAULUKKO 2. Fosforin talteenottomenetelmien lopputuotteet (Berninger ym. 2017, 41)

| Raekoko/ulkomuoto                    | Erotustekniikka  |
|--------------------------------------|--|
| pelletit/raekoko 2-5 (myynti-valmis) | Ostara, AscDec rakeistettuna, RecoPhos, lannoiteteollisuuden mineraalilannoite               |
| karkearakeinen (myyntivalmis)        | PRISA, AirPrex, P-Roc  |
| kiteinen, jauhe (ei myyntivalmis)    | Aqua Reci, PHOXNAN, Gifhorn, LEACHPROS, PASCH käsittelemätön AshDec, poltetun lietteen tuhka |
| nestemäinen (myyntivalmis)           | EcoPhos  |
| kiinteä (myyntivalmis)               | Thermphos  |

Jos mineraalifosforin hinnaksi (vuonna 2016) arvioidaan noin 0,9 €/kg, niin eri talteenottomenetelmillä erotetun fosforin hinta vaihtelee välillä 2–46 €/kg fosforia. (Berninger ym. 2017, 42)

Fosforin erottamisessa eri yhdisteiksi toisinaan korostetaan sitä, että fosfori saostuu kasveille huonosti hyödynnettävään muotoon eli yhdisteestä vapautuu fosforia liian hitaasti kasvin kasvutarpeeseen nähden. Toisaalta korostetaan sitä, että fosfori vapautuu hitaasti kasvin käyttöön, jolloin ylimääräfosforia ei päädy valumavesien mukana vesistöihin. Siten lannoitevalmisteissa käytettävien fosforiyhdisteiden tulisi olla sellaisten fosforiyhdisteiden seos, jossa kasvin tarpeen mukaan osa fosforista vapautuu nopeasti kasvin käyttöön, kun sitä tarvitaan ja loppu vapautuu hitaammin kasvukauden aikana. Fosforilannoitevalmisteeseen voidaan tarvita eri tavoin saostettuja fosforiyhdisteitä, jotka sekoitetaan halutussa suhteessa ja viimeistellään haluttuun muotoon (liuos, jauhe, pelletti tai muu lannoitteen muoto).

TAULUKKO 3. Tyypillisiä väkilannoitetuotannon ja talteenotto-prosessien fosforiyhdisteitä (Berninger ym. 2017, 41)

| Yhdiste  | Lyhenne    | Molekyylikaava   | Fosforipitoisuus (%) |
|--|------------|--|----------------------|
| monokalsiumfosfaatti/tavallinen superfosfaatti | MCP/OCP    | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>               | 8-9 (26)             |
| dikalsiumfosfaatti                             | DCP        | CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> *H <sub>2</sub> O             | 17 (20)              |
| kolmoissuperfosfaatti                          | TSP        | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>               | 19-20 (26)           |
| monoammoniumfosfaatti                          | MAP        | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                 | 21-24 (27)           |
| diammoniumfosfaatti                            | DAP        | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> | 20-23 (23)           |
| kaliumdivetyfosfaatti                          | MKP        | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                                | 17 (23)              |
| magnesiumammoniumfosfaatti                     | struviitti | MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> *6H <sub>2</sub> O           | 13 (13)              |
| kalsiumfosfaatti                               | -          | Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                | 13-17 (20)           |
| fosforihappo                                   | -          | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                 | (32)                 |
| natriumfosfaatti                               | -          | Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                | (19)                 |
| magnesiumfosfaatti                             | -          | Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                | (24)                 |
| rautafosfaatti                                 | -          | FePO <sub>4</sub>  | (21)                 |
| alumiinifosfaatti                              | -          | AlPO <sub>4</sub>  | (25)                 |
| zeoliitit                                      | -          |  | vaihtelee            |

oikeanpuoleinen sarake: käytännön fosforipitoisuus yhdisteessä on ilmoitettu ensin, sitten sulussa on teoreettinen maksimipitoisuus; lukemat eivät kerro fosforin käyttökelpoisuutta kasville

### 4.3 STRUVIITIN VALMISTUS

Struviitin eli magnesiumammoniumfosfaatin (usein kuudella kidevedellä) valmistamisessa fosfori- ja ammoniumpitoisten vesiliuosten tai lietteiden pH nostetaan alueelle 8-10 liuoksen lämpötilan ollessa 25-90 °C ja liuokseen lisätään sopivaa magnesiumioniyhdistettä, jolloin struviitti saostuu kiinteänä. Fosfori ja magnesium voivat olla peräisin ravinnosta ja ammonium virtsasta. (Säälüoto 2018, 1) Jos magnesiumia lisätään struviitin saostamiseksi, se voidaan lisätä esimerkiksi magnesiumhydroksidina, jolloin liuoksen pH nousee myös hydroksidi-ionin vaikutuksesta. Struviitin saostaminen jätevesistä ei sovi hyvin kemiallista fosforinpoistoa käyttäville jätevesilaitoksille, koska kemiallisessa fosforinpoistossa fosfori sitoutuu alumiini- tai rautayhdisteiksi, mikä heikentää lannoitekäyttöä. (Säälüoto 2018, 8)

Säälüoto (2018, 2) on tehnyt struviitin valmistuksen taloudellista tarkastelua ja esittää ravinteiden hintatietoja. Fosfaattikiven hinnaksi Säälüoto kertoo 350 €/tonni vuonna 2008 ja vain 82 euroa/tonni vuonna 2014. Fosfaattikivellä tarkoitetaan yleensä fosforipitoista malmikiveä, jossa on P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus usein tasolla 4-7 m%. Eri lähteissä fosforiraaka-ainesten laatu ja siten sen sisältämän fosforin arvo ilmoitetaan eri tavalla. Jatkojalostetun 45 % liukoista fosforia sisältävän kolmoissuperfosfaattilannoitteen (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) hinta vuonna 2014 oli 268 €/t. (Säälüoto 2018, 2)

Edellisestä voidaan laskea, että jos tonnissa on 45 % liukoista fosforia, sitä on 450 kg ja silloin fosforikilon hinnaksi tulee 268 €/450 kgP = 0,60 €/kgP.

Mainittakoon tässä, että syväkiviin liittyvässä fosfaatissa (fosfaattikivessä) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus on usein alhainen (4-7 m%) ja Suomen fosforiesiintymien keskimääräinen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus on 4 %. Suurin osa maailman fosforivarannoista on sedimenttisiä malmeja, joiden P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus on korkea, 20-30 %. Niistä saatavan rikasteen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-pitoisuus on kuitenkin usein vain 30-34 %. (Lintinen 2015, 6) Fosforitaseiden laskennassa voidaan siten käyttää sedimenttisten malmien ja niistä saatavien rikasteiden pitoisuuksia. Fosforipitoisuus saadaan seuraavasti:

$$P = 0,44 * P_2O_5 \text{ ja}$$

apatiitin massan perusteella laskien

$$P_2O_5 = 0,42 * m_{\text{apatiitti}}$$

eli oletetaan apatiitissa olevan 42 % fosforipentoksidia. (Lintinen 2015, 6)

Struviitin hinnaksi Säälüoto esittää kirjallisuuslähteiden (Dockthorn 2009) perusteella 600–800 euroa/tonni ja Musterin ym. (2014) mukaan struviitin tuotantohinnaksi 10 USD/kgP. Arvioitu struviitin arvo vuoden 2023 tasolla on Säälüodon raportissa Musterin ym. (2014) mukaan noin 17 USD/kgP.

