

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

2021

Antti Palkamo

MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSESTÄ KIERRÄTYSLANNOITTEIKSI

– Case Biolinja Oy

Antti Palkamo

MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSESTÄ KIERRÄTYSLANNOITTEIKSI

- Case Biolinja Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, saadaanko biokaasulaitoksen käsittelemätön mädätysjäännös jalostettua logistiikan ja lannoitekäytön näkökulmasta sopivampaan muotoon kustannustehokkaalla tavalla. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Biolinja Oy.

Opinnäytetyö alkaa kirjallisuuskatsauksella, jossa tarkastellaan ensin biokaasulaitosten mädätysjäännöksen jalostuksen nykytilannetta ja yleisimpiä haasteita Suomessa. Kirjallisuuskatsaus jatkuu mädätysjäännöksen jatkojalostusmahdollisuuksien ja mädätteestä valmistettavien kierrätyslannoitevaihtoehtojen tarkastelulla. Osion lopuksi luodaan katsaus kierrätyslannoitemarkkinoiden ja lannoitelainsäädännön nykytilanteeseen. Case-osuudessa tarkastellaan mädätteen jatkojalostusmahdollisuuksia toimeksiantajan laitoksen kohdalla. Laitoksen mädätteen käsittelyn nykytilannetta vertaillaan jalostus-skenaarioon, jossa mädätysjäännöksestä valmistetaan kierrätyslannoitetuotteita erilaisin menetelmin. Tarkasteltavaksi jalostusmenetelmäksi valittiin separoidun kuivajakeen käsittelyn osalta mikroterminen menetelmä. Mädätteen nestejakeen käsittelyssä tarkastellaan kalvosuodatusta ja MVR- haihdutusta vaihtoehtoisina menetelminä.

Opinnäytetyön yhteenvedona voidaan todeta, että mädätysjäännös on mahdollista saada logistiikan ja lannoitekäytön näkökulmasta sopivampaan muotoon jalostus-skenaariossa tarkastelluilla menetelmillä. Mädätettä jalostamalla on mahdollista saada aikaan korkeamman ravinnepitoisuuden omaavia lopputuotteita, joiden laatuun ja ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa nykyistä huomattavasti tehokkaammin. Lopputuotteiden logistiikkakustannukset pienenevät nykytilanteeseen verrattuna, mikäli kuljetusetäisyydet pysyvät samana. Toisaalta mädätteen jalostus mahdollistaa myös lopputuotteiden kuljetuksen pidempien etäisyyksien päähän kustannustehokkaammin, mikä kasvattaa toimeksiantajan liiketoimintamahdollisuuksia. Mädätteen jalostus mahdollistaa myös tehokkaamman täsmälannoituspotentiaalin nykytilanteeseen nähden, jos fosforipitoista lannoitepellettiä voitaisiin kuljettaa fosforin ylijäämäalueelta alueille, joilla sille olisi enemmän tarvetta.

Lannoitejalostuksen kustannustehokkuuteen ei voida antaa yksiselitteistä vastausta tämän opinnäytetyön perusteella. Lopulliseen kustannustehokkuuteen vaikuttavat oleellisesti lannoitetuotteista saatava hinta, lannoitteiden kuljetusetäisyydet, sekä myönnettävien investointitukien määrä. Mikäli laitoksen syötemäärät lisääntyvät tulevaisuudessa, on mädätteen prosessointi korkeamman jalostusasteen tuotteiksi kuitenkin varsin perusteltua laitoksen toimintavarmuuden ja ravinnekierron jatkuvuuden turvaamiseksi.

ASIASANAT:

biokaasulaitos, mädätysjäännös, kierrätysravinne, kierrätyslannoite, ravinnekierto

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Energy and Environmental Technology

2021 | 44 pages, 4 appendices

Antti Palkamo

FROM DIGESTATE TO RECYCLED FERTILIZERS

- Case Biolinja Oy

The aim of this thesis is to research whether the untreated digestate of a biogas plant can be processed into a more suitable form in a cost-effective way from the point of view of logistics and fertilizer use. This thesis was commissioned by Biolinja Oy.

The thesis begins with a literature review, which first examines the current situation and the most common challenges in the processing of biogas plant digestate today. The literature review continues with an examination of the most common digestate processing techniques and recycled fertilizer options made from digestate. The section concludes with an overview of the current situation in the recycled fertilizer market and fertilizer legislation. The report continues with a Case section, which examines the possibilities for processing of digestate at the client's facility. In the case section, the current situation of the plant's digestate treatment is compared with the processing scenario, in which recycled fertilizer products are produced from digestate by various methods. Microthermal method was chosen to be considered for the treatment of the separated dry fraction. In the treatment of the digestate liquid fraction, membrane filtration and MVR-evaporation are considered as alternative methods.

As a conclusion of the thesis, it can be stated that with the methods considered in the processing scenario it is possible to process the digestate into a more suitable form from the point of view of logistics and fertilizer use. By refining the digestate, it is possible to obtain fertilizer products with a higher nutrient content. The quality and the properties of the refined products can be controlled more efficiently than at present. The logistics costs of the final products will be considerably reduced compared to the current situation if the transport distances remain the same. On the other hand, digestate processing also enables the final products to be transported over longer distances more cost-effectively, which increases the client's business opportunities. The processing of the digestate also allows for a more efficient precision fertilization potential compared to the current situation, as phosphorus-containing fertilizer pellets could be transported from the surplus phosphorus area to areas where it would be more needed.

An unambiguous answer to the cost-effectiveness of fertilizer processing cannot be given based on the results of this thesis. The final cost-effectiveness is significantly affected by the price obtained from the fertilizer products, the transport distances of the fertilizers, and the amount of investment aid granted. However, if the plant's feed volumes increase in the future, the further processing of digestate is quite rational to ensure the plant's operational reliability and the continuity of the efficient nutrient cycle.

KEYWORDS:

Biogas plant, digestate, recycled nutrient, recycled fertilizer, nutrient cycle

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖS JA KIERRÄTYSLANNOITTEET	8
2.1 Määdätysprosessi ja määdätysjäännös	9
2.2 Määdätysjäännöksen jatkojalostustekniikat	11
2.2.1 Erotusprosessit	11
2.2.2 Nestejakeen jatkokäsittely	12
2.2.3 Kuivajakeen jatkokäsittely	15
2.3 Kierrätyslannoitetuotteet	16
2.3.1 Kierrätyslannoitteiden olomuodot	18
2.3.2 Kierrätyslannoitteiden varastointi ja levitysmenetelmät	19
2.3.3 Kierrätyslannoitteita koskeva lainsäädäntö ja rajoitukset	20
2.3.4 Kierrätyslannoitemarkkinat	21
3 BIOLINJAN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN JATKOJALOSTUS	23
3.1 Laitoksen määdätysjäännöksen nykytilanne	23
3.2 Määdätysjäännös kierrätyslannoitetuotteiksi	24
3.2.1 Separointi	25
3.2.2 Kuivajakeen jatkokäsittely	26
3.2.3 Nestejakeen jatkokäsittely	30
3.3 Jalostus-skenaarion vertailu nykytilanteeseen	36
3.3.1 Lopputuotteiden käyttö kierrätyslannoitteina	36
3.3.2 Logistiikka	38
3.3.3 Vedenkäsittely	39
3.3.4 Lannoitejalostuksen kustannustehokkuus	39
4 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43

LIITTEET

- Liite 1. Massa- ja ravinnetaselaskut
- Liite 2. Biolinjan kasvuvoimaveden tuoteseloste

KUVAT

- Kuva 1. Märkäprosessille tyypilliset massa- ja ravinnetaseet ilman separointia ja separoinnin kanssa (Marttinen ym. 2015). 10
- Kuva 2. Dekanterilingon toimintaperiaate (Sanborn technologies 2021, muokattu). 12
- Kuva 3. Mädätteen jalostus-skenaarion kokonaisprosessointiketju. 25
- Kuva 4. Testauslaite valmiina koeajoa varten. 28
- Kuva 5. Mikrotermisesti käsiteltyä mädäteseosta. 29
- Kuva 6. Nestejakeen kalvosuodatus-skenaarion prosessointiketju. 31
- Kuva 7. Nestejakeen haihdutus -skenaarion prosessointiketju. 34

TAULUKOT

- Taulukko 1. Dekantoidun mädätteen laskennalliset massa- ja ravinnetaseet. 26
- Taulukko 2. Kalvosuodatus-skenaarion laskennalliset massa- ja ravinnetaseet. 32
- Taulukko 3. Haihdutus-skenaarion laskennalliset massa- ja ravinnetaseet. 35

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

CHP- laitos	Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos
KA-pitoisuus	Kuiva-ainepitoisuus massaprosentteina.
Kierrätyslannoite	Kasvien lannoitukseen tai maanparannukseen käytettävä kierrätysravinteita sisältävä lannoitevalmiste.
Kierrätysravinne	Tuotannon tai kulutuksen kautta syntyvistä ravinnerikkaista aineksista talteen otettu uudelleenkäytettävä ravinne (esim. typpi ja fosfori).
Konsentraatti	Väkevöity liuos.
Lauhdevesi	Prosessissa kiertävän höyryn tiivistymisessä muodostuva- vesi.
Massatase	Käsiteltävän aineksen jakautuminen prosessissa painon mu- kaan.
Mädäte	Ks. Mädätysjäännös
Mädätysjäännös	Biokaasuprosessin lopputuotteena syntyvä hajoamaton ai- nes.
pH	Liuoksen happamuuden ilmaiseva lukuarvo.
Ravinetase	Ravinteiden jakautuminen prosessissa painon mukaan.
Rejektivesi	Mädätysjäännöksestä erotettu nestejää.
Syöte	Prosessiin ajettava raaka-aine.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen jatkojalostusmahdollisuuksien selvittäminen. Työn toimeksiantajana on Biolinja Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, saadaanko laitoksen nykyinen nestepitoinen mädätysjäännös jalostettua logistiikan ja lannoitekäytön näkökulmasta sopivampaan muotoon kustannustehokkaalla tavalla. Laitoksen mädätysjäännöksestä on tavoitteena saada jalostettua kierrätyslannoitetuotteita, jotka soveltuvat ominaisuuksiltaan käytettäväksi luomukasvintuotannossa ja joille löytyy markkinapotentiaalia.

Suomessa syntyy vuositasolla noin 21 miljoonaa tonnia ravinnerikkaita biomassoja, joihin kuuluu esimerkiksi kotitalouksien ja teollisuuden biojätteet, lannat, erilaiset lietteet, sekä teollisuuden ja maatalouden sivuvirrat. Näillä biomassoilla on mittava potentiaali uusiutuvan energian tuotannossa ja ravinteiden kierrättämisessä. Ravinteiden kierrätyksen lisäämiselle on tällä hetkellä vahva poliittinen tahtotila niin EU:ssa kuin kansalliselakin tasolla. Samalla pyritään myös nostamaan kierrätysravinteiden jalostusastetta. Ravinnekierron lisäämisen uskotaan synnyttävän uutta liiketoimintaa ja parantavan ruoantuotannon omavaraisuutta. Oikein toteutettuna kierrätysravinteiden käytöllä voidaan myös vähentää vesistöihin ja ilmaan kohdistuvia päästöjä sekä lisätä hiilen sitoutumista maaperään. (Orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisen mahdollisuudet uudistuvassa lainsäädäntökehikossa -hankkeen loppuraportti 2020, 3.) Lisäksi kierrätysravinteilla voidaan korvata väkilannoitteiden käyttöä ja vaikuttaa niiden valmistamiseen liittyviin ongelmiin, kuten neitseellisen fosforin rajalliseen saatavuuteen sekä typpilannoitteiden tuotannon energiantensiivisyyteen ja päästöihin (Seppänen ym. 2018, 5).

Raportin teoriaosuudessa tarkastellaan biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä ja kierrätyslannoitevalmisteita yleisellä tasolla. Ensin luodaan katsaus biokaasulaitosten mädätysjäännöksen jalostuksen nykytilanteeseen ja sen yleisimpiin haasteisiin Suomessa. Seuraavaksi raportissa tarkastellaan mädätysjäännöksen jatkojalostusmahdollisuuksia ja kierrätyslannoitetuotteita, joita mädätysjäännöksestä on mahdollista valmistaa. Raportti jatkuu Case-osuudella, jossa tutkitaan ja vertaillaan toimeksiantajan biokaasulaitoksen mädätysjäännökselle soveltuvimpia jalostusmahdollisuuksia lopputuotteen ominaisuudet huomioiden. Yhteenvedossa kootaan Case-osuudesta saadut tulokset ja esitetään aihetta koskevat jatkotutkimustarpeet.

2 BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖS JA KIERRÄTYSLANNOITTEET

Käsitlemätön mädätysjäännös soveltuu lannoitekäyttöön jo sellaisenaankin, mutta usein sitä prosessoidaan korkeamman jalostusaineen lannoitetuotteiksi haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Jalostustarve korostuu varsinkin suuren kokoluokan bio-kaasulaitoksilla, joissa korkean nestepitoisuuden sisältävää lietemäistä mädätysjäännöstä syntyy suuria määriä. Käsitlemättömän mädätysjäännöksen lannoitekäytön kiinnostavuutta rajoittaa usein sen laimeus, eli sen nestepitoisuus on suuri ja ravinnepitoisuudet jäävät mataliksi. Matalista ravinnepitoisuuksista ja korkeasta tilavuuspainosta johtuen mädätysjäännöksen kuljetuskustannukset ovat korkeat, joten mädätysjäännöstä ei ole sellaisenaan järkevää kuljettaa pitkiä matkoja. (Seppänen ym. 2018, 6.) Mädätysjäännöksen jalostaminen kierrätyslannoitetuotteiksi on potentiaalinen keino vaikuttaa logistisiin ongelmiin, kun ravinteet saadaan tällä tavoin konsentroituneempaan muotoon.

Mädätysjäännöksen jalostuksen hyötynä voidaan pitää myös ravinteiden erottelukykä, eli fosforia ja typpeä saadaan erotettua eri jakeisiin, mikä mahdollistaa kohdennetumman lannoitekäytön mineraalilannoitteiden tapaan. Fosforin erottaminen eri jakeeseen mahdollistaa tehokkaammin sen kuljettamisen pois fosforin ylijäämäalueilta alueille, joilla sille on enemmän kysyntää. (Horn ym. 2020, 12.)

Jalostuksen puolesta puhuu myös se, että nykytilanteessa laitokset joutuvat usein maksamaan viljelijöille päästäkseen eroon mädätysjäännöksestään. Valmistaja ei tyypillisesti saa prosessoimattomasta mädätysjäännöksestä tuotehintaa, koska viljelijöillä ei ole intressejä maksaa siitä vähäisen lannoitusarvon vuoksi. Saturoituneimmilla markkina-alueilla mädätysjäännöksen tuottaja maksaa rahdin lisäksi viljelijälle jopa levityksen. (Jokinen 2020.) Mädätysjäännöksestä jalostettujen kierrätyslannoitetuotteiden myymisestä valmistajalla on puolestaan mahdollisuus saada tuottoa, mikä on laitoksen liiketoiminnan kannalta huomattavasti suotuisampi vaihtoehto.

