



**Emilia Niittyviita**

**KANNATTAVAT MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN  
KÄSITTELYMENETELMÄT MAATILAKOKOLUOKAN  
BIOKAASULAITOKSISSA**

**Centria-ammattikorkeakoulu  
HABITUS-hanke, raportti**

**2023**

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 78.

Emilia Niittyviita

**KANNATTAVAT MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN  
KÄSITTELYMENETELMÄT MAATILAKOKOLUOKAN  
BIOKAASULAITOKSISSA**

Centria-ammattikorkeakoulu  
HABITUS-hanke, raportti

2023



**JULKAISIJA:**

Centria-ammattikorkeakoulu  
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

**TAITTO:** Centria-ammattikorkeakoulun viestintäpalvelut

**KANNEN KUVA:** Adobe Stock

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 78.

ISSN 2342-933X

ISBN 978-952-7173-94-7

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
2	ERILAISET MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN EROTTELUMENETELMÄT.....	6
2.1	EROTELLUN KIINTOAINELAJEEN JATKOKÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN.....	10
2.2	EROTELLUN NESTEELAJEEN JATKOKÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN.....	10
2.3	MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN JA SEN LAJEIDEN HYÖDYNTÄMINEN MAATILALLA.....	12
2.4	MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELYN JA HYÖDYNTÄMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	13
3	BIOKAASUN TUOTANNOSTA SAATAVIEN SIVUVIRTAJAJEIDEN TUOTTEISTAMINEN.....	15
4	KANNATTAVUUDEN ARVIOT KIRJALLISUUDESSA .....	17
5	LABORATORIOKOKKEET .....	18
5.1	SUODATUS.....	18
5.2	SENTRIFUGOINTI.....	21
5.3	FLOKKULOINTI, KOAGULOINTI JA LASKEUTUMINEN.....	23
5.4	BIOHIILEN HYÖDYNTÄMINEN FOSFORIN TALTEENOTOSSA.....	26
5.5	KONSENTROINTI JA TISLAUS.....	28
5.6	ERI MENETELMIEN EROTUSKYKY .....	33
6	TILALLA KANNATTAVAT KÄSITTELYMENETELMÄT .....	34
6.2	MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSET TILALLA.....	38
7	YHTEENVETO.....	41
	LÄHTEET .....	42

# 1 JOHDANTO

HABITUS eli Hajautettu Biokaasuntuotanto ja nesteytys Suomessa -hankkeessa on pureuduttu maatalouskokoluokan biokaasuntuotannon kannattavuushaasteisiin vastaaviin ratkaisuihin biokaasuntuotannon tuotteiden jalostuksen osalta. Hankkeessa on etsitty ratkaisuja niin itse biokaasun jalostamiseen pienemmässä mittakaavassa, kuin myös bio-kaasuntuotannossa muodostuvaan toisen jakeen, eli mädätysjäännöksen, käsittelyyn. Kannattava käsittely ja ravinnerikkaan mädätysjäännöksen (mädäte, käsittelyjäännös, mädätysjäanne) laadukas ja asianmukainen hyödyntäminen on mahdollisuus niin tilalle, kuin koko Suomelle lannoiteomavaraisuuden näkökulmasta. Samalla hankkeessa on rakennettu virtuaaliosuuskuntamallia todellisten maatilojen pohjalle osuuskuntamalliselle liikennepolttosaatteen jalostukselle. Hanke on toteutettu Centria-ammattikorkeakoulun toimesta Keski-Pohjanmaan liiton kautta saadun Euroopan aluekehitysrahaston rahoituksen sekä hankkeeseen osallistuneiden yhteistyörahoituksen avulla.

Mädätysjäännökseen ja sen käsittelyyn liittyvässä työpaketissa (Työpaketti 3. Mädätysjäännöksen käsittely ja ravinteiden talteenotto maatilalla) on selvitetty kirjallisuuden sekä laboratoriokokeiden pohjalta kannattavaa tapaa käsitellä mädätysjäännöstä maatilalla ravinteiden talteen ottamiseksi ja mädätysjäännöksen tehokkaammaksi hyödyntämiseksi. Tässä selvityksessä on keskitytty pääsääntöisesti nautaperäisestä lietelannasta märkämädätystekniikalla tuotettavaan biokaasuun ja siitä muodostuvaan mädätysjäännökseen, koska maatilojen biokaasulaitokset pienessä mittakaavassa ovat pääasiassa maito- ja karjatilalle sijoittuvia märkämädätyslaitoksia, joiden syöte on pääasiassa lietelantaa. (Biokaasulaitokset kartalla 2021; Huttunen ym. 2018; Ympäristöministeriö 2022) Märkämädätysreaktoriin voidaan lietelannan lisäksi kuitenkin syöttää useita muitakin syötteitä lietelannan rinnalla. Tällaisia syötteitä ovat mm. kuivalanta, navetan pesuvedet sekä ylijäämärehu. (Biokaasulaitokset kartalla 2021; Ympäristöministeriö 2022)