Dockthornin (2009) tietoja lainaten Säälüoto esittää, että eri fosforipitoisuuksilla Mg- ja NaOH-kemikaaleilla saostettuna struviitin fosforin hinnaksi tulee 4,1–12,7 €/kgP ja käytettäessä merivettä Mg-lähteenä ureasta saostettaessa tuotantohinta on 1,27 €/kgP ja 160 €/tonni MAP (magnesiumammoniumfosfaattia). Edellä mainittu tuotantohinta on vielä kaksinkertainen kolmoissuperfosfaattilannoitteen hintaan 0,60 €/kgP verrattuna. Verrattaessa hintaa tavalliseen superfosfaattiin, jonka fosforipitoisuus on puolet kolmoissuperfosfaatin pitoisuudesta (taulukko 3), tuotantohinta alkaa mahdollisesti olla kilpailukykyinen. Lisäksi voidaan huomioida, että lannoitteiden maailmanmarkkinahinta vaihtelee toisinaan hyvinkin paljon. Maaseudun Tulevaisuus ilmoittaa lannoitteiden hinnoiksi 4.9.2023 seuraavaa:

DAP (fosfaatti): 450 dollaria/tonni,  
urea (typpi): 325 dollaria/tonni ja  
kaliumkloridi (kalium): 325 dollaria/tonni.

Lisäksi toukokuun 2023 fosfaattikiven markkinahinta oli World Bankin raaka-ainekatsauksen mukaan 345 USD/tonni ja kolmoissuperfosfaatin (TSP) hinta 550 USD/tonni. (World Bank 2023).

Struviitin saostuksessa on lisätuna fosforin talteen saamisessa se, että typpi saostuu arvokkaana ammoniumtyyppinä eikä haihdu kaasumaisena prosessista ilmakehään kuten monissa muissa prosesseissa on taipumus tapahtua (Säälüoto 2018, 7).

Biologisessa jätevedenkäsittelyssä vesi väkevöidään anaerobisella mädätyksellä. pH-arvo on valmiiksi korkealla ja mädätyksen aikana polyfosfaatit vapautuvat veteen. Fosfaatti-, magnesium-, kalium- ja ammoniumtyyppipitoisuudet nousevat vesifaasissa ja kiintoaine eli mädätysjäännös erotetaan. Sen jälkeen liuoksesta saostetaan struviitti. Jos magnesiumin sijaan lisätään veteen kalsiumia, saostuu kalsiumfosfaattia. Sian- ja kananlanta sopivat struviittisaostukseen paremmin kuin karjanlanta. Lanta separoidaan ja nestejake syötetään säiliöön, jossa säädetään nestejakeen pH ja struviitin kiteytyskemikaalit. Separoinnissa suurin osa fosforista pyrkii kuitenkin jäämään kiintoaineeseen, joten lannalle pitäisi tehdä ensin biologinen ravinteiden poisto, jotta fosforia saadaan lisää nestejakeeseen. (Säälüoto 2018, 7) Jos struviittia ei haluta puhtaana eron lannasta, siihen voidaan ennen separointia lisätä saostuskemikaaleja ja silloin separoinnin jälkeen nestefaasissa on pääosin typpi ja kalium ja kiintoaineessa fosfori.

Teollisen mittakaavan struviittiprosessit perustuvat kiteytykseen sekä märkä- ja termokemiallisiin prosesseihin. Kiteytyksessä siemenkiteinä käytetään erilaisia hiekkoja tai hienoa struviittijauhetta. Magnesiumlähteistä merivesi on rannikon läheisyydessä edullinen vaihtoehto, mutta saostuksessa muodostuu osittain kalsium- ja magnesiumkarbonaatteja. (Säälüoto 2018, 9)

Teollisuus- tai jätevesilaitosmittakaavan prosesseja struviitin saostamiseksi ovat mm. Seaborne-prosessi, AirPrex, Crystalactor, Ostara Pearl (ja sitä täydentävä WASSTRIP-prosessi), Phosnix ja PHOSPAQ. Lisäksi on olemassa muita kokeellisia prosesseja. Struviitinvalmistuslaitteistoja valmistaa mm. belgialainen NuReSys ja yhdysvaltalainen Multiform Harvest. Nämä tiedot ovat Säälüodon raportista vuodelta 2018. Fosforinpoistoon liittyneitä tutkimusprojekteja ovat olleet mm. Anphos (Euroopan komission LIFE-ohjelmassa), MIP Nutricycle ja PHORWater. (Säälüoto 2018, 12)

## 5 BIOKAASUTUKSEN HYÖDYNTÄMINEN KIERTOLANNOITEVALMISTUKSESSA

### 5.1 BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN NESTEJAKEEN PROSESSOINTI

Suomen ympäristökeskuksen (Syke) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) tutkijat Horn ym. laskivat biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen nestejakeen ja siitä kalvosuodattimella suodatettavan ravinnetiivisteen (konsentraatin) valmistamisen kannattavuutta BioKymppi Oy:n Kiteen biokaasulaitoksen prosessilla. Tulosten perusteella nestejakeen tai konsentraatin valmistamisen kannattavuus riippui siitä, kuinka kauas lopputuote kuljetetaan käyttöön. Kierrätyslannoitteet olivat ympäristövaikutuksiltaan edullisempia kuin mineraalilannoitteet. (Horn, Seppänen, Winqvist, Lehtoranta, Luostarinen 2020, 2)

Kalvosuodatuksena voidaan käyttää ultra-, mikro- tai nanosuodatusta tai käänteisosmoosia. Konsentraattiin (retentaattiin) jää liukoinen typpi, kalium ja vähän fosforia. Permeaatti voidaan kierrättää syöttövedeksi mädätykseen. Kalvojen pesuun kuluu puhdasta vettä, koska kalvot pyrkivät tukkeutumaan helposti. Siksi suodatuksen syötteen tulisi olla mahdollisimman puhdasta kiintoaineista eli syöte pitää esisuodattaa kiintoaineen poistamiseksi. Konsentraatin typpi voidaan haihduttaa ammoniakkinä ja pestä kaasufaasista rikkihapolla, jolloin saadaan ammoniumsulfaattia tuotteenä. Jäljelle jäänyt rejektiliuos sisältää fosforia ja vähän typpeä. Tällaisen prosessin investointikulut ovat varsin suuret ja tekniikka onkin käytössä vain suurissa laitoksissa. (Horn ym. 2020, 14)

Mädätysjäännöksen separoinnin jälkeen nestejakeesta voidaan suodatuksen sijaan saostaa esimerkiksi struviittia (magnesiumammoniumfosfaattia). Nestejakeessa on tavallisesti ammoniakkinä ja fosfaattia valmiina, liuokseen lisätään esimerkiksi magnesiumhydroksidia, jotta pH nousee hydroksidi-ionin vaikutuksesta ja struviittisaostukseen tarvittava magnesium tulee mukaan liuokseen. Struviitti suodatetaan erilleen nesteestä hidasliukoiseksi fosforilannoitteeksi ja neste menee jätevedenkäsittelyyn. (Horn ym. 2020, 14)