Viljelijälle kierrätyslannoitteen ostaminen on houkuttelevaa silloin kun sen hinta-laatusuhde on kohdallaan, se on helppokäyttöistä eikä sen käyttäminen vaadi suuria investointeja esimerkiksi levityskalustoon tai varastointiin. Asiakslähtöisyys on tärkeä osa kierrätyslannoitevalmisteiden tuotekehitystä, koska lannoitetuotteelle täytyy löytyä myös kysyntää. (Jokinen 2020.) Tämän hetken suurimpia haasteita mädätysjäännöksen

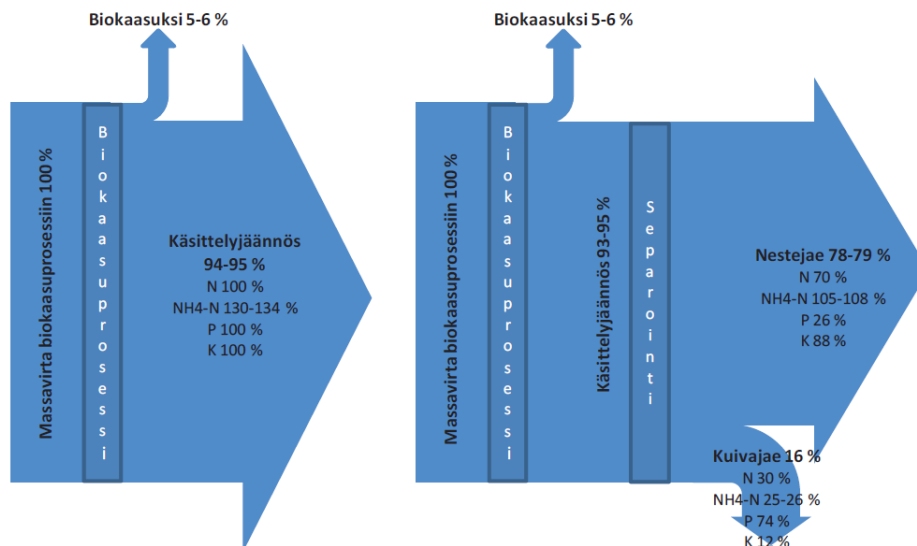
jalostustuotannon laajamittaiselle käyttönotolle ovat kierrätyslannoitemarkkinoiden kehittymättömyys, vaaditut investoinnit uusiin teknologioihin, kilpailu väkilannoitteiden kanssa, sekä näistä tekijöistä johtuvat kannattavuushaasteet (Seppänen ym. 2018, 3). (Seppänen ym. 2018, 25–28) raportissa tarkasteltiin myös kyselytutkimuksien perusteella saatuja tuloksia kierrätyslannoitetuottajien ja viljelijöiden välisistä näkemyseroista koskien lannoitetuotteita ja niiden ominaisuuksia. Nämä ristiriidat aiheuttavat osaltaan pullonkauloja, jotka luovat haasteita kierrätyslannoitemarkkinoiden kehitykselle. Keskeisiksi haasteiksi muodostuivat näkemyserot muun muassa lannoitetuotteiden olomuodossa, ravinnesuhteissa, varastoitavuudessa ja tuotteiden hinnoissa. Kierrätysravinne-markkinoiden kehittymisen kannalta olennaista kuitenkin olisi, että molemmat osapuolet olisivat valmiita muokkaamaan omia toimintatapojaan ja osapuolten välillä olisi enemmän keskustelua ja yhteistyötä.

Biotalouden kehittämiseksi Suomessa tavoitellaan lähivuosina merkittävää biokaasun tuotannon ja jakelun lisäystä, mikä tulee näkymään samalla myös huomattavana mädätysjäännöksen määrän kasvua. Tulevaisuudessa kaikelle jalostamattomalle mädätysjäännökselle ei tule riittämään kysyntää ja sen hyötykäytön kustannukset kasvavat entisestään biokaasulaitosten näkökulmasta. (Jokinen 2020.) Mädätysjäännöksen jalostaminen toimiviksi kierrätyslannoitetuotteiksi on siis perusteltua sekä ravinteiden ja orgaanisen aineksen tehokkaan kierrättämisen että biokaasulaitosten toiminnan kannattavuuden näkökulmasta.

2.1 Mädätysprosessi ja mädätysjäännös

Mädätys- eli biokaasuprosessi perustuu monivaiheiseen orgaanisen aineen mikrobiologiseen hajoamiseen hapettomissa olosuhteissa. Biokaasuprosessit jaetaan syöttötavan mukaan panos- ja jatkuvatoimisiin prosesseihin ja syötteen kuiva-ainepitoisuuden mukaan märkä- ja kuivaprosesseihin. Biokaasuprosessissa syntyvä kaasuseos koostuu metaanista (50–70 %), hiilidioksidista (30–50 %) ja pienestä määrästä muita kaasuja. (Seppänen ym. 2018, 7.) Biokaasuprosessin lopputuotteena syntyy aina myös hajomatonta ainesta eli mädätysjäännöstä kokonaismassaltaan karkeasti yhtä suuri määrä kuin prosessiin ajetaan syötettä (Kymäläinen ym. 2015, 94). Laitoksen kokoluokasta riippumatta biokaasuprosessi sisältää tietyt päävaiheet, joista tärkeimpiä ovat raaka-aineen esikäsittely, mädätys biokaasureaktorissa sekä mädätysjäännöksen kokoaminen jälki-kaasutusaltaaseen tai varastoon myöhempää käyttöä varten (Luostarinen 2015, 82).

Märkämädätysprosessille tyypilliset massa- ja ravinnetaseet esitetään kuvassa 1. Määdätteen separointi vaikuttaa syntyvien jakeiden massa- ja ravinnetaseisiin kuvan mukaisella tavalla. Pääravinteiden, eli typen (N), fosforin (P) ja kaliumin (K) kokonaismäärien arvioidaan pysyvän muuttumattomana prosessissa. Ammoniumtypen (NH₄-N) kokonaismäärä kasvaa prosessissa typen mineralisoitumisen seurauksena. (Luostarinen 2015, 91–92.)



Kuva 1. Märkäprosessille tyypilliset massa- ja ravinnetaseet ilman separointia ja separoinnin kanssa (Marttinen ym. 2015).

Mädätysjäännöksen ominaisuuksiin vaikuttavat syötettävien raaka-aineiden laatu, biokaasuprosessin olosuhteet, reaktorin viipymä, orgaaninen kuormitus, sekä biokaasuprosessissa käytetty teknologia. Yleisesti mädätysjäännöksen kuiva-aine ja orgaanisen aineen pitoisuus ovat hieman alhaisemmat kuin syötteessä, koska osa orgaanisesta aineesta hajoaa biokaasuksi prosessissa. Näin ollen mädätysjäännös on tasalaatuisempaa ja juoksevampaa syötteeseen verrattuna, mikä helpottaa sen jatkokäsittelyä. Biokaasuprosessi tuhoaa myös taudinaiheuttajia ja rikkakasvien siemeniä, mikä parantaa jäännöksen lannoitekäyttöä edelleen. Biokaasuprosessin on todettu vähentävän myös hajuhaittoja aiheuttavia yhdisteitä noin 90 %. (Paavola 2015, 94–95.)

Mädätysjäännöksen hyvä puoli lannoituskäyttöä ajatellen on se, että se sisältää edelleen kaikki ravinneaineet, jotka ovat mukana laitoksen syötteessä. Ravinteiden kokonaispitoisuus ei siis muutu biokaasuprosessissa, mutta typen kohdalla tapahtuu ammonifikaatiota eli typen liukoistumista ammoniumtypeksi. Biokaasuprosessi muuttaa syötteen typen kasvien kannalta suotuisampaan muotoon, ammoniumtypeksi, jota kasvin on

helpompi käyttää ravinteenaan. Toisaalta biokaasuprosessi myös nostaa pH:ta, mikä lisää ammoniumtyypen haihtumisriskiä ammoniakiksi. Tästä johtuen mädätysjäännöksen varastointiin, jatkokäsittelyyn ja lannoitekäyttöön on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta jäännökseen sitoutunut typpi ei karkaa kaasuna ilmaan. (Paavola 2015, 95.)

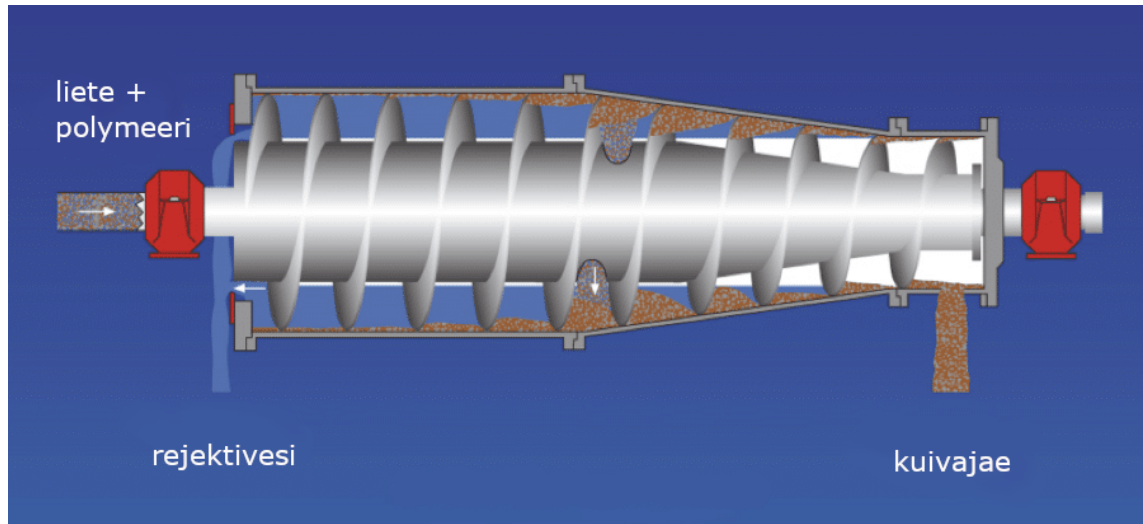
Biokaasulaitoksella käytettävien raaka-aineet voivat sisältää itse biokaasuprosessia häiritseviä yhdisteitä, mutta myös mädätysjäännöksen hyödyntämiseen liittyviä riskejä, esimerkiksi haitallisia metalleja tai muita haitallisia yhdisteitä, kuten lääkeaineita ja hormoni-jäämiä. Raaka-aineiden tunteminen ja analysointi biokaasuprosessissa on siis tärkeää, jotta riskit pystytään tunnistamaan, tarvittaessa poistamaan ja tiedostamaan niiden vaikutus lopputuotteen hyödynnettävyyteen. (Paavola 2015, 95–96.)

2.2 Mädätysjäännöksen jatkojalostustekniikat

Mädätysjäännöksen kiintoaineen erottamiseen ja ravinteiden konsentroimiseksi ja erottelemiseksi on olemassa useita jalostustekniikoita, jotka ovat yleisessä käytössä eri kokuokan laitoksilla niin Suomessa kuin maailmanlaajuisestikin. Osa menetelmistä on vasta kehitysasteella, joten niiden toimivuudesta ei ole vielä näyttöä laajassa mittakaavassa. Mädätteen jalostusteknologian valinta riippuu pitkälti valmistettävien lannoitetuotteiden tavoiteltavista ominaisuuksista ja laitosten erityispiirteistä, eli eri tekniikoiden soveltuvuutta täytyy tarkastella aina laitospohjaisesti. Seuraavaksi tarkastellaan yleisimpiä biokaasulaitokselle soveltuvia mädätysjäännöksen jatkojalostustekniikoita.

2.2.1 Erotusprosessit

Mädätysjäännöksen jatkojalostus aloitetaan yleensä separoinnilla eli kiintoaineen erotuksella nesteestä, mikä helpottaa mädätteen jatkokäsittelymahdollisuuksia. Separoinnilla pyritään usein myös erottelemaan mädätysjäännöksen ravinteet eri jakeisiin, jolloin valtaosa tyyppistä siirtyy nestejakeeseen ja samalla suurin osa fosforista erottuu kuivajakeeseen. Ravinteiden erottamiseen eri jakeisiin vaikuttaa käytetyt raaka-aineet ja erottelumenetelmän valinta. Käytetyimpiä mädätysjäännöksen kiintoaineen erotusmenetelmiä ovat ruuvipuristin, suotonauhakuivain ja dekantterilinko (kuva 2).



Kuva 2. Dekanterilingon toimintaperiaate (Sanborn technologies 2021, muokattu).

Dekanterilinko on mainituista menetelmistä yleisin ja erityisesti ravinteiden erottelun näkökulmasta tehokkain menetelmä. Sen toiminta perustuu pyörivän rummun aiheuttamaan keskipakovoimaan. Dekanterilingon erottelukykyyn, energiankulutukseen ja kapasiteettiin vaikuttaa oleellisesti laitteen ominaisuuksien lisäksi sen käyttösäädöt. Kiintoaineen erottelukyvyn lisäämiseksi linkoihin syötetään yleensä mädätysjäännöksen lisäksi erilaisia polymeerejä, joiden tehtävänä on parantaa kiintoaineen flokkautumista. (Paavola 2015, 99–102.)

2.2.2 Nestejakeen jatkokäsittely

Separoitua nestejaetta voidaan jatkokäsitellä ravinnekonsentraatin valmistamiseksi useilla erilaisilla fysikaalisilla ja kemiallisilla menetelmillä, kuten kalvosuodatustekniikoilla, haihdutuksella, typen strippauksella ja struviittikiteytyksellä. Biologisilla menetelmiä, eli erilaisia aerobisia ja anaerobisia jätevedenkäsittelytekniikoita voidaan myös käyttää rejektiveden esipuhdistuksessa ennen sen johtamista kunnalliselle puhdistamolle. Biologisten menetelmien soveltuvuudesta ravinnekonsentraattien valmistukseen ei kuitenkaan löytynyt tarpeeksi tutkimustietoa, joten kyseiset menetelmät jätetään tässä opinnäytetyössä tarkastelun ulkopuolelle. Seuraavaksi tarkastellaan yleisimpiä biokaasulaitoksen nestejakeen jalostukseen soveltuvia tekniikoita.

Kalvosuodatus

Nestejakeen kalvosuodatustekniikoiden erotusteho perustuu huokosiin puoliläpäiseviin kalvoihin, jossa erotuksen ajavana voimana toimii paine- lämpötila- konsentraatio- ja sähköpotentiaalierot. Menetelmässä separoitu nestejake jakautuu laitteiston tulopuolelle jäävään retentaattiin sekä kalvon läpäisevään permeaattiin. Kalvotekniikat voidaan jakaa kalvojen huokoskoon perusteella karkeasti mikro-, ultra- ja nanosuodatukseseen, sekä käänteisosmoosiin. Pienimmän huokoskoon kalvoilla, nanosuodatuksella ja käänteisosmoosilla pystytään erottelemaan liukoisia yhdisteitä, esimerkiksi liukoista tyyppiä. Eri kalvotekniikoita operoidaan usein sarjassa edeten kohti tarkempaa erottelutehokkuutta. Lämpötilan nousu kasvattaa yleensä kalvosuodatuksen erotustehokkuutta. Tällöin joudutaan käyttämään kemikaaleja pH:n alentamiseksi, millä estetään typhen haihtuminen nesteestä. (Tampio ym. 2018, 23.) Kalvotekniikoiden etuna on niiden suuri erotuskyky. Käänteisosmoosin avulla suodatettua puhdasta vettä voidaan hyödyntää prosessivetenä tai se voidaan mahdollisesti johtaa ympäristöön. Suurimpana haasteena taas on kalvojen herkkä likaantuminen, tukkeutuminen ja kuluminen (Paavola 2015, 108). Ongelmaan voidaan kuitenkin vaikuttaa oleellisesti huolehtimalla tarpeeksi tehokkaasta esisuodatuksesta.

