

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Engineering Science

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Niina Virtanen

KIERRÄTYSLANNOITTEEN TASELASKENTA

Työn tarkastaja: Professori Tuomas Koiranen

Työn ohjaaja: Toimitusjohtaja Antti Lukka

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
LUT School of Engineering Science
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Virtanen, Niina Tuulia

Kierrätyslannoitteen taselaskenta

Diplomityö

2018

83 sivua, 14 kuvaa, 15 taulukkoa ja 8 liitettä

Tarkastaja: Professori Tuomas Koironen

Ohjaaja: Toimitusjohtaja Antti Lukka

Hakusanat: Kierrätyslannoite, ravinnekierto, mädätysjäännös, lentotuhka

Fosfori on uusiutumaton luonnonvara ja sitä pidetään kriittisenä alkuaineena nopeasti kuluvien fosforivarantojen takia. Fosforia käytetään lannoitevalmisteissa, räjähdeaineissa, hammastahnassa ja pesuaineissa. Ravinnepitoisten jätteiden mukana häviää suuret määrät etenkin fosforia ja typpeä, jotka ovat maanviljelyn ja kasvun kannalta tärkeitä ravinneaineita. Ravinteiden kierrätystä tehostamalla voidaan minimoida jätevirtoja sekä vähentää ravinteiden huuhtoutumista ympäristöön.

Työn tavoitteena oli luoda kierrätyslannoitteelle toimiva massa- ja ravinnetaselaskenta sekä tutkia tuotteen laatuvaihteluja, kun raaka-aineina käytetään biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä ja lentotuhkaa. Teoriaosuudessa on perehdytty lannoitteen vaatimuksien lisäksi eri raaka-ainelähteiden sisältämiin ravinnepitoisuuksiin. Taselaskennassa pyrittiin löytämään kierrätyslannoitteelle tuoteominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä tuotevaihtoehtoja maatalouskäyttöön ja metsälannoitteeksi.

Kierrätyslannoitteella on potentiaalia kilpailla mineraalilannoitteita vastaan, mutta vaihtelut kierrätysraaka-aineiden sisältämissä ravinnepitoisuuksissa tuovat haasteita niin tuotteen kuin valmistusprosessin suunnitteluun. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että tuotantolaitoksella olisi oltava valmius saapuvien kierrätysraaka-aineiden analysointiin ja tuotteen reseptin muuttamiseen kierrätysraaka-aineen laadun vaihtuessa. Jatkoselvitystarpeita on yhä niin tuotekehityksessä kuin logistiikassakin.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Engineering Science
Degree Programme in Chemical Engineering

Virtanen, Niina Tuulia

Mass and nutrient balance calculations of recycled fertilizer

Master's thesis

2018

83 pages, 14 figures, 15 tables, 8 appendices

Examiners: Professor Tuomas Koironen

CEO Antti Lukka

Keywords: Recycled fertilizer, nutrient cycle, digestate, fly ash

Phosphorus is a nonrenewable natural resource and it is considered critical because of quickly depleting phosphorus reserves. Phosphorus is used in fertilizers, explosives, toothpastes and detergents. With organic wastes a lot of phosphorus and nitrogen will be removed, which are some of the most important nutrients to improve crop growth. Increasing the recycling of phosphorus and nitrogen is important to protect the water system from nutrient runoff.

The aim of this Master's thesis was to create mass and nutrient balance calculations for recycled fertilizer when the main raw materials used were digestate and fly ash. Furthermore, the changes in the quality of the product were researched. The theoretical part investigated demands of fertilizer and nutrient contents in different raw materials. At the balance calculations the goal was to find out competitive products for recycled fertilizer which can be used in agriculture and in forestry.

There is a potential in recycled fertilizers to compete against mineral fertilizers, but the variation in the nutrient contents in recycled raw materials create a challenge to the product development as well as to the design of the production line. In addition, this would mean that there should be a possibility to analyze raw materials and change the recipe of the product if there are changes in the quality of the recycled raw materials. Researches should be continued with the product development and logistics.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty CTS Engtec Oy:n toimeksiannosta kevään 2018 aikana. Haluan kiittää CTS Engtec Oy:tä tästä mahdollisuudesta tehdä diplomityö mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta aiheesta. Haluan kiittää työn ohjaajaa Antti Lukkaa työn ideoinnista ja asiantuntevasta ohjauksesta. Työn tarkastajaa Tuomas Koirasta haluan kiittää arvokkaista neuvoista tämän diplomityön aikana sekä hyvin järjestetyistä kursseista opintojeni aikana.

Erityiskiitokset kuuluvat vanhemmilleni Pentille ja Maija-Leenalle, jotka ovat jaksaneet tukea ja kannustaa läpi pitkän koulutien. He myös ohjasivat minut urheilun kiehtovaan mutta koukuttavaan maailmaan, jotta koulukirjoille olisi vastapainoa raittiissa ulkoilmassa.

Lopuksi haluan osoittaa lämpimät kiitokset avopuolisolleni Aleksille. Kiitos tuesta ja kannustuksesta niin opintojen kuin tämän diplomityön teon aikana. Unohtamatta vapaa-ajan kilpailukenttiä. Kiitos Aleksille myös arvokkaasta avusta kieliasun parantamisessa.

Kouvolassa 07.07.2018

Niina Virtanen

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO..... | 7 |
| 1 JOHDANTO | 10 |
| 1.1 Työn tavoitteet | 11 |
| 1.2 Työn sisältö | 11 |
| 2 SUOMEN MAALAJIT JA NIIDEN SOVELTUVUUS MAANVILJELYYN..... | 13 |
| 2.1 Moreenimaalajit | 15 |
| 2.2 Karkearakeiset maalajit..... | 15 |
| 2.3 Hienorakeiset maalajit..... | 15 |
| 2.4 Eloperäiset maalajit..... | 16 |
| 2.5 Ravinteet | 16 |
| 2.6 Kasvikohtaisia vaatimuksia..... | 17 |
| 2.6.1 Ohra..... | 18 |
| 2.6.2 Peruna..... | 18 |
| 2.6.3 Öljykasvit | 19 |
| 3 LANNOITTEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA..... | 20 |
| 3.1 Muut maanparannusaineet | 20 |
| 3.2 Metsälannoitteet..... | 21 |
| 3.3 Luomulannoitteet | 22 |
| 3.4 Lannoitevalmisteita koskeva lainsäädäntö..... | 23 |
| 3.5 Kaupalliset lannoitteet ja niiden koostumus..... | 25 |
| 4 KIERRÄTYSLANNOITTEET | 27 |
| 4.1 Mädätysjäännös..... | 28 |
| 4.1.1 Lietelanta..... | 31 |
| 4.1.2 Puhdistamolietteet | 32 |
| 4.1.3 Yhteismädätyslaitokset | 33 |
| 4.2 Ravinteiden talteenotto..... | 34 |
| 4.3 Lannoitetyypiluokat | 36 |
| 4.3.1 1C1: Orgaaniset kivennäislannoitteet..... | 37 |
| 4.3.2 1C2: Epäorgaaniset orgaanista ainesta sisältävät moniravinnelannoitteet | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.3 | 1C3: Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet | 38 |
| 4.4 | Kierrätyslannoitteen SWOT-analyysi | 38 |
| 5 | KIERRÄTYSLANNOITTEEN RAAKA-AINEET | 41 |
| 5.1 | Mädätysjäännös..... | 43 |
| 5.2 | Lentotuhka | 44 |
| 5.3 | Ehostuskemikaalit | 46 |
| 5.3.1 | Typpilisä..... | 46 |
| 5.3.2 | Kaliumlisä | 47 |
| 6 | KIERRÄTYSLANNOITTEEN TASELASKENTA | 48 |
| 6.1 | Raaka-aineet ja niiden käsittely | 49 |
| 6.2 | Pelletöinti | 50 |
| 6.3 | Seulonta..... | 51 |
| 6.4 | Granulointi | 51 |
| 6.5 | Tulokset ja yhteenveto massatase-laskennasta | 52 |
| 6.5.1 | Tuote 1: NK-lannoite | 53 |
| 6.5.2 | Tuote 2: Metsälannoite..... | 56 |
| 6.5.3 | Tuote 3: NKS-lannoite | 59 |
| 7 | PROSESSILAITTEIDEN VALINTA | 64 |
| 7.1 | Sekoitus..... | 64 |
| 7.2 | Pelletöinti | 65 |
| 7.3 | Seulonta..... | 67 |
| 7.4 | Granulointi | 68 |
| 8 | INVESTOINNIN ALUSTAVA KUSTANNUSARVIO | 70 |
| 9 | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 72 |
| | LÄHDELUETTELO..... | 75 |
| | LIITTEET | 84 |

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

| | | |
|----------|-------|-----|
| α | Kulma | [°] |
|----------|-------|-----|

Yksiköt:

| | | |
|---|-----------|-------------------------|
| A | Pinta-ala | [m ²], [ha] |
| l | Pituus | [mm] |
| m | Massa | [g], [kg], [t] |
| t | Aika | [s], [h], [a] |
| V | Tilavuus | [ml], [l] |

SI-järjestelmän ulkopuoliset yksiköt:

| | |
|-----|--|
| C % | Orgaanisen aineksen määrä laskettuna hiilipitoisuutena |
| pmy | Pesäkkeitä muodostava yksikkö |

Lyhenteet:

| | |
|-------|--|
| AD | Anaerobinen hajoaminen (engl. <i>Anaerobic Digestion</i>) |
| Evira | Elintarviketurvallisuusvirasto |
| EY | Euroopan Yhteisö |
| LUKE | Luonnonvarakeskus |
| MMM | Maa- ja metsätalousministeriö |
| MTK | Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliitto |
| MTT | Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus |
| PLA | polyaktidi |
| SVT | Suomen virallinen tilasto |
| TS | Kiintoaines (engl. <i>Total Solids</i>) |
| VYR | Vilja-alan yhteistyöryhmä |

Kemialliset yhdisteet:

| | |
|---|-------------------|
| Ar | Arseeni |
| B | Boori |
| Ca | Kalsium |
| CaO | Kalsiumoksidi |
| Cd | Kadmium |
| Cl | Kloori |
| CO ₂ | Hiilidioksidi |
| Cr | Kromi |
| Cu | Kupari |
| H ₂ O | Vesi |
| HNO ₃ | Typpihappo |
| Hg | Elohopea |
| K | Kalium |
| KCl | Kaliumkloridi |
| K ₂ SO ₄ | Kaliumsulfaatti |
| KNO ₃ | Kaliumnitraatti |
| Mg | Magnesium |
| Mo | Molybdeeni |
| N | Typpi |
| Ni | Nikkeli |
| N ₂ O | Dityppioksidi |
| NH ₃ | Ammoniakki |
| (NH ₂) ₂ CO | Urea |
| NH ₄ ⁺ | Ammoniumioni |
| NH ₄ -N | Ammoniumtyppi |
| NH ₄ NO ₃ | Ammoniumnitraatti |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | Ammoniumsulfaatti |
| NO ₃ ⁻ | Nitraatti-ioni |
| P | Fosfori |

Pb

Lyijy

S

Rikki

Zn

Sinkki

1 JOHDANTO

Suomi on maailman pohjoisin viljan tuottajamaa. Suomessa on puhdas maaperä ja ilmasto, jotka luovat hyvät ja turvalliset puitteet elintarvikkeiden raaka-aineiden tuotannolle. Vuonna 2016 Suomessa oli viljeltyä maa-alaa noin 2,28 miljoonaa ha (MTK, 2017). Eniten Suomessa viljellään vilja-, öljy- ja valkuaiskasveja. Viljan tuotannossa tärkein käsite on viljavuus, johon vaikuttavia tekijöitä ovat maaperän ravinteisuus, happamuus, ilmavuus, lämpötilavaihtelut, kosteus, maaperän eloperäinen aines ja puhtaus (Ruokatieto, 2018). Viljavuuteen voidaan vaikuttaa muokkaamalla maaperää, valitsemalla sopivin kasvilaji, sekä lannoittamalla ja kalkitsemalla maata.

Lannoitteen tarkoitus on turvata ravinteiden saanti, edistää kasvien kasvua ja parantaa sadon laatua. Suomessa lannoitteita valmistettiin yhteensä noin 1,9 miljoonaa tonnia vuonna 2016 (Evira, 2017). Lannoitevalmisteiden valmistuksessa ja käytössä on otettava huomioon lannoitevalmistelainsäädäntö sekä ympäristölainsäädäntö. Uusilla kierrätyslannoitteilla pyritään kierrättämään tehokkaasti ruokaketjun ravinnepitoisiin jätteisiin sitoutuneet ravinneaineet, kuten fosfori ja typpi. Ravinnepitoisiin jätteisiin lukeutuvat lietelanta, jäteveden käsittelyssä syntyvät lietteet, biojätteet ja teollisuuden sivutuotteet. Kierrättämällä ravinteita tehokkaasti pystytään hidastamaan uusiutumattomien luonnonvarojen loppumista.

Biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä voidaan hyödyntää lannoitteena sellaisenaan tai jatkojalostaa lannoitevalmisteeiksi. Mädätysjäännös, etenkin lietelanta, sisältää runsaasti ravinteita ja on näin ollen soveltuva raaka-aineeksi kierrätyslannoitteiden valmistukseen. Tällä hetkellä biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä ja rejektivedestä valmistetut lannoitevalmisteet kuuluvat pääsääntöisesti seuraaviin tyyppiryhmiin: orgaaniset maanparannusaineet, nestemäiset orgaanisena lannoitteena käytettävät sivutuotteet ja sellaisenaan maanparannusaineiksi soveltuvat sivutuotteet. Jatkojalostamalla mädätysjäännös kiinteäksi lannoitevalmisteeiksi voidaan ehkäistä ravinteiden runsas huuhtoutuminen ympäristöön. Lisäämällä kierrätyslannoitteeseen biovoimalaitoksen lentotuhkaa saavutetaan tuote, joka kalkitsee ja ravitsee maaperää.

Kestävän kehityksen periaatteena on minimoida käytettäviä materiaaleja, tehostaa kierrättämistä ja vähentää jätteiden syntyä. Kiertotalouden tehostaminen Suomessa on myös Sipilän hallituksen yksi kärkihankkeista (Valtioneuvoston kanslia, 2015). Ravinnekierrossa oleellisinta on pienentää ravinteiden hävikkiä ja palauttaa ravinteet takaisin kiertoon.

1.1 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena on luoda CTS Engtec Oy:lle kierrätyslannoitteen valmistukseen toimiva massa- ja ravinnetaselaskenta. Tuotteen pääraaka-aineet ovat biokaasulaitokselta kertyvä mädätysjäännös ja biovoimalaitoksen lentotuhka. Tavoitteena on tuote, joka on kiinteää ja soveltuu käytettäväksi olemassa olevalla tekniikalla. Tarkastelun lähtökohtana pidettiin raaka-aineen laatuvariaation ja kapasiteetin vaihtelun vaikutusta prosessiin. Käytetyt oletukset on kirjattu ylös, jotta ne voidaan varmistaa projektin edetessä.

Tavoitteena on saada aikaan kierrätyslannoitteen valmistukseen mahdollisimman tarkka ja toimiva taselaskenta, joka täyttää kierrätyslannoitteen vaatimukset ja toimii pohjana valmistusprosessin suunnittelussa. Tavoitteena on tuote, joka on ravinnepitoisuuksiltaan kilpailukykyinen markkinoilla olevien mineraalilannoitteiden kanssa. Työn lähtökohtana on, että tuotteessa olisi vähintään 50 % kierrätysmateriaaleja ja tuote sisältäisi yli 10 % orgaanista ainesta. Työssä luotu taselaskenta ja prosessilaitteiden valinta keskittyvät tuotantoprosessin päälaitteisiin.

1.2 Työn sisältö

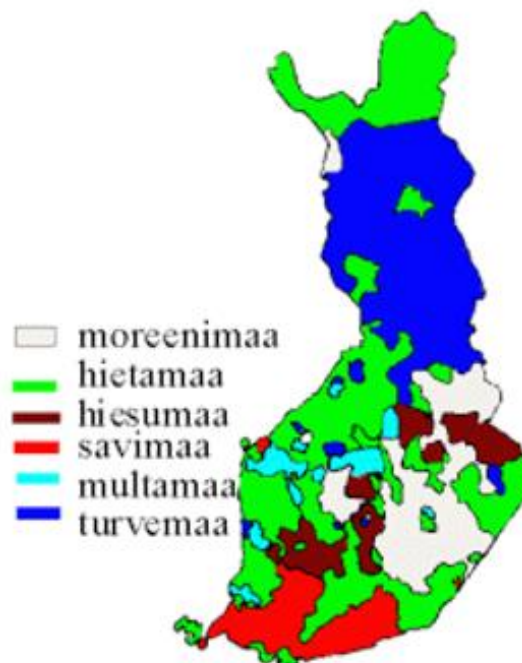
Työn teoriaosuudessa on käsitelty lannoitteisiin ja kierrätyslannoitteisiin liittyvää taustatietoa sekä maanviljelyn luomia vaatimuksia lannoitevalmisteille. Luvussa 3.4 on esitetty lainsäädännön asettamia rajoituksia ja vaatimuksia lannoitevalmisteiden

valmistukseen sekä käyttöön liittyen. Luvussa 6 on esitetty kierrätyslannoitteelle lasketut massa- ja ravinnetaseet, laskennassa käytetyt oletukset sekä 3 potentiaalista esimerkkiä tuotevaihtoehdoista.

Luvussa 7 on esitelty taselaskentaan pohjautuen valmistusprosessiin kuuluvat päälaitteet ja niiden mitoitus. Luku 8 kokoaa edelliset luvut yhteen ja esittää työhön liittyvät tulevaisuuden jatkoselvitystarpeet kierrätyslannoitteiden valmistusprosessista.

2 SUOMEN MAALAJIT JA NIIDEN SOVELTUVUUS MAANVILJELYYN

Suomen maalajit jaotellaan maalajiryhmiin geologisen syntyvän, hiukkaskoon ja humuspitoisuuden mukaan. Nämä maalajiryhmät ovat: moreenimaalajit, karkearakeiset maalajit, hienorakeiset maalajit ja eloperäiset maalajit (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen, 2007). Suomen yleisin maalaji on moreeni, mutta viljelyspelloista suurin osa on hietamaita (Ruokatieto, 2018). Maankäytön, etenkin maanviljelyn kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat maan raekoostumus, tiiviys, kivi- ja lohkarepitoisuus, vesipitoisuus sekä eloperäisen aineksen määrä. Kuvassa 1 on esitetty Suomessa viljelykäytössä olevien peltojen maalajit.



Kuva 1. Viljelypeltojen maalajit Suomessa. (Ruokatieto, 2018)

Suomessa on erinomaiset puitteet viljelyyn ja elintarvikkeiden raaka-aineiden tuotantoon. Kylmä talvi puhdistaa peltoja ja ehkäisee tuholaisista tai taudeista johtuvia sadonmenetyksiä. Vuonna 2016 Suomessa oli viljeltyä pinta-alaa noin 2,28 miljoonaa hehtaaria (MTK, 2017). Suomessa viljellään eniten vilja-, öljy- ja valkuaiskasveja. Viljelyssä keskeinen käsite on viljavuus. Viljavuudella tarkoitetaan viljelysmaan hedelmällisyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat maaperän ravinteisuus, pH, ilmavuus, lämpötilavaihtelut, kosteus, eloperäinen aines ja puhtaus (Ruokatieto, 2018). Viljavuuteen voidaan myös vaikuttaa muokkaamalla maaperää, kasvilajin valinnalla sekä lannoittamalla ja kalkitsemalla maata. Lannoituksessa tulee ottaa huomioon viljeltävä kasvilaji ja maalaji, sekä maan sisältämät puutteet ravinteissa. Lisäksi lannoituksessa tulee huomioida vesistöjen läheisyys ja mahdollinen riski ravinteiden ympäristöön huuhtoutumisesta, joka voi aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Taulukkoon I on koottu maalajien soveltuvuuksia eri kasvilajien viljelyyn.

Taulukko I Maalajien soveltuvuus viljelykäyttöön eri kasvilajeille. (Muokattu lähteistä Haavisto-Hyvärinen et al. 2007 ja Ruokatieto 2017)

| Maalaji | Soveltuvuus viljan viljelyyn | Soveltuvuus rehun tuotantoon | Soveltuvuus juurikasvien ja perunan viljelyyn |
|--|------------------------------|------------------------------|---|
| Hienoaineksinen moreeni (hietamoreeni) | Tyydyttävä | Tyydyttävä | Hyvä |
| Karkea hieta | Hyvä | Hyvä | Hyvä |
| Hieno hieta | Erittäin hyvä | Erittäin hyvä | Erittäin hyvä |
| Hiesumaat | Tyydyttävä | Hyvä | Tyydyttävä |
| Savimaat | Hyvä | Hyvä | Hyvä |

2.1 Moreenimaalajit

Moreeni on maamme yleisin maalaji ja Suomen maapinta-alasta yli 50 % on moreenia (Haavisto-Hyvärinen et al., 2007). Moreenia esiintyy myös pintakerroksen alapuolella etenkin savikoiden ja soiden alla. Se on rakenteeltaan kivimurskaa ja sen esiintyvyys eri raekokoina on laaja, aina savesta isoihin lohkaraisiin (Haavisto-Hyvärinen et al., 2007). Moreenimaiden vedenpidättyvyys on huono ja ne sisältävät vain vähän ravinteita (Ruokatieto, 2018). Moreenimaalajeista erityisesti hienoaineksisimmat moreenit soveltuvat kohtalaisesti viljelyskäyttöön.

2.2 Karkearakeiset maalajit

Karkearakeiset maalajit ovat koostumukseltaan lohkaraita, kiviä, soraa, hiekkaa ja karkeaa hietaa (Haavisto-Hyvärinen et al., 2007). Näistä viljelyskäyttöön soveltuu parhaiten karkea hietaa. Kuten kuvasta 1 nähdään, hietamaita esiintyy ympäri Suomea, mutta eniten Pohjanmaalla. Hietamaat ovatkin Suomen yleisin maalaji viljelypelloilla ja niiden käytettävyyttä lisää helppo muokattavuus. Karkea hietaa läpäisee vettä kohtuullisesti, mutta myös pidättää sitä. Johtuen hyvästä kosteussuhteesta ja hyvästä ravinnepitoisuudesta maalaji soveltuu viljelysmaaksi hyvin (Ruokatieto, 2018). Hiekkamaita esiintyy viljelypeltolina lähinnä Keski- ja Itä-Suomessa.

2.3 Hienorakeiset maalajit

Hienorakeiset maalajit ovat koostumukseltaan hienoa hietaa, hiesua ja savea. Hieno hietaa on kosteata, ilmavaa ja ravinteita pidättävää, joten se on viljelysmaaksi hyvin soveltuvaa (Ruokatieto, 2018). Ravinteiden pidättyvyyden puolesta hiesumaa soveltuisi hyvin maanviljelyyn, mutta kuivuessaan se kovettuu tiiviiksi ja sitä on vaikea muokata (Haavisto-

Hyvärinen et al., 2007). Hiesumaissa pieneliötoiminta on vaikea saada vilkastumaan, jolloin etenkin kasvien typen saanti on hankalaa (Rajala, 2006). Savimaat ovat maanviljelyyn hyvin soveltuvia koska vesi ja ravinteet pidättyvät maahan hyvin. Savimaat sisältävät ravinteista etenkin kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia (Ruokatieto, 2018; Rajala, 2006). Savimaita esiintyy eniten Lounais- ja Etelä-Suomessa.