Uutena prosessina niin sanotussa NPharvest-menetelmässä nestejakeen ammoniumtyppi muutetaan ammoniakiksi, haihdutetaan ja pestään ammoniumsulfaatiksi sen jälkeen, kun aluksi fosfori on saostettu kalsiumhydroksidilla. Saanto tyypelle voi olla jopa 99 % ja fosforille 90–99 %, mutta haittana voi olla hyvin emäksinen suurtilavuuksinen nestejake. (Horn ym. 2020, 14)

BioKymppi Oy:n biokaasulaitoksessa erilaiset biohajoavat jätteet eri lähteistä murskataan, niihin sekoitetaan erilaisia vesiä ja raaka-aineet menevät kahteen reaktoriin: luomutuotereaktoriin ja tavallisen mädätteen reaktoriin. Luomuraaka-aine on koko ajan erossa tavallisesta mädätteestä, jossa saattaa olla mm. rasva- ja jätevesilietteitä. Biokaasutuotannon viipymäajan jälkeen mädätteet hygienisoidaan ja nestejake separoidaan ruuvierottimella. Jälkikypsytystä ei käytetä. Nestejakeen jatkokäsittelyssä on käytössä ensin ultrasuodatus- ja sitten käänteisosmoosilaitteisto. (Horn ym. 2020, 16)

Hornin ym. laskennassa verrattiin pelkkää nestejakeetta jatkokäsiteltyyn ravinnekonsentraattiin. Tuotannon lisäksi laskentaan sisällytettiin tuotevarastointi, kuljetus pellolle, levitys ja suorat päästöt pelloilta. Näitä tuotteita verrattiin mineraalilannoitteeseen ympäristövaikutusten arviointilaskennassa (LCA). Arvioinnissa toiminnallisena yksikkönä oli kiloa hiilidioksidiekvivalenttia lannoitevalmisteen sisältämää liukoisen tyypin kiloa kohti. (Horn ym. 2020, 23) Kokonaishiilidioksidiekvivalenttipäästöt ovat eri skenaarioissa kierrätyslannoitteilla pienemmät kuin mineraalilannoitteella, vain eri tuotantovaiheiden osuudet vaihtelevat konsentraatin ja nestejakeen välillä. Typpipäästöt ilmakehään vaihtelevat lannoitteen levitysmenetelmästä riippuen. (Horn ym. 2020, 27)

Mädätysjäännöksestä erotetun nestejakeen tehokkaaksi suodattamiseksi tarvittiin (mahdollisen ruuvierotuksen jälkeen) linkoseparointi ennen ultrasuodatusta ja käänteisosmoosia. (Horn ym. 2020, 16)

Teknicaloudellisissa tarkastelussa biokaasureaktoreita ei otettu laskentaan mukaan vaan ainoastaan mädätteen jatkokäsittely: joko pelkkä ruuviseparointi, nestejakeen varastointi ja levitys pellolle tai mädätteen linkoseparointi, kalvosuodatus ja konsentraatin varastointi ja levitys pellolle. Laskennassa kaikkien lannoitevalmisteen (nestejakeen, konsentraatin ja mineraalilannoitteen) hintana oli 1 €/kg liukoisia ravinteita (N, P, K).

Horn ym. esittää kannattavuuslaskennan lähtötiedot ja vuosituotannon kustannukset ja tulot taulukoituna. Tuloksena mädätteen nestejakeen valmistuksen ja käytön kustannukset olivat pienemmät (noin 154 000 €) kuin konsentraatin vastaavat kustannukset (noin 216 000 €). Kustannustekijät nestejakeen ja konsentraatin valmistuksessa ja käytössä ovat hyvin erilaisia. Nestejakeen kuljetuskustannukset ovat yli puolet kaikista kustannuksista ja levityskin lähes viidesosan verran. Konsentraatilla sähkö ja kemikaalikulut ovat 33 %, tekniikkainvestoinnit 23 % ja työ-, huolto- ja korjauskulut myös 23 prosenttia kustannuksista. (Horn ym. 2020, 34)

Tulosten perusteella lannoitevalmisteen valmistajan tulee itse harkita, millaisella erotustekniikalla saadaan tuotantoalueen käyttöön sopivin tuote esimerkiksi fosforin, orgaanisen typen ja muun orgaanisen aineen erotuksen suhteen. Tämä tarkoittaa mm. valintoja ruuvipuristimen, lingon ja kalvosuodattimien suhteen sopivan tuotteen valmistamiseksi. Lannoitevalmisteiden tuotannossa myös useat muut tekijät vaikuttavat mädätteen jatkoprosessointiin, kuten mädätysajan muuttaminen biokaasureaktorissa, kalvoerotuksen kalvojen optimointi ja laitoksen lähialueiden peltojen tuotantokasvilajit ja niiden tarvitsemien ravinteiden määrä. Lyhyillä (alle 80 km) kuljetusmatkoilla mädätteen nestejäte on kustannuksiltaan edullisempi tuote, mutta pitemmällä matkoilla konsentraatti tulee edullisemmaksi. Ravinnekonsentraatilla on myös useita muita etuja, joita ei kustannuslaskennassa voitu kvantitoida euromääräisinä. (Horn ym. 2020, 34)

## 5.2 KESKI-POHJANMAAN ALUEEN BIOMASSAPOTENTIAALI

Keski-Pohjanmaan alueen biomassapotentiaalia voidaan arvioida Luonnonvarakeskuksen laatiman Biomassa-atlaksen avulla. Biomassa-atlaksen biomassapotentiaali kuvaa sitä, paljonko erilaisia biopohjaisia sivuvirtoja voi olla hyödynnettävissä eri alueilla Suomessa. Biomassa-atlaksen tietokannassa on tietokantaan raportoidut metsä-, pelto-, lanta- ja jätebiomassat luokiteltuina. Biomassa-atlaksen avulla voidaan arvioida, minkä tyyppisiä biomassoja eri tarkoituksiin muodostuu esimerkiksi Keski-Pohjanmaan teollisuudessa ja kaupan alalla. On kuitenkin huomattava, että kaikki biomassat eivät ole käytettävissä, vaan niitä käytetään jo muihin tarkoituksiin kuten esimerkiksi suoraan pelto-lannoitteeksi siellä, missä lannoitustarve ja biomassa kohtaavat sopivasti toisensa.

Biomassa-atlaksen hakuun valittiin mukaan kaikki Keski-Pohjanmaan kunnat (Kokkola, Kaustinen, Toholampi, Veteli, Perho, Lestijärvi, Kannus ja Halsua) ja kaikki biomassat. Haun tuloksina saatiin vuoden 2022 tietojen joukosta erilaisia hyödynnettävissä olevia biomassoja seuraavat määrät:

- puut, kannot ja metsämassat noin 499 000 m<sup>3</sup>/vuosi,
- maatalouden sivuvirrat noin 54 000 tonnia k.a./vuosi, N (typpi) 329 000 kg, P (fosfori) 66 000 kg,
- tuhkat noin 11 000 t/vuosi,
- kaikkien raportoitujen eläinten lannat ja virtsat noin 1 427 000 t/vuosi,
- kaiken yritystoiminnan hyödynnettävät sivuvirrat noin 41 000 t/vuosi, N (typpi) 5 400 kg, P (fosfori) 2 500 kg ja
- yhdyskunta- ja jätteenkäsittelyjätteet noin 28 000 t/vuosi, N (typpi) 37 000 kg, P (fosfori) 5 900 kg.