Haihdutus

Haihdutuksessa eli väkevöinnissä nostetaan nestejakeen lämpötilaa nesteen haihduttamiseksi, jolloin jäljelle jää ravinnekonsentraatti, johon 80–98% tyypeistä ja lähes 100% fosforista voidaan saada talteen. Prosessissa haihtunut vesi kondensoidaan takaisin nestemuotoon ja kerätään talteen (Tampio ym. 2018, 21.) Haihdutusprosessissa nesteen pH lasketaan tasolle 5–6 esimerkiksi rikkihapolla ja haihdutus tehdään alipaineessa noin 80 asteen lämpötilassa. Veden mukana haihtuu myös orgaanisia happoja ja jonkin verran ammoniakkia. Jäljelle jäävä lauhdevesi voidaan käyttää prosessivetenä, johtaa mahdollisesti jätevedenpuhdistamolle tai asianmukaisesti puhdistettuna ympäristöön tapauskohtaisesti. (Paavola 2015, 106–107.) Perinteisen haihdutusprosessin haasteena on suuri energian- ja kemikaalien kulutus (Seppänen ym. 2018, 10). Nykyaikaisella suljetun höyrynkierroksen (MVR) haihdutusmenetelmällä voidaan kuitenkin vähentää energiankulutusta merkittävästi, koska höyrynkulutusta voidaan pienentää lähes 100% lähtölanteesta. Biokaasulaitoksen rejektivesien nesteestä voidaan erottaa jopa 90%, jolloin

lopputuotteen logistiikkakustannukset pienenevät huomattavasti. (Adven 2021). Syntyvässä lopputuotteessa on tallella lähes kaikki syötteen ravinteet konsentroituneemmassa muodossa, joten se soveltuu hyvin käytettäväksi lannoitevalmisteena.

Strippaus

Ammoniakin strippausta voidaan käyttää mädätysjäännöksen nestejakeen typen erottelemiseksi. Menetelmässä ammoniumtyppi erotetaan nestejakeesta ammoniakkinakaasufaasiin. Kaasufaasista typpi saadaan talteen pesurilla tai lauhduttamalla ammoniakkaa sisältävä vesihöyry takaisin vedeksi. Typen erottelutehokkuuteen vaikuttaa oleellisesti liuoksen pH ja lämpötila, koska ne määrittävät ammonium- ionien ja ammoniakin välisen tasapainon prosessissa. Strippaus perustuu veden ja ammoniakin erilaiseen haihtuvuuteen. pH:n ja lämpötilan ollessa riittävän korkeat, ammoniakki haihtuu kaasufaasiin ja ilmamäärää säätämällä voidaan vielä lisätä ammoniakin muodostumisen tehokkuutta. Strippauksen hyvänä puolena voidaan pitää tehokasta typen talteenottoa, eli prosessissa saadaan talteen puhdasta typpikonsentraattia, jota voidaan käyttää tehokkaasti kasviraavinteena. Haasteita ja haittapuolia sen sijaan voi ilmetä laitteiston likaantumisen, tukkeutumisen ja korroosiossa. Prosessi myös kuluttaa paljon energiaa, sekä kemikaaleja pH:n säädössä ja laitteiston pesuissa. Strippausprosessia käytetään yleisesti biokaasulaitosten rejektivesien käsittelyssä, mutta suurien käyttö- ja investointikustannuksiensa takia sen käyttöönotto on perusteltua lähinnä vain isomman mitta-kaavan biokaasulaitoksilla. (Paavola 2015, 103–105.)

Struviittikiteytys

Struviittikiteytyksessä magnesiumammoniumfosfaattia ($MgNH_4PO_3 \cdot 6 H_2O$) voidaan muodostaa matalan kuiva-ainepitoisuuden omaavasta tyypeä, fosforia ja magnesiumia sisältävästä nestejakeesta. Struviitin lisäksi prosessissa syntyy reagoimatonta tyypeä sisältävää rejektivettä. Kiteytys vaatii alhaisen kuiva-ainepitoisuuden lisäksi usein pH:n säädön (>9) kemikaaleilla, sekä magnesiumin lisäyksen prosessiin. (Tampio, ym 2018, 22.) Muodostuvan struviitin ravinteiden moolisuhteet ovat luokkaa 1:1:1 (N, P, Mg). Tämä tarkoittaa sitä, että myös fosforihappoa on lisättävä rejektiveteen, mikäli liuennut typpi on myöskin tavoitteena saada talteen mahdollisimman tehokkaasti. Tämä on tarpeellista, koska rejektivesi sisältää yleisesti tyypeä huomattavasti enemmän, kuin fosforia. (Drosg

ym. 2015, 24.) Struviitin saostuksella on mahdollista saada korkea ravinnepitoisuus (N, P, Mg) painoyksikköä kohden ja lopputuote soveltuu hyvin käytettäväksi hidasliukoisena lannoitevalmisteena. Teknologian haasteena sen sijaan on suurehko kemikaalien kulu- tus ja sen tuomat lisäkustannukset, sekä prosessin sivuvirtojen hallinta. (Seppänen ym. 2018, 10.)

2.2.3 Kuivajakeen jatkokäsittely

Mädätteestä separoitua kuivajaetta voidaan käyttää maanparannusaineena sellaise- naankin, mutta mikäli kuivajakeesta on tavoitteena jalostaa lannoitetuote, on sen jatko- käsittely välttämätöntä massan stabiloitumisen, ravinteiden konsentroitumisen ja haju- haittojen vähentämisen kannalta (Drosg ym. 2015, 20). Yleisimpiä kuivajakeen jatkoja- lostusmenetelmiä ovat kompostointi ja erilaiset termiset menetelmät, joita tarkastellaan seuraavaksi tarkemmin.

Kompostointi

Kompostoinnissa mädätysjäännöksen sekaan lisätään esimerkiksi puu- ja oksahaketta, jolla varmistetaan massan ilmastuminen. Kompostointi on happea kuluttava mikrobiolo- ginen prosessi, jossa orgaaninen aines hajoaa ja muuntuu. (Paavola 2015, 110–111.) Kompostoinnin lopputuotteena syntyy epäorgaanisia suoloja, orgaanista ainesta ja py- syvää humusta sisältävää massaa. Sivutuotteena syntyy vettä ja hiilidioksidia. Hygieni- soituneen orgaanisen aineksen, runsaan pieneliöstön ja sisältämiensä ravinteiden ansi- osta komposti soveltuu hyvin maanparannusaineeksi tai sitä voidaan käyttää erilaisten kasvualustojen raaka-aineena. (Suomen Biokierto & Biokaasu Ry 2020.) Kompostoinnin etuna voidaan pitää prosessin yksinkertaisuutta, sekä biomassaan kohdistuvaa stabi- loivaa ja hygienisoivaa vaikutusta (Seppänen ym. 2018, 9). Hyviin puoliin lukeutuu myös se, että biologisen toimintaperiaatteensa ansiosta prosessi ei kuluta sähkö- tai lämmitys- energiaa, eikä ylimääräisiä kemikaaleja. Haasteena kompostoinnissa on typen hävikki, jota laitoskomposteissa voidaan kuitenkin merkittävästi vähentää typen talteenottolait- teistolla (Seppänen ym. 2018, 9).

Termiset menetelmät

Mädätysjäännöksen kuivajae voidaan käsitellä myös termisillä menetelmillä. Poltossa mädätteen sisältämä orgaaninen aines muutetaan energiaksi. Poltettavan mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuuden oltava korkeahko, >50%. Polton seurauksena mädätteen tilavuusmassa pienenee merkittävästi, orgaaniset haitta-aineet ja patogeenit tuhoutuvat prosessissa ja lopputuotteena saadaan tuhkaa. Samalla menetetään kuitenkin orgaaninen aines ja fosfori muuttuu kasveille vaikeammin hyödynnettävään muotoon. Fosforin talteen ottamiseksi tuhkasta on kehitetty erilaisia tekniikoita, mutta suurin osa niistä on vasta kehitysasteella. (Tampio ym. 2018, 20.) Poltolla voidaan myös tuottaa energiaa, mutta prosessin energiatase on yleensä negatiivinen, koska biomassa vaatii esikuivauksen ennen polttoa (Horn ym. 2020, 13).

Termisellä kuivauksella lämmön ja ilmavirran avulla voidaan saavuttaa >90% KA-pitoisuus mädätysjäännökselle (Paavola 2015, 111.) Prosessissa ravinteet konsentroituvat tehokkaasti, vaikkakin typpi haihtuu muiden haihtuvien yhdisteiden ohella kuivausprosessissa herkästi. Ongelma voidaan ratkaista kuivauksen yhteydessä käytettävällä haihtuvien aineiden talteenotolla. Menetelmän heikkoutena voidaan pitää sen energiaintensiivisyyttä, mutta toisaalta kuivauksessa voidaan hyödyntää CHP- laitoksen hukkalämpöä, mikäli sitä on saatavilla. (Seppänen ym. 2018, 9.)

Pyrolyysillä kuivajaetta kuumennetaan hapettomissa olosuhteissa, jolloin prosessissa muodostuu ravinnepitoista biohiiltä ja kaasuja. Lisäksi kaasujen kondensoituessa syntyy myös nestemäistä sivujaetta. (Tampio ym. 2018, 21.) Menetelmän etuina voidaan pitää tehokasta syötteen kokonaisuuden vähenemistä, hiilen stabiloitumista, sekä fosforin väkevöitymistä. Menetelmän haasteena taas ovat typen hävikit sekä nestepitoisen sivujakeen jatkokäsittely ja hyödyntämien (Seppänen ym. 2018, 9.)

2.3 Kierrätyslannoitetuotteet

Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä voidaan valmistaa monentyypisiä kierrätyslannoitevalmisteita ja ne voidaan jaotella ominaisuuksiensa mukaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin lannoitteisiin sekä maanparannusaineisiin. Lannoitteella pyritään parantamaan kasvien kasvua lisäämällä maaperän käytettävissä olevien ravinteiden määriä ja/tai säätämällä niiden tasapainoa. Maanparannusaineilla puolestaan pyritään

parantamaan maaperän kasvukuntoa ja tätä kautta lisäämään kasvisadon määrää. (Seppänen ym. 2019, 4.) Orgaaninen lannoitevalmiste voi olla esimerkiksi biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä jatkojalostettu lannoite, joka sisältää ravinteiden lisäksi runsaasti orgaanista ainesta. Epäorgaaninen lannoite ei puolestaan sisällä lainkaan orgaanista ainesta. Kierrätyslannoitetuotteiden kohdalla epäorgaaninen lannoitevalmisteisiin lukeutuu esimerkiksi mädätysjäännöksen nestejakeesta jatkojalostettu ammoniumsulfaatti. Maanparannusaineisiin puolestaan luetaan esimerkiksi jalostamaton mädätysjäännös tai komposti (Seppänen ym. 2019, 4). Huomionarvoista kierrätyslannoitevalmisteiden ominaisuuksissa on myös se, että niillä on usein sekä lannoitus- että maanparannusvaikutuksia, toisin kuin väkilannoitteilla (Seppänen ym. 2019, 5). Toisaalta lannoitevalmisteen suuri fosforipitoisuus voi rajoittaa levitysmääriä, jolloin maanparannusvaikutus voi jäädä vähäiseksi (Tampio ym. 2018, 34).

Kierrätyslannoitevalmisteita voidaan käyttää viljelyn pääasiallisena ravinnelähteenä ja lannoitusta voidaan tarvittaessa täydentää mineraalilannoitteilla ja/tai biologisella typensidonnalla, sekä hivenaineilla. Yleisesti kierrätyslannoitevalmisteiden ravinnepitoisuudet eivät ole yhtä korkeita kuin mineraalilannoitteissa, mutta eri jalostustekniikoilla väkevöinti samoihin pitoisuuksiin on kuitenkin mahdollista. (Seppänen ym. 2019, 5.) Eri kierrätyslannoitevalmisteiden ravinnepitoisuudet ja -suhteet voivat poiketa suurestikin toisistaan johtuen niiden valmistuksessa käytetyistä erilaisista raaka-aineista ja käsittelyprosesseista (Tampio ym. 2018, 31). Esimerkiksi mädätysjäännöksen rejektivesi sisältää liukoista typpeä ja sopii siten nopeasti ravinteita tarvitseville viljelykasveille, kuten viljoille. Toisissa kierrätyslannoitetuotteissa, kuten komposteissa ravinteet ovat puolestaan enimmäkseen sitoutuneena orgaaniseen ainekseen, joten ne myös vapautuvat kasvien käyttöön hitaammin. Tällaiset lannoitetuotteet soveltuvat hyvin esimerkiksi juuresten viljelyyn tai yleiseen varastolannoitukseen. (Seppänen ym. 2019, 6.)

Orgaanisen aineksen lisääminen maahan parantaa maaperän rakennetta ja vedenpidätyskykyä. Lisäksi siitä on hyötyä maaperän pieneliöstölle. (Tampio ym. 2018, 33.) Maanparannusaineiden käytön positiivisia vaikutuksia on esimerkiksi maan multavuuden, huokoisuuden, vedenläpäisykyvyn, mikrobitoiminnan aktiivisuuden, sekä ravinteiden sitomiskyvyn lisääntyminen. Erilaiset kalkitusaineet nostavat maaperän pH:ta, mikä on eduksi mikrobitoiminnan aktiivisuudelle ja ravinteiden käyttökelpoisuudelle varsinkin happamilla peltomailla. Maanparannusaineisiin on myös usein sitoutuneena hitaasti liukenevia ravinteita, joten niitä voidaan käyttää myös maaperän ravinnevaraston kerryttämiseen. (Seppänen ym. 2019, 6.)

2.3.1 Kierrätyslannoitteiden olomuodot

Kierrätyslannoitteet voidaan jakaa koostumuksen perusteella eri olomuotoihin. Vähiten jalostettuja valmisteita ovat lietemäiset pumpattavat valmisteet, jotka muistuttavat koostumukseltaan lietelantaa. Niiden kuiva-aine pitoisuus on tyypillisesti n. 2–10%, eli ne sisältävät paljon vettä ja niiden ravinnepitoisuudet ovat melko pieniä. Niiden varastoinnissa, kuljetuksessa ja käytössä on kiinnitettävä erityistä huomiota typen haihtumis- ja huuhtoutumisriskiin, jotta turhaa ympäristökuormitusta vältetään ja lannoitus sujuu onnistuneesti. Lietemäiset lannoitteet ovat vähäisen prosessoinnin vuoksi hintatasoltaan edullisia, mutta niiden käytön on ennustettu vähenevän lähitulevaisuudessa lannoitus- tuotteiden jalostusasteen noustessa. (Seppänen ym. 2019, 6.)

Kuivalantamaiset tuotteet ovat nimensä mukaisesti korkeamman kuiva-ainepitoisuuden omaavia, hieman pidemmälle jalostettuja valmisteita. Niihin kuuluu esimerkiksi biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä separoitu kuivajae tai komposti. Kuivalantamaisia tuotteita käytetään tyypillisesti varsinkin fosforipitoisina lannoitteina ja/tai maanparannusaineina niiden korkeasta orgaanisen aineen pitoisuudesta johtuen. Osa valmisteista voi olla myös pelkästään maanparannuskäyttöön suunniteltuja tuotteita, joiden ravinnepitoisuudet ovat vähäisiä, mutta orgaanisen aineen pitoisuus on suuri. (Seppänen ym. 2019, 6–7.) Vähäravinteisia maanparannuskäyttöön soveltuvia tuotteita ovat esimerkiksi metsäteollisuuden sivutuotteena saatava kuitulietteet (Tampio ym. 2018, 34).