Märkämädätyslaitoksen mädätysjäännös sisältää mädätystekniikasta ja syötteestä johtuen runsaasti vettä ja siten esimerkiksi sen kuljettaminen pitkiä matkoja on kannattamatonta (Biokaasuteknologia 2015, Balsari ym. 2010). Tähän kustannusongelmaan sekä ravinteiden parempaan kohdennettavuuteen on pyritty löytämään ratkaisuja tässä selvityksessä.

Biokaasutusprosessin aikana tuotetaan biokaasua, mutta samalla jäännösmateriaalista muodostuu mädätysjäännöstä. Tämä mädätyksen aikana muodostuva sivutuote voi sisältää edelleen jopa 95 % syöteen alkuperäisestä massasta sekä siten valtaosan ravinteista. (Barampouti ym. 2020, Biokaasuteknologia 2015, Guilayn ym. 2019) Lisäksi ravinteet ovat mädätysjäännöksessä kasvien kannalta hyödynnettävämmässä muodossa kuin mädätettävässä lannassa, sillä mädätysprosessin aikana ravinteet mineralisoituvat orgaanisen materiaalin kaasuuntuessa. (Biokaasuteknologia 2015, Möller & Müller 2012) Ravinteiden määrä mädätysjäännöksessä vaihtelee syöteen vaihteluiden mukaan, eivätkä ne ole helposti kohdennettavissa niiden ollessa seoksena mädätysjäännöksessä. Ravinteet voidaan kuitenkin erotella melko yksinkertaisesti karkealla tasolla liukoisuuden perusteella, eli erottelemalla kiinteäaine nesteestä. Näin voidaan erotella muun muassa pääosin typpi ja fosfori toisistaan. (Barampouti ym. 2020, Biokaasuteknologia 2015, Guilayn ym. 2019) Ravinteiden erottelu toisistaan mahdollistaa niiden paremman kohdentamisen alueille, joissa niitä tarvitaan ja toisaalta vähentää ravinteiden lisäystä alueille, joilla on ylimäärää tietyistä ravinteista, ehkäisten siten esimerkiksi ravinnehuuhtoumia.

Tämä selvitys koostuu kirjallisuus- ja laboratorio-osioista, joiden pohjalta on pyritty löytämään kannattavia käsittelytapoja mädätysjäännöksen käsittelyyn maatilamittaluokassa. Kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan, millaisia erilaisia menetelmiä mädätysjäännöksen käsittelyyn on tarjolla ja mitkä niiden edut ja haittapuoleet ovat. Tarkastelussa edetään yksinkertaisista separointimenetelmistä aina spesifisempiin jalostustekniikoihin, joilla voidaan esimerkiksi tuottaa teollisia lannoitteita vastaavia tuotteita. Selvityksessä käsitellään niin neste- kuin kiintoainejakeiden erilaisia jalostusmenetelmiä lannoitemateriaalien valmistuksessa. Kirjallisuusosiossa tutustutaan myös muihin erilaisiin käyttösovelluksiin, jota mädätysjäännöksestä saatavalle kiintoainejakeelle on. Käsittelyyn liittyen käydään läpi mädätysjäännöksen käsittelyn aiheuttamia ympäristövaikutuksia ympäristön ja ihmisten kannalta. Tarkastellaan kirjallisuudessa esiintyviä kustannus- ja kannattavuusarvioita tarvittavasta kokoluokasta, joilla mädätysjäännöksen käsittelyn arvioidaan olevan kannattavaa. Laboratorio-osiossa esitetään tulokset hankkeen aikana toteutettujen separointimenetelmien ja fosforin talteenottokokeiden testauksista todellisilla materiaaleilla. Laboratoriokokeiden tarkoituksena on ollut täydentää kirjallisuudesta saatavaa kokonaiskuvaa nykytilanteesta ja kartoittaa eri vaihtoehtojen toimivuutta haastavalla materiaalilla käytännössä.