### 5.2.1 KAUSTISEN SEUTUKUNNAN ALUEEN BIOENERGIAN KYSYNTÄ JA ALUETALOUS

Finnilä ym. ovat tehneet Kaustisen seutukunnan alueen bioenergian kysyntätutkimuksen ja taloustutkimuksen biokaasutuotannon kannattavuudesta Kaustisen seutukunnassa. Tutkimus ei käsittele kovin laajasti lannoitevalmisteita vaan enemmän biokaasun käyttövaihtoehtoja ja markkinoita. 55 500 MWh:lle biokaasua on kyselyn mukaan tarvetta yhdyskuntaenergiana, teollisuuteen, maatalouteen sekä liikenteeseen ja logistiikkaan. Tuotantopotentiaali on 22 400 megawattituntia eli tuotantoa pitäisi laskelmissa nostaa 2,5-kertaiseksi alkuperäisestä laskelmasta ja selvittää, onko biokaasun tuotannolle biomassaa käytettävissä. Seutukunnan markkinoilla tarvitaan investointeja ja alueen sitoutumista biokaasun käyttöön biokaasulaitostoiminnan laajentamiseksi. (Finnilä ym. 2022, 19) Toimialahaastattelussa kartoitettiin asiantuntijoiden mielipiteet lähivuosien (1– alle 5 vuotta), keskipitkän aikavälin (5–10 vuotta) ja vuoden 2035 jälkeisen ajan biokaasuteollisuuden tuotantonäkymistä, biokaasualan trendeistä ja biokaasun kilpailueduista muihin polttoaineisiin verrattuna. (Finnilä ym. 2022, 40)

Selvityksessä on kartoitettu kysyntään vaikuttavat tekijät, tehty markkina-analyysi, tutkittu alueen liikennelogistiikkaa ja sekä maatilakohtaista että keskitettyä yhteisomisteista biokaasulaitosta ja lopulta tehty kannattavuuslaskelmat niille. Määrällisenä selvityksen tavoitteena oli laskea se kysynnän volyyymi, jolla biokaasutuotanto on järkevä toteuttaa (Finnilä ym. 2022, 30).

Kaustisen seutukunnassa biokaasutuotannon kannattavuuslaskelmissa biokaasua käyttävän liikenteen arvioitiin olevan raskasta liikennettä. Liikenteen kysyntäpotentiaali tällä hetkellä olisi 300–800 MWh vuodessa, vuoteen 2025 mennessä 1000–2900 MWh ja vuonna 2030 1800–5300 MWh vuodessa ajoneuvomäärän ja tankkauskertojen luodessa vaihteluvälin kysyntään. (Finnilä ym. 2022, 27)

Todellisessa esimerkkitapauksessa tilakohtaisen biokaasulaitoksen kapasiteetti on 8000 m<sup>3</sup> syötettä vuodessa, reaktorikoko on 550 m<sup>3</sup> ja viipymä 20 päivää. Biokaasua voi tankata 200 kg vuorokaudessa yhdestä tankkauspisteestä. Syötteen reaktoriin ovat lanta ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat, joista tulee vähän porttimaksutuloja mutta osasta maksetaan biomassan tuottajalle. Mädätysjäännös käytetään tilan omilla pelloilla. Laitos työllistää noin puoli tuntia päivässä ja sähköä tuotetaan 300 MWh vuodessa, lämpöä 600 MWh vuodessa ja liikennepolttoainetta 1200 MWh vuodessa. (Finnilä ym. 2022, 30)

Laskennassa koko tilakohtaisen laitoksen investointikustannukseksi arvioitiin 750 000 euroa, käyttöäiksi 15 vuotta ja rahoituskustannukseksi 6 %. Muut kustannukset ja oletukset arvioitiin pitkällä aikavälillä varovaisiksi siten, että esim. sähkön ja polttoaineiden hintamuutokset muuttavat kokonaistulosta pikemmin positiiviseen suuntaan. Laskennan tuloksena laitos on hyvin kannattava, investoinnin takaisinmaksuaika on noin neljä vuotta ja laajennusinvestoinnit näyttävät mahdollisilta. (Finnilä ym. 2022, 30)

Toisen esimerkitapauksen keskitetyn biokaasulaitoksen investointi vuonna 2011 oli 1,5 miljoonaa euroa. Laitos käsittelee naudan ja kanan lantaa, tasaa ravinteita eri toimijoiden kesken ja tuottaa kaasua, jota lähiyritys käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon. Pari kymmentä maatilaa ja lämpövoimalaitos ovat biokaasulaitoksen osakkaita. Biokaasulaitos käyttää lämpövoimalaitoksen tuottamaa sähköä. Laitoksen kapasiteetti on enintään 19500 tonnia biomassaa vuodessa, tällä hetkellä käytetään 13500 tonnia naudan lantaa, 1500 tonnia kananlantaa ja 1000 tonnia ulkopuolisia (porttimaksullisia) biomassoja. Reaktorilavuus on 1500 m<sup>3</sup>, päiväsyöte on noin 50 m<sup>3</sup> ja reaktorin viipymäaika on 30 päivää. Viipymäaika jälkikaasutusaltaassa on 30 päivää. Laitos ottaa lannan vastaan osakkailta ilman kustannuksia ja toimittaa mädätetyn lannoitteen takaisin ilman kustannuksia. Tilat hoitavat kuljetukset itse. (Finnilä ym. 2022, 31)

Biokaasulaitos tuottaa 2000 MWh kaasua vuosittain ulkopuoliseen käyttöön ja osa kaasusta käytetään laitoksen lämmitykseen. Liikevaihdosta puolet tulee kaasusta ja puolet porttimaksuista. Kustannukset ja oletukset ovat konservatiivisia. Laitoksen käyttöäiksi arvioitiin 15 vuotta. Laskennan takaisinmaksuajaksi tuli lähes 10 vuotta ja nettonykyarvoksi -25000 euroa. Laitoksen kannattavuusrajaksi laskettiin 2100 MWh biokaasua vuodessa. Toiminnan motiivina on ilmeisesti pääasiassa kattaa laitoksen toimintakulut ja ravinteiden saaminen alueelliseen käyttöön. Porttimaksut ovat oleellinen tulotekijä tässä laitoksessa. Jos kaasu myytäisiin liikennekäyttöön hinnalla 80 tai 100 €/MWh (sellaisenaan tai uusiutuvan energian alkuperätakuun kanssa), takaisinmaksuaika olisi 5–7 vuotta ja nettonykyarvo olisi hyvin positiivinen. (Finnilä ym. 2022, 31)