Nestemäisille lannoitevalmisteille on tyypillistä alhainen kuiva-aine- ja orgaanisen aineksen pitoisuus. Ne ovat ravinnepitoisuuksiltaan yleensä väkevämpiä muihin kierrätyslannoitevalmisteisiin verrattuna. (Seppänen ym. 2019, 7.) Poikkeuksena myös korkean kuiva-aine- ja orgaanisen aineksen pitoisuuden omaavia nestemäisiä lannoitteita on mahdollista valmistaa. Näissä tuotteissa korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen voidaan päästä esimerkiksi haihdutusprosessin avulla. Nestemäisiin kierrätyslannoitevalmisteisiin lukeutuu myös esimerkiksi strippaamalla prosessoitu ammoniumsulfaatti tai kalvo-suodatettu mädätysjäännöksen rejektivesi.

Pelletit ja rakeet muistuttavat olomuodoltaan eniten perinteisiä väkilannoitteita. Ne voidaan valmistaa monenlaisista kierrätysravinnemassoista, esimerkiksi mädätysjäännöksen separoidusta kuivajakeesta. Syötteen kuiva-ainepitoisuuden on oltava korkea (>85%), joten sen esikuivaus on välttämätöntä. Pelletit jalostetaan lämmön ja

mekaanisen puristuksen avulla, rakeet taas saavat muotonsa kuorruteaineen ja mekaanisen vierityksen avulla. (Seppänen ym. 2019, 7.)

Mädätysjäännöksen poltosta syntyvä tuhka ja pyrolyysin, eli kuivatislauksen lopputuotteena syntyvä biohiili toimivat hyvinä maanparannusaineina, joiden keskeisiä ominaisuuksia ovat hyvä ravinteiden ja veden pidätyskyky, kalkitusvaikutus, sekä hivenainepitoisuudet. Biohiili lisää myös hyvin pysyvän orgaanisen aineen pitoisuutta maaperässä. Pääravinteiden osalta biohiilessä ja tuhkassa on yleensä jäljellä fosforia ja kaliumia, mutta ei juurikaan typpeä. Biohiilen ja tuhkan ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti käytetyt raaka-aineet, sekä jalostuksen prosessiolosuhteet ja jälkikäsitteilyt. (Seppänen ym. 2019, 7.)

2.3.2 Kierrätyslannoitteiden varastointi ja levitysmenetelmät

Kaikki kierrätyslannoitetuotteiden täytyy olla varastoitavissa, kunnes niitä tarvitaan. Kierrätyslannoitevalmistajan lannoitetuotteiden varastoinnin on täytettävä lannoitelainsäädännön mukaiset vaatimukset. Lisäksi on huomioitava yksittäistä laitosta koskevat ympäristölupavaatimukset, jotka voivat asettaa ehtoja lannoitetuotteiden varastoinnille. Lietemäisten tai nestemäisten lannoitetuotteiden varaston täytyy olla katettu niin, että ammoniakkin haihtuminen ja hajuhaitat pystytään ehkäisemään. Lisäksi varaston rakenteen täytyy olla sellainen, ettei siitä pääse siirron, käsittelyn ja varastoinnin aikana valumaan suotovesiä ympäristöön. Lietemäiset ja nestemäiset valmisteet voidaan säilöä lietesäiliöihin tai IBC- kontteihin. Nestemäiset valmisteet jäätyvät pakkasella, tästä syystä ne olisi hyvä varastoida tiloihin, joissa lämpötila ei laske 0 C° alapuolelle. Rakeiset ja pelletöidyt lannoitevalmisteet pakataan yleensä suursäkkeihin. Tärkeää on suojata säkit hyvin kosteudelta, jottei tuotteet pääse pilaantumaan. (Tampio ym. 2018, 62; Seppänen ym. 2019, 8.)

Kierrätyslannoitetuotteet voidaan levittää pelloille pitkälti perinteisellä lannanlevityskalustolla. Lietemäisten lannoitevalmisteiden ja nestemäisten tuotteiden (KA-pitoisuus <5%) kohdalla voidaan käyttää lietelannan levityskalustoa. Runsaasti konsentroitujen kierrätysravinnevalmisteiden levitys pelloille voi muodostua kuitenkin ongelmaksi nykyiselle kalustolle hyvin pienien levitysmäärien (esim. 3–4 m³/ha) kohdalla. Tällöin on tehtävä laitteistomuokkauksia nykyisiin levittämiin. Joitakin nestemäisiä konsentroituja tuotteita, kuten ammoniumsulfaattia voidaan vähäisen kiintoainepitoisuuden vuoksi levittää kasvinsuojeluruiskulla. Kuivalantamainen irtonainen kierrätyslannoite voidaan levittää

peltoille kuivalannan levityskalustolla. Pelleteille ja rakeille puolestaan soveltuvat keskikpakolevittimet ja kalkinlevityslaitteisto. Irtonaiselle tuhkalta ja biohiillelle soveltuu yleensä parhaiten kalkitusvaunut. (Tampio ym. 2018, 64–66; Seppänen ym. 2019, 8–9.)

2.3.3 Kierrätyslannoitteita koskeva lainsäädäntö ja rajoitukset

Suomessa myytävien lannoitetuotteiden tuotantoa ja käyttöä ohjataan kansallisella tasolla ja EU-lainsäädännöllä. Lainsäädännön tarkoituksena on varmistaa kasvintuotannon ja elintarvikkeiden laatu sekä minimoida lannoitteista ympäristölle koituvat haitat. Lainsäädäntö lisää turvallisten ja laadukkaiden lannoitevalmisteiden tarjontaa ja helpottaa myös sivutuotteiden hyötykäyttöä. Suomessa keskeinen kansallinen lannoitteita koskeva laki on lannoitevalmistelaki muutoksineen. Laissa säädetään lannoitevalmisteiden raaka-aineista, tyyppinimistä, sekä monista käytännön toimintaan liittyvistä asioista. EU-tasolla lannoitevalmisteita koskevat mm. REACH-asetus, Euroopan parlamentin ja neuvoston sivutuoteasetus ja EY-asetus. (Tampio ym. 2018, 36.) Tyyppinimivaatimusten lisäksi lannoitevalmisteiden on täytettävä laatu- ja turvallisuusvaatimukset, joita ovat muun muassa hygieniavaatimukset ja haitallisten metallien enimmäispitoisuudet. Lainsäädännön mukaan lannoitevalmisteet luokitellaan kirjoitushetkellä epäorgaanisiin ja orgaanisiin lannoitevalmisteisiin, kalkitusaineisiin, maanparannusaineisiin, kasvualustoihin, mikrobivalmisteisiin, sekä lannoitevalmisteina sellaisenaan käytettäviin sivutuotteisiin. (Ruokavirasto 2021.) Kirjoitushetkellä kansallista lannoitelainsäädäntöä uudistetaan. Mahdolliset muutokset lannoitelainsäädännössä koskevat ainakin lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksia, tyyppinimiä ja valmistajia koskevia hallinnollisia menettelyjä. (Virolainen-Hynnä 2020, 6.) Uusia kierrätyslannoitevalmisteita kehittäessä on syytä ottaa huomioon myös lannoitelainsäädännön tulevat uudistukset.

Sama lannoitelainsäädäntö koskee myös kierrätyslannoitetuotteita. Kierrätyslannoitteiksi sopivat tuotteet, joissa on ravinteita siinä määrin, että ne edistävät kasvien kasvua tai niissä muita ominaisuuksia, jotka parantavat oleellisesti kasvien kasvua tai kasvuolosuhteita. Tuote ei saa aiheuttaa haittaa kasveille, ympäristölle, ihmisille tai eläimille. Kierrätyslannoitetuotteiden tulee myös täyttää lannoitelainsäädännön ja asetusten käsittely- ja hygieniavaatimukset, sekä alittaa määritetyt raja-arvot haitallisten aineiden osalta. Lisäksi kierrätyslannoitetuotteiden valmistajalla täytyy olla Ruokaviraston myöntämä laitoshyväksyntä. (Ruokavirasto 2021.)

Kierrätyslannoitetuotteiden valmistuksessa on syytä huomioida myös lannoitteen loppukäyttöä koskevat asetukset, kuten valtioneuvoston nitraattiasetus, jolla rajoitetaan maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevia päästöjä. Myös maatalouden ympäristökorvausjärjestelmä rajoittaa typen ja fosforin käyttöä peltojen lannoituksessa (Tampio ym. 2018, 38–39.) Asetukset määrittävät kierrätyslannoitetuotteiden sallittuja maksimilevitysmääriä, jotka on syytä mainita lannoitevalmisteiden tuoteselosteissa.

Luomulannoitteiden kohdalla Suomessa ei ole erillistä luomuhyväksyntää lannoitevalmisteille. Luomutuotannossa voidaan käyttää niitä lannoitevalmisteita ja maanparannusaineita, jotka ovat kirjattuna toimeenpanoasetuksen liitteeseen ja jotka täyttävät lannoitevalmisteita koskevan lainsäädännön vaatimukset. Ruokavirasto ylläpitää luetteloa luomutuotantoon soveltuvista lannoitevalmisteista. (Ruokavirasto 2021.)

Kierrätyslannoitteiden laadun ja tunnettavuuden ja maineen edistämiseksi on Suomessa otettu käyttöön viime vuonna kierrätysravinteiden laatujärjestelmä, joka toimii työkaluna ja palveluna kierrätyslannoitevalmisteiden käyttäjille, tuottajille ja viranomaisille. Laatu- lannoite-sertifikaattia voivat hakea kaikki halukkaat kierrätyslannoitteita valmistavat yritykset ja he voivat käyttää laatulannoite- tuotemerkkiä markkinoidessaan kierrätyslannoitetuotteita, jotka täyttävät laatujärjestelmän vaatimukset. Tulokset laatujärjestelmästä ovat olleet positiivisia ja järjestelmän piiriin kuuluvien tuotteiden valikoiman odotetaan kasvavan lähitulevaisuudessa. Laatujärjestelmää ylläpitää Suomen Biokierto ja Bio- kaasu ry. (Virolainen-Hynnä 2020.)

2.3.4 Kierrätyslannoitemarkkinat

Osana HYKERRYYS2-hanketta julkaistiin selvitys luomukelpoisten kierrätyslannoitetuotteiden saatavuudesta Suomessa vuoden 2020 alussa. Selvitykseen kerättiin tietoja viidentoista suomalaisyrityksen yhteensä 65 luomukelpoisesta lannoitevalmisteesta. Tuotteista 55 oli orgaanisia lannoitteita, 5 epäorgaanisia ja loput 5 maanparannusaineita. Selvityksessä tarkastellut lannoitevalmisteet erosivat toisistaan suuresti ravinnearvojen, olomuotojen, käyttötapoen, ja raaka-aineiden osalta. Selvä enemmistö tuotteista oli pelletti/raemuodossa olevia kiinteitä NPK- lannoitteita. Lannoitteiden hintojen osalta vaihtelua esiintyi paljon. Tuontituotteet ja erikoistuotteet mukaan lukien lannoitetuotteiden hinnat olivat välillä 0–1194 €/tonni ilman rahtia. Tyypillisten orgaanisten NPK- lannoitteiden (levitysmäärä 500-1000 kg/ha) hinta sijoittui noin 200 ja 500 euron välille tonnia kohden. Maanparannusaineiden kohdalla hinnat

vaihtelivat välillä 1–28 €/tonni. (Karimaa & Kivelä 2020, 5–6.) Tämän selvityksen perusteella voidaan todeta, että erityyppisiä luomukelpoisia kierrätyslannoitteita on Suomen lannoitemarkkinoilla melko runsaasti saatavilla tällä hetkellä. Selvityksen perusteella tuotteiden hintaskaala on melko laaja, suurehkoja hintaeroja on havaittavissa myös samankaltaisten tuotteiden kohdalla. Hintavaihteluihin vaikuttaa luultavasti lannoitetuotteiden erilaiset ravinnepitoisuudet ja ominaisuudet, toisaalta laaja hintaskaala samankaltaisten tuotteiden kohdalla voi osaltaan kertoa myös kierrätyslannoitemarkkinoiden kehittymättömyydestä.

3 BIOLINJAN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN JATKOJALOSTUS

Tässä luvussa tarkastellaan mädätysjäännöksen jalostusmahdollisuuksia kierrätysravinnevalmisteiksi työn toimeksiantajan, Biolinja Oy:n kohdalla. Ensin luodaan katsaus laitoksen mädätysjäännöksen käsittelyn nykytilanteeseen. Seuraavaksi tarkastellaan skenaariota, joissa mädäte jatkojalostetaan luomukelpoisiksi kierrätyslannoitetuotteiksi. Jatkojalostus-skenaarion lähtökohtana on mädätteen separointi ensin neste- ja kuivajakeeksi, jonka jälkeen erilliset jakeet jalostetaan kierrätyslannoitetuotteiksi. Skenaariossa kuivajakeesta valmistetaan lannoitepelletti/rae ja nestejakeesta ravinnekoncentraatti. Skenaarioon valittuja jalostusmenetelmiä tarkastellaan ensin toisistaan erillään. Osion lopuksi jalostus-skenaariota arvioidaan kokonaisuutena ja sitä vertaillaan mädätteen käsittelyn nykytilanteeseen.

3.1 Laitoksen mädätysjäännöksen nykytilanne

Uudessakaupungissa sijaitseva Biolinjan biokaasulaitos pystyy vastaanottamaan tällä hetkellä 18 000 tonnia orgaanista jätettä vuodessa. Laitoksen tämänhetkinen syöte koostuu maatalouden, teollisuuden ja yhdyskuntien orgaanisista jätteistä, ei kuitenkaan jätevedenpuhdistamoiden lietteistä tai muista ihmisperäisiä jätteistä. Biolinjan laitoksella biokaasun tuotanto perustuu jatkuvatoimiseen märkäprosessiin. Laitoksella tuotettu biokaasu hyödynnetään polttoaineena yrityksen omalla CHP-laitoksella. Biokaasulla tuotettua lämpöä johdetaan Uudenkaupungin kaukolämpöverkkoon sekä yrityksen omiin laitosprosessitarpeisiin.

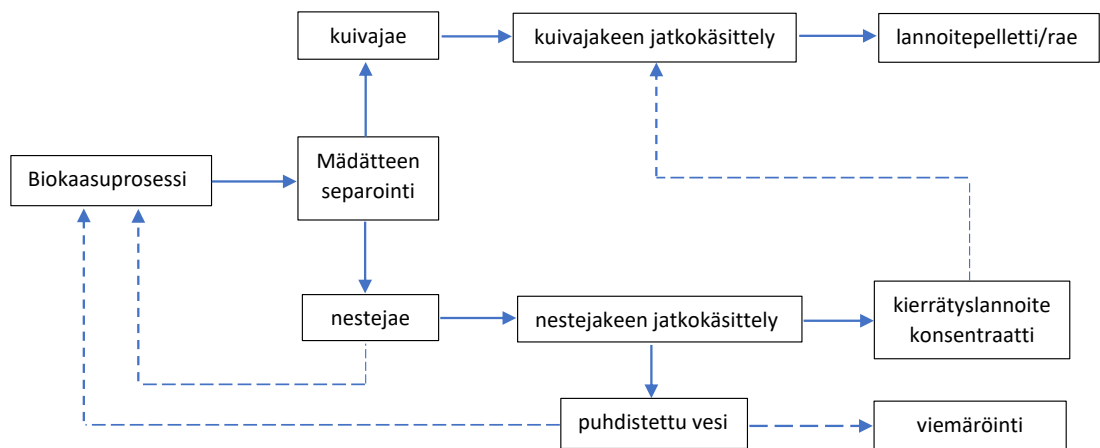
Mädätysjäännöstä laitoksella syntyy tällä hetkellä karkeasti sama määrä kuin laimennettua syötettä, eli n. 20 000 tonnia vuodessa. Mädätysjäännöstä ei tällä hetkellä jatkojalosteta laitoksen toimesta, vaan syntynyt mädäte ajetaan lähialueiden viljelijöiden pelloille lannoituskäyttöön sellaisenaan. Käsittelemättömän mädätysjäännöksen etuna laitoksen näkökulmasta on se, ettei mädätteen käsittely edellytä tällä hetkellä erillistä vedenpuhdistustarvetta, koska se ajetaan viljelijöiden pelloille sellaisenaan.