## 2 ERILAISET MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN EROTTELUMENETELMÄT

Mädätysjäännöksen erottelu perustuu pitkälti samoihin menetelmiin kuin lannan erottelu (Biokaasuteknologia 2015, Barampouti ym. 2020). Perinteisesti lannan erotteluun on hyödynnetty erilaisia mekaanisia separointimenetelmiä (rumpusuodatus, ruuviseparointi, sentrifugointi (linkous), seulominen, suotopuristus), ilmavaahdotusta sekä muita flotaatiomenetelmiä, laskeutusta sekä lämpö- ja painekäsittelyjä. Yleisesti nesteen ja kiintoaineen erotusprosessit voidaan jakaa seuraavasti:

- lämpö- ja painekäsittelyt;
- partikkelikoon perusteella tapahtuva erottaminen;
- ominaispainon perusteella tapahtuva erottaminen. (Flotats ym. 2011, Luostarinen ym. 2011)

Nämä eri menetelmät perustuvat käsiteltävään materiaaliin kohdistettaviin pääasiallisesti fysikaalisiin ja kemiallisiin käsittelyihin. Erottelumenetelmien periaatteet on avattu seuraavassa lyhyesti. Mekaaniset menetelmät perustuvat mekaanisen voiman käyttöön ja erottelu tapahtuu joko partikkelikoon (seulan tai vastaavan läpi puristaminen) tai materiaalien ominaispainon avulla erotteluun (Luostarinen ym. 2011). Partikkelikoon perusteella erottelevat menetelmät ovat erilaiset seuloja tai suodatinkankaita hyödyntävät menetelmät, kuten ruuviseparointi, suotopuristus ja kaari- sekä rumpuseulat. Ominaispainoon perustuvat menetelmät erottelevat eri painoiset massajakeet toisistaan, tällaisia menetelmiä ovat flotaatio, laskeutus ja sentrifugointi. (Luostarinen ym. 2011) Flotaatiossa hyödynnetään kaasuja (esimerkiksi ilmakaasutuksessa hyödynnettävä ilma) tai kemikaaleja, ja erottuminen tapahtuu painovoimaisesti, kun kiintoaine vaahdotetaan tai nostatetaan nesteen pintaan. Painovoimaa hyödynnetään myös laskeutuksessa, jota voidaan yhtä lailla avustaa kemikaaleilla. Lietteet voidaan myös laskeuttaa sakeuttimissa tai laskeutusaltaissa. (Flotats ym. 2011, Luostarinen ym. 2011)

Lämpö- sekä painekäsittelyissä materiaali altistetaan normaalista poikkeavalle lämpötiloilta ja/tai paineelle mahdollista ravinteiden erottelun ja talteenoton. Haihduttaminen on yksi mahdollinen menetelmä, jossa nestettä erotetaan kiintoaineesta haihduttamalla se erilleen, konsentroiden ravinteet. Menetelmässä poistetaan vettä tiivistäen massaa sekä mahdollisesti erottaen muita haihtuvia jakeita saman aikaisesti (typpi/ammoniakki). Konsentroitua haihdutuksen avulla voidaan tehdä esimerkiksi alipaineen avulla. Lämpö- ja painekäsittelyillä voidaan samalla myös hygienisoida lietteet tai lanta jatkokäyttöä varten. (Flotats ym. 2011)

Erilaisia kemiallisia esikäsittelymenetelmiä nesteen ja kiintoainejakeen erottelun tehostamiseksi tai mahdollistamiseksi voidaan hyödyntää monien eri erottelumenetelmien kanssa. Tällaisia ovat mm. flokkulointi- ja koaguloitimenetelmät. Kemiallisessa erottelussa hyödynnetään eroteltavan materiaalin ja kemiallisen reagenssin (saostimien, flokkulanttien, koagulanttien) välisiä kemiallisia reaktioita. Kemiallisia erottelumenetelmiä voidaan käyttää parantamaan erottelun tehokkuutta, usein yhdessä mekaanisten menetelmien kanssa. Kemiallinen erottelu perustuu tyypillisesti kiintoaineen partikkelikoon kasvattamiseen. Partikkelikoon kasvatuksella flokkulaation tai koagulaation avulla voidaan esimerkiksi edistää partikkelien laskeutumista ja parantaa mekaanisen erottelun tehokkuutta. Kemiallisten flokkulanttien tai koagulanttien lisäksi koagulointi voidaan suorittaa myös elektrokemiallisesti. Muita kemiallisia käsittelymenetelmiä ovat happamoittaminen sekä kalkitseminen. Happamoittamisella tarkoitetaan lietteen pH:n laskemista kemikaaleilla, ja sillä pyritään estämään typen karkaamista ja typpipäästöjä. Kalkituksessa lietteeseen tai kiinteään lantaan lisätään kalkkia, jolloin materiaalin pH nousee. Lietteissä kalkituksella voidaan valmistella lietettä tulevia käsittelyjä varten, kuten ravinteiden talteenottoa varten (ammoniakkipäästös, saostus). Lietteeseen tai lantaan voidaan myös lisätä kemikaaleja erilaisten haittavaikutusten ehkäisemiseksi (kaasupäästöt, hajuhaitat, patogeenit), lannan stabiloimiseksi tai lannoitusarvon parantamiseksi. (Flotats ym. 2011)