2.4 Eloperäiset maalajit

Eloperäiset maalajit ovat veteen kerrostuneita kasvi- ja eläinjäänteitä. Humuspitoisuus on tyypillisesti 6-40 m-% (Haavisto-Hyvärinen et al., 2007). Eloperäisiin maalajeihin lukeutuvat liejut, turpeet ja multamaat. Eloperäisistä maalajeista etenkin turvetta esiintyy erityisesti Lapissa ja Kainuussa. Ominaisuuksiltaan turvemaat soveltuisivat hyvin maanviljelyyn, sillä ne sisältävät paljon typpeä, mutta ne ovat luonnostaan happamia (Ruokatieto, 2018). Eloperäisistä maalajeista multamaat ovat erittäin hyviä viljelysmaita koska ne ovat kosteita ja sisältävät paljon ravinteita (Ruokatieto, 2018). Eloperäisissä maissa riskinä on ravinteiden huuhtoutuminen ympäristöön.

2.5 Ravinteet

Maaperään on luonnostaan sitoutuneena kasvien pääravinteita typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K), jotka ovat usein myös kasvua rajoittavia tekijöitä. Sivuravinteita ovat kalsium (Ca), magnesium (Mg) ja rikki (S). Lisäksi kasvuun tarvitaan myös hivenaineita kuten rautaa (Fe), mangaania (Mn), sinkkiä (Zn), kuparia (Cu), molybdeeniä (Mo), booria (B) ja klooria (Cl) (Rajala 2006). Ravinteita tarvitaan ylläpitämään elintoimintoja sekä kehittämään uusia solukoita. Maassa olevan pieneliöstön toiminta takaa ravinteiden vapautumisen maamineraaleista ja niukkaliukoisista lannoitteista (Rajala 2006). Kasvit sitovat ravinteita kasvun aikana ja vapauttavat ne jälleen ravinnekiertoon eloperäisen aineksen hajottua.

Ihminen omalla toiminnallaan häiritsee ja jopa katkaisee luonnollisia ravinnekiertoja, joten ravinteiden saantia turvataan nykyisin lannoituksen avulla kaikilla maalajeilla.

Fosfori on sitoutuneena maan kivennäisainekseen epäorgaanisina fosforiyhdisteinä, esimerkiksi apatiittina (Rajala, 2006). Kasvien käyttämä fosfori on maassa helppoliukoisena fosforina. Fosforilannoituksessa on suurin riski ravinteiden huuhtoutumisessa ympäristöön. Pelloilta fosforia päätyy vesistöihin eroosion ja valumavesien mukana. Puolestaan kasvien ravinteena käyttämä typpi on epäorgaanisessa muodossa joko nitraattityyppinä (NO_3^-) tai ammoniumtyyppinä (NH_4^+). Vapautuvan typen määrään vaikuttaa maan kokonaistypen määrän ohella myös maan muokkaus, viljelykierto ja kasvukauden sääolosuhteet (Rajala, 2006). Koska esimerkiksi kasvilajien fosforitarve sekä maalajien luontainen fosforipitoisuus vaihtelevat, käytetään ravinnekierron ylläpitämiseen lannoitteita. Lisäksi käytetään erilaisia maanparannusaineita, kuten kalkkia neutraloimaan maan pH-arvoa. Luvuissa 3 ja 4 käsitellään tarkemmin lannoitteita ja kierrätyslannoitteita.

2.6 Kasvikohtaisia vaatimuksia

Kuten taulukosta I nähdään, maalajien soveltuvuudessa eri viljelykasvien tuotantoon on paljon eroavaisuuksia. Myös kasvilajien välillä on eroja niiden kyvyssä sitoa maasta ravinteita. Esimerkiksi juurikasvit ja peruna hyödyntävät maasta vapautuvaa typpeä paremmin kuin viljakasvit (Rajala, 2006). Lisäksi eroavaisuuksia on siinä kuinka paljon ravinteita kasvit tarvitsevat. Ravinteiden saantiin vaikuttavat maalajin ohella mm. kasvin juuriston laajuus ja tiheys sekä juurikarvojen pituus ja lukumäärä. Lannoitus tulisi aina suunnitella viljavuustutkimuksen pohjalta, jolloin tulee huomioida sekä maan ravinnepitoisuus, että kasvikohtaiset vaatimukset.

2.6.1 Ohra

MTK:n (2017) tuoreimpien tietojen mukaan vuonna 2017 eniten viljelty kasvi oli ohra. Ohrasta suurin osa menee rehu tuotantoon, mutta teollisuuden raaka-aineena sitä käytetään myös tärkki-, sekä mallasteollisuudessa. Hyvän sadon edellytyksenä on runsas pää- ja hivenravinteiden saanti etenkin nopean kasvun vaiheessa. Viljat käyttävät ravinteista etenkin typpeä ja kaliumia saavuttaakseen suuren sadon (Yara Suomi Oy^a). Ravinteiden liukoisuuteen ja niiden saantiin kasvukauden aikana vaikuttavat eniten lämpötila ja sademäärä. Viljoista ohra on kaikkein herkin kasvukauden ongelmille, koska sen juuristo on pienempi kuin muilla viljoilla (Yara Suomi Oy^a). Ohran viljelyyn soveltuu hyvin runsaasti typpeä sisältävä NPKS-moniravinnelannoite. Ohra ja muut viljakasvit soveltuvat viljelykokeiden perusteella hyvin kierrätyslannoitteen käyttökohteeksi (Marttinen et al., 2013; Möller et al., 2012).

2.6.2 Peruna

Peruna on yksi eniten käytetty ravintokasvi Suomessa. Perunan kasvun edellytyksenä on runsas typen saanti, mutta hyvän sadon edellytyksenä on myös riittävä fosforin, kaliumin, kalsiumin, boorin ja magnesiumin saanti (Pro Agria, 2014). Perunan juuristo on laaja mutta se ulottuu vain maan pintakerrokseen, jolloin se ei pysty hyödyntämään koko maan ravinnevarantoja. Ravinteiden tarve on suurinta kasvukauden alussa ja vähenee kukinnan alettua. Ihanteellinen pH perunan kasvulle on 6 - 6,5 (Pro Agria, 2014). Lannoitus auttaa myös ehkäisemään kasvintuhoajien leviämistä. Perunan viljelyyn soveltuu moniravinnelannoite. Kasvisten ja vihannesten viljelyssä kierrätyslannoitetta on tutkittu vielä varsin vähän. Viljelykokeissa saadut tulokset osoittavat kuitenkin potentiaalia myös kasvisten ja vihannesten viljelyyn, sillä nitraatti- ja vesipitoisuudet alenivat merkittävästi, kun käytettiin mädätysjäännöksiä korvaamaan mineraalilannoitteita (Möller et al., 2012).

2.6.3 Öljykasvit

Öljykasveista Suomessa viljellään eniten rypsiä ja rapsia. Öljykasveilla tulee varmistaa riittävä typen, rikin, fosforin, kaliumin, mangaanin ja boorin saanti (VYR, 2012). Etenkin teollisuusalueilla ja Etelä-Suomessa päästövähennystoimien tiukentuminen näkyy lisääntyneenä rikkilannoituksen tarpeena (Ervasti, et al., 2018). Ravinteiden saannin tulee olla tasaista läpi kasvukauden. Erityisen tärkeää on tasapainoinen ravinteiden saanti kasvun alkuvaiheessa, jolloin kasvin kehitys on nopeinta. Öljykasvit ovat herkempiä ravinnepuutoksille kuin viljat, joten lannoitus on tärkeässä asemassa hyvän sadon saavuttamiseksi. Kylvölannoitukseen suositellaan NPKS-moniravinnelannoitteita, joilla saavutetaan kasville riittävä ravinteiden saanti (VYR, 2012). Kierrätyslannoitteen soveltuvuus öljykasvien viljelyyn vaatii lisää tutkimustyötä. Lisäksi se vaatii tuotteelta nopeaa liukoisuutta, jotta öljykasvit saavat ravinteita etenkin nopean kasvun vaiheessa.

3 LANNOITTEIDEN KÄYTTÖ SUOMESSA

Eri kasvien ravinnetaseet vaihtelevat huomattavasti ja näin ollen lannoitustarve ja ravinnepoistuma vaihtelevat myös runsaasti. Lannoituksen tarkoituksena on täydentää maan ravinnevarastoja ja turvata kasvien tasainen ravinteiden saanti. Lannoituksessa tulee ottaa huomioon myös uusiutumattomat luonnonvarat sekä ympäristön kuormittuminen. Fosforivarannot ovat rajalliset ja pidetään jopa mahdollisena, että fosforiesiintymät loppuisivat tulevaisuudessa, mikäli mineraalilannoitteiden käyttö laajenee maailmanlaajuisesti Länsi-Euroopan tasolle (Gorazda et al., 2013; Childers et al., 2011; Rajala 2006). Lannoitteiden kasvaneet käyttömäärät yhdessä eksponentiaalisen väestönkasvun kanssa ovat lisänneet merkittävästi nitraatti- (NO_3^-) ja dityppioksidipäästöjä (N_2O) (Stein & Klotz, 2016). Nitraattipäästöissä on riski vesien rehevöitymiseen ja N_2O on kasvihuonekaasu, joka edesauttaa maapallon ilmakehän lämpenemistä.

Vuonna 2016 Suomessa valmistettiin yhteensä 1 874 158 t lannoitevalmisteita (Evira, 2017). Orgaanisten lannoitteiden osuus oli noin 8 % valmistetuista lannoitevalmisteista. Suomen markkinoilla olevat lannoitteet sisältävät enimmäkseen typpeä, fosforia ja kaliumia. Lisäksi useissa tuotteissa on kalsiumia, magnesiumia ja rikkiä. Suomessa valmistetuissa lannoitteissa on myös usein lisättynä booria ja seleeniä (Pohjakallio, 2015). Suomessa käytettävissä mineraalilannoitteissa typpi on nitraatti- ja/tai ammoniumtyyppinä tai ureatyyppinä, jolloin se on kasville heti käyttökelpoista liuettuaan veteen maaperässä (Evira, 2016). Eniten käytetty lannoite on moniravinteinen NPK-lannoite. NPK-lannoitteiden sekoitusuhde voi vaihdella, kunhan kutakin tyyppinimen ravinnetta on vähintään 1 % (Evira, 2016).

3.1 Muut maanparannusaineet

Maanparannusaineiksi kutsutaan kierrätystuotteita, jotka pyrkivät palauttamaan eloperäisen aineksen maaperään ja tehostamaan ravinteiden kiertoa. Tällaisia tuotteita ovat mm.

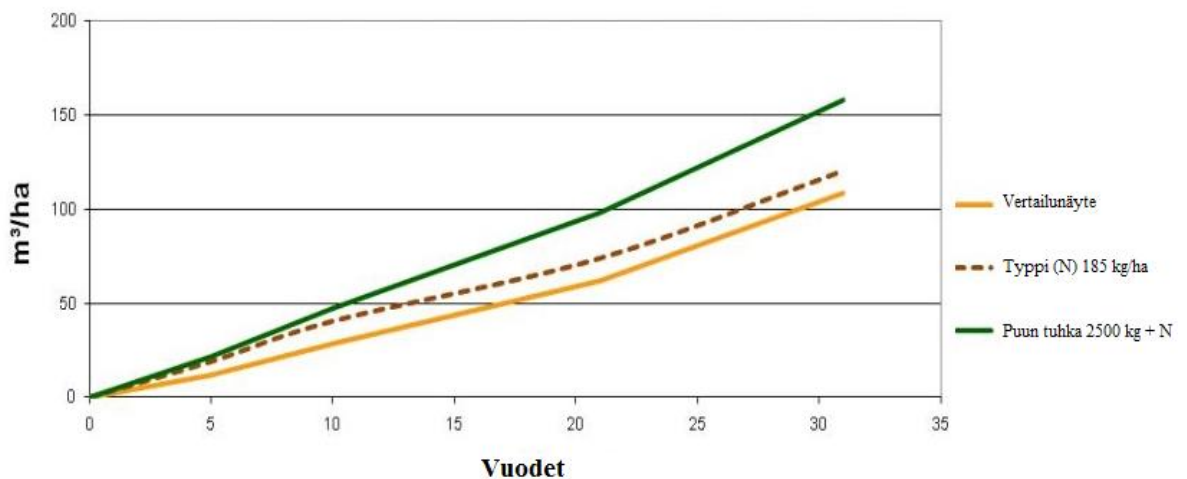
kalkkikivituotteet, kipsi, karjanlanta sekä biojätteiden ja puhdistamolietteiden kompostit. Maanparannusaineet pyrkivät sitomaan hiiltä maaperään ja neutraloimaan maan happamuutta (Joonas, 2013). Happamuus voi olla maaperästä johtuvaa tai se voi olla lannoitteen typen aiheuttamaa. Maanparannusaineista yleisimmin on käytössä kalkitusaineet. Kalkitsemalla voidaan parantaa maan rakennetta, jolla on ravinteiden huuhtoutumista pienentävä vaikutus (Joonas, 2013).

Maanparannukseen voidaan myös käyttää sellaisenaan tai lisätä lannoitevalmisteen joukkoon puhdistettua tuhkaa, jonka raskasmetallipitoisuuksia on laskettu. Soveltuva lentotuhka on peräisin biovoimalaitoksilta, jotka polttavat puuta, turvetta tai näiden seosta. Vuonna 2014 lentotuhkaa tuotettiin noin 600 000 t (Kuokkanen, 2014). Tuhkan käytöllä voidaan minimoida uusiutumattoman kalkin käyttöä sekä tehostaa jätevirtojen hyötykäyttöä. Viljelyn kannalta tärkeistä ravinteista lentotuhka sisältää fosforia ja kaliumia sekä kalsiumia (Ojala, 2010). Tuhkan käytön tarkoituksena on kalkita maaperää ja korjata sen ravinnetilaa. Tuhkan käytöllä pyritään neutraloimaan maan pH:ta, jolloin tuhkan sisältämän kalsiumin neutraloiva vaikutus tulisi olla vähintään 10 % (Kuokkanen, 2014).

3.2 Metsälannoitteet

Metsänhoidossa lannoituksella on kaksi merkittävää tarkoitusta: ravinnelannoitus ja kasvatuslannoitus. Ravinnelannoituksella hoidetaan metsän ravinnepuutoksia ja kasvatuslannoituksella parannetaan metsän kasvua. Lannoituksella on saavutettavissa monia positiivisia ympäristövaikutuksia, kuten hiilen sitoutuminen puustoon vähentäen ilmakehälle haitallisia kasvihuonepäästöjä sekä puuston parempi vastustuskyky tuholaisia vastaan (Seppänen, 2011). Lannoituksesta aiheutuvat ympäristöriskit ovat ravinteiden huuhtoutuminen vesistöön ja kivennäismailla tämän lisäksi maan happamoituminen (Äijälä, et al., 2013). Metsänlannoitukseen soveltuu parhaiten N-lannoitteet kivennäismaille ja PK-lannoitteet suomaille (Ilvesniemi, 2018). Lannoituksella saavutetaan tyypillisesti noin 15 –

20 m³/ha kasvunlisäystä, mutta parhaimmillaan on saavutettu jopa noin 50 m³/ha kasvunlisäys (Laaksonen, 2018; Ilvesniemi, 2018). Kuvassa 2 on esitetty lannoituksella saatu kasvunlisäys mäntymetsässä. Lannoituksella on myös positiivinen vaikutus marja- ja sienisatoihin, sekä metsän eläimistöille, joille lisääntynyt kasvillisuus tarjoaa ravintoa ja suojaa (Laaksonen, 2018; Äijälä et al., 2013). Tuhkalannoituksen vaikutukset säilyvät metsässä pitkään ja ovat parhaimmillaan havaittavissa vielä vuosikymmeniä lannoituksen jälkeen.



Kuva 2. Lannoituksen vaikutus mäntymetsän kasvuun (suomennettu lähteestä Ilvesniemi, 2018).

3.3 Luomulannoitteet

Luonnonmukaisessa maanviljelyssä aiheutuvat vesistö- ja ilmastokuormitukset jäävät pienemmiksi kuin tavanomaisessa maanviljelyssä. Luonnon omat ravinteet pyritään hyödyntämään tehokkaammin, koska synteettisten kemiallisten lannoitteiden käyttö on kielletty. Luomuviljelyssä korostetaan viljelykiertoa ja edistetään orgaanisten lannoitusaineiden kierrätystä (MMM, 2014). Luonnonvarakeskuksen (2017) tilastojen mukaan luomun osuus maanviljelyssä on kasvanut vuosi vuodelta ja vuoden 2017

viljelysadosta noin 3,5 % oli luomua. Suomessa erillistä hyväksyntää luomulannoitteille ei tarvita. Luonnonmukaiseen tuotantoon soveltuvien lannoitteiden tehosta ja vaikutuksesta sadon laatuun ei kuitenkaan ole merkittävää tutkimusnäyttöä. Luonnonmukaisessa tuotannossa sallittuja lannoitevalmisteita ovat typpibakteeri- tai muut mikro-organismien avulla tuotetut valmisteet (Evira, 2018). Oleellista on, että tuotteet eivät sisällä geenimuunneltuja ainesosia. Kierrätyslannoitteella on potentiaalia myös luomulannoitteeksi, jos raaka-aineena ei ole käytetty puhdistamolietettä.

3.4 Lannoitevalmisteita koskeva lainsäädäntö

Lannoitevalmistelain tavoitteena on edistää hyvälaatuista ja turvallista kasvintuotantoa. Ympäristön laatu halutaan turvata antamalla riittävästi tietoa lannoitteista ja sellaisiksi soveltuvista sivutuotteista. Lakia sovelletaan myös lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden valmistukseen, käyttöön ja kuljetukseen. Lisäksi lannoitevalmisteiden raaka-aineita ja niiden käsittelyä, käyttöä ja hävittämistä koskevia vaatimuksia säädetään myös terveysuojelulaissa (763/1994), ympäristönsuojelulaissa (527/2014), jäteläissa (646/2011) ja maa-aineslaissa (555/1981). Mikäli lannoitevalmisteen valmistuksessa käytetään eläimistä saatavia raaka-aineita, niitä koskevista vaatimuksista säädetään myös eläintautilaissa (441/2013). (Lannoitevalmistelaki. 539/2006: 1-3 §)

Toiminnan harjoittajan vastuulla on, että tuotannosta ja sen aiheuttamista päästöistä ei ole vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle tai turvallisuudelle. Lannoitevalmisteiden tulee olla tasalaatuisia ja turvallisia tuotteita, jotka täyttävät lannoiteasetuksen, lannoitevalmistelain sekä muiden lannoitteisiin liittyvien säädösten vaatimukset. Vaatimukset koskevat lannoitteen valmistukseen käytettäviä tiloja, laitteita, kalustoa ja raaka-aineita valmistuksesta lopputuotteen kuljetukseen saakka. Markkinoille saatettavassa lannoitevalmisteessa tulee olla tuoteseloste, joka sisältää kirjalliset tiedot tuotteen tyyppi- ja kaupanimestä, koostumuksesta, ominaisuuksista, käytöstä ja valmistajasta. Taulukossa II

on esitetty suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet sekä taudinaiheuttaja- ja epäpuhtausmäärät lannoitevalmisteille ja niissä käytettäville raaka-aineille. (Lannoitevalmistelaki. 539/2006: 5, 8 §; Ympäristönsuojelulaki. 524/2014: 1-2 §; asetus lannoitevalmisteista 24/11)

Taulukko II Suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet sekä taudinaiheuttaja- ja epäpuhtausmäärät maanviljelyssä ja metsätaloudessa käytettäville lannoitevalmisteille. Epäpuhtausmäärissä pmy = pesäkkeitä muodostava yksikkö (EY asetus No: 2003/2003; asetus lannoitevalmisteista 24/11)

| Alkuaine | Enimmäispitoisuus maanviljelyssä [mg/kg TS] | Enimmäispitoisuus metsätaloudessa [mg/kg TS] |
|---|---|---|
| Arseeni (Ar) | 25 | 40 |
| Kadmium (Cd) | 2,5 | 25 |
| Kromi (Cr) | 300 | 300 |
| Kupari (Cu) | 600 * | 700 |
| Elohopea (Hg) | 1 | 1 |
| Nikkeli (Ni) | 100 | 150 |
| Lyijy (Pb) | 100 | 150 |
| Sinkki (Zn) | 1 500 * | 4500 * |
| Taudinaiheuttaja/ indikaattori | Enimmäismäärä | |
| Salmonella spp. | ei todettavissa 25 g:ssa näytettä | |
| Escherichia coli | 1000 pmy/g ja alle 100 pmy/g ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa kasvualustoissa, joissa syötävä kasvinosa on suoraan kosketuksissa kasvualustaan | |
| Epäpuhtaus | Enimmäismäärä | |
| Rikkakasvinsiemenet | Lannoitteissa: ei todettavissa. Pakatuissa maanparannusaineissa: 2 itänyttä/l Pakkaamattomissa maanparannusaineissa: 5 itänyttä/l | |
| Roskat (lasi, metalli, muovi, luu, kivi) | Pakatuissa tuotteissa: 0.2 % tuorepainosta. Pakkaamattomissa tuotteissa: 0.5 % tuorepainosta | |
| Kasvin osat | Ei saa olla eläviä juuria, juurakoita tai muita kasvulliseen lisääntymiseen liittyviä osia | |

(*) Kupari ja sinkki luokitellaan myös kasviraavinteiksi ja niiden määrät lannoitteissa saa olla korkeintaan kaksinkertaiset. Tämä edellyttää maaperäanalyysiä, jonka perusteella on todettu olevan puutetta näistä ravinteista. (Vuorinen et al., 2016)

Lannoitevalmistelain mukaan toiminnan harjoittajan on valvottava säännöllisesti tuotteen valmistusta ja käsittelyä. Mikäli toiminnasta on mahdollista aiheutua vaaraa terveydelle, turvallisuudelle tai ympäristölle, sille voidaan asettaa toimintaa koskevia vaatimuksia, rajoituksia tai muita ehtoja. (Lannoitevalmistelaki. 539/2006: 10, 13-14§; Ympäristönsuojelulaki. 524/2014: 7§)

3.5 Kaupalliset lannoitteet ja niiden koostumus

Lannoitevalmistajasta riippumatta suurin osa tuotteista on moniravinteisia NPK-lannoitteita, joiden sisältämät ravinteet ovat samassa, halkaisijaltaan 2-7 mm rakeessa. Ravinnepitoisuuksia muuttamalla tuotteet on yksilöity viljelykasvien ja/tai maalajien mukaan. NPK-lannoitteiden rinnalle on kehitetty lisälannoitteita, joiden avulla turvataan tärkeimpien kasvuvaiheiden riittävä ravinteiden saanti.