Laitoksen mädätysjäännöksen nestepitoisuus on suuri, n. 95%. Korkeasta nestepitoisuudesta johtuen myös mädätysjäännöksen logistiikkakustannukset ovat tällä hetkellä

suuret, joten mädätettä ei ole kannattavaa ajaa pitkien matkojen päähän sellaisenaan. Nykyisessä tilanteessa laitos kustantaa mädätteen rahdin, viljelijät maksavat mädätysjäännöksestä nimellisen hinnan ja kustantavat itse levityksen pelloille. Suuret rahtikustannukset ja mädätteestä saatavat pienet tulot eivät ole ideaalinen tilanne liiketoiminnan kannalta, joten yrityksellä on tarvetta jatkojalostaa mädätysjäännöstä arvokkaammiksi ja konsentroidummiksi kierrätyslannoitetuotteiksi. Lisäksi mädätysjäännöksen varastoiminen voi tuottaa ajoittain ongelmia, koska levitysajankohta pelloille on rajallinen. Tällöin on vaarana riskitilanteen muodostuminen, jossa laitoksen säiliöt ovat täynnä, mutta mädätysjäännöstä ei saada toimitettua laitokselta eteenpäin. Mädätysjäännöksen jatkojalostaminen on siis ajankohtaista niin liiketoiminnan kehittämisen, kuin laitoksen toimintavarmuudenkin kannalta.

3.2 Mädätysjäännös kierrätyslannoitetuotteiksi

Jalostus-skenaariossa mädätysjäännöksen prosessointiketju alkaa mädätteen separoinnilla neste- ja kuivajakeiksi. Biolinjan laitoksen kohdalla mädätysjäännöstä syntyy nykyhetkellä n. 20 000 tonnia vuodessa. Tällä kapasiteetilla dekantterilingolla separoidun mädätteen massasta kuivajakeeksi päätyisi laskelmien perusteella (liite 1) vuositason n. 4000 tonnia ja nestejakeeksi loput 16 000 tonnia. Päivätasolla kuivajakeetta syntyisi tällöin n. 11 tonnia ja nestejakeetta n. 44 tonnia. Skenaarissa neste- ja kuivajake käsitellään omina jakeinaan erillisiksi kierrätyslannoitetuotteiksi. Kuivajakeesta jalostettava lopputuote on kierrätyslannoitepelletti/rae ja nestejakeesta jalostetaan ravinnekoncentraatti. Osa ravinnekoncentraatista pystyttäisiin mahdollisesti hyödyntämään kuivajakeesta prosessoitavan pelletin valmistuksessa lisäaineena. Skenaarion jalostusketjussa erottuva puhdistettu vesi hyödynnetään ensisijaisesti prosessivetenä biokaasulaitoksella ja viemäroidään vain siltä osin, kun sitä ei pystytä laitoksella hyödyntämään. Osa separoidusta nestejakeesta on myös mahdollista hyödyntää biokaasuprosessin syötteen laimennuksessa ennen sen jatkokäsittelyä. Mädätteen jalostus-skenaariota yksinkertaistettu kokonaisprosessointiketju on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Mädätteen jalostus-skenaarion kokonaisprosessointiketju.

3.2.1 Separointi

Mädätteen jalostus-skenaarion kiintoaineen separoimisessa tarkastellaan dekanterilinkousta, jota toimeksiantajan laitoksella oli harkittu potentiaalisena mädätteen käsittelymenetelmänä jo aiemmin. Separoinnin seurauksena mädätteen jatkokäsittely helpottuu ja separoidut jakeet voidaan prosessoida toisistaan erillään niille soveltuvilla tekniikoilla. Oikein toimiessaan dekanterilinko erottelee kiintoainesta nesteestä tehokkaasti ja samalla erottelua tapahtuu myös ravinteiden osalta. Tämän opinnäytetyön aikana toimeksiantajan mädätteen dekantointia ei vielä päästy testaamaan, joten syntyvät massa- ja ravinnetaseet on laskettu kirjallisuusarvojen pohjalta. Dekantoidun mädätysjäännöksen laskennalliset massa- ja ravinnetaseet on esitetty taulukossa 1. Taulukon massa- ja ravinnetaseet ovat viitteellisiä, joten tulevien dekantointikoeajojen yhteydessä on tärkeää suorittaa myös laboratorioanalyysit separoiduille jakeille tarkkojen tulosten saamiseksi. Lopulliseen separointitehokkuuteen vaikuttaa paitsi syötteen laatu, myös dekanterin säädöt ja ominaisuudet.

	nestejae	kuivajae
massatase (t/v)	16 000	4000
kiintoaine (t/v)	300	700
KA-pitoisuus (%)	2	20
ravinnetase (kg/v)		
typpi (N)	70 000	30 000
fosfori (P)	4200	9800
kalium (K)	48 600	5400
ravinnepitoisuus (kg/t)		
typpi (N)	4,4	7,5
fosfori (P)	0,3	2,5
kalium (K)	3,0	1,4

Taulukko 1. Dekantoidun mädätteen laskennalliset massa- ja ravinnetaseet.

3.2.2 Kuivajakeen jatkokäsittely

Dekantoidun kuivajakeen käsittelemiseksi jalostus-skenaariossa tarkastellaan mikrotermistä menetelmää, jonka käyttöä mahdollisena kuivajakeen käsittelymenetelmänä oli pohdittu toimeksiantajan laitoksella jo aiemmin. Mikroterminen menetelmä on biologinen orgaanisen aineksen käsittelymenetelmä, jossa optimaalisissa kasvuolosuhteissa olevat maamikrobit hajottavat helposti maatuvaan orgaanista ainesta, kuten hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja erittäin nopeasti ja tehokkaasti. Menetelmän avulla orgaaninen syöte, kuten mädätysjäännös saadaan prosessoitua noin vuorokaudessa hygieeniseksi ja jauhemaiseksi lopputuotteeksi. Prosessissa arvokkaat ravinteet ja hivenaineet konsentroituvat ja käsittelyn myötä orgaanisia ravinteita myös mineralisoituu, jolloin lopputuotteen lannoitusarvo paranee. Prosessin sivutuotteena muodostuu haihtunutta vettä ja prosessin alkuvaiheessa myös hiilidioksidia. DTS Finland on tutkinut ja kehittänyt mikrotermistä menetelmää Suomessa useamman vuoden ajan. DTS:n biomiksereissä mikrobien olosuhteita, prosessin laatua, sekä lopputuotteen hygienisointia voidaan säätää ja valvoa. Laitteistoja on saatavilla eri kokoluokissa, jolloin prosessi voidaan skaalata erilaisiin syötemääriin. Biomikserin yhteyteen voidaan liittää myös pelletöintilaitteisto, jolloin prosessin lopputuote saadaan entistä jalostetumpaan muotoon. (Digi Toilet Systems 2021.)

Mädätteen prosessoinnissa mikrotermisen menetelmän etuna on sen vähäinen energiankulutus biologisen toimintaperiaatteensa ansiosta. Hyötyihin voidaan lukea myös prosessin nopeus perinteiseen kompostointiin verrattuna, sekä lopputuotteen erittäin alhainen nestepitoisuus, hygieenisuus ja stabiloitunut koostumus. Biomikseristä saatava

kuiva massa voidaan pelletöidä ja rakeistaa, jolloin sen käsiteltävyys, lannoitekäyttö ja stabiilisuus paranevat entisestään. Lisäksi menetelmän yksinkertaisuus voidaan nähdä hyötynä jalostusprosessin toimintavarmuuden kannalta. Menetelmän haasteena puolestaan on lähinnä prosessin skaalautuvuus biokaasulaitokselle. Mikrotermistä menetelmää on hyödynnetty tähän saakka menestyksekkäästi pienemmässä mittakaavassa, esimerkiksi kuivakäymälöiden yhteydessä, mutta biokaasulaitoksilla se ei vielä toistaiseksi ole käytössä.

Mikrotermisen menetelmän lopputuotteena saadaan korkean KA- pitoisuuden (n. 90%) omaava jauhemainen seos, jossa syötteen sisältämät ravinteet ja orgaaninen aines pysyvät tallella. Prosessin sivutuotteena haihtuu myös runsaasti vettä, joka on mahdollista kerätä talteen. Syötteestä haihtuvan veden talteenotto voisi olla perusteltua toimeksiantajan laitoksen kohdalla, koska sitä voitaisiin hyödyntää prosessivetenä.

Testaukset mikrotermisellä menetelmällä

Mikrotermisen menetelmän soveltuvuutta mädätteen jatkojalostukseen testattiin opin- näytetyöprosessin aikana DTS:n toimesta heidän omalla koelaitteistollaan. Laitoksen de- kantoitua kuivajaetta ei saatu vielä opinnäytetyön aikana testattavaksi, joten testaukset suoritettiin manuaalisesti erotetulla mädätteen kuivajakeella. Mikrotermistä menetelmää varten mädätteen sekaan lisättiin myös kananlantaa ja ruokohelpeä lopputuotteen laa- dun ja koostumuksen optimoimiseksi. Menetelmää testattiin erilaisilla seos- suhteilla ja lisäksi seoksen pH:ta laskettiin typen haihtumisen estämiseksi testausten aikana. Ku- vassa 4 näkyy mikrotermisen menetelmän testilaitteena käytetty biomikseri valmiina koe- ajoa varten.



Kuva 4. Testauslaite valmiina koeajoa varten.

Mikrotermisellä menetelmällä jalostettavan lannoitevalmisteen massa- ja ravinnetaseisiin vaikuttaa oleellisesti prosessoitavan syötteen laatu sekä muut käytetyt raaka-aineet, pH:n säädön onnistuminen, sekä pelletöinnissä käytettävät lisäaineet. Tarkkoja massa- ja ravinnetaselaskelmia ei voida vielä tässä vaiheessa tehdä, koska mikrotermistä menetelmää ei ole vielä testattu dekantoidulla mädätteellä ja lannoitevalmisteen reseptiikka hakee vielä lopullista muotoaan.

Mikrotermisen menetelmän testauksen yhteydessä havaittiin suhteellisen korkea muoviroskan määrä prosessoidun mädätteen seassa. Testeissä käytetty mädäte kerättiin varastoaltaan pinnasta, johon muoviroskaa enimmäkseen kertyy. Muoviroskaa päätyy mädätteeseen biokaasureaktorin syötteen mukana. Syötteen mukana tulevan muovin määrän vähentäminen on haastavaa ja siksi sitä päätyy myös mädätysjäännökseen. Muovi ei itsessään vaikuta mikrotermisen menetelmän toimivuuteen, mutta hankaloittaa lopputuotteeseen päästyään sen käyttöä. Testeissä muovin palat tosin saatiin melko tehokkaasti siivilöityä pois lopputuotteen seasta. Lopputuotteen siivilöinti lisää kuitenkin lannoitteen valmistuskustannuksia, joten on tärkeää pohtia myös keinoja, joilla muovin pääsyä laitoksen syötteen ja sitä kautta mädätteen sekaan pystyttäisiin paremmin ennaltaehkäisemään.

Tähänastisten testauksien perusteella voidaan todeta, että mikroterminen menetelmä on potentiaalinen vaihtoehto mädätysjäännöksen jatkojalostukseen, koska menetelmällä onnistuttiin saamaan aikaiseksi tavoiteltua kuivaa ja stabiilia, jauhemaista lopputuotetta

(kuva 5). Syöteseoksen reseptiikka kaipaa kuitenkin vielä hiomista, sillä laboratorioanalyysien perusteella lopputuotteen ravinnearvot jäivät odotettua matalammiksi, mikä rajoittaa tuotteen markkinointia lannoitevalmisteena. Mataliin ravinnearvoihin syynä oli todennäköisesti manuaalisesti erotettu mädätteen kuivajae, joka oli ollut varastoituna ennen testausta melko pitkään. Tämän seurauksena merkittävä osa liukoisesta typestä oli todennäköisesti päässyt haihtumaan pois mädätteestä. Lisäksi syöteseoksessa käytetty ruokohelpi lisäsi orgaanisen aineen määrää ja samalla pienensi käsitellyn massan ravinnepitoisuuksia. Tärkeää olisi lähitulevaisuudessa päästä testaamaan mikrotermistä menetelmää myös tuoreella dekantoidulla kuivajakeella, jossa ravinteet ovat paremmin tallessa.



Kuva 5. Mikrotermisesti käsiteltyä mädäteseosta.

Mikrotermisellä menetelmällä käsitellylle massalle suoritettiin myös pelletöintikokeita ulkopuolisen tahon toimesta. Testien perusteella pelletöinti onnistui, mutta pelletöinnissä jouduttiin käyttämään runsaasti kaliumsulfaattia ja puuvinassia lisäaineina, joilla estettiin kuivan massan kiinnipalaminen matriisiin. Tällaisten lisäaineiden käyttö parantaa myös lopputuotteen ravinnearvoja, mutta samalla pelletöintikustannukset kasvavat merkittävästi. Tästä johtuen mikrotermisen menetelmän syötteen reseptiikka kaipaa vielä hienosäätöä, millä voidaan minimoida lisäaineiden käyttö pelletöintivaiheessa. Mikäli nestejakeen jatkokäsittely toteutetaan laitoksella tulevaisuudessa, myös siitä saatava konsentraatti voisi olla potentiaalinen vaihtoehto pelletöinnin lisäaineeksi.

3.2.3 Nestejakeen jatkokäsittely

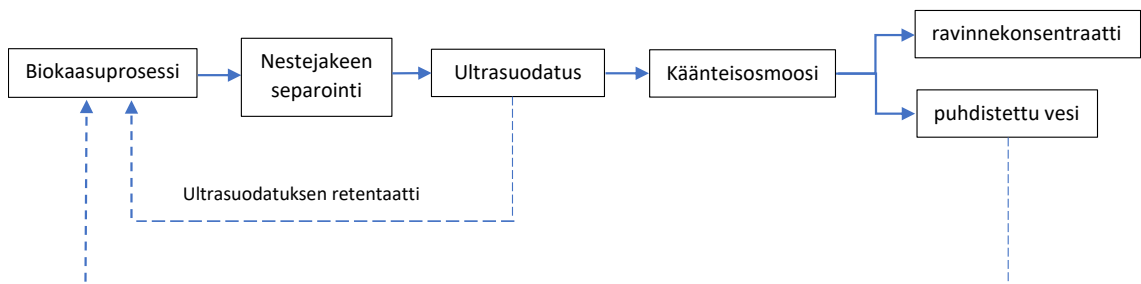
Nestejakeen jatkokäsittelyn tarkastelu osana lannoitejalostusta on tärkeää, koska suunnitellun dekantterilinkouksen toteutuessa nestejaetta tulee syntymään laitoksella laskelmien mukaan massaltaan noin nelinkertainen määrä kuivajakeeseen verrattuna. Samalla nestejakeeseen erottuu myös merkittävä määrä mädätysjäännöksen ravinteista, varsinkin typestä ja kaliumista. Nestejakeen jatkokäsittelyllä on mahdollista erottaa edelleen vettä ja ravinteita toisistaan, jolloin ravinteet saadaan konsentroituneempaan muotoon. Tällä tavoin niiden lannoitusarvo painoyksikköä kohden nousee ja samalla myös logistiikan kustannustehokkuus paranee. Dekantoitua nestejaetta ei myöskään ole mielekästä ohjata kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle sellaisenaan korkeista ravinnepitoisuuksista johtuen, joten nestejakeen jatkokäsittely biokaasulaitoksella on perusteltua myös tästä näkökulmasta.