Finnilä ym. esittävät, että biokaasun yksikköhintaa tulisi verrata eri tuotteina (sähkö, liikennepolttoaine, muut) laskettaessa toiminnan kannattavuutta. Biokaasutuotteen myynti useamman vuoden sopimuksella voi olla kannattava ratkaisu erityisesti laitoksen investointivaiheessa. Porttimaksullisten syötteiden käyttö voi tuoda huomattavasti tuloja laitokselle. Tavallisesti liikennepolttoaineen tuottaminen on kannattavampaa kuin sähkön tai lämmön tuotanto, jos kysyntää liikennepolttoaineelle on. Toisaalta myös kaasun myynti sähkönä spot-hinnalla korkean sähkön hinnan aikaan on hyvä vaihtoehto. Mädätysjäännöksestä tulevan lannoitteen jääminen osakastilojen käyttöön tai valmistaminen myytäväksi kiertolannoitteeksi ovat vaihtoehtoja, joita tulee punnita esimerkiksi osakastilojen lannoitetarpeen mukaan. Edelleen uusiutuvan energian alkuperätakuujärjestelmään liittyminen voi tuoda lisätuloja biokaasusta, mutta tulojen ennustettavuus on tällä hetkellä hankalaa. Porttimaksutuloja tulevaisuudessa voi olla hankalaa ennustaa. Biokaasulaitoksen tuottaman hiilidioksidin muuntaminen vedyllä metaaniksi voi olla tulevaisuudessa hyvä vaihtoehto biokaasun määrän lisäämiseksi. (Finnilä ym. 2022, 33)

Molemmassa tarkastellussa tapauksessa kysyntä biokaasulle tai siitä saatavalle tuotteelle on ollut valmiina ja samalla laitoksen toimintaan sitoutuneita osakkaita ja pitkäaikainen biokaasutarve varmoilta asiakkailta, mikä on varmistanut pitkäaikaisen tulon laitosinvestoinnille. Porttimaksullisilla biomassoilla on ollut myös merkittävä osuus tuloihin. (Finnilä ym. 2022, 34)

## 5.2.2 Teknistoloudellinen laskelma biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen jatkokäsittelylle kiertolannoitevalmisteeksi

Luostarinen ym. (2023) on tehnyt kannattavuuslaskelmat neljälle erityyppiselle biokaasulaitokselle, joissa on käytetty tavanomaista tai edistynyttä tuotantomallia (taulukko 4).

Edistyneessä mallissa erotukset on tehty osittain tehokkaammin kuin tavallisesti ja tuotetta on jalostettu pitemmälle kuin tavallisesti ja prosessoinnin metaani- ja dityppioksidipäästöjen vähentämiseen on investoitu. Kirjallisuusviite tarjoaa kattavan sarjan biokaasulaitosten ja niiden tuotteiden jatkoprosessoinnin laitteiden investointihintoja ja laskentayhtälöitä. (Luostarinen, Tampio, Lehtoranta, Valve, Laakso, Rasi, Pyykkönen, Markkanen, Heikkinen, Haapala, Winquist, Lång, Timonen, Silfver 2023)

TAULUKKO 4. Erityyppisten biokaasulaitosten kannattavuuslaskelmia (Luostarinen ym. 2023, 130)

|                        | Laitos 1<br>E | Laitos 1<br>T | Laitos 2<br>E | Laitos 2<br>T | Laitos 3<br>E | Laitos 3<br>T | Laitos 4<br>E | Laitos 4<br>T |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Investointi €          | 1 387 000     | 747 000       | 1 623 000     | 1 057 000     | 21 135 000    | 10 964 000    | 955 000       | 832 000       |
| Investointituki %      | 50            | 50            | 50            | 50            | 30            | 30            | 50            | 50            |
| Tuettu investointi €   | 694 000       | 373 000       | 811 000       | 529 000       | 14 795 000    | 7 675 000     | 477 000       | 416 000       |
| Tulot yht. €           | 129 000       | 97 000        | 400 000       | 310 000       | 11 123 000    | 9 593 000     | 94 000        | 74 000        |
| Menot yht. €           | 63 000        | 49 000        | 66 000        | 47 000        | 9 206 000     | 7 270 000     | 45 000        | 41 000        |
| Kate €/v               | 66 000        | 49 000        | 334 000       | 263 000       | 1 918 000     | 2 323 000     | 48 000        | 33 000        |
| Annuiteetti €/v        | 65 000        | 37 000        | 79 000        | 53 000        | 1 314 000     | 657 000       | 45 000        | 39 000        |
| Tulos €/v              | 1 000         | 12 000        | 256 000       | 210 000       | 603 000       | 1 666 000     | 4 000         | -6 000        |
| Takaisinmaksuaika<br>v | 10,5          | 7,6           | 2,4           | 2,0           | 7,7           | 3,3           | 9,9           | 12,2          |

(E = edistynyt toimintamalli, T = tavanomainen toimintamalli; 1 - tilakohtainen märkämädätyslaitos, 2 - usean tilan yhteinen märkämädätyslaitos, 3 - keskitetty märkämädätyslaitos, 4 - kuivamädätyslaitos)

Jätevedenpuhdistamolalta mädätykseen tuleva liete on sekalietettä, jossa on sekä kemiallisesti että biologisesti saostettua kiintoainetta, lisäksi tulee sako-, umpikaivo- ja rasvalietettä. Mädätys on mesofiilinen. Mädättämöstä poistetun mädätteen TS% on 5–8 %, kuivatun (eli lingotun) lietteen TS% on 25–30 %. Separointi tehdään siis lingolla ja mädäte jälkikypsytetään kompostikentällä, missä se hygienisoituu. Tuotetta myydään maanparannuskompostiksi ja istutusmullaksi. Rejektivedessä on 20–50 mg/L fosforia jäljellä. Sähkön tuotanto on 880 000–1 200 000 kWh/vuosi. Lämmön määrä ei mitata. Pelletöintiä ei kannata ajatella tälle tuotteelle, uusi lannoitelaki ilmeisesti vaikeuttaa pelletöinnin käyttöä lannoitevalmisteiden tuotannossa.

Biokaasulaitoksen tase- ja investointitietojen pohjaksi voidaan käyttää Juvosen (2022) BioKymppi Oy:n prosessin tietoja tai Feasib Oy:n Finnilän ja Latvalan selvitystä Kaustisen seutukunnan biokaasulaitosten mädätysjäännöksen hyödyntämisestä (2023).

Taulukkoon 5 on koottu lisätiedoiksi erilaisten biokaasulaitosten mädätysjäännösten ja seosmädätteen ominaisuuksia ja tyypillisiä pitoisuuksia.

TAULUKKO 5. Mädätysjäännösten ja seosmädätteiden ominaisuuksia (ProAgraria 2013, 38)

|                                 | mädätysjäännös |                        | kuivattu seosmädäte* |                         | biokaasu-<br>laskuri |
|---------------------------------|----------------|------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
|                                 | kuiva          | tuore                  | kuiva                | tuore                   | tuore                |
| N2 (kok.)                       | 25 g/kg ka     | 5 kg/m <sup>3</sup>    | 35 g/kg ka           | 11 kg/m <sup>3</sup>    | 11 g/kg              |
| N2 (liuk.)                      | 3 g/kg ka      | 0,6 kg/m <sup>3</sup>  | 5 g/kg ka            | 1,6 kg/m <sup>3</sup>   | 2,5 g/kg             |
| P (kok.)                        | 21 g/kg ka     | 5 kg/m <sup>3</sup>    | 32 g/kg ka           | 10 kg/m <sup>3</sup>    | 5,6 g/kg             |
| P (liuk.)                       | 0,2 g/kg ka    | 0,01 kg/m <sup>3</sup> | 0,15 g/kg ka         | 0,048 kg/m <sup>3</sup> |                      |
| K (kok.)                        | 4 g/kg ka      | 0,4 kg/m <sup>3</sup>  | 2,1 g/kg ka          | 0,7 kg/m <sup>3</sup>   | 2,00 g/kg            |
| As mg/kg ka                     | 3,4            |                        | 3,8                  |                         |                      |
| Cd mg/kg ka                     | 0,10           |                        | 0,54                 |                         |                      |
| Cr mg/kg ka                     | 12             |                        | 54                   |                         |                      |
| Cu mg/kg ka                     | 55             |                        | 201                  |                         |                      |
| Hg mg/kg ka                     | 0,06           |                        | 0,30                 |                         |                      |
| Ni mg/kg ka                     | 10             |                        | 34                   |                         |                      |
| Pb mg/kg ka                     | 2              |                        | 31                   |                         |                      |
| Zn mg/kg ka                     | 310            |                        | 515                  |                         |                      |
| kuiva-aine %                    | 33             |                        | 32                   |                         | 20                   |
| pH (1:5)                        | 8              |                        | 7,9                  |                         |                      |
| tilavuuspaino kg/m <sup>3</sup> | 805            |                        | 990                  |                         | 1000                 |
| orgaaninen aines %              | 39             |                        |                      |                         | 60                   |