Yara Suomi Oy on Suomen lannoitemarkkinoiden hallitsija. Yaralta löytyy useita tuoteperheitä niin maanviljelyyn kuin metsän lannoitukseen. Esimerkkinä Yara Suomen YaraMila[®] tuoteperheen moniravinnelannoitteet, jotka on kehitetty erityisesti suomalaisiin olosuhteisiin. YaraMila[®] -lannoitteita on 17 kpl maanviljelyyn ja 1 kpl metsän lannoitukseen. Tuotteet eroavat toisistaan ravinnepitoisuuksien ja käyttökohteiden mukaan. Esimerkiksi YaraMila Y1 -lannoite sisältää 26.6 % typpeä, 1.3 % fosforia, 4.3 % kaliumia ja 3.3 % rikkiä. Lisäksi lannoite sisältää 0.02 % booria ja 0.0015 % seleeniä. Lannoite on olomuodoltaan rakeinen ja se soveltuu parhaiten vilja- ja öljykasvien viljelyyn mailla, joiden fosforitaso on luokassa hyvä. Lisäksi Yaralta löytyy runsaasti erilaisia lisäravinnevalmisteita, kuten YaraLiva[®] -tuotteet, jotka sisältävät typen ja boorin lisäksi

myös kalsiumia (19 %). Tuotteet ovat suunnattu perunan, vihannesten, marjojen ja hedelmien lisälannoitukseen kasvukauden aikana. (Yara Suomi Oy^{a,b})

Belor Agro Oy:llä on myös useita lannoitevalmisteita maanviljelyyn ja metsän lannoittamiseen. Suurin osa lannoitteista on moniravinnelannoitteita. Esimerkiksi Premium NPKS 27-3-5-2 on yleisin lannoite viljan ja öljykasvien viljelyyn Suomessa. Tuote sisältää 27 % typpeä, 2.6 % fosforia, 5 % kaliumia ja 2.1 % rikkiä. Belor Agron valikoimasta löytyy myös kolme erityisesti perunalle kehitettyä lannoitetta. Premium Peruna NPKS 8-5-18-11 -lannoite sisältää 7.77 % typpeä, 5 % fosforia, 18.26 % kaliumia, 10.8 % rikkiä, 1.64 % magnesiumia ja 0.25 % klooria. (Belor Agro Oy, 2017)

Suomen suurin kierrätyslannoitteiden toimittaja on Soilfood Oy. Lannoite- ja maanparannustuotteet on jatkojalostettu maatalouden ja teollisuuden sivuvirroista. Soilfoodin NKS-vinassi lannoite sisältää 3.7 % typpeä, 7.3 % kaliumia ja 2.1 % rikkiä. Lannoite on suunniteltu käytettäväksi sellaisenaan tai yhdessä biokaasutuotannossa syntyvän ravinnelietteen kanssa. Soilfoodin ravinneliete soveltuu vilja- ja öljykasvien lannoitukseen. Ravinnelietettä on saatavilla viideltä eri toimittajalta ja niiden sisältämät ravinnepitoisuudet vaihtelevat runsaasti. Esimerkiksi Kaakon Ravinneliete sisältää 0.37 % typpeä, 0.05 % fosforia, 0.52 % kaliumia, 0.03 % rikkiä ja 0.06 % kalsiumia. (Soilfood Oy, 2018)

4 KIERRÄTYSLANNOITTEET

Epäorgaanisten lannoitteiden käytössä on riski ravinteiden huuhtoutumiseen ympäristöön ja pahimmassa tapauksessa kasvi ei edes ehdi hyödyntää riittävästi lannoitteen ravinteita kasvukauden aikana. Kierrätyslannoitteessa ravinteet ovat enimmäkseen tai kokonaan kierrätetty biopohjaisesta aineksesta, eli ihmis-, eläin- tai kasviperaisistä jätteistä. Ravinteet ovat helpommin kasvin hyödynnettävissä ja ravinteiden huuhtoutumisen riski pienenee. Kestävän kehityksen periaatteena on minimoida käytettäviä materiaaleja, tehostaa kierrättämistä ja vähentää jätteiden syntyä. Lisäksi jatkuvasti kiristynyt lainsäädäntö pakottaa tehostamaan myös biohajoavien jätevirtojen käsittelyä ja hyötykäyttöä. Tällä hetkellä käytettyjä käsittelyvaihtoehtoja ovat: biokaasuprosessi, poltto, kaasutus tai kompostointi.

Biokaasuprosessin etuja ovat yhtäaikainen ravinteiden kierrätys sekä energian tuotanto. Ravinteiden palauttamisessa takaisin maaperään tulee pyrkiä yhä enemmän kierrätysravinteiden kautta. Kierrätysravinteisiin lukeutuvat mm. ruokaketjun ravinnepitoiset jätteet kuten lietelanta, jäteveden käsittelyssä syntyvät lietteet ja biojätteet (Gorazda et al., 2013; MTT, 2011). Taulukossa III on esitetty arviot jätteiden sisältämistä ravinnemääristä. Suurin ravinteiden kierrätyspotentiaali on maatalouden lannassa, jonka osuus on yli 70 % kierrätettävän fosforin ja typen määrästä. Ravinnekierroksen tehostamisella ja sulkemisella voidaan vähentää ympäristöhaittoja, kuten vesistöjen rehevöitymistä. Kierrätyslannoitteiden kehitystä vauhdittaa eksponentiaalisen väestönkasvun ohella myös jatkuvasti kasvava maailmanlaajuinen kysyntä fosforilannoitteista (Gorazda et al., 2013). Lisäksi lannoiteteollisuudessa tulisi ottaa huomioon luonnonvarojen väheneminen ja sen aiheuttamat seuraukset mineraalilannoitteiden hinnoille (Childers et al., 2011).

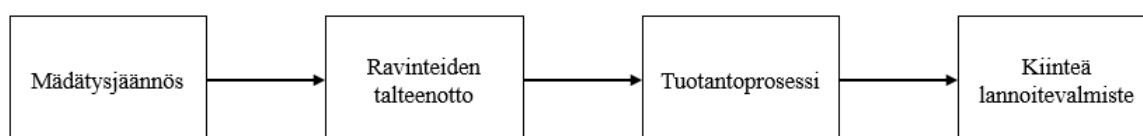
Taulukko III Arvioidut kokonaisfosfori- ja kokonaistyypimäärät eri jätevirroissa Suomessa vuosina 2014-2016. (Marttinen et al., 2017)

| | Fosfori, P (t/a) | Typpi, N (t/a) |
|------------------------------------|------------------|----------------|
| Maatalouden lanta | 19 300 | 75 600 |
| Rehuteollisuuden jätteet | 2 540 | 7 060 |
| Yhdyskunnan puhdistamolietteet | 2 880 | 3 740 |
| Yhdyskuntabiojäte | 730 | 5 340 |
| Elintarviketeollisuuden sivuvirrat | 360 | 2 070 |
| Metsäteollisuuden lietteet | 230 | 1 160 |
| Yhteensä | 26 040 | 94 970 |

4.1 Mädätysjäännös

Biokaasuprosessin eli mädätyksen lopputuotteita ovat biokaasu ja hajoamaton aines eli mädätysjäännös. Biokaasun tuotantoon soveltuvat eloperäiset jätteet ja sivutuotteet kuten biojätteet, jätevesilietteet, lannat ja teollisuuden sivutuotteet. Biokaasuprosessi perustuu biologiseen anaerobiseen hajoamiseen (anaerobic digestion, AD), jossa mikro-organismit hajottavat raaka-aineen orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa biokaasuksi (Kymäläinen et al., 2015). Mädätysjäännös on orgaanista ja ravinnerikasta ja siksi hyvin soveltuvaa lannoitekäyttöön. Se sisältää kaikki pää- ja hivenravinteet joita biokaasuprosessiin syötetyssä raaka-aineessa on ollut. Ravinteiden kokonaispitoisuus ei siis muutu, mutta osa orgaanisesta tyypestä hajoaa ammoniumtypeksi (NH_4 -N), joka on ns. liukoista tyyppiä ja helpommin kasvien käytettävissä (Kymäläinen et al., 2015). Biokaasuprosessin aikana tapahtuva typen mineralisaatio kasvattaa syöttömateriaalin kasvinravinnekäyttöarvoa. Mädätysjäännös soveltuu sellaisenaan suoraan lannoitekäyttöön tai se voidaan jatkojalostaa lannoitevalmisteeksi. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu lohkokaavio mädätysjäännöksen jatkojalostamisesta lannoitevalmisteeksi. Eloperäisten jätteiden ravinteet ovat suurelta osin peräisin ihmisten ja eläinten ravinnosta tai teollisuudesta, joten ravinnekiertojen sulkemiseen tulisi pyrkiä (Mikkola, 2014).

Jatkojalostettuna lannoitevalmisteena voidaan minimoida ravinteiden huuhtoutumista ympäristöön ja saadaan kohdennettua ne paremmin kasvin käytettäväksi.



Kuva 3. Kierrätyslannoitteen valmistuksen vaiheet jatkojalostaessa mätätysjäännös kiinteäksi lannoitevalmisteeksi.

Mätätysjäännöksen sisältämien ravinteiden kokonaismäärät lietelannassa ovat keskimäärin 1.2 - 4.4 g N / kg TS ja 0.1 – 1 g P / kg TS (Kizito et al., 2017; Möller et al., 2012; Pyykkönen, 2017; Luostarinen et al., 2011). Ravinteiden pitoisuuksiin lietelannassa vaikuttavat mm. eläinten syömän rehun sisältämät ravinteet sekä eläinlajit. Mätätysjäännöksen sisältämien ravinteiden määrät, kun raaka-aineena on käytetty puhdistamolietettä ovat keskimäärin 2 – 9.7 g N / kg TS ja 0.1 – 5.8 g P / kg TS (Marttinen et al., 2013; Kymäläinen et al., 2015; Möller et al., 2012). Mätätysjäännöksen sisältämien ravinteiden määrät, kun raaka-aineena on käytetty biojätettä ovat arviolta 1 g N / kg TS ja 0.25 g P / kg TS (Micolucci et al., 2016). Biojätteet ovat yleensä osana yhteismätätyslaitoisten mätätysjäännöstä, joten tutkimustuloksia biojätteen sisältämistä ravinnepitoisuuksista on niukasti saatavilla. Yhteismätätyslaitosten mätätysjäännöksen sisältämien ravinteiden määrät ovat keskimäärin 3.2 – 11 g N / kg TS ja 0.3 – 6.1 g P / kg TS (Marttinen et al., 2013; Kymäläinen et al., 2015; Bolzonella et al., 2017; Giuliano et al., 2013). Yhteismätätyslaitoksissa raaka-ainelähteitä on tyypillisesti kaksi tai useampi.

Yhteismädätyslaitoksien raaka-aineita ovat tyypillisesti:

- lietelanta
- puhdistamolietteet
- kasvibiomassa
- teollisuuden sivutuotteet
- biojätteet.

Taulukkoon IV on koottu näiden tietojen pohjalta keskiarvot ravinnepitoisuuksille mädätysjäännöksissä. Biokaasulaitokselta saatavan lopputuotteen laatuun vaikuttavat raaka-aine ja prosessin eri vaiheet (Marttinen et al., 2013). Lopputuotteen jatkojalostuksen kannalta oleellisinta on mädätysjäännöksen tasalaatuisuus sekä ravinteiden käyttökelpoisuus. Puhdistamolietteiden ja yhteismädätyslaitosten kohdalla mädätysjäännöksen epätasalaatuisuus sekä metalli- ja epäpuhtauspitoisuudet voivat aiheuttaa ongelmia jatkojalostuksessa vaikka ne olisivatkin hyvin ravinnerikkaita vaihtoehtoja.

Taulukko IV Mädätysjäännösten sisältämät keskimääräiset ravinnepitoisuudet.

| Mädätysjäännös | N [g/kg TS] | P [g/kg TS] |
|------------------------|-------------|-------------|
| Lietelanta | 2.7 | 1.1 |
| Puhdistamolietteet | 5.1 | 2.1 |
| Biojäte | 1 | 0.25 |
| Yhteismädätyslaitokset | 7.3 | 2.2 |

Marttinen et al., (2013) ovat osoittaneet ohran viljelykokeissa, että mädätysjäännöksestä valmistetuilla lannoitevalmisteilla on mahdollista saavuttaa yhtä suuret ja jopa suuremmat sadot kuin mineraalilannoitteilla. Mädätysjäännöksen kuivajakeilla tutkimusryhmä saavutti 10.5 % ja 4.7 % suuremmat sadot kuin mineraalilannoitteilla. Tutkimuksessa käytettyjen mädätysjäännösten raaka-aineina olivat sian lietelanta yhdessä elintarviketeollisuuden sivutuotteiden kanssa ja puhdistamoliete. Lisäksi tutkimusryhmä havaitsi viljelykokeissaan, että orgaanisten lannoitevalmisteiden satovaste on herkempi olosuhteiden vaihtelulle kuin mineraalilannoitteiden (Marttinen et al., 2013). Eroihin saattoi vaikuttaa muun muassa orgaanisen lannoitevalmisteen sisäinen typpipitoisuuden vaihtelu. Jatkojalostamalla tuote tasalaatuiseksi, on saavutettavissa kilpailukykyinen tuote mineraalilannoitteille. Möller et al. (2012) ovat artikkeliansa koonneet tutkimustuloksia, joissa saavutettiin viljan viljelyssä 15 – 28 % parannus sadossa, kun käytettiin lietelannan ja kasvibiomassan mädätysjäännöksiä. Puolestaan kasvisten viljelyssä nitraatti- ja vesipitoisuudet alenivat merkittävästi, kun käytettiin mädätysjäännöksiä korvaamaan mineraalilannoitteita (Möller et al., 2012).

4.1.1 Lietelanta

Lietelanta koostuu eläinten sonnasta, virtsasta ja eläinsuojan pesuvesistä. Lannan määrään ja sen sisältämiin ravinteisiin vaikuttavat eläinmäärä, eläinlaji ja niiden ravinnon sisältämät ravinteet. Lantojen keskimääräiset ravinnepitoisuudet eri eläinlajien välillä jakaantuvat seuraavasti:

1. turkiseläimet
2. siipikarja
3. sika
4. nauta
5. lammas, vuohi ja hevonen.

Naudan ja sian liettelantaa muodostuu kuitenkin määrällisesti eniten ja ovat siten merkittävimmät liettelannan tuottajat (Kymäläinen et al., 2015). Lietelanta on käytettävissä lannoitteena myös sellaisenaan mutta siinä on suuret riskit ravinteiden huuhtoutumiseen. Lisäksi biokaasuprosessin kautta siitä saadaan tuotettua energiaa ja minimoidaan liettelannan käytöstä aiheutuvia hajuhaittoja (Mikkola, 2014).

Lantatyypistä riippuen noin 20 % kokonaistypestä mineralisoituu biokaasuprosessin aikana liukoiseksi typeksi, joka on kasveille käyttökelpoista (Kymäläinen et al., 2015). Sian lannalla mineralisoituminen voi olla jopa tehokkaampaa. Lietelannassa suuri osa typestä on sitoutuneena kiinteään faasiin mutta suuret pitoisuudet fosforia on nestefaasissa (Luostarinen et al., 2011). Etenkin sian ja naudon liettelannassa on myös runsaasti kaliumia. Lannoitevalmisteiden kannalta on oleellista, että saadaan hyödynnettyä ravinteet niin kiinteästä faasista, kuin nestefaasistakin.

4.1.2 Puhdistamolietteet

Puhdistamolietteet ovat yhteiskunnan jätevedenpuhdistuksen yhteydessä muodostuvia lietteitä. Puhdistamolietteitä käytettäessä tulee ottaa huomioon lietteen sisältämät haitalliset metalliyhdisteet, taudinaiheuttajat ja epäpuhtaukset. Suomessa muodostuu vuosittain noin 150 000 t yhdyskuntien jätevesilietettä kuiva-aineena (Luostarinen et al., 2011). Puhdistamolietteiden sisältämä fosfori ei liukene yhtä tehokkaasti kuin lantafosfori, mutta sen sisältämät korkeammat kokonaisfosforipitoisuudet luovat potentiaalia lannoitekäyttöön. Arviolta 40 % puhdistamolietteiden kokonaisfosforista olisi kasveille käyttökelpoista (Luostarinen et al., 2011). Biokaasuprosessi muuttaa orgaanisen typen ammonium muotoon, jolloin on mahdollista, että se haihtuu varastoinnin aikana mutta happamuudella voidaan vaikuttaa haihtuvuuteen (Vuorinen et al., 2016). Mikäli lannoitteen valmistukseen käytettävistä raaka-aineista yli 10 % on puhdistamolietettä, lopputuote luokitellaan

maanparannusaineeksi (Kymäläinen et al., 2015). Alle 3 % osuudella ei ole merkitystä lopputuotteen tyyppinimeen.

Puhdistamolietteiden, kuten myös biojätteiden ja teollisuuden sivuvirtojen kanssa ongelmaksi voi muodostua niiden sisältämät metallit, taudinaiheuttajat ja epäpuhtaudet. Käytettäessä mädätysjäännöstä kierrätyslannoitteen raaka-aineena, sen sisältämät raskasmetallipitoisuudet eivät saa ylittää taulukossa II annettuja pitoisuuksia. Puhdistamolietteissä haasteeksi muodostuu myös niiden sisältämä hiekka, joka voi aiheuttaa biokaasuprosessissa pumppujen nopeaa kulumista, kerrostumia säiliöihin tai tukkia reaktorin pohjan. (Kymäläinen et al., 2015)

4.1.3 Yhteismädätyslaitokset

Orgaanisia sivutuotteita ja jätteitä syntyy myös seuraavilla teollisuuden aloilla: elintarvike-, juoma-, rehu-, ja panimoteollisuudessa sekä teurastamotoiminnasta (Kymäläinen et al., 2015). Näitä raaka-aineita käytetään useimmiten yhdessä lietelannan, puhdistamolietteiden tai biojätteiden kanssa raaka-aineena biokaasun tuotannon yhteislaitoksissa. Näitä syötteitä sekoittamalla voidaan tehostaa biokaasutuottoa ja saada ravinnerikkaampi mädätysjäännös (taulukko IV). Yhteismädätyslaitos mahdollistaa suuremman tuotantokapasiteetin ja raaka-aineen hankinta voidaan keskittää laitoksen lähiympäristöön. Yhteismädätyslaitoksella kertyvän mädätysjäännöksen etuna on sen hyvä ravinnepitoisuus ja typen parempi hyödynnettävyys kasvin ravinteena, jonka takia sillä on potentiaalia ravinteiden kierrätykseen (Möller et al., 2012). Yhteismädätyslaitoksessa, jossa on käytetty raaka-aineena lietelantaa ja maataloudessa syntyviä muita jätteitä on saavutettu jopa 11 g N / kg TS ja 5 g P / kg TS ravinnepitoisuudet (Giuliano et al., 2013). Puolestaan yhteismädätyslaitoksella, jossa on käytetty raaka-aineena sian lietelantaa ja energiarehua saavutettiin vain 3.2 g N/kg TS ja 0.3 g P/kg TS ravinnepitoisuudet, jotka ovat alhaisemmat kuin pelkällä lietelannalla keskimäärin (Bolzonella et al., 2017). Mädätysjäännöksen

epätasalaatuisuus voi muodostua ongelmaksi lannoitteenvalmistuksen kannalta, mikäli ravinnepitoisuuksissa on isojakin eroavaisuuksia. Lisäksi taulukon II metallipitoisuudet sekä taudinaiheuttaja- ja epäpuhtausmäärät on tutkittava ja mahdolliset riskit pyrittävä poistamaan prosessoinnin aikana.

4.2 Ravinteiden talteenotto

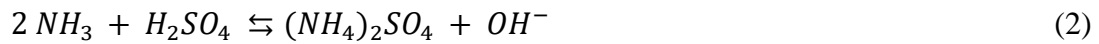
Mädätysjäännöksen ravinteet ovat jakaantuneet sekä kiinteään faasiin, että nestefaasiin. Käytettäessä mädätysjäännöstä lannoitevalmisteen raaka-aineena tulee sitä jatkokäsittellä, jotta siihen sitoutuneet ravinteet saadaan talteen molemmista faaseista. Käsittelyä voidaan myös tehostaa kemikaalien avulla, jolloin parannetaan kuiva-ainepitoisuutta ja tasataan ravinteiden jakaantumista (Lukerhurst et al., 2010). Käytettäviä kemikaaleja ovat alumiini- ja rautasuolat tai orgaaniset polyelektrolyytit. Soveltuvia ja tutkimuksissa tehokkaiksi osoitettuja erotusprosesseja ovat kiinteälle faasille kuivaus sekä nestefaasille strippaus, haihdutus ja membraanisuuodatus (Kymäläinen et al., 2015; Bolzonella et al., 2017).

Mädätysjäännöksen kiinteän faasin jatkokäsittely koostuu sekä mekaanisesta kuivauksesta, että termisestä kuivauksesta. Mekaanisella kuivauksella päästään tyypillisesti 20 – 30 % kuiva-ainepitoisuuteen ja jatkettaessa käsittelyä termisellä kuivauksella voidaan saavuttaa yli 90 % kuiva-ainepitoisuus (Luostarinen et al., 2011; Kymäläinen et al. 2015). Bolzonella et al. (2017) kuivasivat lietelannan mädätysjäännöstä rumpukuivaimella ja saavuttivat yli 90 % kuiva-ainepitoisuuden sekä 21 g/kg ja 4 g/kg typpi- ja fosforikonsentraatiot.

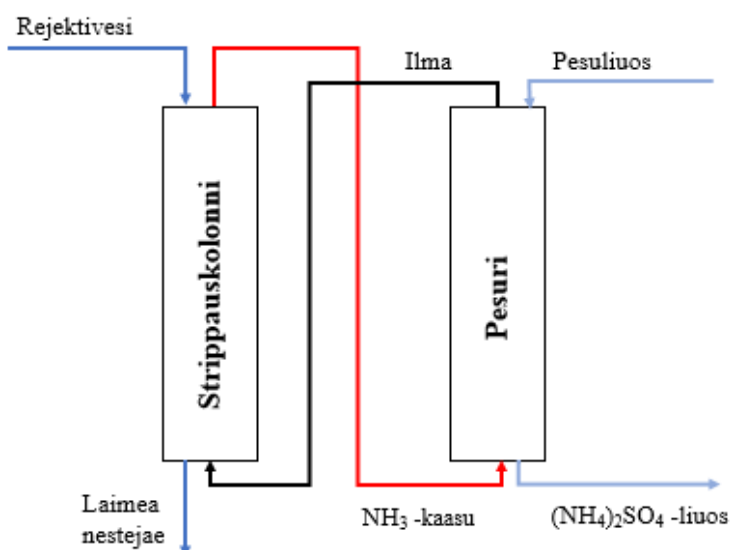
Kuivauksen yhteydessä erottuvaan nestefaasiin, rejektiveteen, on runsaasti sitoutuneena ravinteita, etenkin typpeä. Tehokkain menetelmä saada rejktiveden typpi talteen on strippausprosessi, jossa pH:ta nostamalla ammoniumtyppi (NH_4^+ -N) poistetaan nesteestä erottamalla sitä ammoniakkinä (NH_3) kaasufaasiin. Lämpötila ja pH vaikuttavat ammoniakkin ja ammoniumionien väliseen tasapainoon ja siten typen erotustehokkuuteen

(Kymäläinen et al., 2015). Kun lämpötilaa tai pH:ta nostetaan, yhtälön 1 tasapaino siirtyy vasemmalle, eli ammoniumioneista muodostuu ammoniakkia. Kaasufaasista ammoniakki saadaan talteen sitomalla se pesuliuokseen, kuten rikkihappoon. Muodostunut liuos on ammoniumsulfaattia ((NH₄)₂SO₄).