Monista eri vaihtoehdoista valittaessa tärkeitä tekijöitä ovat erityisesti erotusmenetelmän tehokkuus sekä menetelmän investointi- ja käyttökustannukset. Taulukossa 1 on esitetty arvioita erilaisten käsittelymenetelmien investointi- ja käyttökustannuksista lannan käsittelyssä. Syötteen ominaisuuksien vaikutus erottelun tehokkuuteen on myös tärkeä huomioida, sillä eri menetelmät sopivat paremmin tiettytyyppisille syötteille kuin toiset. Koska biokaasutusprosessin aikana tapahtuvat kemialliset muutokset vaikuttavat myös materiaalin fysikaalisiin ominaisuuksiin, eivät esimerkiksi lannan ja mädätysjäännöksen käsittely eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa (Aguirre-Villegas ym. 2019, Barampouti ym. 2020, Lehtomäki ym. 2007, Möller & Müller 2012).

TAULUKKO 1. Lannan käsittelymenetelmien kustannuksia. (Flotats ym. 2011)

Käsittelymenetelmä	Investointikustannukset (€)	Käyttökustannukset (€/m <sup>3</sup> syötettä)	Kapasiteetti (m <sup>3</sup> syötettä/h)
Partikkelikoon kasvattaminen (kemikaalien avulla)	50 000	0,80	
Ruuviseparointi	17 000-28 000	0,50-0,90	
Seulominen (seula ja täryytin)	18 500-23 000	NA	
Suotopuristin	25 000-125 000	1,5 (nauhasuodatin)	
Sentrifugointi	40 000-100 000	0,6-2,3	1,5-25
Rumpusuodatin	25 000	0,35	2-3
Laskeutus (sakeutin 350 m <sup>3</sup> )	17 000	NA	

Edellä esitetyt menetelmiä voidaan siis hyödyntää myös mädätysjäännöksen käsittelyssä, huomioiden syötteiden eroavaisuudet. Märkämädätyksessä käytetään korkean vesipitoisuuden omaavia syötteitä, kuten lietelantaa, ja siten syötteiden laadusta johtuen reaktorin sisällöstä vähintään 85 % on vettä (Biokaasuteknologia 2015). Tämä johdosta myös mädätysjäännös koostuu pääasiassa vedestä (yli 90 %) (Balsari ym. 2010). Märkämädätyksessä lietteen määrä pienenee mädätyksen aikana suuren vesimäärän johdosta vain hieman, joten karkeasti voidaan todeta, että syötteen ja mädätysjäännöksen määrät vastaavat toisiaan (Biokaasuteknologia 2015). Mädätyksen aikana mädätysprosessi itsessään sekä sen rinnalla tapahtuvat sivureaktiot aiheuttavat muutoksia lietteen ominaisuuksiin. Prosessin aikana syötteen sisältämä orgaaninen aine hajoaa ja muuntuu metaaniksi ja erilaisiksi epäorgaanisiksi fraktioksi. (Al Seadi ym. 2008)

Syötteeseen verrattuna mädätysjäännöksen viskositeetti laskee mädätyksen aikana, kuten myös sen kiintoainepitoisuus, orgaanisen aineen hajotessa. Tämän seurauksena mädätysjäännös on tasalaatuisempaa ja juoksevampaa kuin syöte ja siksi helpommin käsiteltävää kuin syötemateriaali. (Lehtomäki ym. 2007, Möller & Müller 2012) Lantapohjainen märkämädätysjäännös sisältää tyypillisesti alle 10 %:ia kiintoainetta, josta noin 70 % on orgaanista materiaalia (Barampouti ym. 2020). Viskositeetin muutosten lisäksi mädätyksen aikana tapahtuu myös monia kemiallisia muutoksia, joiden johdosta lietteen pH kohoaa, tyypeä mineralisoituu ja hiilen määrä lietteessä laskee (Lehtomäki ym. 2007, Möller & Müller 2012, Virkkajärvi ym. 2016). Lannasta tuotetun mädätysjäännöksen pH vaihtelee tyypillisesti välillä 7,3-8,6 (Barampouti ym. 2020). Taulukossa 2 on esitetty märkämädätyksen aikaisia muutoksia lietteen koostumuksessa eri muuttujien suhteen. Taulukosta voidaan nähdä numeerisesti edellä kuvattuja muutoksia.