\*termofiilisesti mädätetty ja kuivattu jäteseos (puhdistamoliete, biojäte ja elintarviketeollisuuden jäte)

## 6 YHTEENVETO

Tässä raportissa on selvitetty tuotannollisen teollisuuden ravinteita sisältävien sivuvirtojen käyttömahdollisuuksia ja käytön rajoitteita kiertolannoitteiden raaka-aineiksi. Lisäksi on esitetty ravinnepitoisten sivuvirtojen teknisiä käyttömahdollisuuksia kiertolannoitteiksi. Teknialoudellisessa tarkastelussa on haluttu esittää, millaisissa tapauksissa sivuvirtojen käyttö kiertolannoitteissa tai biomassojen käyttö biokaasun ja mädätteen valmistukseen ja sitä kautta lannoitevalmisteiksi on kannattavaa.

Aluksi on esitelty lannoitteisiin liittyvä lainsäädäntö kansallisella ja EU-tasolla sekä lannoitevalmistealan toimijoille tarkoitettuja lainsäädäntöä selittäviä ja käytännön toimia selkeyttäviä oppaita. Oppaat pohjautuvat lainsäädäntöön. Sivuvirtojen käyttöön liittyvistä rajoitteista tai esteistä on kerrottu erilaisiin haastattelututkimuksiin ja selvityksiin nojautuen. Lannoitevalmistealan eri toimijoilla on erilaisia käsityksiä kiertolannoitteiden valmistuksen pullonkauloista Suomessa ja EU-alueella. Ravinnepitoisten sivuvirtojen ja biomassojen prosessointia kiertolannoitevalmisteiksi on esitetty julkaistun kirjallisuuden perusteella. Typpi- ja fosforipitoisten biomassojen käsittelymenetelmiä kiertolannoitevalmisteiksi on paljon. Lopuksi on esitetty biokaasulaitosten ja niiden tuotteiden kannattavuuslaskelmia muun muassa Kaustisen seutukunnassa tehdyn biokaasupotentiaaliselvityksen ja muiden biokaasulaitos selvitysten pohjalta. Mukana on Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlaksen pohjalta tehty laskelma Keski-Pohjanmaan alueella käytettävissä olevista biomassoista.

Lainsäädännön vaatimusten tarkoituksena on varmistaa yhtäältä se, että valmistettavat lannoitteet eivät saastuta maaperää, vesistöjä tai ilmaa ja toisaalta se, että tuotettavat elintarvikkeet, joiden kasvattamiseen lannoitteita käytetään, ovat kuluttajille terveellisiä. Siten muodostuvat lainsäädännön monet vaatimukset. Vaatimukset eroavat toisistaan siinä, mistä raaka-aineista ja millä tavalla lannoitevalmiste tehdään ja siinä, mihin lannoitetta käytetään. Vaatimukset lannoitevalmisteille eivät tule pelkästään lainsäätäjiltä vaan myös lannoitemarkkinoilta eli lannoitteiden ostajilta ja käyttäjiltä. Lannoitteiden valmistajat toimivat ainakin näiden kahden toimijan välissä yrittäen täyttää tuotevaatimukset molemmille tahoille. Lannoitevalmistajien työkalupakkiin tulee kuulua yritys- ja maatalousosaamista, tuotantoteknologiaa, markkinointia ja jopa luonnontiedeosaamista.

Alan toimijat näkevät useita sivutuotteiden hyötykäytön rajoitteita. Yhdyskuntajätteiden sisältämän fosforin hyötykäytössä mädätysjännöksen tai lietteen käyttöä elintarviketuotannon viljelylannoitteena rajoitetaan ja hygienisoitujenkin lietteiden käytön varoajat ovat tällä hetkellä hyvin pitkiä. Omavalvonnan järjestäminen nähdään usein liian raskaana ja siksi omavalvontajärjestelmän luomiseen tarvittaisiin selkeämpää opastusta, vaikka opas omavalvonnan järjestämiseksi on olemassa. Prosessointilaitosten lupaprosessit nähdään raskaina ja lainsäädäntö mutkikkaana ja epäsystemaattisena. Mutkikkuus saattaa johtua erilaisista vaatimuksista yhtäältä lannoitevalmisteen koostumukselle (ravinteille ja haitta-aineille), toisaalta vaatimuksista raaka-aineille ja vielä niiden prosessoinnille.

Biokaasulaitoksilla tulisi voida käyttää raaka-aineena alhaisen ravinnepitoisuuden raaka-aineita, joista saadaan suuri biokaasutuotto, vaikka jäljelle jäävä mädäte ei sisältäisikään korkeita ravinnepitoisuuksia. Joillakin alueilla ravinnepitoisuuksia voitaisiin nostaa käyttämällä seostukseen muita sivuvirtoja ja säätää niillä esimerkiksi fosforin ja typen tasot sopiviksi tuotteelle. Biokaasun tuotantoa liikennepolttoaineeksi ei edistä se, että EU on vähentänyt kaasuautoilun tukia, lisännyt kaasuautoilun verotusta ja tukee autoilun sähköistämistä. Biokaasulaitosten perustamiseksi maatalousyrittäjät haluavat helposti saatavaa tietoa laitosten perustamisen tukimuodoista, konkreettisia kannattavuuslaskelmia ja yhtäaikaista biokaasun kysynnän ja tarjonnan löytämistä yrittäjyyden alkuvaiheessa investoinnin kannattavuuden parantamiseksi.

Eläinten lannan sisältämän fosforin ja typen saaminen sopiviksi tuotteiksi ei ole edelleenkään helppoa. Suurin osa Suomen lannasta käytetään suoraan peltolannoitukseen sellaisenaan. Yksinkertaista tehokasta ja taloudellista kiintoaine-neste-erotusmenetelmää lietalannan separointiin ei edelleenkään ole. Lannan sisältämän fosforin saaminen sellaiseen muotoon, että sitä kannattaa kuljettaa maaperältään fosforirikkailta alueilta fosforiköyhille alueille, on haasteellista.