Ammoniakin erotuksen ja talteenoton reaktioyhtälöt on esitetty alla:



Kuvassa 4 on esitetty strippausprosessin toimintaperiaate. Pesuliuoksena voidaan käyttää myös vettä, typpihappoa (HNO₃) tai jotain muuta happoa. Vedellä pitoisuudet voivat jäädä erittäin alhaiseksi, joten yleensä pesuliuoksena käytetään happoa. Muodostuvan liuoksen ominaisuudet riippuvat käytettävästä pesuliuoksesta.



Kuva 4. Rejktivedessä olevan tyypin talteenotossa käytettävän strippausprosessin toimintaperiaate.

Rejktiveden käsittelyssä on myös tutkittu membraanisudattimien toimivuutta, mutta käyttökustannukset suhteutettuna saatuihin ravinnepitoisuuksiin tulevat kalliiksi verrattuna strippausprosessiin (Bolzonella et al., 2017). Jatkojalostuksen ja lopputuotteen kannattavuuden kannalta on tärkeintä saada mahdollisimman paljon ravinteita talteen mahdollisimman kustannustehokkaasti.

4.3 Lannoitetyypiluokat

Lannoitetuotteita, jotka noudattavat kansallisen lain ja asetuksen tai EY-asetuksen vaatimuksia, saa markkinoida ja valmistaa Suomessa. Asetuksissa on nimetty tyyppiluokat lannoitteen raaka-aineiden tai valmistustavan mukaan ja annettu vaatimukset kyseisille lannoitteille. Vaatimukset koskevat sallittuja pitoisuuksia, ravinteiden liukoisuutta sekä tuoteseloste- ja pakkausmerkintöjä. Liitteeseen I on koottu elintarviketurvallisuusviraston (Evira) lannoitteiden kansallinen tyyppinimiluettelo. Uudelle lannoitevalmisteelle on myös

mahdollista hakea uusi tyyppinimi kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon. Edellytyksenä uuden tyyppinimen saamiseksi vaaditaan selvitys uudesta nimestä ja perustelut sille. Lisäksi vaaditaan kuvaus valmistusprosessista ja tuotteen koostumuksesta. Kierrätyslannoite, jota tässä diplomityössä käsitellään soveltuisi seuraaviin lannoitetyyppiluokkiin: 1C1: Orgaaniset kivennäislannoitteet, 1C2: Epäorgaaniset orgaanista ainesta sisältävät moniravinnelannoitteet ja 1C3: Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet. (EY asetus N: o 2003/2003; Lannoitevalmistelaki. 539/2006 6-7 §; asetus lannoitevalmisteista 24/11)

4.3.1 1C1: Orgaaniset kivennäislannoitteet

Mekaanisesti sekoittamalla valmistettu moniravinnelannoite, joka sisältää orgaanista ja epäorgaanista lannoitetta. Orgaanisen aineen kokonaismäärän tulee olla yli 10 % laskettuna hiilipitoisuutena (C %) kuiva-aineesta. Kutakin ilmoitettua pääravinnetta (N, P ja K) tulee olla vähintään 1 % ja yhteensä näitä kolmea pääravinnetta tulee olla vähintään 7 %. Tuoteselosteessa on ilmoitettava pitoisuustiedot seuraavista aineista: kokonaistyyppi, vesiliukoinen typpi, kokonaisfosfori, vesiliukoinen fosfori, kalium, ja orgaaninen aines. Lannoitteen klooripitoisuus voidaan ilmoittaa ja sen ollessa alle 10 % tuoteselosteessa voidaan käyttää merkintää ”vähäkloorinen”. Lisäksi tuoteselosteessa on ilmoitettava kosteuspitoisuus, raaka-aineet ja muut lisätyt aineet. (asetus lannoitevalmisteista 24/11)

4.3.2 1C2: Epäorgaaniset orgaanista ainesta sisältävät moniravinnelannoitteet

Sekoittamalla valmistettu moniravinnelannoite, joka sisältää epäorgaanista ja orgaanista lannoitetta. Tuotteen raaka-aineet eivät ole eläinperäisiä. Tuotteen sisältämän orgaanisen aineen (C %) kokonaismäärän tulee olla 1.0 – 10.0 % lannoitteen kuivapainosta. Tuoteselosteessa on ilmoitettava pitoisuustiedot seuraavista aineista: kokonaistyyppi,

vesiliukoinen typpi, kokonaisfosfori, vesiliukoinen fosfori, kokonaiskalium ja orgaaninen aines. Lisäksi on ilmoitettava käytetyt raaka-aineet ja muut valmistuksessa lisätyt aineet. Ravinteita tulee olla vähintään: 2.0 % N, 1.0 % P ja 1.0 % K. Yhteensä pääravinteita on oltava vähintään 5 % NPK-lannoitteessa ja vähintään 3 % kaksiravinteisessa lannoitteessa.

4.3.3 1C3: Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet

Sekoittamalla valmistettu moniravinnelannoite, joka sisältää orgaanista lannoitetta ja kalkitusainetta. Typpeä sisältävän lannoitteen tulee sisältää kokonaistyppeä vähintään 4 %, joista vesiliukoista typpeä on oltava vähintään 1 %. Orgaanisen aineen kokonaismäärän tulee olla yli 10 % laskettuna hiilipitoisuutena (C %) kuiva-aineesta. Kalkitsevan orgaanisen kivennäislannoitteen neutralointikyky on oltava vähintään 10 % (Ca) maanviljelyssä ja 6 % metsänlannoitteessa. Kutakin ilmoitettua pääravinnetta (N, P ja K) tulee olla vähintään 1 % ja yhteensä näitä kolmea pääravinnetta tulee olla vähintään 5 %. Tuoteselosteessa on ilmoitettava pitoisuustiedot seuraavista aineista: kokonaistyppi, vesiliukoinen typpi, kokonaisfosfori, vesiliukoinen fosfori, kalium, ja orgaaninen aines tai orgaaninen hiili. Lisäksi tuoteselosteessa on ilmoitettava kosteuspitoisuus, neutraloiva kyky (Ca, %) raaka-aineet ja muut lisätyt aineet. Lannoitteen klooripitoisuus voidaan ilmoittaa ja sen ollessa alle 10 % tuoteselosteessa voidaan käyttää merkintää ”vähäkloorinen”. (asetus lannoitevalmisteista 24/11)

4.4 Kierrätyslannoitteen SWOT-analyysi

Suomessa lannoitteiden hinnat ovat nousseet enemmän kuin muualla Euroopassa 2000-luvulla (MTK, 2015). Samaan aikaan Suomessa viljelysadot ovat jääneet pienemmiksi muuhun Eurooppaan verrattuna. Suomen lannoitemarkkinoilla Yara Suomi Oy on ylivoimainen hallitsija yli 80 % osuudella (Pohjakallio, 2015). Lisäksi markkinoille mahtuu muutama pienempi valmistaja ja maahantuoja. Erilaisia lannoitetuotteita on runsaasti

tarjolla, joista suurin osa on mineraalisia moniravinnelannoitteita. Kierrätyslannoitteita valmistetaan todella vähän, mutta tutkimustyötä tuotannon kehittämistä varten tehdään tällä hetkellä paljon. Luonnonvarojen kierrättäminen ja päästöjen minimointi ovat merkittävässä asemassa kierrätyslannoitteiden kehityksessä. Taulukkoon V on koottu SWOT-analyysi kierrätyslannoitteesta (strengths, weaknesses, opportunities ja threats).

Fosforivarantojen väheneminen kasvattaa kierrätyslannoitteiden potentiaalia tulevaisuudessa. Ravinteiden tehokkaalla kierrättämisellä voidaan vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen kulutusta sekä minimoida ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Lisäksi Sipilän hallituksen tavoitteena on nostaa Suomi kiertotalouden kärkimaaksi 2020-luvulla, joka luo positiiviset puitteet kehittää kierrätyslannoitteita Suomessa (Valtioneuvoston kanslia, 2015). Positiiviset viljelytulokset etenkin viljakasveilla yhdessä kasvavan ruoantuotannon tarpeen kanssa tukevat kierrätyslannoitteiden menestymismahdollisuuksia. Kierrätyslannoitteet ovat ravinnerikkaita tuotteita, joiden ravinteet ovat myös helposti kasvien hyödynnettävissä. Biokaasulaitosten yleistyminen energiantuotannossa kasvattaa myös kierrätyslannoitteen yhden merkittävän raaka-aineen, mädätysjäännöksen, saatavuutta.

Kierrätyslannoitteen heikkous on raaka-aineiden sisältämien ravinteiden epätasalaatuisuus, joka voi aiheuttaa epätasalaatuisuutta myös lopputuotteelle. Mikäli kierrätyslannoitteiden ravinnepitoisuudet ovat heikkommat kuin vastaavilla mineraalilannoitteilla vaativat ne täydennyslannoituksia, joka luo paineita tuotteen markkinoinnille ja hinnoittelulle. Tuotteen kannalta merkittävimmäksi tekijäksi muodostuu valmistusprosessin kannattavuus, joka on riippuvainen raaka-ainekustannuksista ja energian kulutuksesta. Näiden pohjalta määräytyy tuotteen minimihinta, joka on etenkin tuotteen alkuvaiheessa tärkeä osa menestymistä. Tuotteen menestymisen kannalta suurin uhkatekijä on tuotteen kilpailukyky mineraalilannoitteita vastaan ja pääsy lannoitemarkkinoille. Lisäksi tuote on jalostettava niin, että sen levitys onnistuu olemassa olevalla tekniikalla.

Taulukko V Kierrätyslannoitteiden ja -lannoitetuotannon SWOT-analyysi.

| VAHVUUDET | HEIKKOUEDET |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ravinteiden tehokas kierrätys • Mädätysjäännöksen ravinnepitoisuudet • Ravinteiden huuhtoutumisen minimointi • Kiertotalouden kärkihanke Suomessa | <ul style="list-style-type: none"> • Ravinnemäärien vaihtelu raaka-aineissa • Tuotteen tasalaatu • Suurempi levitystarve • Soveltuvuus eri kasveille • Raaka-aineiden alueellinen saatavuus |
| MAHDOLLISUUDET | UHAT |
| <ul style="list-style-type: none"> • Väestönkasvu & ruoan tarve • Biokaasun tuotannon kasvu • Positiiviset viljelykoetulokset • Luonnonvarojen kierrätys & säästäminen | <ul style="list-style-type: none"> • Valmistuskustannukset • Taloudellisuus & kannattavuus • Markkinoille pääsy • Tuotteen kilpailukyky |

5 KIERRÄTYSLANNOITTEEN RAAKA-AINEET

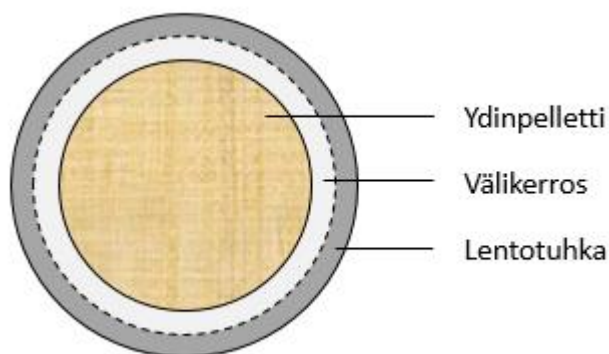
Tässä työssä kierrätyslannoitteen kaksi pääraaka-ainetta ovat biokaasulaitoksen mädätysjäännös ja biovoimalaitoksen lentotuhka. Laskentaosuutta varten suoritettiin kyselytutkimus koskien suomalaisten mädätysjäännösten ja lentotuhkien koostumuksia ja ravinnepitoisuuksia. Otantaan kuului 18 biokaasulaitosta ja 10 biovoimalaitosta ympäri Suomea. Kyselyyn vastasi 14 biokaasulaitosta ja 4 biovoimalaitosta.

Taselaskentaa varten kyselytutkimukseen vastanneista laitoksista muodostettiin 40 kombinaatiota. Tarkastelun ulkopuolelle karsittiin heti 4 biokaasulaitosta, joiden mädätysjäännökset sisälsivät erittäin vähän typpeä. Kombinaatiotarkastelun lähtökohtana pidettiin kuivattua mädätysjäännöstä ja fraktioitua lentotuhkaa. Kombinaatiotarkastelun tärkeimpänä kriteerinä pidettiin, että raaka-aineyhdistelmien tulee alittaa raskasmetallien enimmäispitoisuusvaatimukset (taulukko II). Kombinaatiotarkastelussa kävi ilmi, että potentiaalisia raaka-aineyhdistelmiä olisi vain 6 kappaletta. Näistä kahdessa raaka-aineyhdistelmässä lopputuotetta muodostuisi liian paljon ja kahdessa raaka-aineyhdistelmässä orgaanista ainesta olisi todella vähän. Jäljelle jääneistä raaka-aineyhdistelmistä valittiin taselaskentaan se, joka sisältää enemmän orgaanista ainesta ja kalsiumia. Kombinaatiotarkastelu on esitetty liitteessä II.

Tässä työssä tutkittiin kahden erilaisen kierrätyslannoitteen valmistusmahdollisuuksia. Monikerroslannoitteella halutaan saada aikaan kaksivaiheinen vaikutus: pintakerroksen tuhka kalkitsee maaperää ja ydin antaa kasville sen tarvitsemat ravinteet. Jättämällä kierrätyslannoitteesta tuhkerros pois, valmistusprosessi yksinkertaistuu ja tuotteen ravinnepitoisuudet paranevat. Yksinkertaisemmalla tuotteella myös kierrätysmateriaalien osuus lopputuotteessa korostuu.

Monikerroslannoite koostuu kahdesta kerroksesta ja se valmistetaan pelletöimällä. Kuivattu mädätysjäännös ja ehostuskemikaalit muodostavat pelletin ytimen, joka pinnoitetaan

lentotuhkalla. Jos käytettävät ehostuskemikaalit sisältävät typpeä, ydinpelletti on pinnoitettava inertillä päällystyskemikaalilla kuten kaoliinilla, talkilla, silikaatilla, polyaktidilla (PLA) tai geopolymeerilla (FI 20155753). Kuvassa 5 on esitetty monikerroslannoitteen rakenne.



Kuva 5. Monikerroslannoitteen rakenne.

Inertin välikerroksen tarkoituksena on suojata pelletin sisältämiä ravinteita kemiallisilta reaktioilta valmistusproessin aikana ja levitettäessä lannoitetta pellolle välikerros antaa tuhkalle aikaa neutraloida maaperän pH:ta (FI 20155753). Tämän jälkeen kasvi pystyy hyödyntämään ydinpelletin sisältämät ravinteet paremmin. Lisäksi välikerros auttaa säilyttämään pelletin rakenteen lopputuotteen myyntipakkauksia käsiteltäessä. Tuhkapinnoituksessa käytetään sidosaineena vettä, jotta tuhka sitoutuu hyvin pelletin pintaan.

Molemmassa valmistusvaihtoehdoissa käytettävien ehostuskemikaalien avulla saavutetaan halutut ravinnepitoisuudet kierrätyslannoitteelle ja ne lisätään mädätysjäännöksen joukkoon ennen pelletointiä. Yksinkertaisemmassa valmistusvaihtoehdossa ydinpelletit muodostavat jo halutun lopputuotteen.

5.1 Mädätysjäännös

Kierrätyslannoitteen ydin on mädätysjäännös, joka on peräisin biokaasulaitokselta jonka raaka-aineita ovat biojäte, kasvipohjaiset jätteet, vanhentuneet kaupan elintarvikkeet, teurasjäte ja karjanlanta. Mädätysjäännöstä kertyy 27 000 t vuodessa. Mädätysjäännöksen pH on 7.7 ja kuiva-ainepitoisuus on 22 %. Mädätysjäännös sisältää orgaanista ainesta 87.7 % kuiva-aineesta, eli laskettuna hiilipitoisuutena (C %) 35 % kuiva-aineesta. Mädätysjäännöksestä saadaan lopputuotteelle seuraavia ravinteita: typpeä, fosforia, kaliumia ja magnesiumia. Taulukkoon VI on koottu laskennassa käytettävät tiedot mädätysjäännöksestä ennen kuivausta.

Taulukko VI Taselaskennassa käytettävän mädätysjäännöksen tiedot. Mädätysjäännös on peräisin biokaasulaitokselta, jonka raaka-aineita ovat biojäte, kasvipohjaiset jätteet, vanhentuneet kaupan elintarvikkeet, teurasjäte ja karjanlanta.

| | |
|------------------------|----------|
| Määrä | 27 000 t |
| pH | 7.7 |
| Orgaaninen aines (C %) | 35 % |
| Kuiva-aine | 22 % |
| N tot. [g/kg TS] | 25.3 |
| N liuk. [g/kg TS] | 4.43 |
| P tot. [g/kg TS] | 6.1 |
| P liuk. [g/kg TS] | 0.66 |
| K [g/kg TS] | 5.4 |
| S [g/kg TS] | - |
| Ca [g/kg TS] | - |
| Mg [g/kg TS] | 1.8 |
| As [mg/kg TS] | < 5.1 |
| Cd [mg/kg TS] | < 0.1 |
| Hg [mg/kg TS] | < 0.07 |
| Pb [mg/kg TS] | < 2.0 |
| Ni [mg/kg TS] | 7.0 |
| Cr [mg/kg TS] | 15 |
| Cu [mg/kg TS] | 15 |
| Zn [mg/kg TS] | 48 |

Taudinaiheuttajia *E. colia* tai salmonellaa ei esiintynyt näytteessä.

5.2 Lentotuhka

Kierrätyslannoitteessa käytettävä lentotuhka on peräisin biovoimalaitokselta, jonka polttoaineena käytetään puuperäisiä polttoaineita ja turvetta. Biovoimalaitoksella kertyy lentotuhkaa 5 000 – 7 000 t vuodessa ja laitoksen käyntiaika on noin 10 kk. Tuhkasta saadaan lopputuotteelle seuraavia ravinteita: fosforia, kaliumia ja kalsiumia. Ravinnepitoisuudet lentotuhkassa voidaan ilmoittaa myös oksideina, kuten laskennassa käytetyssä lentotuhkassa kalsiumpitoisuus ilmoitettiin kalsiumoksidina (CaO). Poltettavasta puulajista ja puuston osasta riippuen kalsiumoksidia voi olla lentotuhkassa jopa noin 60 % (Pekkala, 2012). Laskennassa käytettävän lentotuhkan sisältämän kalsiumin määrä on suurempi kuin tutkimustuloksissa keskimäärin. On siis mahdollista, että laskelmien tulokset kalsiumin suhteen ovat todellisuutta hieman paremmat. Taulukkoon VII on koottu laskennassa käytettävät tiedot lentotuhkasta.

Taulukko VII Taselaskennassa käytettävän lentotuhkan tiedot ennen raskasmetallien fraktiointia. Lentotuhka on peräisin biovoimalaitokselta, joka käyttää puuperäisiä polttoaineita ja turvetta.

| | |
|---------------|-----------------|
| Määrä | 5 000 – 7 000 t |
| Käyntiaika | 10 kk |
| P tot. [g/kg] | 18 |
| K [g/kg] | 78 |
| Ca [g/kg] | 480 |
| As [mg/kg] | 35 |
| Cd [mg/kg] | 4.5 |
| Hg [mg/kg] | 0.36 |
| Pb [mg/kg] | 95 |
| Ni [mg/kg] | 60 |
| Cr [mg/kg] | 67 |
| Cu [mg/kg] | 96 |
| Zn [mg/kg] | 660 |

Käytettäessä tuhkaa kierrätyslannoitteen raaka-aineena, sen sisältämät raskasmetallipitoisuudet eivät saa ylittää taulukossa II annettuja pitoisuuksia. Taselaskennassa käytettävä lentotuhka sisältää arseenia ja kadmiumia enemmän kuin lannoitteen valmistuksessa on sallittua, joten lentotuhka on fraktioitava liiallisten raskasmetallien poistamiseksi. Fraktioinnissa erotettu osuus tuhkasta on yhä hyödynnettävissä betoniteollisuudessa.

Nowak et al. (2011) artikkelissaan vertailivat tutkimustuloksia tuhkan ja lentotuhkan erotustehokkuuksista. Parhaimmillaan raskasmetalleista saatiin erotettua jopa 95 % Cd, 60 % Cu, 98 % Pb ja 80 % Zn. Myös Jukić et al. (2017) tutkimuksissaan osoittivat, että raskasmetallien lähes täydellinen erottelu puuperäisestä lentotuhkasta on mahdollista mutta vaatii monivaiheisen käsittelyn ja pitkän viipymäajan. Lentotuhkan koostumus vaihtelee

biovoimalaitoksessa käytettävien raaka-aineiden mukaan, jolloin todellinen erotustehokkuus voi poiketa huomattavasti esitetyistä laboratoriomittakaavan tutkimustuloksista.

5.3 Ehostuskemikaalit

Mädätysjäännöksen ja lentotuhkan sisältämät ravinteet eivät riitä saavuttamaan lopputuotteelle yhtä suuria ravinnepitoisuuksia kuin mineraalilannoitteissa. Kierrätyslannoitteeseen on lisättävä ehostuskemikaaleja valmistusprosessissa, jotta voidaan valmistaa tuote, joka on kilpailukykyinen mineraalilannoitteiden kanssa. Kierrätyslannoitteen valmistuksessa käytettävät ehostuskemikaalit valitaan haluttujen pääravinteiden mukaan. Ehostuskemikaaleina voidaan käyttää esimerkiksi typpi- ja kaliumlisää.