Nestejakeen käsittelylle ei suoritettu vielä opinnäytetyön aikana testauksia, koska vaadittavaa dekantointia nestejakeen erottelemiseksi kuivajakeesta ei päästy vielä tekemään. Nestejakeen käsittelyn osalta tarkastellaan kahta mahdollista jalostusvaihtoehtoa teoriatasolla. Valintakriteereinä tarkasteltaville jalostusvaihtoehdoille oli toimeksiantajan laitoksen erityispiirteet, erottelussa syntyvän veden käsittely ja hyödyntäminen, ravinteiden erottelutehokkuudet, sekä jalostuksessa syntyvien lopputuotteiden hyödynnettävyys lannoitevalmisteina. Painoarvoa valinnoissa oli myös teknologioiden kypsyydellä laitostammittakaavassa. Tarkasteltaviksi jalostustekniikoiksi valittiin kalvosuodatus ja suljetun höyrynkierroksen haihdutus.

Tarkasteltavat jalostusmenetelmät eivät ole toistaiseksi vielä yleistyneet Suomen biokaasulaitoksilla, mutta muutamia laitostekniikkejäkin löytyy. Kalvosuodatusta käytetään nestejakeen konsentroimisessa kirjoitushetkellä ainakin Biokympin laitoksella Suomessa. MVR-haihdutus on puolestaan valittu nestejakeen käsittelyyn ainakin Gasumin Turun biokaasulaitokselle osana jalostusprosessia. Muualla Euroopassa kyseiset jalostustekniikat ovat jo huomattavasti yleisemmässä käytössä biokaasulaitosten mädätteen nestejakeen käsittelyssä (Drosg ym. 2015, 10). Varsinkin suuren kokoluokan laitoksilla on yleistä yhdistellä eri tekniikoita nestejakeen käsittelemiseksi. Biolinjan laitoksen nykyinen kapasiteetti huomioiden tässä jalostus-skenaariossa lähtökohtana kuitenkin on, että käytetään vain yhtä jalostusmenetelmää nestejakeen käsittelyyn, jotta investointi- ja tuotantokustannukset pysyisivät kohtuullisina.

Kalvosuodatus

Kalvosuodatuksen avulla on mahdollista erotella ravinteet tehokkaasti biokaasulaitoksen rejektivedestä, kun kalvosuodatuksessa käytetään tarpeeksi pientä huokoskokoa. Kalvosuodatuksen toimivuuden kannalta olennaista on se, että rejektivesi on mahdollisimman kiintoainevapaata, mikä estää kalvojen tukkeutumisen. Käytännössä tämä vaatii monivaiheisen suodatusprosessin edeten suuremmasta huokoskoosta pienempään (kuva 6). Erilaisia kalvovaihtoehtoja on markkinoilla lukuisia erityyppisiin suodatustarpeisiin. Kalvosuodatuksessa biokaasulaitosten rejektivesien kohdalla käytetään usein ultrasuodatuksen ja käänteisosmoosin yhdistelmää. Käänteisosmoosin valinta erotustehokkuudeksi viimeiseen suodatusvaiheeseen on perusteltua liukoisten ravinteiden talteenoton maksimoimisen kannalta. Lopputuotteena kalvosuodatuksesta saadaan käänteisosmoosin retentaattia, eli tässä tapauksessa ravinnekonentraattia, sekä käänteisosmoosin läpäisevää permeaattia, eli puhdistettua vettä. Puhdistettu vesi kannattaa ensisijaisesti hyödyntää prosessivetenä biokaasulaitoksella. Ultrasuodatuksen ja käänteisosmoosin sisältävässä kalvosuodatuksessa syntyy myös ultrasuodatuksen retentaattia, joka yleensä johdetaan takaisin biokaasuprosessiin sivuvirtojen minimoimiseksi (Drosg ym. 2015, 26). Kyseinen menettelytapa on oletuksena myös tämän skenaarion tarkastelussa. Kalvosuodatus-skenaarion yksinkertaistettu prosessointiketju on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Nestejakeen kalvosuodatus-skenaarion prosessointiketju.

Massataseiden osalta ravinnekonentraattia syntyy kalvosuodatuksessa n. 20% ja puhdistettua vettä n. 50 % mädätteen kokonaismassasta siinä tapauksessa, että ultrasuodatuksen retentaatti kierrätetään takaisin biokaasuprosessiin (Gienau ym. 2018, 331). Ravinteiden osalta typen ja kaliumin pitoisuudet kasvavat konsentraatissa dekantoituun

nestejakeeseen verrattuna. Fosforipitoisuuden ei oleteta konsentraatissa kasvavan, koska suurin osa siitä palautuu takaisin biokaasuprosessiin ultrasuodatuksen retentaatin myötä (Horn ym. 2020, 18–19.) Taulukossa 2 on esitettyä kirjallisuusarvojen pohjalta lasketut (liite 1) lopputuotteiden massa- ja ravinnetaseet Biolinjan laitoksen kalvosuodatus-skenaariossa. On syytä huomioida, että lasketut arvot ovat viitteellisiä, eli todelliset massa- ja ravinnetaseet voivat jonkin verran poiketa lasketuista arvoista.

	R/O vesi	konsentraatti
massatase (t/v)	10000	4000
kiintoaine (t/v)	-	100
KA-pitoisuus (%)	-	3
ravinnetase (kg/v)		
typpi (N)	-	52 500
fosfori (P)	-	100
kalium (K)	-	48300
ravinnepitoisuus (kg/t)		
typpi (N)	-	13,1
fosfori (P)	-	0,03
kalium (K)	-	12,1

Taulukko 2. Kalvosuodatus-skenaarion laskennalliset massa- ja ravinnetaseet.

Kalvosuodatetun ravinnekonsentraatin valmistuskustannukset muodostuvat työkuluista, sähkönkulutuksesta, pH:n säätökemikaalien ja kalvojen pesuaineiden kulutuksesta, sekä kalvosuodatuslaitteiston huolto- ja korjauskuluista. (Horn ym. 2020, 34.) Suomen Ympäristökeskuksen julkaisemassa BioRaEE- hankkeen raportissa esitetään kalvosuodatuksen kustannusarvio Biokympin biokaasulaitokselle. Raportin laskelmien mukaan n. 16 000 tonnia vuodessa separoitua nestejakeetta käsiteltäessä kalvosuodatuksen vuosittaisiksi käyttökustannuksiksi arvioitiin n. 200 000 €. Kalvosuodatuslaitteiston investointikustannuksiksi arvioitiin puolestaan 600 000 €. (Horn ym. 2020, 44.) On syytä kuitenkin huomioida, että Biokympin kalvosuodatuksen käyttökustannuslaskelmiin sisällytettiin myös nestejakeen separointi, sekä konsentraatin logistiikkakustannukset. Biokympin laitokselle tehtyjä kalvosuodatuksen kustannusarvioita ei voida suoraan soveltaa toimeksiantajan laitokselle, koska laskelmissa käytettävät hintatiedot ovat aina laitospohjaisia. Samankaltaisista nestejakeen käsittelymääristä johtuen Biokympille tehtyjä laskelmia voidaan kuitenkin pitää suuntaa-antavina arvioitaessa kalvosuodatus-skenaarion kustannuksia.

BioRaEE- hankkeessa vertailtiin kalvosuodatuksella valmistettavan ravinnekonsentraatin kannattavuutta vuositasolla ruuviseparoituun nestejakeeseen verrattuna Biokympin laitoksella. Kannattavuuden arvioinnissa merkittäväksi tekijäksi nousivat kuljetuskustannukset. Konsentraatin keskimääräiseksi kuljetusetäisyydeksi laitokselta määritettiin 50 kilometriä. Selvityksen perusteella tämä kuljetusetäisyys ei riittänyt kattamaan konsentraatin valmistuksesta aiheutuvia korkeampia kustannuksia, toisin sanoen ravinnekonsentraatin valmistaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Jos keskimääräiseksi kuljetusetäisyydeksi laitokselta olisi asetettu 80 km, olisi ravinteiden väkevöinti ollut jo edullisempaa ruuviseparoituun nestejakeeseen valmistukseen ja logistiikkaan verrattuna. (Horn ym. 2020, 35.) Lannoitevalmistuksen kannattavuuden arvioinnissa on syytä ottaa huomioon myös biokaasulaitoksen sijainti ja sen myötä lähialueiden kasvintuotannon ravinteiden tarve. Tämä määrittää sen millaisille lannoitteille laitoksen lähialueilla on kysyntää. Tätä näkökulmaa ei BioRAEE:n selvityksessä otettu huomioon. (Horn ym. 2020, 35.) Kalvosuodatus mahdollistaa fosforin tehokkaan erottelun pois konsentraatista. Tämä typpi- ja kalium- pitoinen ravinnekonsentraatti soveltuu hyvin korkean fosforiluvun pelloille, joita Biolinjan laitoksen lähialueilla sijaitsee runsaasti.

BioRAEE- hankkeen selvityksen kannattavuuslaskelmissa ravinnekonsentraatista saatavien myyntitulojen kohdalla käytettiin mineraalilannoitteiden hinnoittelupolitiikkaa, eli lannoitteen myyntihinta määräytyy liukoisten ravinteiden (N,P&K) painon mukaan sen ollessa 1€/kg kutakin ravinnetta. Selvityksen mukaan tämänkaltaisen Biokympin lähialueen lannoitehinnoittelu ei tee oikeutta ravinnekonsentraatin valmistukselle. Eri ympäristössä ja erilaisessa lannoituskäytössä ravinnekonsentraatista voisi olla mahdollista saada enemmän tuloja. (Horn ym. 2020, 36.)

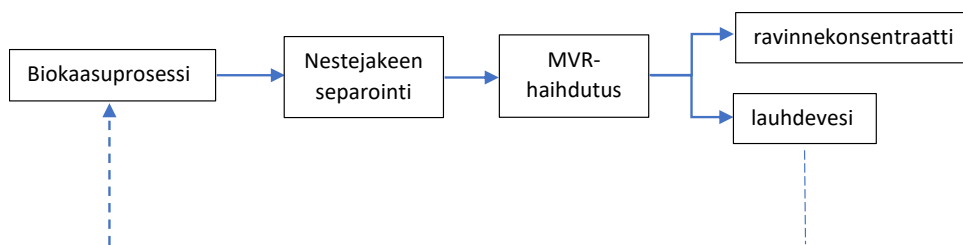
Käänteisosmoosin permeaattina muodostuvaa puhdasta vettä voidaan hyödyntää toimeksiantajan biokaasulaitosprosessissa tehokkaasti. Mikäli kalvosuodatus toteutetaan ultrasuodatuksen retentaatin kierrolla prosessiin, myös tämä matalan kiintoainepitoisuuden omaava neste toimii syötteen laimennusvetenä. Tällä tavoin toteutettuna etuna on myös se, että jälkikäsitteilyä vaativaa jätevettä ei synny jalostuksessa käytännössä lainkaan.

Kalvosuodatuksen lopputuotteena saatava typpi- ja kaliumpitoinen ravinnekonsentraatti soveltuu hyvin täydennyslannoitteeksi kasveille, jotka tarvitsevat nopealiukoista typpeä ja kaliumia kasvuunsa. Koska konsentraatti ei sisällä juurikaan fosforia, sitä voidaan käyttää korkean fosforiluvun omaavilla pelloilla. Ravinnekonsentraatti sisältää myös usein toivottua rikkiä, jos rikkihappoa (H_2SO_4) käytetään rejektiveden pH:n

säätökemikaalina typen sitomiseksi. Tällöin konsentraatilla on typpi- ja kaliumlannoituksen lisäksi myös rikkilannoitusvaikutus. Samalla varastoinnin ja käytön aikaista ammoniumtypen haihtumista konsentraatista voidaan ehkäistä huomattavasti tehokkaammin käsittelemättömään nestejakeeseen verrattuna. Kalvosuodatuksella valmistetun konsentraatin vesipitoisuus on edelleen suuri (n. 95%), joten sen levitykseen soveltuu nestemäisten lannoitteiden levityskalusto.

MVR- Haihdutus

Suljetun höyrykierron (MVR) haihdutusta tarkastellaan potentiaalisena vaihtoehtona Biolinjan laitoksen nestejakeen käsittelylle, koska sen avulla voidaan konsentroida eri ravinteet tehokkaasti ja samanaikaisesti. Haihdutuksen päämääränä on höyrystää lämmön avulla nestejakeesta vettä mahdollisimman paljon pois, jolloin lopputuotteena saadaan ravinnerikas konsentraatti. Haihdutusprosessissa separoidun emäksisen nestejakeen pH lasketaan ensiksi tasolle 5–6 lisäämällä siihen happoa, yleensä rikkihappoa (Paavola 2015, 106). Toimenpide on tarpeellinen typen sitomiseksi nestejakeeseen, jotta se haihtuu ammoniakkinä konsentraatin valmistuksessa. pH:n säädön jälkeen nestejake ajetaan suljetun höyrykierron haihduttimeen. MVR- haihduttimen energiatehokkuus perustuu siihen, että nestejakeesta haihtunut höyry kierrätetään kompressorille, joka nostaa haihtuneen höyryn painetta ja lämpötilaa. Tämän jälkeen höyry ajetaan haihduttimelle uudestaan ja näin höyrynkulutusta saadaan pienennettyä merkittävästi perinteiseen haihduttimeen verrattuna. Haihdutus-skenaarion yksinkertaistettu prosessointiketju on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Nestejakeen haihdutus -skenaarion prosessointiketju.

Lopputuotteena haihdutuksesta saadaan ravinnerikas konsentraatti pääravinteiden osalta. Koska nestejakeessa on aina mukana hieman kiintoainetta, täysin kuivaksi sitä ei voida kiehuttaa. Veden haihtuessa nestejakeesta, sen KA-pitoisuus kasvaa ja samalla myös nesteen viskositeetti kasvaa. Viskositeetti määrittää lopulta sen, mihin KA-pitoisuuden nestejake on mahdollista konsentroida. Viskositeettiin vaikuttaa käytetyt raaka-aineet, käytännössä konsentraatin lopullinen KA-pitoisuus on yleensä välillä 10–30% konsentraatin kokonaismassasta. (Paavola 2015, 106.)