Kilpailussa väkilannoitteita vastaan biomassapohjaisten lannoitteiden pitää olla tasalaatuisia, edullisia sekä tasaisesti ja riittävästi saatavilla. Pienillä Suomen kokoisilla markkina-alueilla edellä mainittujen vaatimusten täyttäminen on vaikeaa. Biokaasulaitosten kasvava suosio vie kierrätysraaka-aineita ja sivutuotteita muiden kierrätyslannoitevalmistajien raaka-ainemarkkinoilta vaikeuttaen tasalaatuisten raaka-aineiden saantia ainakin tulevaisuudessa. Tuotteiden markkinointiin ja brändäykseen halutaan lisä tukea ja lannoitealan toimijoiden pitäisi pystyä viestimään tuotteistaan yhtenäisemmin ja tehokkaammin.

Eri biomassojen prosessointimenetelmät, niin fysikaaliset, kemialliset, biologiset kuin termisetkin, ovat tunnettua tekniikkaa ja niiden käyttövalikoimat eri biomassoille ovat myös melko vakiintuneita. Biomassoja muodostuu pari kym-

mentä megatonnia vuosittain ja ne sisältävät 26 kilotonnia fosforia ja 95 kilotonnia typpeä, joita voidaan prosessoida eri tuotteiksi edellä mainituilla menetelmillä. Menetelmästä riippuen fosfori jää kasveille helposti tai huonosti käytettävään muotoon ja joissakin menetelmissä typpi menetetään kaasumaisena kokonaan. Fosforin talteenotto jätevesistä on nousemassa tärkeämmäksi tulevaisuudessa.

Keski-Pohjanmaan biomassapotentiaalissa suurin tekijä on eläinten lannat ja virtsat (noin 1,4 Mt vuodessa), kuten on yleisesti koko maan biomassoissa. On huomattava, että tästäkin määrästä parhaimmillaan 95 % menee takaisin pelto-lannoitteeksi sellaisenaan ja vain murto-osa esimerkiksi biokaasulaitosten syötteenä.

Kaustisen seutukunnassa tehdyssä biokaasun tuotantotarve- ja -potentiaaliselvityksessä on huomattu, että biokaasun tuotantopotentiaali on vain alle puolet kysynnän määrästä eli biokaasun valmistamiseen käytettävää biomassaa pitäisi olla yli kaksinkertainen määrä biokaasun kysynnän tyydyttämiseksi. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuuslaskelma arvioi investoinnin takaisinmaksuajaksi noin neljä vuotta ja laitos olisi kannattava. Keskitetyn suu-remman biokaasulaitoksen kannattavuus vaihtelee positiivisesta negatiiviseen riippuen siitä, kuinka pitkälle biokaasu jalostetaan ja kuinka se käytetään. Toisen tutkijaryhmän biokaasulaitosvertailussa usean tilan yhteinen tai keskitetty märkämädätyslaitos antoi kannattavuuslaskelmissa positiivisen tuloksen ja lyhyen investoinnin takaisinmaksuajan.

# LÄHDELUETTELO

Ahokas, M., Välimaa, A.-L., Kankaala, A., Lötjönen, T. & Virtanen, E. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti67.pdf>

Ahokas, M., Välimaa, A.-L., Kankaala, A., Lötjönen, T. & Virtanen, E. 2012. Perunan ja vihannesten sivuvirtojen arvokomponenttien hyötykäyttö. MTT Raportti 67. MTT Jokioinen. 47 s. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti67.pdf>. Viitattu 13.9.2023.

Berninger, K., Pihl, T., Kasanen, P., Mikola, A., Tynkkynen, O. & Vahala, R. 2017. Jätevesien fosfori hyötykäyttöön - teknologioita ja ohjauskeinoja. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 62/2017. Valtioneuvoston kanslia. 70 s. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80670/62\\_Jatevesienfosforihyotykayttoon\\_30082017.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80670/62_Jatevesienfosforihyotykayttoon_30082017.pdf). Viitattu 30.8.2023.

Evira. 2011. HACCP-ohje sivutuoteasetuksen mukaan hyväksytyille ja hyväksyntää hakeneille biokaasu- ja kompostointilaitoksille. Rehu- ja lannoitevalvontayksikkö. 4 s. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/lannoitevalmisteet/ohjeet/12510\\_01\\_haccp-ohje.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/lannoitevalmisteet/ohjeet/12510_01_haccp-ohje.pdf). Viitattu 23.8.2023.

Evira. 2012. Omavalvontaohje lannoitevalmistealan toimijoille. Rehu- ja lannoitevalvontayksikkö. 6 s. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/lannoitevalmisteet/ohjeet/lava\\_12501\\_3\\_omavalvontaohje.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/lannoitevalmisteet/ohjeet/lava_12501_3_omavalvontaohje.pdf). Viitattu 23.8.2023.

Finnilä, J. & Latvala, M. 2023. Biokaasuntuotannosta syntyvän mädätysjäännöksen hyödyntämismahdollisuudet. Feasib Oy. 68 s. Saatavissa: [https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15\\_madatusjaannosselvitys\\_final.pdf](https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7164/2023-08-15_madatusjaannosselvitys_final.pdf). Viitattu 10.9.2023.

Finnilä, J., Latvala, M. & Pohjola, T. 2022. Bioenergian kysynnän aluetaloudelliset vaikutukset Kaustisen seutukunnan alueella. Feasib Oy. 52 s. Saatavissa: [https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7817/kiert2on\\_final\\_julkinen\\_16122022.pdf](https://kaustisenseutu.fi/site/assets/files/7817/kiert2on_final_julkinen_16122022.pdf). Viitattu 29.8.2023.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY). 2023. RAVITA-prosessi. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/ravita/prosessi/>. Viitattu 1.9.2023.

Horn, S., Seppänen, A.-M., Winqvist, E., Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismahdollisuudet - vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 45 s. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/051cff7f-fd2f-4ac6-a0cc-bb8869eb75ec>. Viitattu 28.8.2023.

Juvonen, M. 2022. BioKymppi Oy - Täyden Kymmin kiertotaloutta. Biokaasualan kehityksen esteitä ja ratkaisuja yrittäjän näkökulmasta. Esitys. Joensuu 24.11.2022. Saatavissa: <https://pohjois-karjala.fi/wp-content/uploads/2022/01/Biokaasualan-kehityksen-esteita%CC%88-ja-ratkaisuja-yritta%CC%88ja%CC%88n-na%CC%88ko%CC%88kultasta-Mika-Juvonen-BioKymppi-Oy.pdf>. Viitattu 1.8.2023.

Lehto, M., Salminen, P., Valtari, H. & Venelampi, O. (toim.). 2015. Opas pienteurastamon sivutuotteiden hyödyntämisestä ja hävittämisestä. Valtakunnallinen lähiruuan koordinaatiohanke. Turun yliopisto. 20 s. Saatavissa: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvikeala/elintarvikealan-oppaat/pienteurastamojen\\_sivutuoteopas\\_2016\\_netti.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvikeala/elintarvikealan-oppaat/pienteurastamojen_sivutuoteopas_2016_netti.pdf). Viitattu 23.8.2023.