5.3.1 Typpilisä

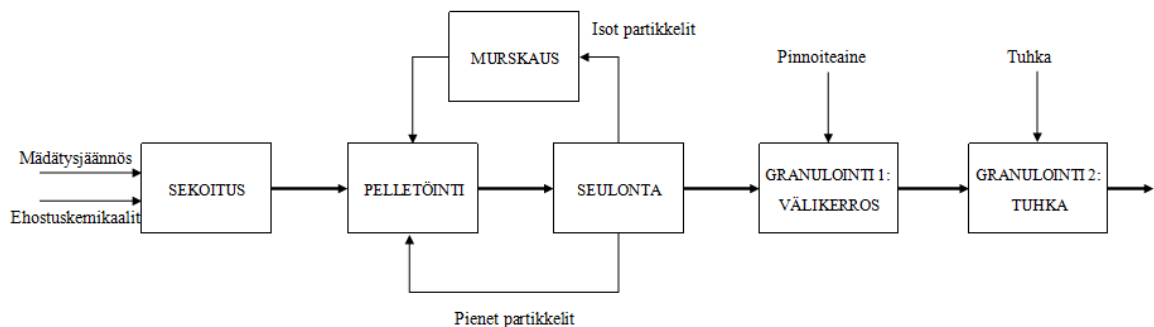
Kierrätyslannoitteessa käytettävänä typpilisänä voidaan käyttää mm. ureaa, ammoniumnitraattia tai ammoniumsulfaattia. Typpilisä sekoitetaan mädätysjäännöksen joukkoon ennen pelletointiä. Urea ((NH₂)₂CO) sisältää 46 % liukoista ureatyyppiä ja ammoniumnitraatti (NH₄NO₃) sisältää noin 35 % tyyppiä, josta puolet on ammoniumtyppiä ja puolet nitraattityppiä (Ervasti, et al., 2018). Ammoniumsulfaatissa ((NH₄)₂SO₄) tyyppiä on huomattavasti vähemmän, 21 %, jonka lisäksi ammoniumsulfaatti sisältää 24 % rikkiä. Ammoniumsulfaattia suositellaan käytettäväksi tilanteissa, joissa typen käyttö jakaantuu pidemmälle ajanjaksolle johtuen ammoniummuotoisen typen hitaammasta käytettävyydestä (Ervasti, et al., 2018).

5.3.2 Kaliumlisä

Kierrätyslannoitteessa käytettävänä kaliumlisänä voidaan käyttää mm. kaliumsulfaattia (K_2SO_4), Kaliumnitraattia (KNO_3) tai kaliumkloridia (KCl). Kaliumsulfaatti sisältää kaliumia 45 % ja rikkiä 18 %, kaliumnitraatti sisältää 38 % kaliumia ja 18 % typpeä ja kaliumkloridi sisältää 52 % kaliumia ja 48 % kloridia. Jos lannoitteen valmistuksessa käytetään kaliumlähteenä kaliumkloridia, tuoteselosteessa on ilmoitettava, että tuote sisältää klooria. Kaliumlisä sekoitetaan mädätysjäännöksen joukkoon ennen pelletointiä.

6 KIERRÄTYSLANNOITTEEN TASELASKENTA

Työn tavoitteena oli luoda kierrätyslannoitteen tuotekehitystä varten toimiva massa- ja ravinnetaselaskenta. Tavoitteena oli löytää potentiaalisia vaihtoehtoja tuotteelle, jolla tehostetaan kiertotaloutta ja vähennetään jätevirtoja. Taselaskennassa kohdistettiin massa- ja ravinnetaseet prosessivaiheittain. Taselaskennan tuloksia hyödynnettiin myös prosessilaitteiden mitoituksessa. Kuvassa 6 on esitetty kierrätyslannoitteen valmistusprosessin lohkokaavio. Seulonta on prosessissa heti pelletöinnin jälkeen, jotta pinnoitukseen menevät pelletit olisivat kooltaan mahdollisimman identtisiä ja pellettien pinnoitus olisi tasalaatuista. Taselaskenta antaa suuntaa tuotteen kehittämisen mahdollisuuksista sekä tuotteen kilpailukyvystä mineraalilannoitteiden kanssa.



Kuva 6. Kierrätyslannoitteen valmistusprosessin lohkokaavio. Seulonta on prosessissa heti pelletöinnin jälkeen, jotta pinnoitukseen menevät pelletit olisivat mitoiltaan mahdollisimman identtisiä ja pellettien pinnoitus olisi tasalaatuista. (modifioitu lähteestä FI 20155753)

Tässä luvussa on esitetty kierrätyslannoitteen tuotteistamisvaihtoehtoja perustuen kyselytutkimuksen tuloksiin. Taselaskennan lähtökohtana pidettiin todellisia ravinnepitoisuuksia biokaasu- ja biovoimalaitoksilta, jotka esitettiin luvussa 5. Lopputuotteen tavoitteeksi asetettiin, että kierrätysmateriaalien osuus lopputuotteesta olisi

noin 50 % ja orgaanista ainesta lopputuotteessa olisi yli 10 %. Lisäksi tavoitteeksi asetettiin, että ehostuskemikaalien lukumäärä ja määrä olisi mahdollisimman alhainen. Tämän perusteella tavoitteeksi 1 muodostui kalkitseva typpilannoite, jonka ravinnepitoisuudet ovat: N 16 ja Ca 19. Tavoitteeksi 2 muodostui moniravinnelannoite, jonka ravinnepitoisuudet ovat: N 25, K 7 ja S 4. Jotta tavoitteeseen 2 päästään, tulee tuotteen valmistuksessa käyttää tyypillisän ohella myös kaliumlisää ehostuskemikaalina. Tarkasteluun otettiin mukaan myös metsälannoite, jonka valmistuksessa lentotuhkaa ei tarvitse fraktioida. Metsälannoitteen tavoitteeksi muodostui tuotteen 1 kaltainen kalkitseva typpilannoite. Lisäksi tutkittiin tuotevaihtoehtoa, jossa pellettiä ei pinnoiteta lentotuhkalla. Tutkimustulosten perusteella tehdyt oletukset ja laskelmissa käytetyt arviot on esitetty.

Luvuissa 6.1 – 6.4 on esitetty kierrätyslannoitteen massa- ja ravinnetaseen laskentaperusteet. Laskennan tulokset ja mahdollisten tuotevaihtoehtojen tiedot on esitetty luvussa 6.5. Lisäksi tuotteiden massa- ja ravinnetaseet kaavioineen on esitetty liitteissä III-VIII.

6.1 Raaka-aineet ja niiden käsittely

Ennen valmistusprosessia mädätysjäännös on kuivattava noin 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin mädätysjäännös on stabiilia ja helpommin varastoitavissa (Hupponen, et al., 2012). Mädätysjäännöstä kuivattaessa noin 1 % kuiva-aineesta poistuu höyryn mukana (Bolzonella, et al., 2017). Ervasti, et al. (2015 & 2018) tutkimuksissaan osoittivat, että kuivauksessa saadaan tuestä talteen keskimäärin 60 - 90 %. Taselaskennassa käytettiin oletusta, että 70 % tuestä saadaan talteen kuivauksessa. Muut ravinteet sekä raskasmetallit oletettiin säilyvän muuttumattomana mädätysjäännöksessä kuivauksen aikana.

Valmistusprosessissa käytettävä lentotuhka puolestaan on fraktioitava liian suurien raskasmetallipitoisuuksien takia. Fraktioinnissa tuhkan kokonaismäärä pienenee noin 10-30

% (Koivunen, 2007). Laskennassa käytettiin oletusta, että lentotuhkan kokonaismäärä pienenee 30 %: a. Lisäksi laskennassa oletettiin, että 50 % raskasmetalleista saataisiin poistettua fraktioinnissa.

Pelletin ydin koostuu mädätysjäännöksestä ja ehostuskemikaaleista. Lopputuotteen kuiva-aineksi määritettiin 90 % ja lopputuotteen typpipitoisuuden tavoitteeksi asetettiin tuotteesta riippuen 16 - 27 %. Lopputuotteen typpipitoisuustavoitteen, mädätysjäännöksen sisältämän typen ja lopputuotteen kuiva-ainepitoisuustavoitteen perusteella laskettiin tarvittavan typpilisän määrä, jotta saavutetaan haluttu typpipitoisuus lopputuotteelle. Jotta tavoitteeseen 2 (N 25, K 7 ja S 4) päästään, tulee valmistuksessa käyttää sekä typpilisää, että kaliumlisää. Kaliumlisän tarvittava määrä laskettiin kaliumpitoisuustavoitteen, lopputuotteen kuiva-ainepitoisuustavoitteen sekä muiden raaka-aineiden sisältämiin kaliumpitoisuuksiin pohjautuen.

Kierrätyslannoitteen valmistusprosessin ensimmäisessä päävaiheessa kuivattu mädätysjäännös ja ehostuskemikaalit sekoitetaan toisiinsa. Tämän jälkeen sekoitetusta mädätysjäännöksestä ja ehostuskemikaaleista valmistetaan halkaisijaltaan 4 mm:n pellettejä.

6.2 Pelletöinti

Mädätysjäännöksen ja ehostuskemikaalien sekoittamisen jälkeen kuiva-ainepitoisuus on 94 – 95 %, joka on suurempi kuin pelletöinnin kannalta optimaalinen 90 % (Bioenergia ry). Pelletöintiä varten prosessiin on lisättävä vettä, jotta saavutetaan pelletille optimaalinen 90 % kuiva-ainepitoisuus. Tarvittavan veden määrä laskettiin sekoitetun mädätysjäännöksen ja ehostuskemikaalien sisältämän kosteuden sekä lopputuotteen kuiva-ainepitoisuustavoitteen avulla. Pelletöinnin jälkeen pelletit seulotaan, jotta pinnoitettaessa inertillä päällystyskemikaalilla ja tuhalla pelletit ovat mitoiltaan mahdollisimman identtisiä ja lopputuotteen sisältämät eroavaisuudet ravinnepitoisuuksissa voidaan minimoida.

6.3 Seulonta

Seulonnassa kooltaan hyväksytyt pelletit erotetaan omaksi jakeeksi ja niiden prosessointia jatketaan kierrätyslannoitteeksi. Pelletit, jotka ovat kooltaan yli 4 mm kierrätetään murskaimen kautta takaisin prosessiin. Myös pienet pelletit, jotka ovat kooltaan alle 4 mm kierrätetään takaisin prosessiin. Taselaskennassa oletettiin, että 90 % pelleteistä jatkaa valmistusprosessissa eteenpäin granulointiin. Noin 5 % pelleteistä kierrätetään takaisin prosessiin murskaimen kautta. Myös pienet partikkelit kierrätetään takaisin prosessiin, jonka osuus on noin 5 % pelleteistä.

6.4 Granulointi

Valmistettaessa monikerroksista kierrätyslannoitetta, valmistusprosessissa on kaksi granulointiyksikköä. Ensimmäisessä granuloinnissa pellettien pintaan levitetään inertti päällystyskemikaali, jonka jälkeen lannoite pinnoitetaan tuhalla. Pelletin pinnoitus päällystyskemikaalilla ja tuhalla tapahtuu erillisissä granulointiyksiköissä. Välikerroksen pinnoitus olisi paksuudeltaan 0.1 mm. Kierrätyslannoitteen ydinpelletin irtotiheyden oletetaan olevan noin 660 kg/m^3 (Pro Agria, 2013). Tarvittavan pinnoituskemikaalin määrä voidaan laskea pelletin irtotiheyden, kappalemäärän ja tilavuuden mukaan, kun pinnoituskemikaalin tiheys tiedetään.

Toisessa granuloinnissa pelletin pintaan levitetään tuhka. Molemmissa granulointivaiheissa prosessiin lisätään vettä, jotta pinnoitettava aine sitoutuu paremmin pelletin pintaan. Tarvittavan veden määrä saadaan laskettua halutun lopputuotteen kuiva-ainepitoisuuden ja pelletin sisältämän kosteuden avulla.

6.5 Tulokset ja yhteenveto massataselaskennasta

Kierrätyslannoitteen tuotekehityksessä on potentiaalia, mutta myös valtavasti haasteita. Tavoiteltaessa kaksitehoista monikerroslannoitetta, päädytään helposti tuotteeseen, joka on kalkitseva mutta ravinnepitoisuuksiltaan heikko. Mikäli monikerroslannoitteesta nostetaan merkittävästi ravinnepitoisuuksia ehostuskemikaalien avulla, tuote ei ole kalkitseva eikä orgaaninen. Myös kierrätysmateriaalien osuus lopputuotteesta jää silloin alhaiseksi. Laskennassa löydettiin hyviä koostumuksia kierrätyslannoitteelle niin maatalouskäyttöön kuin metsälannoitteeksi.

Laskennassa käytetyillä raaka-aineilla kierrätyslannoitetta olisi mahdollista valmistaa sekoitussuhteista riippuen 12 500 – 27 300 t vuodessa. Tuotevaihtoehdoissa 2 ja 3 (tuotevaihtoehdot esitellään luvuissa 6.5.1 - 6.5.3) ravinnepitoisuudet ovat kilpailukykyisiä markkinoilla olevien mineraalilannoitteiden kanssa ja kaikissa kolmessa esitellyssä tuotevaihtoehdoissa raskasmetallipitoisuudet lopputuotteessa ovat raja-arvojen alapuolella. Käytettäessä valmistusprosessissa myös ehostuskemikaaleja, lopputuotteen koostumusta voidaan muokata useammaksi eri tuotevaihtoehdoksi kysynnän tai raaka-aineiden vaihtelun mukaan. Ehostuskemikaalien lisäyksessä on otettava huomioon, että lopputuotteen sisältämien kierrätysmateriaalien osuus ei laske liian alhaiseksi, jotta markkinanimi kierrätyslannoite on todenmukainen.

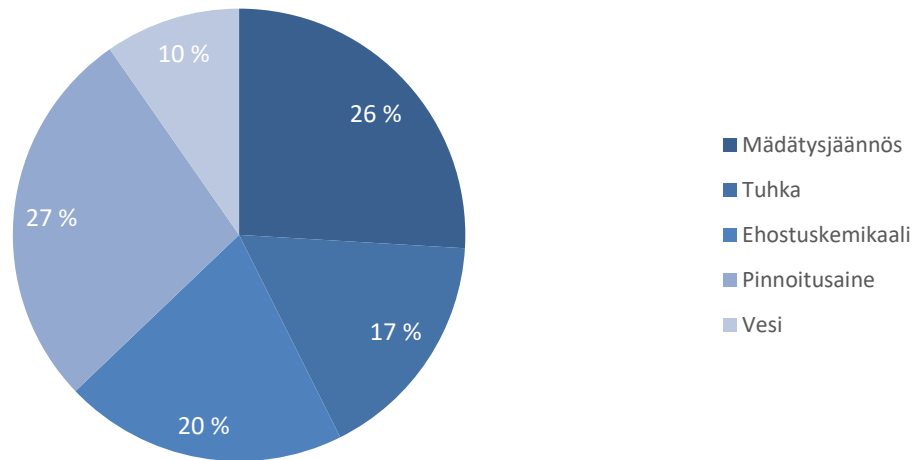
Lentotuhkan fraktiointi on valmistusprosessin yksi haastavimmista yksikköoperaatioista, joten tuotteena 2 tarkasteluun otettiin metsälannoite. Metsälannoitteessa raskasmetallipitoisuudet tuhkassa saavat olla suuremmat kuin maanviljelyssä, jolloin tuhkan fraktiointi ei tarvitse tehdä (taulukko II). Monikerroslannoitteessa välikerroksen pinnoittaminen alentaa merkittävästi tuotteen sisältämien kierrätysmateriaalien osuutta sekä ravinnepitoisuuksia. Tästä johtuen tuotteena 3 tarkasteltiin vaihtoehtoa, jossa kierrätyslannoite valmistettaisiin vain mädätysjäännöksestä ja tarvittavista ehostuskemikaaleista. Näin kierrätyslannoitteesta saataisiin paremmin kilpailukykyinen mineraalilannoitteiden kanssa ja kalkitus voitaisiin toteuttaa tarvittaessa erillisellä tuotteella.

Lopputuloksena olisi yksinkertaisempi valmistusprosessi, joka tuottaisi runsaasti orgaanista ainesta sisältävää kierrätyslannoitetta.

Kierrätyslannoitteen tuoteselosteessa on ilmoitettava tiedot tuotteen sisältämistä ravinteista ja orgaanisen aineksen määrä laskettuna hiilipitoisuutena (C %). Mikäli kyseessä on kalkitseva lannoite, on tuoteselosteessa ilmoitettava tuotteen neutraloiva kyky (Ca, %). Tuoteselosteessa on myös ilmoitettava tuotteen kosteuspitoisuus ja valmistuksessa käytetyt raaka-aineet sekä muut lisätyt aineet.

6.5.1 Tuote 1: NK-lannoite

Tuotteen 1 valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua mädätysjäännöstä, 5 100 t ehostuskemikaalia ja 4 200 t fraktioitua lentotuhkaa. Välikerroksen pinnoitukseen käytettäisiin 6 913 t pinnoitusainetta vuosittain. Myyntiin tulevaa lopputuotetta valmistuisi noin 24 400 t vuodessa. Kuvassa 7 on esitetty tuotteen 1 valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden osuudet. Tuote sisältäisi 10 % typpeä, 0.3 % fosforia, 1% kaliumia ja 8 % kalsiumia. Lopputuotteesta 44 % olisi kierrätysmateriaaleja ja tuote sisältäisi 10 % orgaanista ainesta. Tuote 1 voisi kuulua maanviljelyssä lannoitetyyppiluokkaan 1C2: epäorgaaniset orgaanista ainetta sisältävät lannoitteet ja metsälannoitteena lannoitetyyppiluokkaan 1C3: kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet. Koska orgaanisen aineksen määrä on laskennallisesti niin lähellä tyyppiluokan 1C3 alarajaa, on todennäköisin tyyppiluokka sekä maanviljelyyn, että metsänhoitoon 1C2, joka mahdollistaa alhaisemman orgaanisen aineksen määrän tuotteessa.



Kuva 7. Tuotteen 1 valmistukseen käytettävien raaka-aineiden osuudet. Valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua määtysjäännöstä, 4 200 t fraktioitua lentotuhkaa, 5 100 t ehostuskemikaalia, 6 913 t pinnoitusainetta ja 2 439 t vettä.

Tuote 1 olisi monikerroslannoite, joka kalkitsee maaperää ja ravitsee viljelykasveja. Kalsiumpitoisuus tuotteessa on 8 %, eli tuotteen kalkitseva vaikutus voi jäädä liian vähäiseksi maanviljelyssä. Metsälannoitteena tuote 1 olisi kalkitseva, koska se sisältää yli 6 % kalsiumia. Tuotteen 1 sisältämät ravinnepitoisuudet ovat myös alhaiset, joten tuotteen kanssa saatettaisiin tarvita täydennyslannoitusta. On otettava kuitenkin huomioon, että lannoitteina käytetään sellaisenaan huomattavasti ravinneköyhempiä teollisuuden sivuvirtoja. Tästä johtuen, tuotteen 1 kilpailukykyä lannoitemarkkinoilla on erittäin vaikea arvioida ilman tuotteella tehtyjä viljelykokeita. Viljelykokeilla tuotteen 1 potentiaali voitaisiin määrittää hyvinkin tarkasti niin kasvilajin kuin maaperän mukaan.

Taulukossa VIII on esitetty tuotteen 1 taselaskennan tulokset, käytetyt raaka-aineet sekä lopputuotteen sisältämät ravinnepitoisuudet. Laskelmissa on myös otettu huomioon pelletöintiin palaavat kierrätysvirrat. Liitteessä III on esitetty tuotteen valmistusprosessin

lohkokaavio massa- ja ravinnetaseineen. Liitteessä IV on esitetty tarkemmin tuotteen taselaskenta.

Taulukko VIII Tuotteen 1 taselaskennan tulokset ja lopputuotteen valmistukseen käytettävät vuotuiset raaka-aineet. Pelletöinnissä on lisäksi huomioitu kierrätysvirrat. Tuloksissa on esitetty lopputuotteen ravinnepitoisuudet. TS = Kiintoaines (engl. Total Solids).

| | Yhteensä [t/a] | TS [t/a] | Vesi [t/a] | TS [%] | N [t/a] | P [t/a] | K [t/a] | S [t/a] | Ca [t/a] |
|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|
| Mädätysjäännös | 6 534 | 5 881 | 653 | 90 | 23 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Ehostuskemikaali | 5 100 | 5 084 | 15 | 99.7 | | | | | |
| Sekoitus | 11 634 | 10 965 | 669 | 94 | 2 369 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pelletöinti + kierrätysvirrat | 12 797 | 12 061 | 736 | 94 | 2 369 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pelletöinti, lisävesi | 605 | | 605 | | | | | | |
| Pelletöinti, yhteensä | 13 402 | 12 061 | 1 340 | 90 | 2 369 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Seulonta, 90 % | 12 061 | 10 855 | 1 206 | 90 | 2 369 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pinnoitusaine | 6 913 | 6 893 | 20 | 99.7 | | | | | |
| Välikerros, lisävesi | 745 | | 745 | | | | | | |
| Välikerros, yhteensä | 19 720 | 17 748 | 1 972 | 90 | 2 369 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Tuhka | 4 200 | 4 200 | | 100 | | 75 | 327 | 0 | 2 010 |
| Päällystys, lisävesi | 467 | | 467 | | | | | | |
| Lopputuote | 24 387 | 21 948 | 2 439 | 90 | 2 369 | 83 | 334 | 0 | 2 010 |
| | | | | | 10 % | 0.3 % | 1 % | 0 % | 8 % |

Taulukkoon IX on koottu tuotteen 1 sisältämät raskasmetallipitoisuudet. Ennen fraktiointia lentotuhkan sisältämät pitoisuudet arseenia ja kadmiumia ylittivät sallitut raja-arvot.

Fraktioinnissa lentotuhkan raskasmetallipitoisuudet laskevat huomattavasti ja lentotuhka on soveltuva raaka-aine kierrätyslannoitteen valmistukseen.

Taulukko IX Tuotteen 1 sisältämät raskasmetallipitoisuudet.

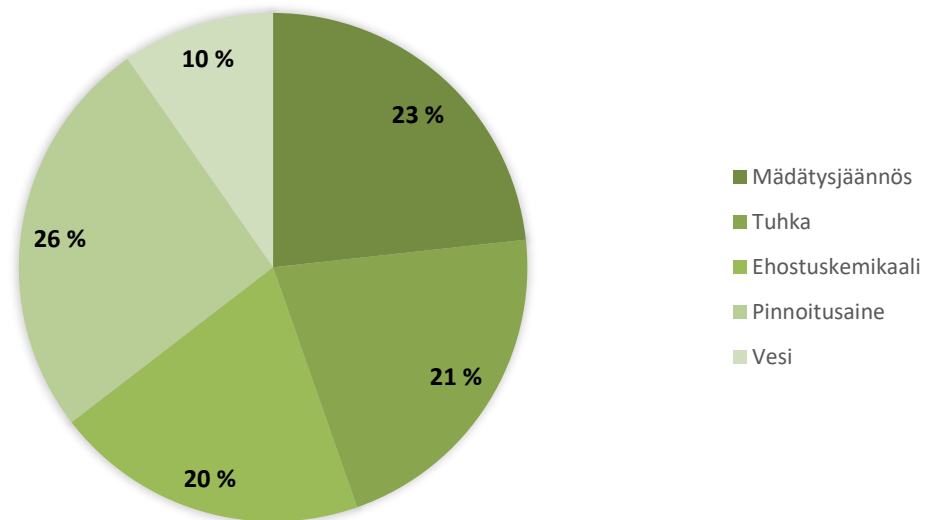
| Alkuaine | [mg/kg] |
|-----------------|----------------|
| As | 4.0 |
| Cd | 0.5 |
| Hg | 0.04 |
| Pb | 10.2 |
| Ni | 6.8 |
| Cr | 8.1 |
| Cu | 11.2 |
| Zn | 73.1 |

6.5.2 Tuote 2: Metsälannoite

Tuhkan fraktiointi on kierrätyslannoitteen valmistusprosessin yksi haastavimmista yksikköoperaatioista. Metsänlannoituksessa lannoitteen sisältämät raskasmetallipitoisuudet saavat olla suuremmat kuin maanviljelyssä, jolloin tämän työn laskelmissa käytettyä lentotuhkaa ei tarvitsisi fraktioida. Metsälannoite otettiin tarkasteluun, koska lannoituksella on tutkittu olevan merkittävää vaikutusta metsien kasvunlisäyksessä. Lisäksi kasvunlisäys tehostaa hiilidioksidin sitoutumista puustoon.