TAULUKKO 2. Lehmälantaa hyödyntävien mädätyslaitosten syötteiden keskimääräiset koostumuksen muutokset mädätyksen aikana sekä mädätysjäännöstä käsiteltäessä. (Aguirre-Villegas ym. 2019)

	Alkuperäinen	Mädätetty	Nestejäte	Kiintojäte
Kiintoaine (%)	7,63	5,50	3,46	29,40
Orgaaninen aine (%)	6,13	4,10	2,27	26,39
Kokonaistyyppi (mg/kg KA)	46,30	69,30	96,76	15,29
Ammoniumtyppi (mg/kg KA)	21,51	38,60	60,80	0,40
Kokonaisfosfori (mg/kg KA)	7,90	9,30	10,86	6,93
Kokonaiskalium (mg/kg KA)	31,26	42,40	64,66	6,89

\*KA = kuiva-ainetta

Lietteen fysikaalisten ominaisuuksien muutosten lisäksi biokaasutuksen aikaisilla kemiallisilla muutoksilla on vaikutusta ravinteiden hyödynnettävyyteen. Orgaaniseen materiaaliin sitoutuneiden ravinteiden muuttumista epäorgaanisiksi materiaaleiksi kutsutaan mineralisoitumiseksi (Aguirre-Villegas ym. 2019, Möller & Müller 2012). Esimerkiksi mineralisoitunut tyyppi on kasveihin helposti imeytyvässä muodossa, jolloin niiden hyödyllisyys lannoittamisen kannalta kasvaa lantaan verrattaessa ja ne toimivat muistuttaen enemmän epäorgaanisia lannoitteita (Aguirre-Villegas ym. 2019, Virkkajärvi ym. 2016). Typen lisäksi fosforin käytettävyyden uskotaan parantuvan mädätysprosessin yhteydessä (Virkkajärvi ym. 2016, Möller & Müller 2012). Toisaalta, joissain tutkimuksissa ei olla havaittu vaikutusta kasvatuskokeiden yhteydessä. Mädätysprosessin aikana pH noustessa liukoiset fosfaatit saostuvat kalsium- ja magnesiumfosfaatteina liuksesta kiintoaineeseen. Tätä ilmiötä voidaan hyödyntää fosforin talteenotossa mädätysjäännöksistä. Fosforin mineralisoitumisen myötä on kuitenkin havaittu myös fosforihäviöitä reaktorissa, mineralisoituvan fosforin saostuessa reaktoriin. Samalla häviöitä muodostuu myös saostavien metallien suhteen. (Möller & Müller 2012) Vaikka typen ja fosforin muutokset reaktorissa on tyyppillisesti nähty positiivisina, tapahtuu rikin osalta biokaasutuksen aikana kasvien kannalta epäedullisia muutoksia. Sulfaatit (kasvien hyödyntämä muoto) muuttuvat sulfideiksi mädätyksen aikana. (Möller & Müller 2012) Näin ollen rikki ei ole yhtä helposti kasvien käytettävissä mädätysjäännöksestä suoraan.

Syy miksi mädätysjäännöstä halutaan separoida, liittyy oleellisesti sen sisältämiin ravinteisiin, sillä myös mädätysjäännöksen jatkokäsittely separoimalla kiintoaine ja neste toisistaan johtaa käsittelyssä muodostuvien jakeiden erilaisiin koostumuksiin. Eroteltaessa jakeet, vesiliukoiset materiaalit päätyvät nestejakeeseen ja liukenemattomat kiintoainejakeeseen (Barampouti ym. 2020, Guilayn ym. 2019). Ravinteiden jakautumisen tehokkuus riippuu separointimenetelmän tehokkuudesta (Guilayn ym. 2019). Erottelun jälkeen menetelmästä riippuen kiintojake sisältää 40-90 %:ia mädätysjäännöksen kiintoaineesta (siten valtaosa hiilestä) ja vastaavan määrän mädätysjäännöksen sisältämästä fosforista (Barampouti ym. 2020).