Loput nestejakeen massasta päätyy lauhdevedeksi haihdutuksen seurauksena. Haihdutuksessa höyryn mukana haihtuu käytännössä aina myös jonkin verran orgaanisia happoja ja ammoniakkia, jotka päätyvät lauhdeveteen. Mitä alhaisempi on liuoksen pH, sitä vähemmän ammoniakkia päätyy lauhdeveteen. Syntyvää lauhdevettä voidaan käyttää ensisijaisesti laitoksen prosessivetenä esimerkiksi biokaasureaktorin syötteen laimenuksessa ja/tai polymeeriliuoksen valmistuksessa mädätteen dekantointia varten. Vaihtoehtoisesti lauhdevesi voidaan viemäroidä kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle, mikäli puhdistamo pystyy ottamaan vastaan erittäin laimeaa vettä sen häiritsemättä vedenpuhdistusprosessia. Lauhdevettä voidaan mahdollisesti johtaa myös ympäristöön, mutta se vaatisi vielä erillisen puhdistuksen ja ympäristöluvan. (Paavola 2015, 107.)

Kirjallisuusarvojen pohjalta lasketut haihdutus-skenaarion massa- ja ravinnetaseet (liite 1) ovat esitettynä taulukossa 3. Laskelmien lähtökohtana on, että konsentraattia muodostuu 20 % käsiteltävän nestejakeen kokonaismassasta ja nestejakeen kokonaistypistä 90 % saadaan sidottua konsentraattiin. On syytä huomioida, että kirjallisuusarvojen perusteella laskettuja massa- ja ravinnetaseita voidaan käyttää vain suuntaa antavina arvioina.

	vesi	konsentraatti
massatase (t/v)	12 800	3200
kiintoaine (t/v)	-	300
KA-pitoisuus (%)	-	10
ravinnetase (kg/v)		
typpi (N)	7 000	63 000
fosfori (P)	-	4200
kalium (K)	-	48600
ravinnepitoisuus (kg/t)		
typpi (N)	0,5	19,7
fosfori (P)	-	1,3
kalium (K)	-	15,2

Taulukko 3. Haihdutus-skenaarion laskennalliset massa- ja ravinnetaseet.

Nesejakeen haihdutus -skenaariossa merkittävimmät käyttökustannukset muodostuvat sähkön- ja pH:n säätökemikaalien kulutuksesta sekä työkuluista. Esimerkiksi Epconin ns. laskevakalvohaihduttimien kokonaisenergiankulutus käsiteltävää nestemassamäärää kohden on tyypillisesti 10–25 kWh/tonni (Epcon 2020). pH:n säätökemikaalien kulutus on aina tapauskohtaista, siihen vaikuttaa sekä mädätteen pH, että tavoiteltu happamuus.

Haihdutuksen lopputuotteena on mahdollista saada typpi- ja kaliumpitoinen ravinnekonentraatti, joka sisältää kiintoainetta 10–30% konsentraatin kokonaismassasta. Melko korkeasta KA-pitoisuudesta huolimatta konsentraatti on edelleen juoksevassa muodossa ja sitä voidaan levittää pelloille nestemäisten lannoitteiden levityskalustolla. Konsentraatti sopii hyvin kasveille, jotka tarvitsevat kasvuunsa varsinkin nopealiukoista typpeä ja kaliumia. Konsentraatilla on myös rikkilannoitusvaikutus, mikäli käsiteltävän nestejakeen pH:n säädössä käytetään rikkihappoa. Konsentraatin matalamman pH:n ansiosta liukoinen typpi on myös paremmin sitoutuneena lopputuotteeseen. Tämä vähentää huomattavasti ammoniakkin haihtumista, eli typen karkaamista ilmaan varastointi- ja peltolevitysvaiheessa käsittelemättömään mädätteeseen verrattuna.

3.3 Jalostus-skenaarion vertailu nykytilanteeseen

Mädätysjäännöksen jatkojalostuksessa tärkeää on prosessointiketjun kokonaistarkastelu, jotta kaikki mädätteen ravinteet ja orgaaninen aines saadaan talteen mahdollisimman tehokkaasti ja jalostusketju toimii myös biokaasutuotannon kanssa saumattomasti. Neste- ja kuivajakeen käsittelyä on tarkasteltu case- osuudessa tähän asti omina prosesseinaan. Seuraavaksi jalostus-skenaariota tarkastellaan kokonaisuutena ja sitä verrataan mädätteen käsittelyn nykytilanteeseen. Skenaariota verrataan nykytilanteeseen lannoitteiden käytön, logistiikan ja vedenkäsittelyn näkökulmasta. Lopuksi tarkastellaan lyhyesti myös jalostus-skenaarion taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

3.3.1 Lopputuotteiden käyttö kierrätyslannoitteina

Lannoitejalostus-skenaarion lopputuotteita tarkastellessa muodostuu kaksi eri lannoitevalmistetta, dekantoidusta kuivajakeesta valmistettua kierrätyslannoitepellettiä, sekä nestejakeesta valmistettua ravinnekonentraattia. Lopputuotteet poikkeavat ominaisuuksiensa puolesta toisistaan. Kuivajakeesta mikrotermisellä menetelmällä valmistetut

pelletit soveltuvat ennen kaikkea hidasliukoisiksi lannoitteiksi maaperän varastolannoitusta täydentämään. Kuivajakeesta valmistetulla pelleteillä on lisäksi myös maanparannusvaikutus suurehkon orgaanisen aineksen pitoisuuden ansiosta. Toisaalta pelletin maanparannusvaikutusta voi heikentää sen sisältämät ravinnepitoisuudet, jotka rajoittavat pelloille levitettäviä lannoitteen enimmäismääriä.

Nestejakeesta valmistetussa konsentraatissa ravinteet ovat liukoisessa muodossa, joten se soveltuu nopeampivaikutteisempaan lannoitukseen. Nestejakeen jalostus -skenaariossa tarkasteltujen kalvosuodatuksen ja haihdutuksen lopputuotteet poikkeavat hieman toisistaan ravinnepitoisuuksiensa puolesta aiemmin esitettyjen laskelmien perusteella. Haihdutuksella on mahdollista saada aikaiseksi ravinteiden osalta hieman konsentroituneempi lopputuote. Toisaalta kalvosuodatuksella on mahdollista erottaa fosfori lähes kokonaan lopputuotteesta, mikä voidaan nähdä myös etuna lopputuotteiden käyttöä ajatellen. Konsentraateilla on lisäksi myös rikkilannoitusvaikutus, mikäli pH:n säädössä käytetään rikkihappoa. Nestejakeesta valmistettua ravinnekonsentraattia voidaan käyttää lannoitteena sellaisenaan tai sitä voidaan hyödyntää myös ravinneerikasteena esimerkiksi lietelantaan tai kasvualustoihin sekoitettuna. Konsentraatin etuna jalostamattomaan mädätteeseen verrattuna on sen sisältämän suuremman ravinnepitoisuuden lisäksi myös juoksevampi ja tasalaatuisempi koostumus, mikä helpottaa lannoitteen loppukäyttöä.

Mädätysjäännöksen käsittelyssä tapahtuva ravinteiden erottelu lisää lopputuotteiden täsmälannoituspotentiaalia. Esimerkiksi dekantoidussa ja edelleen kalvosuodatetussa ravinnekonsentraatissa fosforia on jäljellä hyvin vähän, mikä lisää lannoitteen käyttömahdollisuuksia pelloilla, joissa on fosforijäämää. Mädätteen jalostus -skenaariossa lähes kaikki fosfori päätyy kuivajakeeseen ja edelleen siitä jalostettuun lannoitevalmistukseen. Fosforipitoista kuivajakeesta jalostettua lannoitetuotetta voidaan taas kuljettaa alueille, joissa fosforille on enemmän tarvetta.

Laitoksen mädätysjäännöksen käsittelyn nykytilanteeseen verrattuna jalostusasteen nostaminen mahdollistaa lopputuotteiden ominaisuuksien paremman kontrolloimisen. Nykytilanteessa jonkin verran ongelmia viljelykäytössä on tuottanut käsittelemättömän mädätteen laadunvaihtelut, sekä myös muoviroskan määrä mädätteen seassa. Jalostus-skenaarion mukaisilla käsittelymenetelmillä voidaan hallita paremmin esimerkiksi lopputuotteiden ravinnepitoisuuksia ja koostumusta. Lisäksi muoviroskaa voidaan poistaa mädätteestä helpommin jalostuksen yhteydessä. Lopputuotteen tasalaatuisuus on etu, koska se helpottaa lannoituksen suunnittelua ja sen onnistumista. Tasalaatuisuuteen

täytyy myös kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota nykytilanteeseen verrattuna, mikäli jalostus-skenaarion lopputuotteita aletaan markkinoimaan lannoitteina.

Jalostus-skenaarion lopputuotteiden käytön etuna jalostamattomaan mädätteeseen verrattuna voidaan pitää myös sitä, että jalostettuja kierrätysravinteita voidaan levittää pelloille kevyemmällä kalustolla lannoitteiden levitysmäärien vähentyessä. Näin voidaan vähentää peltojen tiivistymistä ja säilyttää viljeltävä maaperä paremmassa kasvukunnossa. Jalostamattomaan mädätteeseen verrattuna myös ravinteet ovat paremmin sitoutuneina lannoitteisiin, mikä vähentää ravinteiden ohivaluntaa peltolannoituksen yhteydessä. Tämä puolestaan vähentää lannoituksen aiheuttamaa ravinnekuormitusta vesistöihin ja parantaa lannoituksen onnistumisen todennäköisyyttä.

3.3.2 Logistiikka

Nykytilanteessa mädätysjäännöstä säilytetään laitoksen varastoaltaissa ja sitä ajetaan viljelijöiden pelloille kevästä syksyyn. Laitos toimii jatkuvasti ympäri vuoden, mutta mädätteen kysyntä on sesonkiluonteista kasvukauden mukaan. Tästä johtuen mädätettä joudutaan varastoimaan laitoksella melko pitkiäkin aikoja ennen sen kuljetusta pelloille. Peltolevitystä rajoittaa myös pidemmät sadejaksot, mikä lisää varastointikapasiteetin tarvetta entisestään. Tästä voi aiheutua riskitilanne, jossa laitoksen varastotilat ovat täynnä, mutta mädätettä ei saada kuljetettua pois laitokselta.

Lannoitejalostus-skenaariossa tarvitaan vähemmän varastointiallaskapasiteettia, koska tuoretta mädätettä voidaan jalostaa lannoitetuotteiksi sitä mukaa kun sitä biokaasuprosessissa syntyy. Toisaalta lämmintä varastointitilaa tarvitaan enemmän valmiille kierrätyslannoitetuotteille, jotta ne eivät pääse jäätymään tai muuten pilaantumaan. Lopulliseen varastointitilan tarpeeseen vaikuttaa kuitenkin olennaisesti se, kuinka nopeasti lannoitteet saadaan kuljetettua pois laitokselta.

Nykytilanteessa nestemäinen mädäte kuljetetaan viljelijöille säiliöautoilla ja IBC-konteissa. Samoja kuljetusmuotoja voidaan soveltaa myös lannoitejalostus-skenaarion nestekonsentraatille. Logistiikkaa ajatellen nestekonsentraatin etuna olisi se, että vuositasolla sitä tarvitsisi kuljettaa huomattavasti vähemmän pois laitokselta käsittelemättömään mädätteeseen verrattuna. Nestemäisen konsentraatin lisäksi jalostus-skenaariossa myös kuivajakeesta valmistetuille pelleteille täytyy järjestää kuljetus. Pelletit ovat

säkkitavaraa, jonka kuljetus myös pidempien matkojen päähän voisi olla perusteltua maatalan tilavuuspainonsa ja korkeiden ravinnepitoisuuksiensa ansiosta.

3.3.3 Vedenkäsittely

Lannoitejalostus-skenaarion kokonaisuuden tarkastelussa tärkeä osa-alue on myös veden käsittely, sillä laitoksen mädätysjäännös sisältää nestettä n. 95%. Nykytilanteessa käsittelemättömän mädätteen mukana vesi päätyy pelloille, mutta lannoitejalostus-skenaariossa suurin osa vedestä jää biokaasulaitokselle käsiteltäväksi, kun pienempi osa siitä päätyy lannoitevalmisteisiin. Lannoitejalostuksessa erotettua vettä on kannattavaa johtaa kunnalliselle vedenpuhdistamolle tai ympäristöön vain siltä osin, kun sille ei löydetä hyödyntämismahdollisuuksia laitoksella.

Lannoitejalostus-skenaarion mukaisilla mädätteen nestejakeen jatkokäsittelyvaihtoehdoilla toteutuu samalla sekä haluttua ravinteiden konsentroitumista, että veden puhdistusta. Varsinkin kalvosuodatusprosessin käänteisosmoosilla erotettu nestejakeen vesi on erittäin puhdasta, joten sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti biokaasuntuotannon prosesseissa, tai johtaa vaihtoehtoisesti ympäristöön. Mikäli nestejakeen käsittelyn osalta päädytään haihdutukseen, myös siitä jäljelle jäävä kondensaatti on helposti hyödynnettävissä laitoksella, vaikkei se olekaan yhtä puhdasta kuin kalvosuodatettu vesi. Jos kondensaattia ei hyödynnetä laitosprosessissa, vesi täytyy johtaa kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle tai puhdistaa vielä erikseen biokaasulaitoksella ennen ympäristöön johtamista. Myös kuivajakeen jatkokäsittelyssä erottuu vettä, jonka hyödyntämistä laitoksen prosessivetenä kannattaa harkita.

3.3.4 Lannoitejalostuksen kustannustehokkuus

Laitoksen nykytilanteessa mädätteen logistiikka muodostaa merkittävän kuluerän. Lannoitejalostus-skenaariossa logistiikkakustannukset pienenevät, jos kuljetusetäisyydet pysyvät samana, mutta samalla laitteiden investointikustannukset ja lopputuotteiden valmistuskustannukset nostavat kulujen määrää. Toisaalta mädätysjäännöksestä jalostetuista lannoitetuotteista on mahdollista saada huomattavasti korkeampi myyntihinta nykytilanteeseen nähden, mikä kompensoi niiden valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia. Väkilannoitteiden kaltainen hinnoittelu, jossa huomioidaan vain ravinnepitoisuudet, ei tee oikeutta kierrätyslannoitteiden valmistamiselle, kuten aiemmin mainitussa BioRaEE

hankkeen raportissakin (Horn ym. 2020) todettiin. Kierrätyslannoitteiden hinnoittelun kohdalla tulisikin huomioida ravinnepitoisuuksien lisäksi myös lannoitteiden mahdollinen orgaanisen aineksen lisäys maaperään ja sen aikaansaama maanparannusvaikutus, sekä tuotannosta aiheutuvat valmistuskustannukset. Tulevaisuudessa kierrätyslannoitteiden kysynnän ja arvostuksen lisääntyessä niistä on todennäköisesti mahdollista saada enemmän tuottoa nykytilanteeseen verrattuna, mutta tällä hetkellä kierrätyslannoitemarkkinat ovat vielä kehitysvaiheessa ja se mutkistaa jalostuksen kannattavuusarviointia.