Tuotteen 2 valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua mädätysjäännöstä, 5 594 t ehostuskemikaalia ja 6 000 t lentotuhkaa. Välikerroksen pinnoitukseen käytettäisiin vuosittain 7 224 t pinnoitusainetta. Vuosittain myyntiin tulevaa lopputuotetta valmistuisi noin 27 300 t. Kuvassa 8 on esitetty tuotteen 2 valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden osuudet. Tuote 2 sisältäisi 10 % typpeä, 0.4 % fosforia 2 % kaliumia ja 11 % kalsiumia. Lopputuotteesta 46 % olisi kierrätysmateriaaleja ja tuote sisältäisi 8.9 % orgaanista ainesta.

Tuote 2 voisi kuulua lannoitetyyppiluokkaan 1C2: epäorgaaniset orgaanista ainetta sisältävät lannoitteet.



Kuva 8. Tuotteen 2 valmistukseen käytettävien raaka-aineiden osuudet. Valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua mädätysjäännöstä, 6 000 t lentotuhkaa, 5 594 t ehostuskemikaalia, 7 224 t pinnoitusainetta ja 2 727 t vettä.

Tuote 2 olisi suunnattu vain metsänlannoitukseen, koska se sisältäisi maatalouskäyttöön liian paljon raskasmetalleja. Positiiviset tutkimustulokset lannoitettujen metsien kasvunlisäyksestä tukevat tuotteen menestymismahdollisuuksia. Typpipitoisena tuotteena sillä olisi potentiaalia kivennäismailla kasvavien metsien lannoituksessa. Taulukossa X on esitetty tuotteen 2 taselaskennan tulokset, käytetyt raaka-aineet sekä lopputuotteen sisältämät ravinnepitoisuudet. Laskelmissa on myös otettu huomioon pelletointiin palaavat kierrätysvirrat. Liitteessä V on esitetty tuotteen valmistusprosessin lohkokaavio massa- ja ravinnetaseineen. Tuotteen 2 taselaskenta on esitetty tarkemmin liitteessä VI.

Taulukko X Tuotteen 2 taselaskennan tulokset ja lopputuotteen valmistukseen käytettävät vuotuiset raaka-aineet. Pelletöinnissä on lisäksi huomioitu kierrätysvirrat. Tuloksissa on esitetty lopputuotteen ravinnepitoisuudet. TS = Kiintoaines (engl. Total Solids).

| | Yhteensä [t/a] | TS [t/a] | Vesi [t/a] | TS [%] | N [t/a] | P [t/a] | K [t/a] | S [t/a] | Ca [t/a] |
|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|
| Mädätysjäännös | 6 534 | 5 881 | 653 | 90 | 23 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Ehostuskemikaali | 5 594 | 5 578 | 17 | 99.7 | | | | | |
| Sekoitus | 12 128 | 11 458 | 670 | 94 | 2 596 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pelletöinti + kierrätysvirrat | 13 341 | 12 604 | 737 | 94 | 2 596 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pelletöinti, lisävesi | 663 | | 663 | | | | | | |
| Pelletöinti, yhteensä | 14 004 | 12 604 | 1 400 | 90 | 2 596 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Seulonta, 90 % | 12 604 | 11 344 | 1 260 | 90 | 2 596 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Pinnoitusaine | 7 224 | 7 203 | 21 | 99.7 | | | | | |
| Välikerros, lisävesi | 779 | | 779 | | | | | | |
| Välikerros, yhteensä | 20 607 | 18 546 | 2 061 | 90 | 2 596 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Tuhka | 6 000 | 6 000 | | 100 | | 108 | 467 | | 2 871 |
| Päällystys, lisävesi | 667 | | 667 | | | | | | |
| Lopputuote | 27 274 | 24 546 | 2 728 | 90 | 2 596 | 116 | 474 | 0 | 2 871 |
| | | | | | 10 % | 0.4 % | 2 % | 0 % | 11 % |

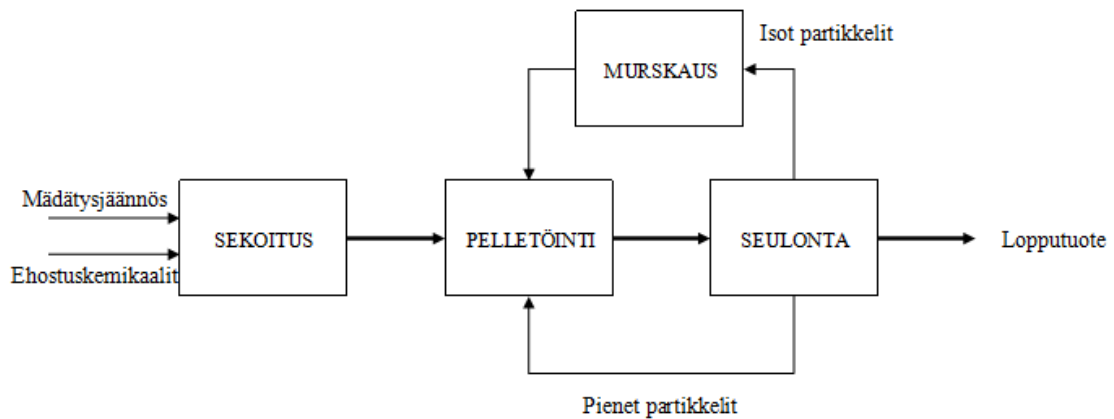
Taulukkoon XI on koottu tuotteen 2 sisältämät raskasmetallipitoisuudet. Metsälannoitteeseen tulevaa lentotuhkaa ei tarvitse fraktioida, jos se alittaa taulukossa II ilmoitetut metsätaloutta koskevat raskasmetallipitoisuudet.

Taulukko XI Tuotteen 2 sisältämät raskasmetallipitoisuudet.

| Alkuaine | [mg/kg] |
|-----------------|----------------|
| As | 9.8 |
| Cd | 1.2 |
| Hg | 0.1 |
| Pb | 25.8 |
| Ni | 16.7 |
| Cr | 19.0 |
| Cu | 26.9 |
| Zn | 181.6 |

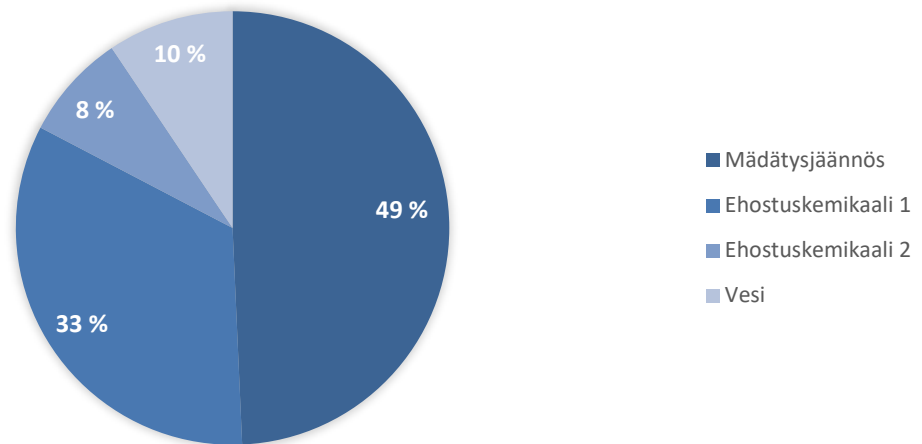
6.5.3 Tuote 3: NKS-lannoite

Monikerroslannoitteella tuotteen sisältämät ravinnepitoisuudet jäävät alhaisiksi ja korjattaessa ravinnepitoisuuksia ehostuskemikaaleilla kierrätysmateriaalien osuus tuotteesta putoaa huomattavasti. Tästä johtuen tarkasteltiin myös vaihtoehtoa valmistaa kierrätyslannoite vain mädätysjäännöksestä ja ehostuskemikaaleista. Tuotteen valmistusprosessi yksinkertaistuu huomattavasti ja tuote sisältää enemmän orgaanista ainesta sekä kierrätysmateriaaleja. Tuotteen 3 valmistusprosessin lohkokaavio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Tuotteen 3 valmistuksessa käytettävän yksinkertaistetun prosessin lohkokaavio. Prosessi on muokattu yksinkertaisemmaksi kuvassa 6 esitetyistä valmistusprosesseista. (modifioitu lähteestä FI 20155753)

Tuotteen 3 valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua mädätysjäätöstä, 4 424 t ehostuskemikaalia 1 ja 1 050 t ehostuskemikaalia 2. Vuosittain myyntiin tulevaa lopputuotetta valmistuisi noin 12 500 t. Kuvassa 10 on esitetty tuotteen 3 valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden osuudet. Tuote sisältäisi 17 % typpeä, 4 % kaliumia ja 2 % rikkiä. Lopputuotteesta 52 % olisi kierrätysmateriaaleja ja orgaanista ainesta olisi tuotteessa 18 %. Tuote 3 voisi kuulua lannoitetyyppiluokkaan 1C1: orgaaniset kivennäislannoitteet.



Kuva 10. Tuotteen 3 valmistukseen käytettävien raaka-aineiden osuudet. Valmistuksessa käytettäisiin vuosittain 6 534 t kuivattua määtysjäätöstä, 4 424 t ehostuskemikaalia 1, 1 050 t ehostuskemikaalia 2 ja 1 237 t vettä.

Tuotteen 3 sisältämien hyvien ravinnepitoisuuksien ansiosta tuotteella olisi potentiaalia kilpailla mineraalilannoitteiden kanssa. Tuote 3 voisi soveltua käytettäväksi usealle eri viljelykasville mailla, jotka eivät tarvitse fosforilannoitusta. Taulukossa XII on esitetty tuotteen 3 taselaskennan tulokset, käytetyt raaka-aineet sekä lopputuotteen sisältämät ravinnepitoisuudet. Laskelmissa on myös otettu huomioon pelletöintiin palaavat kierrätysvirrat. Liitteessä VII on esitetty tuotteen valmistusprosessin lohkokaavio massa- ja ravinnetaseineen. Tuotteen 3 taselaskenta on esitetty tarkemmin liitteessä VIII.

Taulukko XII

Tuotteen 3 taselaskennan tulokset ja lopputuotteen valmistukseen käytettävät vuotuiset raaka-aineet. Pelletöinnissä on lisäksi huomioitu kierrätysvirrat. Tuloksissa on esitetty lopputuotteen ravinnepitoisuudet. TS = Kiintoainne (engl. Total Solids).

| | Yhteensä [t/a] | TS [t/a] | Vesi [t/a] | TS [%] | N [t/a] | P [t/a] | K [t/a] | S [t/a] | Ca [t/a] |
|---------------------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|
| Mädätysjäännös | 6 534 | 5 881 | 653 | 90 | 23 | 8 | 7 | 0 | 0 |
| Ehostuskemikaali 1 | 4 424 | 4 411 | 13 | 99.7 | | | | | |
| Ehostuskemikaali 2 | 1 050 | 1 047 | 3 | 99.7 | | | | | |
| Sekoitus | 12 009 | 11 339 | 670 | 94 | 2 058 | 8 | 480 | 189 | 0 |
| Pelletöinti +kierrätysvirrat | 13 209 | 12 473 | 737 | 94 | 2 058 | 8 | 480 | 189 | 0 |
| Pelletöinti, lisävesi | 649 | | 649 | | | | | | |
| Pelletöinti, yhteensä | 13 858 | 12 473 | 1 385 | 90 | 2 058 | 8 | 480 | 189 | 0 |
| Seulonta, 90 % | 12 473 | 11 225 | 1 248 | 90 | 2 058 | 8 | 480 | 189 | 0 |
| Lopputuote | 12 473 | 11 225 | 1 248 | 90 | 2 058 | 8 | 480 | 189 | 0 |
| | | | | | 17 % | 0.1 % | 4 % | 2 % | 0 % |

Taulukkoon XIII on koottu tuotteen 3 sisältämät raskasmetallipitoisuudet. Kun tuotteen valmistuksessa käytetään vain yhtä kierrätysmateriaalia, jäävät raskasmetallipitoisuudet tuotteessa erittäin alhaisiksi.

Taulukko XIII

Tuotteen 3 sisältämät raskasmetallipitoisuudet.

| Alkuaine | [mg/kg] |
|-----------------|----------------|
| As | 0.6 |
| Cd | 0.01 |
| Hg | 0.01 |
| Pb | 0.2 |
| Ni | 0.8 |
| Cr | 1.7 |
| Cu | 1.7 |
| Zn | 5.6 |

7 PROSESSILAITTEIDEN VALINTA

Kierrätyslannoitteen valmistus tapahtuu panosprosessissa. Raaka-aineiden koostumuksessa ja niiden sisältämissä ravinteissa voi olla isojakoin eroavaisuuksia, kun käytetään kierrätysmateriaaleja. Tästä johtuen kierrätyslannoitteen valmistusprosessissa on oltava valmius vaihtaa tuotteen reseptiä raaka-aineiden koostumusten muuttuessa merkittävästi. Prosessilaitteiden mitoituksessa lähtökohtana pidettiin taselaskennasta saatuja tuloksia. Kierrätyslannoitteen valmistusprosessi mitoitetaan taselaskennassa saatujen tuloksien mukaan. Kierrätyslannoitetta valmistetaan 12 500 – 27 300 t vuodessa tuotteesta riippuen. Prosessilaitteiden valinta ja mitoitus toteutettiin maksimituotannon mukaan. Työssä tehtiin oletus, että valmistusprosessi on käynnissä 300 vuorokautta eli 7 200 h vuodessa.

Käytettäessä luonnonmukaisia materiaaleja raaka-aineena niiden mukana kulkeutuva hiekka voi aiheuttaa ongelmia prosessilaitteissa. Hiekasta johtuvat tukkeutumiset ja kerrostumat sekä ennenaikaiset kulumiset prosessilaitteissa on otettava huomioon prosessilaitteiden kestävydessä ja valittavissa materiaaleissa. Prosessilaitteiden valinnassa ja mitoituksessa on otettu huomioon vain tuotannon kannalta oleellimmat päälaitteet. Prosessin päävaiheita ovat sekoitus, pelletöinti, seulonta ja granulointi. Valmistusprosessissa on otettava huomioon päälaitteiden lisäksi myös tarvittavat kuljettimet ja lopputuotteen pakkauslinja. Raaka-aineiden purku, varastointi ja analysointi ovat myös osatekijöitä, jotka vaikuttavat valmistusprosessin toimivuuteen ja lopputuotteen laatuun mutta niitä ei tässä työssä oteta huomioon.

7.1 Sekoitus

Sekoituksessa mädätysjäännös ja ehostuskemikaalit sekoitetaan toisiinsa. Sekoittimelta vaaditaan erinomaista sekoitustehokkuutta, jotta lopputuote on mahdollisimman tasalaatuinen ja ravinteet jakautuisivat mahdollisimman tasaisesti lopputuotteen pellettien

välillä. Valmistettaessa kierrätyslannoitetta sekoittimen läpi virtaisi sekoitettavaa mädätysjäännöstä ja ehostuskemikaaleja maksimissaan 1.7 t/h eli noin 2.6 m³/h.

Kierrätyslannoitteen raaka-aineiden sekoitukseen soveltuisi sylinterin muotoinen WAH00150 sekoitinrumpu, jonka tuotantokapasiteetti olisi 4.4 m³/h, sekoitusaika 60 s ja moottorin tehontarve 7.5 kW (WAM Finland, 2016). Sekoittimen toiminta perustuu mekaanisesti aikaan saatuun fluidipatjaan, josta sekoitinelimet nostavat sekoitettavan aineen vapaaseen sekoitustilaan (WAM Finland, 2016). Sekoitin ja sekoitinelimet valmistetaan ruostumattomasta teräksestä (304L). WAH sekoitin ja kierrätyslannoitteen sekoitukseen soveltuva lapamallinen sekoitinelin on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. WAH sekoitin ja lapamallinen sekoitinelin. (WAM Finland, 2016)

7.2 Pelletöinti

Pelletöinnissä sekoitetusta mädätysjäännöksestä ja ehostuskemikaaleista valmistetaan pellettejä, jotka ovat kooltaan 4 mm x 4 mm. Pelletöinnin maksimituotanto olisi 1.9 t/h, kun

otetaan huomioon myös seulonnasta palaavat kierrätysvirrat. Kierrätyslannoitteen valmisprosessiin soveltuisi rumpumallinen CPM 2016-4 -pelletöintikone (CPM Europe, 2009). Pelletöintirummun sisämitat olisivat: halkaisija 407 mm, leveys 116 mm ja reiän halkaisija 4 mm. Moottorin tehontarve olisi 90 kW. Pelletöintikoneen osat ovat ruostumatonta terästä (304). (CPM Europe, 2009)

Pelletöinnin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. Pelletöinnissä raaka-aine puristuu rei'itetyn matriisin ja kolleripyörän väliin. Reiän eli puristuskanavan ulkopuolella olevat terät katkaisevat pelletit halutun mittaisiksi. Puristuskanavassa lämpötilan nousu auttaa raaka-aineita sitoutumaan tosiinsa ja säilyttämään muotonsa.

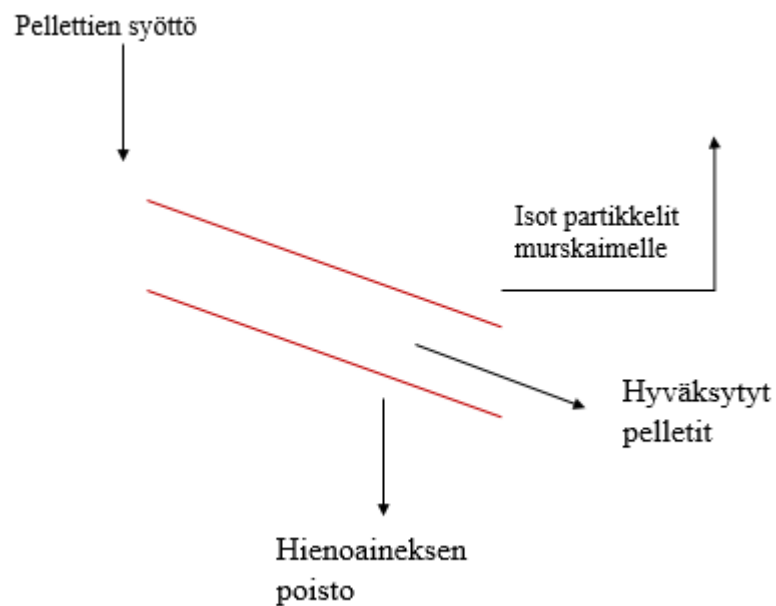


Kuva 12. Pelletöinnin toimintaperiaate. (CPM Europe, 2009)

7.3 Seulonta

Kierrätyslannoitteen valmistusprosessissa pelletit seulotaan ennen granulointia, jotta tuote on mahdollisimman tasalaatuinen. Seulonnassa isot partikkelit ja hienoaines erotetaan ja kierrätetään takaisin valmistusprosessiin. Hyväksytyt pelletit jatkavat seuraavaan prosessivaiheeseen. Maksimituotannolla seulan läpi virtaisi pellettejä 1.9 t/h eli noin 2.9 m³/h.

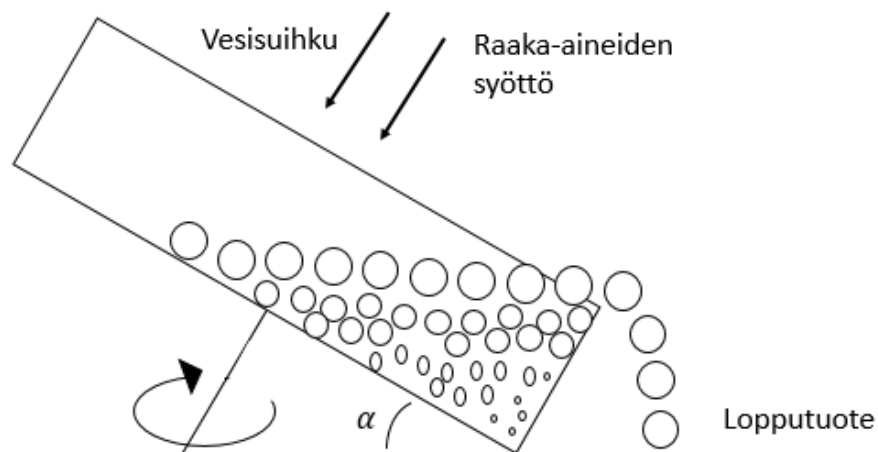
Valmistusprosessiin soveltuisi Tecwill Level vibrator screen -seula, joka koostuisi kahdesta seulasta. Seulan maksimikapasiteetti olisi 4 m³/h (Tecwill, 2017^a). Moottorin tehontarve olisi 1.8 kW. Kuvassa 13 on esitetty seulan toimintaperiaate.



Kuva 13. Seulan toimintaperiaate.

7.4 Granulointi

Kierrätyslannoitteen valmistusprosessiin kuuluu kaksi granulointivaihetta. Ensimmäisessä granuloinnissa ydinpelletit pinnoitetaan kaoliinilla ja toisessa granuloinnissa pelletit pinnoitetaan tuhkalla. Kuvassa 14 on esitetty granulointilautasen toimintaperiaate. Granulointilautanen pyörii myötäpäivään akselinsa ympäri ja on yleensä noin 45° :n kulmassa (Hupponen, et. al., 2012). Granuloinnissa pelletit pyörivät lautasen mukana, jolloin pinnoitettava aine levittyy tasaisesti vesisuihkun kostuttamaan pintaan. Pinnoitetut pelletit purkautuvat lautasen reunan yli.



Kuva 14. Granulointilautasen toimintaperiaate.

Valmistusprosessiin soveltuisi Tecwill Granulation -granulointilautaset. Maksimituotannolla ensimmäisen granuloinnin läpi virtaisi pellettejä 1.8 t/h ja pinnoitusainetta 1 t/h, eli noin $2.8 \text{ m}^3/\text{h}$ pellettejä ja $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ pinnoitusainetta. Ensimmäinen granulointilautanen olisi halkaisijaltaan 2 600 mm ja reunan korkeus olisi 520 mm.