Typestä valtaosta (75–80 %) päätyy nestejakeeseen. Nestejake sisältää myös valtaosan muista liukoista materiaaleista, kuten kaliumista (Barampouti ym. 2020). Nestejake käsittää myös valtaosan mädätysjäännöksen massasta ja tilavuudesta merkimmädätykseen liittyvän suuren vesipitoisuuden johdosta. Separoidessa helpotetaan myös potentiaalisesti fosforin tehokkaampaa käyttöä, kun ravinteet saadaan tiivistettyä pienempään tilavuuteen ja voidaan kuljettaa pitempiä matkoja pelloille, joilla on fosforivajetta (tyypillisesti pellot tilojen läheisyydessä ovat fosforirikkaita lannan levityksen johdosta). (Guilayn ym. 2019) Toisaalta tyyppipitoinen ja vähäfosforinen nestejake voidaan edelleen hyödyntää lähipeltoilla. Näin ravinteet saadaan kohdennettua järkevästi ja kustannustehokkaasti.

Mädätysjäännöksen rakenteeseen vaikuttaa mädätyksen aikaisten muutosten lisäksi merkittävästi myös syöte (Barampouti ym. 2020, Bolzonella ym. 2018, Guilayn ym. 201). Esimerkiksi naudän ja sian lannasta saatavat mädätysjäännökset ovat rakenteellaan hyvin erilaisia, koska myös syötteet ovat erilaatuisia. Naudän lanta sisältää runsaasti sulamatonta kuituista orgaanista ainetta, kun taas sian lanta on nestemäisempää ja hienojakoisempaa naudän lantaan verrattuna, sian lanta ei myöskään sisällä kuituista materiaalia. Tämä näkyy myös lopputuloksessa: naudän lannasta tuotettu mädätysjäännös on kuituisempaa ja karkeampaa kuin sian lannasta. (Bolzonella ym. 2018) Reaktorien lisäsyötteet, kuten kuivikkeet tai ylimäärärehu vaikuttavat samaan tapaan mädätysjäännöksen koostumukseen. (Barampouti ym. 2020)

Taulukossa 3 on esitetty sian- ja naudänlantapohjaisten mädätysjäännösten sekä niistä eroteltujen jakeiden koostumusten eroja muutamien eri indikaattorien suhteen (Bolzonella ym. 2018). Taulukosta voidaan nähdä selvästi, kuinka kuituisuuden ja siten kiintoainepitoisuuden ero on merkittävä nauta- ja sikalähtöisestä mädätysjäännöksestä. Kiintoaineen eroteltavuus näissä materiaaleissa jokaisella käsittelytasolla vaikuttaa olevan haastavampaa nautalähtöiselle materiaalille, vaikka loppujakeeseen (dekanterisentrifugilta tuleva nestejake) jäävät ravinnemäärät ovat melko vastaavia lähteestä riippumatta. Taulukosta voidaan myös nähdä, että hienon kiintoaineen talteenotto (tässä dekanterisentrifugilla eroteltu kiintoaine) on merkittävää fosforin erottelun kannalta, sillä karkeasti eroteltu nestejake sisältää vielä runsaasti hienoa kiintoainetta, joka puolestaan sisältää vielä merkittäviä määriä fosforia.



TAULUKKO 3. Perättäisen ruuviseparoinnin ja dekantterisentrifugin vaikutus muodostuviin jakeisiin lehmän ja sian ulosteperäisestä mädätysjäännöksessä. (Bolzonella ym. 2018)

	Jae	Kiintoaine %	Orgaaninen aine %	Kokonaistyyppi %	Kokonaisfosfori %
<b>Nauta</b>	Mädätysjäännös	7,0	4,9	0,34	0,16
	Kiintojoe, ruuvipuristin	22,0	19,8	0,33	0,40
	Nestejae, ruuvipuristin	5,5	3,7	0,32	0,13
	Nestejakeesta eroteltu kiintoaine, dekantterisentrifugi	20,1	14,0	0,73	0,53
	Nestejakeesta eroteltu neste, dekantterisentrifugi	1,8	1,0	0,17	0,01
	Jae	Kiintoaine %	Orgaaninen aine %	Kokonaistyyppi %	Kokonaisfosfori %
<b>Sika</b>	Mädätysjäännös	3,2	2,1	0,23	0,04
	Kiintojoe, ruuvipuristin	23,1	19,8	0,46	0,19
	Nestejae, ruuvipuristin	2,1	1,1	0,22	0,03
	Nestejakeesta eroteltu kiintoaine, dekantterisentrifugi	18,7	13,0	0,37	0,15
	Nestejakeesta eroteltu neste, dekantterisentrifugi	0,9	0,4	0,17	0,02