Lannoitejalostuksen lopulliseen kustannustehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi jalostuksen lopputuotteista saatavan hinnan lisäksi laitokselle myönnettävät investointituet, sekä logistiikan osalta lannoitteiden kuljetusetäisyydet. Jos laitoksen mädätysjäännösmäärät kasvaisivat merkittävästi lähitulevaisuudessa, logistiikkakustannukset voisivat nousta kohtuuttoman korkeiksi jalostamattoman mädätteen kohdalla. Mädätteen jalostus mahdollistaisi suurempien mädättemäärien kuljettamisen kustannustehokkaammin ja myös pidempien kuljetusetäisyyksien päähän.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, saadaanko laitoksen nykyinen mädätysjäännös jalostettua logistiikan ja lannoitekäytön näkökulmasta sopivampaan muotoon kustannustehokkaalla tavalla. Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että toimeksiantajan biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen jatkojalostaminen kierrätyslannoitteiksi on sekä mahdollista, että perusteltua logistiikan ja lopputuotteiden käytön näkökulmasta. Mädätteen jatkokäsittely jalostus-skenaarion mukaisilla menetelmillä pienentää logistiikkakustannuksia merkittävästi, mikäli kuljetusetäisyyksien oletetaan pysyvän samana kuin nykytilanteessa. Toisaalta jalostettujen kierrätyslannoitteiden suurempi ravinnepitoisuus mahdollistaa myös niiden kuljettamisen kustannustehokkaammin pidempien matkojen päähän, mikä lisää toimeksiantajan liiketoimintamahdollisuuksia ja tehostaa samalla potentiaalisesti ravinnekiertoalouden toteutumista. Lopputuotteiden käyttöä ajatellen mädätteen jalostuksella saavutetaan parempi lannoitusarvo, mistä on hyötyä sekä viljelijöille, että toimeksiantajalle. Samalla lannoitevalmisteiden laatuun ja muihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa huomattavasti tehokkaammin nykytilanteeseen verrattuna.

Mädätteen jalostuksen kustannustehokkuuteen ei voida antaa yksiselitteistä vastausta tämän opinnäytetyön perusteella, koska kustannustehokkuutta voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta. Mädätteen jatkojalostus kierrätyslannoitetuotteiksi jalostus-skenaarion mukaisilla menetelmillä kasvattaa merkittävästi investointi- ja käyttökustannuksia toimeksiantajan laitoksella, varsinkin siinä tapauksessa, että jalostus-skenaario toteutettaisiin täysimittaisena. Toisaalta biojätteiden erilliskeräyksen lisääminen lähivuosina tulee näkymään todennäköisesti myös toimeksiantajan laitoksella syntyvän mädätysjäännöksen määrän lisääntymisenä. Tässä tapauksessa jalostamattoman mädätteen logistiikkakustannukset tulisivat kasvamaan entisestään, jos jatkojalostusta ei toteutettaisi. Samaan aikaan riskitekijäksi saattaisi muodostua myös se, että kasvavalle mädättemäärälle ei olisi enää tarpeeksi kysyntää lähialueiden pelloilla. Varsinkin mädätysjäännösmäärien kasvaessa prosessointi korkeamman jalostusasteen lannoitetuotteiksi on siis varsin perusteltua liiketoiminnan jatkuvuuden ja myös laitoksen toimintavarmuuden turvaamiseksi.

Mädätysjäännöksen jalostaminen kierrätyslannoitteiksi biokaasulaitoksilla on ajankohtainen ja tärkeä aihe, jota täytyy tarkastella laaja-alaisena kokonaisuutena. Tämä

opinnäytetyö pyrkiikin tarjoamaan mahdollisimman kokonaisvaltaisen näkökulman bio-kaasulaitoksen mädätysjäännöksen jalostukseen, huomioiden erityisesti toimeksiantajan laitoksen erityispiirteet. Aiheeseen liittyvää jatkotutkimusta tarvitaan vielä ainakin eri jalostusmenetelmien kustannustehokkuuteen liittyen, sillä tähän osa-alueeseen liittyvää ajantasaista tutkimustietoa on toistaiseksi hyvin rajallisesti saatavilla. Myös uusille seuranta tutkimuksille eri jalostusmenetelmien toimivuudesta ja tehokkuudesta laitosmitta-kaavassa olisi tarvetta, koska mädätysjäännöksen jalostusteknologiat kehittyvät jatkuvasti. Opinnäytetyön toimeksiantajaa koskien seuraava kehitysaskel lannoitejalostuksen toteutumisessa olisi mädätteen separointikoeajojen tekeminen, mikrotermisen menetelmän testausten loppuun vieminen sekä nestejakeen jalostuksen testaukset koelaitteistolla. Myös viljelykokeiden suorittaminen on tarpeellista lopputuotteiden toimivuuden selvittämiseksi. Lannoitteiden tuotekehityksessä on syytä tehdä yhteistyötä viljelijöiden kanssa, jotta kierrätyslannoitetuotteista saadaan käytön kannalta mahdollisimman toimivia ja niille riittää myös kysyntää tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Adven 2020. MVR- haihdutusmenetelmä. Viitattu 19.3.2021. <https://adven.com/fi/ratkaisut-teollisuudelle/mvr-haihdutusmenetelma/>

Digi Toilet Systems Oy 2021. Viitattu 24.3.2021. <https://www.dtso.fi/>

Drosg, B.; Fuchs, W.; Al Seadi, T.; Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing. IEA Bioenergy. Saatavilla: http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf

Epcon 2020. Ecovap- MVR compact evaporators. Saatavilla: https://www.epcon.org/uploads/4/6/3/5/46351051/epcovap-mvr_brochure_extended.pdf

Gienau, T.; Brüb, U.; Kraume, M. & Rosenberger, S. 2018. Nutrient recovery from anaerobic sludge by membrane filtration: pilot tests at a 2.5 MWe biogas plant. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* (2018) 7:325–334.

Horn, S.; Seppänen, A-M.; Winquist, E.; Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismvaihtoehdot – vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/321266>

Jokinen, E. 2020. Kierrätyslannoitemarkkinan luomisessa pitää siirtyä nyt puheesta tekoihin. *Biokierto ja biokaasu- lehti* 1/2020, s. 20–21. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Saatavilla: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/11/Biokierto-ja-Biokaasu_01_2020.pdf

Karimaa, E. & Kivelä, J. 2020. Luomutuotantoon soveltuvat kierrätyslannoitteet – Katsaus Suomen ja EU:n markkinoilla oleviin tuotteisiin. Saatavilla: https://blogs.helsinki.fi/hykerrys-hanke/files/2020/01/Raportti_Luomutuotantoon-soveltuvat-kierr%C3%A4tyslannoitteet.pdf

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMK:in julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Luostarinen, S. 2015. Biokaasuprosessit ja laitostaseet. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. HAMK:in julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Marttinen, S.; Tampio, E.; Sinkko, T.; Timonen, K.; Luostarinen, S.; Grönroos, J.; & Manninen, K. *Biokaasulaitokset - syötteistä lopputuotteisiin*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2015. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-013-9>

Orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisen mahdollisuudet uudistuvassa lainsäädäntökehikossa -hankkeen loppuraportti. Helsinki. 2020. Saatavilla: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Orgaanisten-jatteiden_loppuraportti_1.10.2020.pdf

Paavola, T. 2015. Mädätysjäännöksen käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. HAMK: in julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Ruokavirasto 2021. Viitattu 10.3.2021. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/>

Sanborn technologies 2021. Viitattu 18.5.2021. [https://sanborntechnologies.com/noxon-decan-
ters/](https://sanborntechnologies.com/noxon-decan-
ters/)

Seppänen, A-M., Laakso, J. & Luostarinen, S. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi : Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-590-5>

Seppänen, A-M; Luostarinen, S. & Pesonen, L 2019. Kierrätyslannoitus – Suunnittelu, käytännöt ja mahdollisuudet tulevaisuudessa. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-759-6>

Suomen Biokaasu ja Biokierto Ry 2020. Kompostointi. Viitattu 26.02.2021. [https://biokierto.fi/ra-
vinteiden-kierratys/kompostointi/](https://biokierto.fi/ra-
vinteiden-kierratys/kompostointi/)

Tampio, E.; Marttinen, S. & Rintala, J. 2016. Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: mass, nutrient and energy balance of four digestate liquid treatment systems. Journal of Cleaner Production. Volume 125, 2016. s. 22-32. Elsevier Science. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201705266906>

Tampio, E.; Vainio, M.; Virkkunen, E.; Rahtola, M. & Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. 73 s. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>

Virolainen-Hynnä, A. 2020. Laatulannoite-laaturjestelmän ensimmäinen puolivuotta on ollut menestys. Biokierto ja biokaasu- lehti 1/2020. s.22–23. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Saatavilla: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/11/Biokierto-ja-Biokaasu_01_2020.pdf

Massa- ja ravinnetaselaskut

Mädätteen separointi

Mädätteen kokonaismäärä: **20 000 t/vuosi**

Laskuissa on hyödynnetty kirjallisuusarvoja (Marttinen ym. 2015), sekä Biolinjan mädätteen aiempia laboratorioanalyysyjä (Biolinjan Kasvuvoimavesi tuoteseloste 27.4.2020).

Massataseet:

Nestejae (80%) $0,8 \cdot 20\,000 \text{ t/v} = \mathbf{16\,000 \text{ t/v}}$ (44 t/d)

Kuivajae (20%) $0,2 \cdot 20\,000 \text{ t/v} = \mathbf{4\,000 \text{ t/v}}$ (11 t/d)

Kiintoaineen määrä:

Mädätteen kiintoainepitoisuus (5%): $0,05 \cdot 20\,000 \text{ t/v} = 1\,000 \text{ t/v}$

Kiintoainepitoisuus nestejakeessa (30% nestejakeeseen): $0,3 \cdot 1\,000 \text{ t/v} = 300 \text{ t/v}$

Kiintoainepitoisuus kuivajakeessa (70% kuivajakeeseen): $0,7 \cdot 1\,000 \text{ t/v} = 700 \text{ t/v}$

Ravinnetaseet:

Typpi: (70 % nestejakeeseen, 30% kuivajakeeseen)

Mädätteen sisältämä typpimäärä vuodessa: $5 \text{ kg/t} \cdot 20\,000 \text{ t} = \mathbf{100\,000 \text{ kg}}$

Typeä nestejakeessa: $0,7 \cdot 100\,000 \text{ kg} = \mathbf{70\,000 \text{ kg}}$

Typeä kuivajakeessa: $0,3 \cdot 100\,000 \text{ kg} = \mathbf{30\,000 \text{ kg}}$

Fosfori: (30% nestejakeeseen, 70% kuivajakeeseen)

Mädätteen sisältämä fosforimäärä vuodessa: $0,7 \text{ kg/t} \cdot 20\,000 \text{ t} = \mathbf{14\,000 \text{ kg}}$

Fosforia nestejakeessa: $0,3 \cdot 14\,000 \text{ kg} = \mathbf{4\,200 \text{ kg}}$

Fosforia kuivajakeessa: $14\,000 \text{ kg} - 4\,200 \text{ kg} = \mathbf{9\,800 \text{ kg}}$

Kalium: (90% nestejakeeseen, 10% kuivajakeeseen)

Mädätteen sisältämä kaliumin määrä vuodessa: $2,7 \text{ kg/t} \cdot 20\,000 \text{ t} = \mathbf{54\,000 \text{ kg}}$

Kaliumia nestejakeessa: $0,9 \cdot 54\,000 \text{ kg} = \mathbf{48\,600 \text{ kg}}$

Kaliumia kuivajakeessa: $54\,000 \text{ kg} - 48\,600 \text{ kg} = \mathbf{5\,400 \text{ kg}}$

Kalvosuodatus

Mädätteen kokonaismäärä: **20 000 t/v**

Laskuissa on hyödynnetty kirjallisuusarvoja (Gienau ym. 2018), sekä Biolinjan mädätteen aiempia laboratorioanalyysyjä (Kasvuvoimavesi tuoteseloste 27.4.2020).

Massataseet:

Konsentraatti (20% mädätteen kokonaismassasta): $0,2 * 20\ 000\ t/v = 4000\ t/v$

R/O vesi (50% mädätteen kokonaismassasta): $0,5 * 20\ 000\ t/v = 10\ 000\ t/v$

Kiintoaineen määrä:

Konsentraatti (3%): $0,03 * 4000\ t/v \approx 100\ t/v$

Ravinnetaseet (konsentraatti):

Typpi: $0,5 * (70\ 000\ kg/v + 0,5 * 70\ 000\ kg/v) = 52\ 500\ kg/v$

Fosfori (3% konsentraattiin): $0,03 * 4200\ kg/v \approx 100\ kg/v$

Kalium: $0,92 * (48600\ kg/v + 0,08 * 48600\ kg/v) \approx 48300\ kg/v$

Ravinnetaseiden laskuissa huomioitu ultrasuodatuksen retentaatin kierrätys prosessissa.

Haihdutus

Dekantoidun nestejakeen määrä: **16 000 t/v**

Laskuissa on hyödynnetty kirjallisuusarvoja (Tampio ym. 2016), sekä Biolinjan mädätteen aiempia laboratorioanalyysyjä (Kasvuvoimavesi tuoteseloste 27.4.2020).

Massataseet:

Konsentraatti: $0,2 \cdot 16\ 000\ \text{t/v} = \mathbf{3\ 200\ t/v}$

Kondensaatti (vesi): $16\ 000\ \text{t/v} - 3\ 200\ \text{t/v} = \mathbf{12\ 800\ t/v}$

Kiintoaineen määrä:

Konsentraatti (100% talteen): **300 t/v**

Ravinnetaseet:

Typpi (90% konsentraattiin, 10% kondensaattiin):

Konsentraatti: $0,9 \cdot 70\ 000\ \text{kg/v} = \mathbf{63\ 000\ kg/v}$

Kondensaatti: $0,10 \cdot 70\ 000\ \text{kg/v} = \mathbf{7\ 000\ kg/v}$

Fosfori (100% konsentraattiin): **4200 kg/v**

Kalium (100% konsentraattiin): **48 600 kg/v**

Biolinjan kasvuvoimaveden tuoteseloste



TUOTESELOSTE – 27.4.2020

Valmistaja: Biolinja Oy

Erätunniste: 1/2020/4/2020-2

Tuotteen kaupp nimi: **Biolinjan Kasvuvoimavesi** Tyypinimi: Määtysjäännös

Raaka-aineet: Elintarviketeollisuuden biojäte sekä kauppojen, ravintoloiden ja kotitalouksien biojäte.

Pakkaukoko: Tuote toimitetaan irtotavarana

Tilavuuspaino: 1000 kg/m³

Johtokyky: 761 mS/m

pH: 8,9

Orgaaninen aines: 70,4 %

Kosteus: 94,4 %

Pääravinteet:

	Kuiva-aineessa	Tuorepainossa
Kokonaistyyppi (N)	89 g/kg	5,0 kg/tn
Vesiliukoinen tyyppi (N)	84,1 g/kg	4,71 kg/tn
Kokonaisfosfori (P)	13 g/kg	0,73 kg/tn
Vesiliukoinen fosfori (P)	5500 mg/kg	310 g/tn
Kokonaiskalium (K)	49 g/kg	2,7 kg/tn

Haitalliset metallit:

	Enimmäispitoisuus tuotteessa [mg/kg ka]	Sallittu pitoisuus Luomussa Komission asetus (EY) N:o 889/2008 [mg/kg ka]	Sallittu pitoisuus Mma 12/07, muutos 19/09) [mg/kg ka]
Arseeni (As)	< 5,4		25
Elohopea (Hg)	< 0,1	0,4	1,0
Kadmium (Cd)	0,3	0,7	1,5
Kromi (Cr)	24	70	300
Kupari (Cu)	93	70	600*
Lyijy (Pb)	4,6	45	100
Nikkeli (Ni)	19	25	100
Sinkki (Zn)	300	200	1500*

*Ylitys voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu puutetta kuparista tai sinkistä

Biolinja Oy Uusikaupunki
Energiate 2
23500 Uusikaupunki

Y-tunnus:2270346-0