Lintinen, P. 2015. Selvitys Suomen fosforipotentialista. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 17/2015. 49 s. Saatavissa: [https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/17\\_2015.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/17_2015.pdf). Viitattu 7.9.2023.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2023a. Lannoitevalmisteet. Saatavissa: <https://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet/>. Viitattu 28.6.2023.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2023b. Lausuntopyyntö maa- ja metsä talousministeriön asetusluonnoksesta lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (964/2023) muuttamisesta. Saatavissa: [https://mmm.fi/documents/1410837/0/~+VN\\_30951\\_2024-MMM-1+Lausuntopyynt%C3%B6+7516689\\_5\\_1.pdf/e7e8f573-45dc-1fa7-df23-42fec15dd743/~+VN\\_30951\\_2024-MMM-1+Lausuntopyynt%C3%B6+7516689\\_5\\_1.pdf?t=1730383721891](https://mmm.fi/documents/1410837/0/~+VN_30951_2024-MMM-1+Lausuntopyynt%C3%B6+7516689_5_1.pdf/e7e8f573-45dc-1fa7-df23-42fec15dd743/~+VN_30951_2024-MMM-1+Lausuntopyynt%C3%B6+7516689_5_1.pdf?t=1730383721891). Viitattu 4.9.2023.

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa: Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 45 s. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/540214>. Viitattu 23.8.2023.

ProAgria. 2013. ProAgria Keskusten liitto (toim.). Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. Vesilaitosyhdistys. 51 s. Saatavissa: [https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/puhdistamolieteopas\\_201320032014s.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf). Viitattu 23.8.2023.

ProAgria. 2015. Sakokaivolietteen kalkkistabilointiohje. Maaseudun jätehuolto Pohjois-Karjalassa -hanke. 8 s. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/11/Kalkkistabilointiohje.pdf>. Viitattu 23.8.2023.

Ruokavirasto. 2023a. Eläimistä saatavien sivutuotteiden käyttö lannoite valmisteissa. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023b. EU:n uusi lannoitevalmisteasetus (2019/1009). Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/eun-uusi-lannoiteasetus/>. Viitattu 22.5.2023

Ruokavirasto. 2023c. Haitalliset aineet. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/haitalliset-aineet-ja-hygienia/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023d. Jätevesilietteiden käyttö lannoitevalmisteena. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/jatevesilietteet/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023e. Kansallisen lannoitelain siirtymäkausi 31.12.2024 saakka. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/uusi-lannoitelaki/siirtymaajat/>. Viitattu 25.7.2023.

Ruokavirasto. 2023f. Kemialliset analyysit. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/laboratoriopalvelut/lannoitetutkimukset/kemialliset-analyysit/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023g. Lainsäädäntö. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lainsoadanto2/>. Viitattu 22.5.2023.

Ruokavirasto. 2023h. Lannan käyttö ja käsittely. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/lannan-kaytto-ja-kasittely/>. Viitattu 2.8.2023.

Ruokavirasto. 2023i. Lannoitelain keskeiset uudet asiat. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/uusi-lannoitelaki/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023j. Lannoitteiden ja lannoitevalmisteiden laatuvaatimukset. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/>. Viitattu 22.5.2023

Ruokavirasto. 2023k. Luomuun soveltuvat lannoitevalmisteet. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/luomu/luomumaatilat/luomukasvit/Luomun-tuotantopanokset/luomulannoitteet/>. Viitattu 22.5.2023

Ruokavirasto. 2023l. Sivutuoteasetuksen (EY) N:o 1069/2009 mukaisesti hyväksytyjen tai rekisteröityjen laitosten luettelo. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet-ja-kuolleet-elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotelaitosten-hyvaksynta-ja-rekisterointi/hyvaksytyjen-ja-rekisteroityjen-laitosten-luettelo/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023m. Tuhkan käyttö lannoitteena. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/tuhkalannoitteet/>. Viitattu 23.5.2023

Ruokavirasto. 2023n. Tuoteluokat ja ainesosaluokat. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/tuoteluokat-ja-ainesosaluokat/>. Viitattu 23.5.2023

Sääluoto, K. 2018. Struviitin valmistus. Hämeen ammattikorkeakoulu. Raportti. Bioliike-hanke.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki 2018. 73 s. Saatavissa: [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). Viitattu 3.8.2023.

Torniainen, M. 2021. Lannoitelainsäädäntö uudistuu. Sata-Ravinne Webinaari: Puhdistamolietteiden jalostus lannoitekäyttöön. Ruokavirasto. Saatavissa: [https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/ruokavirasto\\_sata-ravinne-webinaari-31.8.2021.pdf](https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/ruokavirasto_sata-ravinne-webinaari-31.8.2021.pdf). Viitattu 31.8.2023.

World Bank. 2023. World Bank Commodities Price Data (The Pink Sheet). Saatavissa: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/5d903e848db1d1b83e0ec8f744e55570-0350012021/related/CMO-Pink-Sheet-May-2023.pdf>. Viitattu 4.8.2023

# SIVUVIRTOJEN KÄYTTÖ KIERTOLANNOITTEIDEN RAAKA-AINEINA SEKÄ LANNOITUSKÄYTÖSSÄ

Vihreän siirtymän, hiilineutraaliustavoitteiden ja kiertotalousajattelun periaatteiden pohjalta ravinnepitoisia sivuvirtoja kannustetaan käyttämään yhä enemmän ravinneraaka-aineina ja tuotteiden lähtöaineina. Pääravinteet, joita erilaisissa sivuvirroissa on, ovat typpi, fosfori ja kalium, joita voidaan käyttää maa- ja metsätaloudessa kasvuravinteina esimerkiksi lannoitteiden muodossa. Lainsäädäntö määrittää sen, kuinka eri lähteistä tulevia ravinnepitoisia sivuvirtoja saadaan käyttää elintarvikekasvien lannoittamiseen ja eläinrehun kasvattamiseen. Taustalla on tarve varmistaa elintarvikkeiden puhtaus ja toisaalta tuotantoeläinten terveys.

Tässä selvityksessä esitellään aluksi lannoitteisiin ja erilaisiin ravinnepitoisiin sivutuotteisiin liittyvää Suomen lainsäädäntöä. Sitten tarkastellaan lannoitevalmisteiden tuotannon pullonkauloja ja kierrätyslannoitevalmisteiden tuotantomenetelmiä erilaisista lähtöaineista tuotteiksi. Lähtöaineina tarkastellaan elintarvike- ja metsäteollisuuden sivuvirtoja sekä yhdyskuntajätevesilietteitä ja maatalouden sivutuotteita. Ravinteiden talteenottomenetelmistä käsitellään tarkemmin fosforin talteenottovaihtoehtoja ja struviitin valmistusta. Lopuksi tarkastellaan biokaasulaitoksen mädätysjännöksen prosessointivaihtoehtoja ja Keski-Pohjanmaan kuntien biomassapotentiaalia sekä Kaustisen seutukunnan alueen bioenergian tuotannon kehitystilannetta vuoden 2022 aikana.

Selvitys perustuu lainsäädännön osalta laajasti maa- ja metsätalousministeriön sekä Ruokaviraston tietoihin ja sivuvirtojen sekä ravinteiden prosessoinnin ja tuotteiden valmistamisen osalta muuhun kirjallisuuteen, jota eri tutkimuslaitokset ja julkiset virastot ovat toimittaneet ja julkaisseet. Keski-Pohjanmaan kuntien biomassapotentiaalilaskenta tehtiin Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlas-laskentaohjelmalla. Tämä selvitys on tehty osana Kiertolannoite-esiselvityshanketta, jonka on rahoittanut Keski-Pohjanmaan liitto Alueiden kestävän kasvun ja elinvoiman tukemisen määräraha (AKKE) -rahoituksesta.

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 80.  
ISSN 2342-933X  
ISBN 978-952-7173-96-1