Koska eri syötteistä valmistettujen mädätysjäännösten koostumus poikkeaa toisistaan, soveltuu niiden käsittelyyn luonnollisesti erityyppiset menetelmät. Kirjallisuudessa on yleisesti esitetty, että karkeammalle kuituisille mädätysjäännöksille sopiva erottelumenetelmä on ruuvipuristus, sillä partikkelikoko on riittävä kiintoaineen erotteluun ja karkeampi syöte vahingoittaisi sentrifugia (Aguirre-Villegas ym. 2019, Barampouti ym. 2020, Guilayn ym. 2019). Dekantterisentrifugi taas soveltuu hyvin hienorakenteisemmän mädätysjäännöksen käsittelyyn. Mikäli sentrifugointia halutaan hyödyntää erotteluun, voidaan karkeat syötteet esierotella esimerkiksi ruuvipuristimella karkeamman materiaalin erottelemiseksi, jonka jälkeen dekantterisentrifugia voidaan hyödyntää nestejakeen käsittelyyn, erottamaan hieno kiintoaines nesteestä. (Aguirre-Villegas ym. 2019, Barampouti ym. 2020, Guilayn ym. 2019)

Edellä mainitut laitteet erotellaan usein kahteen kategoriaan erottelutehokkuuden mukaan: korkean tehokkuuden omaavat laitteet (tyypillisesti dekantterisentrifugit) ja matalan tehokkuuden omaavat laitteet (tyypillisesti ruuvipuristimet ja erilaiset seulat). Matalantehokkuuden omaavat laitteet ovat tehokkaita vain suurtenpartikkelien erotteluun. Käytännössä tämä tarkoittaa kuituisia mädätysjäännöksiä. Korkean tehokkuuden laitteet ja menetelmät sopivat jo esikäsitellyille materiaaleille ja ei-kuituisille materiaaleille, ja niiden avulla hienokiintoaine saadaan eroteltua tehokkaammin. Tehokkaampien erottelumenetelmien käyttäminen on kuitenkin kalliimpaa, joten kustannustehokas ja kannattava käyttö vaatii suuria käsittelyvolyymejä, joka maatilakokoluokassa voi olla saavuttamattomissa. Mädätysjäännöksen esikäsitellyllä voidaan kuitenkin tehostaa erottelua, jolloin myös perinteisesti matalan tehokkuuden laitteet voivat toimia yhtä tehokkaasti kuin korkean tehokkuuden laitteet. (Guilayn ym. 2019)

Esikäsitellynä voidaan hyödyntää apuna kemikaaleja kuten lannan käsittelyssä tai peräkkäisiä menetelmiä paremman erottelukyvyn saavuttamiseksi (Biokaasuteknologia 2015). Erilaiset käsittelyt ovat kuitenkin myös oma lisäkustannuseränsä, joka täytyy ottaa huomioon kannattavuuden näkökulmasta. Kirjallisuudessa käytettyjä mädätysjäännöksen erottelumenetelmiä ovat: seulominen (ruuvipuristimet, erilaiset seulat ja prässit, kuten suotonauhapuristin, täryseula, tasoseula, rumpusuodattimet) ja linkous (dekantterisentrifugi). Tyypillisimmät käsittelymenetelmät ovat ruuviseparaattori- ja dekantterisentrifugikäsitely. (Aguirre-Villegas ym. 2019, Barampouti ym. 2020, Guilayn ym. 2019, Møller ym. 2000)

## 2.1 EROTELLUN KIINTOAINELAJEEN JATKOKÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN

Kiintoaine sisältää mädätysjäännöksen hajoamattoman orgaanisen aineksen, bakteerit sekä mineraalit (Jørgensen 2009). Tätä jaeetta voidaan hyödyntää monenlaisissa käyttökohteissa suoraan ja erilaisten jatkokäsittelyjen myötä. Kiintoainejae voidaan hyödyntää ilman käsittelyjä lannoitukseen sekä kuivikkeena. (Biokaasuteknologia 2015, Setoguchi ym. 2022) Kiintoainejakeen käsittely on kuitenkin tärkeää, sillä jae ei ole stabiili, ja voi alkaa esimerkiksi kompostoitua (ei tyypillistä) säilytyksessä ilman jatkokäsittelyä (Biokaasuteknologia 2015). Kiintoaineen jatkokäsittely tapahtuu tyypillisesti kompostoinnin, kuivauksen tai termokemiallisten käsittelyjen avulla ja jaeetta voidaan stabiloida ilmaamalla mädätysjäännöstä seosaineiden avulla (hiekkä, turve) (Biokaasuteknologia 2015, Vilanova Plana & Noche 2016).