Ensimmäisen granulointilautasen maksimikapasiteetti olisi noin 6 m³/h. Moottorin tehontarve olisi 11 kW. (Tecwill, 2017^b)

Toisessa granuloinnissa maksimituotannolla virtaisi pellettejä 2.8 t/h ja tuhkaa 0.8 t/h eli 4.2 m³/h pellettejä ja 0.7 m³/h tuhkaa. Toinen granulointilautanen olisi halkaisijaltaan 3 000 mm ja reunan korkeus olisi 600 mm. Toisen granulointilautasen maksimikapasiteetti olisi noin 7 m³/h. Moottorin tehontarve olisi 22 kW. (Tecwill, 2017^b)

Valmistusprosessissa ja sen suunnittelussa olisi hyvä ottaa huomioon myös sääolojen vaihtelun aiheuttamat haasteet ja niiden vaikutus lopputuotteen tasalaatuisuuteen. Lisäksi prosessin mitoituksessa ja layout suunnittelussa tulisi ottaa huomioon prosessilaitteiden huolto- ja kunnostustöiden tilantarve laitteiden ympärillä.

8 INVESTOINNIN ALUSTAVA KUSTANNUSARVIO

Investoinnin alustava kustannusarvio perustuu valmistusprosessiin kuuluviin laitteisiin. Alustavassa kustannusarviossa on otettu huomioon valmistusprosessin päälaitteiden ohella tarvittavat säiliöt, kuljettimet ja pakkauslinja. Taulukkoon XIV on koottu kierrätyslannoitteen valmistusprosessiin kuuluvien laitteiden hinnat. Laitehinnat arvioitiin Matches (2014) sivuston avulla. Indeksimuutos vuosien 2014 – 2017 välisenä aikana on ollut noin 2 % ja tämä on otettu laitehinnoissa myös huomioon (SVT, 2018).

Taulukko XIV Kierrätyslannoitteen valmistusprosessin laitekustannukset. Indeksimuutos 2 % on otettu hinnoissa huomioon (Matches, 2014; SVT, 2018)

| Laitteet | Hinta [€] |
|------------------------|------------------|
| Sekoitin | 18 360 |
| Pelletöintikone | 88 740 |
| Seula | 47 940 |
| Granulaattorit (2 kpl) | 357 000 |
| Säiliöt (8 kpl) | 612 000 |
| Kuljettimet (10 kpl) | 255 000 |
| Pakkauslinja | 45 900 |
| Yhteensä | 1 424 940 |

Taulukossa XV on esitetty kierrätyslannoitteen valmistusprosessin alustava kustannusarvio. Välilliset kustannukset on arvioitu olevan noin 20 % laitehankinnoista. Välillisiin kustannuksiin on sisällytetty laitteiden asennus, instrumentointi, sähkötyöt, huolto ja kunnossapito sekä ennustamattomat kustannukset. Käyttöpääoma on myös sisällytetty alustavaan investointilaskelmaan ja se on laskettu olevan 15 % investointiin kuuluvista kustannuksista.

Taulukko III Kierrätyslannoitteen valmistusprosessin alustava kustannusarvio perustuen laitehankintoihin.

| | |
|----------------------------|--------------------|
| Laitehankinnat | 1 424 940 € |
| Välilliset kustannukset | 284 988 € |
| Kustannukset yhteensä | 1 709 928 € |
| Käyttöpääoma | 256 489 € |
| Kokonaisinvestointi | 1 966 417 € |

Kierrätyslannoitteen valmistusprosessin alustavaksi kustannusarvioksi saatiin noin 2 milj. €. Investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa ei ole tässä työssä tarkasteltu johtuen kierrätysraaka-aineista, joiden rahallista arvoa on vaikea määrittää. Kierrätysraaka-aineiden rahallinen arvo vaihtelee ominaisuuksien ja käytettävyyden mukaan. Lopputuotteen hintaan vaikuttavat käytettyjen raaka-aineiden määrä ja hinta sekä tuotteen tarvittava käyttömäärä viljelypinta-alaa kohti. Tästä johtuen lopputuotteen hinta on myös vaikea arvioida.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kestävän kehityksen periaatteena on minimoida käytettäviä materiaaleja, tehostaa kierrättämistä ja vähentää jätteiden syntyä. Lannoitteissa paljon käytetty fosfori on uusiutumaton luonnonvara, joka on solujen toiminnan kannalta erittäin tärkeä alkuaine. Eksponentiaalisen väestönkasvun seurauksena fosforia pidetään kriittisenä alkuaineena ja fosforin kierrätystä on tehostettava tulevaisuudessa. Fosforin ja muiden ravinteiden kierrättämiseen yksi potentiaalinen vaihtoehto on kierrätyslannoitteiden valmistus. Tämän työn tarkoituksena oli löytää kierrätyslannoitteelle potentiaalisia tuotevaihtoehtoja massa- ja ravinnetaselaskennan avulla.

Tänä päivänä ravinteita kierrätetään levittämällä lietalantaa ja teollisuuden sivuvirtoja suoraan sellaisenaan pellolle. Jatkojalostamalla nämä ravinnepitoiset jäte- ja sivuvirrat kiinteäksi kierrätyslannoitteeksi, voidaan myös minimoida ravinteiden huuhtoutumista ympäristöön. Tutkimustuloksiin pohjautuen biokaasulaitoksella käsitellyt biohajoavat jätteet soveltuvat hyvin kierrätyslannoitteen raaka-aineeksi, koska monet ravinteet säilyvät muuttumattomina lopputuotteeseen käsittelyn aikana. Biohajoavia jätteitä ovat mm. kotitalouksien ja elintarviketeollisuuden biojätteet, maatalouden lanta sekä puhdistamolietteet. Etenkin maatalouden lannassa ja puhdistamolietteissä on runsaasti ravinteita, jotka olisi hyvä saada takaisin ravinnekiertoon. Kun biohajoavat jätteet käsitellään biokaasulaitoksessa, niistä saadaan tuotettua bioenergiaa ja niiden käytöstä aiheutuvat hajuhaitat ympäristöön pienenevät.

Kierrätyslannoite valmistettaisiin kuivatusta mädätysjäännöksestä ja ehostuskemikaaleista. Lisäksi tuote pinnoitettaisiin lentotuhkalla, jolloin tuote olisi sekä ravitseva että kalkitseva. Lentotuhkan käyttäminen kierrätyslannoitteessa tuottaa haasteita tuotteen valmistuksessa. Ennen valmistusprosessia lentotuhka on fraktioitava sen sisältämien raskasmetallipitoisuuksien takia ja kierrätyslannoitteen sisältämät ravinteet on suojattava välikerroksella, etteivät ne reagoisi tuhkan kanssa. Toisin sanoen monikerroksisen kierrätyslannoitteen haasteeksi muodostuu optimaalisen kokonaisuuden löytäminen.

Kierrätyslannoitteen valmistusprosessissa käytettävien raaka-aineiden koostumuksessa ja niiden sisältämissä ravinteissa voi olla suuriakin vaihteluita, jotka tulee ottaa huomioon valmistusprosessissa. Tämä tarkoittaa, että kierrätyslannoitteen valmistajalla tulisi olla valmius useamman eri tuotteen valmistukseen ja reseptin muuttamiseen tuotantoerien välillä.

Monikerroslannoitteen suurin käyttöpotentiaali olisi nähtävissä metsälannoitteena. Tämä tarkoittaa hieman yksinkertaisempaa valmistusprosessia, kun lentotuhkaa ei tarvitsisi fraktioita. Myös myyntiin tulevaa lopputuotetta valmistuisi enemmän. Tuhkan ansiosta lannoitteen vaikutusaika on pitkä ja lannoituksen avulla metsissä olisi mahdollista saavuttaa huomattavaa kasvunlisäystä. Kasvunlisäyksen seurauksena puusto sitoo itseensä huomattavasti enemmän hiilidioksidia kuin lannoituksesta aiheutuu päästöjä. Myös marja- ja sienisadot lannoitetuissa metsissä paranevat.

Maatalouskäyttöön monikerroslannoite sisältää paljon vähemmän ravinteita, kuin paljon käytetyt mineraalilannoitteet. Tästä johtuen monikerroslannoitteen potentiaali ja kilpailukyky mineraalilannoitteita vastaan on heikko. Toisaalta, viljelyssä käytetään tänä päivänä lietelantaa ja teollisuuden sivuvirtoja sellaisenaan lannoitukseen ja niiden ravinnepitoisuudet ovat alhaisemmat kuin tässä työssä esitellyllä tuotteella 1 on. Maatalouskäyttöön toinen vaihtoehto olisi yksinkertaistaa kierrätyslannoitteen valmistusprosessi kuivatun mädätysjännöksen ja ehostuskemikaalien pelletointiin. Näin voidaan saavuttaa ravinnepitoisuuksiltaan kilpailukykyinen tuote mineraalilannoitteiden kanssa. Lisäksi tuote sisältäisi runsaasti kierrätysmateriaaleja.

Investoinnin alustava kustannusarvio määritettiin laitehankintojen pohjalta. Alustavassa kustannusarviossa otettiin huomioon valmistusprosessin päälaitteiden ohella myös säiliöt, kuljettimet ja pakkauslinja. Kierrätyslannoitteen valmistusprosessissa laitehankinnat olisivat yli 70 % investoinnin suuruudesta. Tässä diplomityössä ei otettu tarkasteluun lainkaan investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa. Kierrätyslannoitteen valmistuksessa

käytettävien kierrätysraaka-aineiden rahallista arvoa on vaikea määrittää, johtuen raaka-aineen ominaisuuksien ja käytettävyyden vaihteluista. Tästä johtuen valmistusprosessin käyttökustannuksia on vaikea määrittää. Myös lopputuotteen hinta on vaikea arvioida. Lopputuotteen hintaan vaikuttavat käyttökustannuksien ohella tuotteen tarvittava käyttömäärä viljelypinta-alaa kohti.

Kierrätyslannoitteen tuotekehityksessä ja valmistusprosessin kehittämisessä on yhä jatkoselvitystarpeita. Kierrätyslannoitteella olisi hyvä toteuttaa viljelykokeita, jotka auttaisivat niin tuotekehityksessä kuin lannoiteohjelman laatimisessa. Monikerroslannoitteen kehitystyössä välikerroksessa käytettävän inertin päällystysaineen tutkiminen ja kehittäminen on merkittävin jatkoselvityskohde. Ideaalitulanteessa välikerroksen pinnoituksessa käytettävä aine sisältäisi pääravinteita tai olisi valmistettu kierrätysmateriaaleista. Valmistusprosessiin liittyvien raaka-aineiden kuivaus- ja erotustekniikoiden kehittäminen olisi myös eduksi tuotekehitykselle, jotta voitaisiin tulevaisuudessa tehostaa myös puhdistamolietteiden käyttömahdollisuutta kierrätyslannoitteiden raaka-aineena. Tulevaisuutta ja mahdollista tuotantokapasiteetin nostoa varten tarvittaisiin selvitys tuotantolaitoksen lähellä toimivista raaka-aineen tuottajista ja logistiikan toteuttamisvaihtoehdoista.

LÄHDELUETTELO

Belor Agro Oy, 2017. Belor-tuotteet [Verkkosivut], [viitattu 12.2.2018]. Saatavilla: <http://www.beloragro.fi/lainnoitetuotteet>.

Bioenergia ry., Pelletin tuotanto [Verkkosivut], [viitattu 17.4.2018]. Saatavilla: <http://www.pellettienergia.fi/pelletin%20tuotanto>.

Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N., 2017. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assesment of full scale applications. *Journal of Environmental Management*, s. 1-9.

Childers, D. L., Corman, J., Edwards, M. & Elser, J. J., 2011. Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle. *BioScience*, 61(2), s. 117-124.

CPM Europe., 2009. Pellet Mills [Verkkodokumentti] CPM Europe. [viitattu 28.5.2018]. Saatavilla: <https://www.cpmeurope.nl/images/items/pdf/feed/BE-EN-001-05-Pelletmill.pdf>.

Ervasti, S., Kauppinen, P. & Winqvist, E., 2015. Typpilannoitteiden valmistus lantaperäisistä materiaaleista, TÄSMÄTYYPPI, Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 18 s.

Ervasti, S., Winqvist, E. & Rassi, S., 2018. Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä - tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuusarvio, Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 31 s.

Evira, 2017. Lannoitevalmisteiden valmistus. [Verkkodokumentti]. Päivitetty 13.9.2017, [viitattu 10.1.2018]. Saatavilla: https://www.evira.fi/globalassets/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/tilastot/valmistus_lannoitteet.pdf.

Evira, 2018. Lannoitus. [Verkkosivut]. Päivitetty 6.2.2018, [viitattu 7.2.2018]. Saatavilla: <https://www.evira.fi/yhteiset/luomu/kasvit/lannoitus/>.

Giuliano, A., Bolzonella, D., Pavan, P., Cavinato, C. & Cecchi, F., 2013. Co-digestion of livestock effluents, energy crops and agro-waste: Feeding and process optimization in mesophilic and thermophilic conditions. *Bioresource Technology*, Issue 128, s. 612-618.

Gorazda, K., Wzorek, Z., Tarko, B., Nowak, A., Kulczycka, J. & Henclik, A., 2013. Phosphorus cycle - possibilities for its rebuilding. *Acta Biochimica Polonica*, 60(4), s. 725-730.

Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H., 2007. Maaperäkartan käyttöopas, Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Hupponen, M., Luoranen M. & Horttanainen M., 2012. Mädätysjäännöksen rakeistus, terminen kuivaus ja energiahyötykäyttö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Energia.

Ilvesniemi, H., 2018 Maanrakentamisessa käytetyn tuhkan liukeneminen ja tuhkan hyödyntämisen tulevaisuuden visiot. Tuhka kiertotaloudessa -seminaari, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 25.4.2018.

Joona, J., 2013. Ravinnehuuhtoutumien hallinta: Maanparannus- ja kalkitusaineet, Uusimaa: Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Jukić, M., Ćurković, L., Šabarić, J. & Kerolli-Mustafa, M., 2017. Fractionation of Heavy Metals in Fly Ash from Wood Biomass Using the BCR Sequential Extraction Procedure. *Bull Environ Contam Toxicol*, 99, s. 524-529.

Järvinen, J., Virtanen, P. & Mustonen, K., Raemainen lannoite tai maanparannusaine ja sen käyttö. Patenttihakemus: FI 20155753, 23.10.2015, Julk. 24.4.2017.

Kizito, S., Luo, H., Wu, S., Ajmal, Z. & Lv, T., 2017. Phosphate recovery from liquid fraction of anaerobic digestate using four slow pyrolyzed biochars: Dynamics of adsorption, desorption and regeneration. *Journal of Environmental Management*, Issue 201, s. 260-267.

Koivunen, K., 2007. Jätteenpolton tuhkien käsittelytekniikoiden ympäristövaikutukset, Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan laitos.

Kuokkanen, T., 2014. Rakeistettujen biotuhkien hyödyntämisen tulevaisuus -kemiallinen näkökulma. [Verkkodokumentti] Oulun Yliopisto, Kemian laitos. [viitattu 7.2.2018]. Saatavilla:

<http://www.sftec.fi/raki/wpcontent/uploads/2014/11/RAKEISTETTUJENBIOTUHKIENHY%C3%96DYNT%C3%84MISENTULEVAISUUS.pdf>.

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O., 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. 203 s.

Käytännön Maamies, 2014. Suuri lannoitekatsaus. [Verkkodokumentti] Päivitetty 22.1.2014, [viitattu 15.1.2018]. Saatavilla: <http://kaytannonmaamies.fi/suuri-lannoitekatsaus/>.

Laaksonen, L., 2018. Metsätalouden investointien kannattavuuden arviointi, Metsälannoitus. Metsänhoitoyhdistys: Metsänomistajien talouskoulu. [Verkkodokumentti] Päivitetty 1.3.2018 [viitattu 28.5.2018] Saatavilla: <https://tuohtametsasta.fi/wp-content/uploads/2018/02/Mets%C3%A4lannoitus-LL.pdf>

Louhiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K., 2001. Lietteiden käsittely: Uudet ja käytössä olevat tekniikat, Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Luke, Luonnonvarakeskus, 2017. Tilastotietokanta: Viljelykasvien sato.

[Verkkodokumentti] Päivitetty 23.11.2017, [viitattu 7.2.2018]. Saatavilla:

http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Lukerhurst, C., Frost, P. & Al Seadi, T., 2010. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser, IEA Bioenergy.

Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K., Järvenpää, M., 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen, Jokioinen: MTT.

Matches, 2014. Matches' Process Equipment Cost Estimates. [Verkkosivut]. Päivitetty 2014, [viitattu 19.6.2018] Saatavilla: <http://matche.com/equipcost/Default.html>.

Marttinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Salo, T., Kapuinen, P., Rintala, J., Vikman, M., Kapanen A., Torniainen, M., Maunuksela, L., Suominen, K., Sahlström, L. & Herranen, M., 2013. Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina, Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT).

Marttinen, S., Venelampi, O., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivaino, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & Castell-Rüdenhausen, M., 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa, Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke).

Micolucci, F., Gottardo, M., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D., 2016. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of the liquid fraction of pressed biowaste for high energy yields recovery. *Waste Management*, Issue 48, s. 227-235.

Mikkola, K., 2014. Taustaselvitys - Lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden ravinteiden kierrätyksen valtakunnallinen hanke, Kangasala & Helsinki: Kristiina Mikkola Consulting & FIANT Consulting Oy.

MMM, Maa- ja metsätalousministeriö, 2014. Lisää luomua! Hallituksen luomualan kehittämissuunnitelma ja luomualan kehittämisen tavoitteet vuoteen 2020, Maa- ja metsätalousministeriö (MMM).

MTT, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa; osa A: Ravinteiden kierrätyksen tehostaminen Suomessa, Helsinki: MTT, Maa- ja elintarviketeollisuuden tutkimuskeskus.

MTK, Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliitto, 2017. Viljojen ja öljykasvien tuotanto. [Verkkodokumentti]. Päivitetty 19.9.2017, [viitattu 10.1.2018]. Saatavilla: https://www.mtk.fi/maatalous/maatalous_suomessa/viljojen_oljykasvien_tuotanto/fi_FI/vilja_oljykasvivilat/.

MTK, Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliitto, 2015. Lannoitteiden hintakehitys Suomessa on karannut käsistä. [Verkkodokumentti]. Päivitetty 7.4.2015, [viitattu 5.2.2018] Saatavilla:

https://www.mtk.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotteet_2015/huhtikuu/fi_FI/lannoitteiden_hinta/.

Möller, K. & Müller, T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering Life Science*, Issue 3, s. 242-257.

Nowak, B., Aschenbrenner, P. & Winter, F., 2011. Heavy metal removal from sewage sludge ash and municipal solid waste fly ash - A comparison. *Fuel Processing Technology* 105, s. 195-201.

Ojala, E., 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä., *Energiäteollisuus*.

Pakarinen, A., Pietilä, H. & Ylösmäki, M., 2014. Rejektivesi ja mädätteet keinolannoitteen korvaajana maanviljelyssä, HAMK-Hämeen ammattikorkeakoulu.

Pekkala, S., 2012. Puun ja turpeen seospolton vaikutus tuhkan hyötykäyttökohteisiin, *Diplomityö*. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

Pohjakallio, M., 2015. Parantaako biotalouden kehittyminen kemian poolin alueen huoltovarmuutta? Selvitys biotalouden eri tuotantomahdollisuuksien merkityksestä ja

mahdollisuuksista huoltovarmuudelle kemianteollisuuden näkökulmasta, Helsinki: Huoltovarmuusorganisaatio. s.48-52.

Pro Agria, 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa, Pro Agria. s. 40.

Pro Agria, 2014. Terve peruna, Pro Agria. s.19-23.

Pyykkönen, V., 2017. Mädätysjäännöksen ominaisuudet, käsittely ja hyödyntäminen viljelyssä: Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen, Luonnonvarakeskus, Luke.

Rajala, J., 2006. Luonnon mukainen maatalous. 2. painos. Mikkeli: Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. 494 s.

Ruokatieto Yhdistys ry, 2018. Eri maalajien viljavuus. [Verkkosivut]. Päivitetty 2018, [viitattu 11.1.2018]. Saatavilla: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuanmatka-pelloilta-poytaan/luonto/maapera/eri-maalajien-viljavuus>.

Scholz, R. W., Roy, A. H., Brand, F. S., Hellums, D. T. & Ulrich, A. E., 2014. Sustainable Phosphorus Management: A Global Transdisciplinary Roadmap. 299 s.. Springer.

Seppänen, J., 2011. Metsänlannoitus, Tuottava sijoitus. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma.

Soilfood Oy, 2018. Tuotevalikoima. [Verkkosivut], [viitattu 12.6.2018]. Saatavilla: http://www.soilfood.fi/wp-content/uploads/2018/05/Soilfood_tuotevalikoimataulukko.pdf

Stein, L. Y. & Klotz, M. G., 2016. The nitrogen cycle. *Current Biology*, Issue 26, s. 94-98.

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2018. Kuluttajahintaindeksi, Toukokuu 2018, Liitetaulukko 3, Elinkustannusindeksi 1951:10=100. Helsinki: Tilastokeskus. [Verkkodokumentti], [viitattu 19.6.2018]

Saatavilla: https://www.stat.fi/til/khi/2018/05/khi_2018_05_2018-06-14_tau_003_fi.html.

Tecwill, 2017^a. Tecwill Pellet Sieving Unit. Technical Dimensions 8.9.2017. [ei-julkinen] [saatu CTS Engtec Oy:ltä 28.5.2018]

Tecwill, 2017^a. Tecwill Granulation/Capsulation Machines. Technical Specification 8.9.2017. [ei-julkinen] [saatu CTS Engtec Oy:ltä 28.5.2018]

Valtioneuvoston kanslia, 2015. Ratkaisujen Suomi, Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma. Hallituksen julkaisusarja 10/2015.

Vuorinen, A., Tontti, T., Salo, T., Lehti, M., Suominen, K., Tyrväinen, U., Kangas, A., Klemola, R., Peltonen, S., Savela, P., Toivikko, S., Paavola, T., Pulkkinen, M., 2016. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa, Vesilaitosyhdistys.

VYR, Vilja-alan yhteistyöryhmä, 2012. Miten viljelen kevätrypsiä ja -rapsia: Lannoitus ja kalkitus. [Verkkosivut], [viitattu 17.1.2018] Saatavilla: <http://wamgroup.fi/en-GB/SharepointDownload?itemid=2007>.

WAM Finland, 2016. Continuous Ploughshare Mixers – WAH. [Verkkodokumentti], [viitattu 22.5.2018] Saatavilla: <http://www.vyr.fi/rypsin-ja-rapsin-viljelyopas/miten-viljelen-kevättrypsia-ja-rapsia/lannoitus-ja-kalkitus/>.

Wiesenberger, H., 2002. State-of-the-art for the production of fertilisers with regard to the IPPC-directive. Umweltbundesamt GmbH.

Yara Suomi Oy^a,. Lannoitus. [Verkkosivut], [viitattu 16.1.2018]. Saatavilla: <http://www.yara.fi/lannoitus/>.

Yara Suomi Oy^b,. YaraMila[®] -lannoitteet. [Verkkosivut], [viitattu 12.2.2018]. Saatavilla: <http://www.yara.fi/lannoitus/tuotteet/yaramila/>.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., Väisänen, P., 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Lait, asetukset ja standardit:

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus EY N: o 2003/2003 lannoitteista.

Lannoitevalmistelaki. 539/2006

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. 24/11

Ympäristönsuojelulaki. 524/2014

LIITTEET

| | |
|------------|--|
| LIITE I | Elintarviketurvallisuusviraston (Evira) lannoitteiden tyyppinimiluettelo |
| LIITE II | Kombinaatiotarkastelun tulokset |
| LIITE III | Tuotteen 1 lohkokaavio |
| LIITE IV | Tuotteen 1 massa- ja ravinnetase |
| LIITE V | Tuotteen 2 lohkokaavio |
| LIITE VI | Tuotteen 2 massa- ja ravinnetase |
| LIITE VII | Tuotteen 3 lohkokaavio |
| LIITE VIII | Tuotteen 3 massa- ja ravinnetase |

Elintarviketurvallisuusviraston (Evira) lannoitteiden tyyppinimiluettelo

1A1 Epäorgaaniset yksiravinteiset lannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1A1 1 | Typpilannoite | 3 % N |
| 1A1 2 | Apatiittia sisältävä fosforilannoite | 12 % P 30 % Ca Neutraloiva kyky (Ca) 10 % |
| 1A1 3 | Typpilannoite, nitraatiton | 3 % N |

1A2 Epäorgaaniset moniravinteiset pääravinnelannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|---|---|
| 1A2 1 | NPK-lannoite | 15 % N+P+K; 10 % N+P, N+K tai P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |
| 1A2 3 | NPK-lannoite, joka sisältää krotonylideeniureaa, isobutyylideeniureaa tai ureaformaldehydiä | 15 % N+P+K; 10 % N+P, N+K tai P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |
| 1A2 4 | Kalkitseva NPK-lannoite | 7 % N+P+K; 4 % N+P; N+K; P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % Neutraloiva kyky 10 % |
| 1A2 5 | NPK-kasviravinne | 7 % N+P+K; 4 % N+P, N+K tai P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |
| 1A2 6 | NPK-kasviravinneliuos | 10 % N+P+K; 7 % N+P; N+K; P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |
| 1A2 7 | NPK-kasviravinnesuspensio | 12 % N+P+K; 8 % N+P, N+K tai P+K Kutakin tyyppinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |

1A3 Epäorgaaniset sivuravinne-lannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|----------------------|---|
| 1A3 1 | Sivuravinne-lannoite | MMMa 24/11, Liite I kohta 1A3 Epäorgaaniset sivuravinne-lannoitteet |
| 1A3 2 | Sivuravinne-liuos | MMMa 24/11, Liite I kohta 1A3 Epäorgaaniset sivuravinne-lannoitteet |

1A4 Epäorgaaniset hivenravinne-lannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|-----------------------|--|
| 1A4 1 | Hivenravinne-lannoite | MMMa 24/11, Liite I kohta 1A4 Epäorgaaniset hivenravinne-lannoitteet |
| 1A4 2 | Hivenravinne-liuos | MMMa 24/11, Liite I kohta 1A4 Epäorgaaniset hivenravinne-lannoitteet |

1A5 Epäorgaaniset lannoitteet, joiden teho perustuu pääosin muihin vaikutuksiin kuin kasviravinteisiin

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|-------------------------|--------------------------------|
| 1A5 1 | Piilannoite | 5 % Si |
| 1A5 2 | Nestemäinen piilannoite | 3 % Si |

1A6 Epäorgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettävät sivutuotteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|------------|--------------------------------|
| 1A6 - | - | - |

1A7 Tuhkalannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|-----------------------|---|
| 1A7 1 | Puun ja turpeen tuhka | 2 % P+K 6 % Ca Muussa kuin metsäkäytössä neutraloiva kyky 10 % (Ca) |
| 1A7 2 | Eläinperäinen tuhka | 5 % P+K |

1B1 Orgaaniset eläinperäiset lannoitteet

| Nro | Tyypinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|--|--|
| 1B1 1 | Orgaaninen eläinperäinen lannoite | 5 % N+P+K; 4 % N+P, N+K tai P+K; 3 % N, P tai K |
| 1B1 2 | Teknisesti käsitelty lanta | 5 % N+P+K; 3 % N+P, N+K tai P+K; 3 % N, P tai K Kutakin tyypinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1% Typeä sisältävässä lannoitteessa vesiliukoinen typpi 1 % |
| 1B1 3 | Sarvilastu | 10 % N 2 % P |
| 1B1 4 | Verijauho | 10 % N |
| 1B1 5 | Höyhenjauho | 5 % N |
| 1B1 6 | Orgaaninen eläinperäinen lannoiteliuos | Kutakin tyypinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |

1B2 Orgaaniset ei eläinperäiset lannoitteet

| Nro | Tyypinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|--------------------------|---|
| 1B2 1 | Orgaaninen lannoite | 5 % N+P+K; 4 % N+P, N+K tai P+K; 3 % N, P tai K Kutakin tyypinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1% Typeä sisältävässä lannoitteessa vesiliukoinen typpi 1 % |
| 1B2 2 | Sienibiomassa (NP) | 5 % N 1 % vesiliukoinen typpi 1 % P |
| 1B2 3 | Bakteeribiomassa (NP) | 5 % N 1 % vesiliukoinen typpi 1 % P |
| 1B2 4 | Orgaaninen lannoiteliuos | Kutakin tyypinimessä mainittua ravinnetta (NPK) 1 % |

1B3 Orgaaniset lannoitteet, joiden teho perustuu pääosin muihin vaikutuksiin kuin kasviravinteisiin

| Nro | Tyypinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|--------------------------------------|--|
| 1B3 1 | Merileväjauhe | - |
| 1B3 2 | Merileväuute | - |
| 1B3 3 | Betaini | Betaiinipitoisuus 90 % |
| 1B3 4 | Humusvalmiste tai -uute | Uutteen humushappopitoisuus 10 % Uutteen fulvohappopitoisuus 3 % Kiinteän tuotteen hehkutushäviö 90 % ka |
| 1B3 5 | Alkoholien vesiliuos tai öljyemulsio | Etanoli 49 p-% |
| 1B3 6 | Kasviuute | - |
| 1B3 7 | Aminohappovalmiste | - |

1B4 Orgaaniset lannoitteet, joiden teho perustuu pääosin muihin vaikutuksiin kuin kasviravinteisiin

| Nro | Tyypinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1B4 1 | Melassiuute (NK) | 2 % N 2 % K |
| 1B4 2 | Vinassi ja vinassiuute (NK tai K) | 2 % K |
| 1B4 3 | Perunan soluneste | 0.8 % N+P+K |
| 1B4 4 | Rejektivesi | Yhteensä 1 % NPK |

1C1 Orgaaniset kivennäislannoitteet

| Nro | Tyypinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|-------|---|---|
| 1C1 1 | Orgaaninen eläinperäinen kivennäislannoite | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C1 Orgaaniset moniravinteiset kivennäislannoitteet |
| 1C1 2 | Orgaaninen kivennäislannoite | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C1 Orgaaniset moniravinteiset kivennäislannoitteet. Typeä sisältävässä lannoitteessa vesiliukoinen tyyppi 1 % |
| 1C1 3 | Orgaaninen kivennäislannoiteneste | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C1 Orgaaniset moniravinteiset kivennäislannoitteet |
| 1C1 4 | Orgaaninen eläinperäinen kivennäislannoiteneste | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C1 Orgaaniset moniravinteiset kivennäislannoitteet |

1C2 Epäorgaaniset orgaanista ainetta sisältävät lannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|--------------|--|---|
| 1C2 1 | Epäorgaaninen orgaanista ainesta sisältävä moniravinnelannoite | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C2 Epäorgaanista ainetta sisältävät moniravinnelannoitteet. Orgaanisen aineen (C %) kokonaismäärä 1.0-10 % lannoitteen kuivapainosta |
| 1C2 2 | Epäorgaaninen orgaanista ainesta sisältävä moniravinneliuos | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C2 Epäorgaanista ainetta sisältävät moniravinnelannoitteet. Orgaanisen aineen (C %) kokonaismäärä 1.0-10 % lannoitteen kuivapainosta |

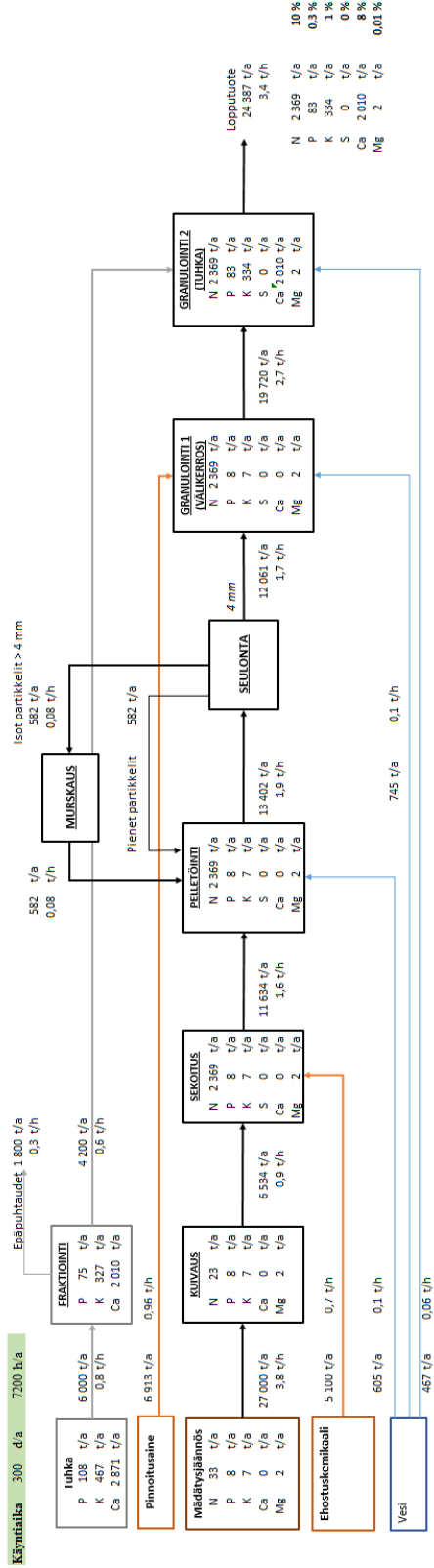
1C3 Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet

| Nro | Tyyppinimi | Vähimmäispitoisuus vaatimukset |
|--------------|--|---|
| 1C3 1 | Kalkitseva eläinperäinen kivennäislannoite | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C3 Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet. Typeä sisältävässä lannoitteessa vesiliukoinen tyyppi 1 % tai kokonaistyyppi 4 % |
| 1C3 2 | Kalkitseva orgaaninen kivennäislannoite | MMMa 24/11, Liite I, kohta 1C3 Kalkitsevat orgaaniset kivennäislannoitteet. Typeä sisältävässä lannoitteessa vesiliukoinen tyyppi 1 % |

Kombinaatiotarkastelun tulokset

| Biokasvatilato + biovoimalaitos | Määrä [t] | TS [t] | Orgaaninen aines [%] | N [t/a] | N [%] | P [t/a] | P [%] | K [t/a] | K [%] | S [t/a] | S [%] | Ca [t/a] | Ca [%] | Mg [t/a] | As [t/a] | Cd [t/a] | Hg [t/a] | Pb [t/a] | Ni [t/a] | Cr [t/a] | Cu [t/a] | Zn [t/a] | VALINTA |
|------------------------------------|-----------|--------|-------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|
| 1+1 | 10 734 | 10 081 | 21% | 105 | 1% | 112 | 1% | 360 | 3% | 0 | 0% | 2010 | 19% | 11 | 22,5 | 2,3 | 0,2 | 49,4 | 37,0 | 48,5 | 63,0 | 378,0 | OK |
| 1+2 | 8 800 | 8 147 | 26% | 105 | 1% | 59 | 1% | 128 | 1% | 0 | 0% | 321 | 4% | 11 | 11,0 | 3,7 | 0,1 | 56,5 | 32,3 | 42,0 | 58,0 | 567,0 | |
| 1+3 | 11 434 | 10 781 | 20% | 105 | 1% | 139 | 1% | 478 | 4% | 0 | 0% | 1372 | 12% | 11 | 14,5 | 2,2 | 0,2 | 91,9 | 32,5 | 58,5 | 210,0 | 548,0 | OK |
| 1+4 | 10 314 | 9 661 | 22% | 105 | 1% | 97 | 1% | 297 | 3% | 0 | 0% | 816 | 8% | 11 | 15,0 | 2,8 | 0,3 | 39,4 | 27,0 | 42,5 | 60,0 | 468,0 | |
| 2+1 | 6 298 | 6 068 | - | 159 | 3% | 121 | 2% | 356 | 6% | 0 | 0% | 2040 | 32% | 6 | 22,8 | 2,7 | 0,7 | 55,5 | 51,0 | 59,5 | 248,0 | 343,0 | |
| 2+2 | 4 364 | 4 154 | - | 159 | 4% | 69 | 2% | 124 | 3% | 0 | 0% | 352 | 8% | 6 | 11,3 | 4,0 | 0,5 | 62,6 | 41,3 | 53,0 | 243,0 | 532,0 | |
| 2+3 | 6 998 | 6 788 | - | 159 | 2% | 149 | 2% | 475 | 7% | 0 | 0% | 1403 | 20% | 6 | 14,8 | 2,6 | 0,7 | 96,0 | 46,5 | 69,5 | 395,0 | 513,0 | |
| 2+4 | 5 878 | 5 668 | - | 159 | 3% | 107 | 2% | 294 | 5% | 0 | 0% | 847 | 14% | 6 | 15,3 | 3,1 | 0,8 | 45,5 | 41,0 | 53,5 | 245,0 | 433,0 | |
| 7+1 | 48 750 | 44 295 | 20% | 1225 | 3% | 1493 | 3% | 413 | 1% | 0 | 0% | 2010 | 4% | 0 | 23,8 | 2,9 | 0,4 | 59,5 | 62,0 | 70,5 | 298,0 | 990,0 | |
| 7+2 | 46 816 | 42 361 | 21% | 1225 | 3% | 1441 | 3% | 181 | 0% | 0 | 0% | 321 | 1% | 0 | 12,3 | 4,3 | 0,2 | 66,6 | 52,3 | 64,0 | 293,0 | 1179,0 | |
| 7+3 | 49 450 | 44 995 | 20% | 1225 | 2% | 1520 | 3% | 531 | 1% | 0 | 0% | 1372 | 3% | 0 | 15,8 | 2,8 | 0,4 | 102,0 | 57,5 | 80,5 | 445,0 | 1160,0 | |
| 7+4 | 48 330 | 43 875 | 20% | 1225 | 3% | 1479 | 3% | 350 | 1% | 0 | 0% | 816 | 2% | 0 | 16,3 | 3,4 | 0,5 | 49,5 | 52,0 | 64,5 | 295,0 | 1080,0 | |
| 8+1 | 37 820 | 34 458 | 16% | 873 | 2% | 870 | 2% | 545 | 1% | 306 | 1% | 2010 | 5% | 141 | 22,7 | 2,4 | 0,2 | 49,5 | 57,0 | 48,5 | 125,0 | 550,0 | Liikaa tuotetta |
| 8+2 | 35 886 | 32 524 | 17% | 873 | 2% | 818 | 2% | 313 | 1% | 306 | 1% | 321 | 1% | 141 | 11,2 | 3,7 | 0,1 | 56,6 | 47,3 | 42,0 | 120,0 | 739,0 | |
| 8+3 | 38 520 | 35 158 | 15% | 873 | 2% | 898 | 2% | 663 | 2% | 306 | 1% | 1372 | 4% | 141 | 14,7 | 2,3 | 0,2 | 92,0 | 52,5 | 58,5 | 272,0 | 720,0 | Liikaa tuotetta |
| 8+4 | 37 400 | 34 038 | 16% | 873 | 2% | 856 | 2% | 482 | 1% | 306 | 1% | 816 | 2% | 141 | 15,2 | 2,8 | 0,3 | 39,5 | 47,0 | 42,5 | 122,0 | 640,0 | |
| 9+1 | 23 327 | 21 414 | - | 304 | 1% | 423 | 2% | 472 | 2% | 406 | 1% | 2010 | 9% | 87 | 24,5 | 3,2 | 0,5 | 68,5 | 79,0 | 82,5 | 288,0 | 1030,0 | |
| 9+2 | 21 393 | 19 480 | - | 304 | 1% | 371 | 2% | 240 | 1% | 209 | 1% | 321 | 2% | 87 | 13,0 | 4,5 | 0,3 | 75,6 | 69,3 | 76,0 | 283,0 | 1219,0 | |
| 9+3 | 24 027 | 22 114 | - | 304 | 1% | 451 | 2% | 590 | 2% | 209 | 1% | 1372 | 6% | 87 | 16,5 | 3,1 | 0,4 | 111,0 | 74,5 | 92,5 | 435,0 | 1200,0 | |
| 9+4 | 22 907 | 20 994 | - | 304 | 1% | 409 | 2% | 410 | 2% | 209 | 1% | 816 | 4% | 87 | 17,0 | 3,6 | 0,5 | 58,5 | 69,0 | 76,5 | 285,0 | 1120,0 | |
| 10+1 | 23 327 | 21 414 | 17% | 353 | 2% | 754 | 3% | 406 | 2% | 209 | 1% | 2010 | 9% | 70 | 21,5 | 2,7 | 0,6 | 56,5 | 56,0 | 68,5 | 298,0 | 840,0 | |
| 10+2 | 21 393 | 19 480 | 19% | 353 | 2% | 701 | 3% | 174 | 1% | 209 | 1% | 321 | 2% | 70 | 10,0 | 4,0 | 0,4 | 63,6 | 46,3 | 62,0 | 293,0 | 1029,0 | |
| 10+3 | 24 027 | 22 114 | 17% | 353 | 1% | 781 | 3% | 524 | 2% | 209 | 1% | 1372 | 6% | 70 | 13,5 | 2,6 | 0,6 | 99,0 | 51,5 | 78,5 | 445,0 | 1010,0 | |
| 10+4 | 22 907 | 20 994 | 18% | 353 | 2% | 739 | 3% | 344 | 2% | 209 | 1% | 816 | 4% | 70 | 14,0 | 3,1 | 0,6 | 46,5 | 46,0 | 62,5 | 295,0 | 930,0 | |
| 11+1 | 21 888 | 19 490 | 20% | 335 | 2% | 539 | 3% | 436 | 2% | 216 | 1% | 2010 | 9% | 63 | 21,5 | 2,7 | 0,5 | 69,5 | 80,0 | 71,5 | 368,0 | 840,0 | |
| 11+2 | 19 254 | 17 555 | 22% | 335 | 2% | 486 | 3% | 204 | 1% | 216 | 1% | 321 | 2% | 63 | 10,0 | 4,0 | 0,3 | 76,6 | 70,3 | 65,0 | 353,0 | 1029,0 | |
| 11+3 | 21 888 | 20 190 | 19% | 335 | 2% | 566 | 3% | 554 | 3% | 216 | 1% | 1372 | 6% | 63 | 13,5 | 2,6 | 0,5 | 112,0 | 75,5 | 81,5 | 505,0 | 1010,0 | |
| 11+4 | 20 768 | 19 070 | 20% | 335 | 2% | 525 | 3% | 373 | 2% | 216 | 1% | 816 | 4% | 63 | 14,0 | 3,1 | 0,6 | 59,5 | 70,0 | 65,5 | 355,0 | 930,0 | |
| 12+1 | 9 542 | 9 008 | 10% | 140 | 1% | 284 | 3% | 350 | 4% | 60 | 1% | 2010 | 21% | 14 | 20,4 | 2,9 | 0,6 | 54,7 | 57,0 | 75,5 | 338,0 | 770,0 | |
| 12+2 | 7 608 | 7 074 | 12% | 140 | 2% | 232 | 3% | 118 | 2% | 60 | 1% | 321 | 4% | 14 | 8,9 | 4,2 | 0,4 | 61,8 | 47,3 | 69,0 | 333,0 | 959,0 | |
| 12+3 | 10 242 | 9 708 | 9% | 140 | 1% | 312 | 3% | 469 | 5% | 60 | 1% | 1372 | 13% | 14 | 12,4 | 2,8 | 0,5 | 97,2 | 52,5 | 85,5 | 485,0 | 940,0 | |
| 12+4 | 9 122 | 8 588 | 10% | 140 | 2% | 270 | 3% | 288 | 3% | 60 | 1% | 816 | 9% | 14 | 12,9 | 3,3 | 0,6 | 44,7 | 47,0 | 69,5 | 335,0 | 860,0 | |
| 13+1 | 26 772 | 24 515 | 20% | 503 | 2% | 712 | 3% | 422 | 2% | 183 | 1% | 2010 | 8% | 80 | 25,5 | 2,9 | 0,6 | 66,5 | 51,0 | 60,5 | 398,0 | 860,0 | |
| 13+2 | 24 838 | 22 581 | 21% | 503 | 2% | 659 | 3% | 190 | 1% | 183 | 1% | 321 | 1% | 80 | 14,0 | 4,3 | 0,4 | 73,6 | 41,3 | 54,0 | 393,0 | 1049,0 | |
| 13+3 | 27 472 | 25 215 | 19% | 503 | 2% | 739 | 3% | 540 | 2% | 183 | 1% | 1372 | 5% | 80 | 17,5 | 2,8 | 0,5 | 109,0 | 46,5 | 70,5 | 545,0 | 1030,0 | |
| 13+4 | 26 352 | 24 095 | 20% | 503 | 2% | 697 | 3% | 360 | 1% | 183 | 1% | 816 | 3% | 80 | 18,0 | 3,4 | 0,6 | 56,5 | 41,0 | 54,5 | 395,0 | 950,0 | |
| 14+1 | 5 300 | 5 160 | 7% | 121 | 2% | 88 | 2% | 396 | 7% | 0 | 0% | 2010 | 38% | 0 | 22,7 | 2,5 | 0,3 | 51,2 | 51,0 | 61,5 | 106,0 | 600,0 | Vähän orgaanista ainesta |
| 14+2 | 3 366 | 3 256 | 10% | 121 | 4% | 35 | 1% | 164 | 5% | 0 | 0% | 321 | 10% | 0 | 11,2 | 3,8 | 0,1 | 58,3 | 41,3 | 55,0 | 101,0 | 789,0 | |
| 14+3 | 6 000 | 5 890 | 6% | 121 | 2% | 115 | 2% | 514 | 9% | 0 | 0% | 1372 | 23% | 0 | 14,7 | 2,4 | 0,2 | 93,7 | 46,5 | 71,5 | 253,0 | 770,0 | Vähän orgaanista ainesta |
| 14+4 | 4 880 | 4 770 | 7% | 121 | 2% | 73 | 2% | 333 | 7% | 0 | 0% | 816 | 17% | 0 | 15,2 | 2,9 | 0,3 | 41,2 | 41,0 | 55,5 | 103,0 | 690,0 | |

Tuotteen 1 lohkokkaavio



Tuotteen 3 lohkoavaio