Kompostoinnilla kiintojaje voidaan jalostaa kasvualusta- ja maanrakennuskäyttöön (land regeneration) (Vilanova Plana & Noche 2016). Kompostointia kuitenkin haittaa epäedullinen hiilen ja typen suhde ja liiallinen kosteus materiaalissa. Siksi kompostointia varten massaan täytyykin lisätä kasviperäistä materiaalia hiilipitoisuuden nostamiseksi ja ilmauksen takia. Kompostoinnin aikana voi myös syntyä kaasupäästöjä, kuten  $\text{NH}_3$ -,  $\text{N}_2$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - ja  $\text{CH}_4$ -päästöjä. (Barampouti ym. 2020, Lyons ym. 2021)

Kuivattua kiintoainetta voidaan hyödyntää maatalouden parissa (viljely, kuivikkeet, energiantuotanto (polttoaineena)) ja maanrakennuksessa (Al Seadi ym. 2008, Barampouti ym. 2020, Setoguchi ym. 2022, Vilanova Plana & Noche 2016). Kuivaus voi olla perinteistä lämmöllä kuivaamista tai biokuivausta (bio drying), joka perustuu kompostointiin. Lämmöllä kuivaus tapahtuu tyypillisesti mädätysprosessin hukkalämmön avulla, ja kuivauksessa voidaan hyödyntää mm. nauha-, rumpu- ja aurinkokuivaimia. Biokuivauksessa pyritään lahoittamisen sijaan poistamaan kosteutta kompostoinnin avulla. Kuivattu massa on hajutonta ja ammoniavapaata, ja se voidaan pelletöidä helpottaen käsittelyä, kuljetusta ja lannoitekäyttöä. (Barampouti ym. 2020) Kuivaaminen myös hygienisoi materiaalin, jolloin erillistä käsittelyä hygienisointiin ei tarvita. Kuivaus kuluttaa kuitenkin paljon energiaa, ja on siten melko kallis käsittelymenetelmä. (Biokaasuteknologia 2015)

Termokemiallisissa käsittelyissä kiintoainejaje poltetaan ja poltossa muodostuva tuhka tai muut jakeet kuten biohiili hyödynnetään lannoitukseen. Termokemiallisia käsittelyitä ovat mm. polttaminen, pyrolysointi, biohiilientuotanto pyrolyysillä tai hydrotermisesti. (Barampouti ym. 2020, Horn ym. 2020) Menetelmä soveltuu erityisesti fosforin talteenottoon ja hyödyntämiseen, sillä typpi haihtuu prosessien aikana palokaasujen mukana ja lopputuotteena saadaan fosforirikkaita tuotteita (Barampouti ym. 2020, Horn ym. 2020). Termokemiallisten menetelmien yleistymisen esteeksi on koettu menetelmien korkeat kustannukset sekä typen häviäminen prosessissa (Barampouti ym. 2020).

## 2.2 EROTELLUN NESTEJAKEEN JATKOKÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN

Nestejaje voidaan hyödyntää sellaisenaan ilman jatkokäsittelyjä lannoitukseen, sillä ohut liete on tyypipitoista ja se voidaan levittää injektoimalla tai letkujen avulla (toisin kuin käsittelemätön mädätysjäännös) (Guilayn ym. 2019, Jørgensen 2009). Nestejakeen jatkokäsittely on kuitenkin mahdollista, ja sitä voidaan käsitellä ja jalostaa useilla tavoilla: adsorptio, ammoniakkistriippaus, biologinen käsittely, haihdutus (konsentroidi), kalvosuodatus, kemiallinen käsittely ja saostus (kiteytys) (Barampouti ym. 2020, Biokaasuteknologia 2015, Horn ym. 2020). Näillä menetelmillä pyritään tyypillisesti erottelemaan ja keräämään talteen nestejakeeseen liuenneita ravinteita. Taulukossa 4 on vertailtu eri nestejakeen käsittelymenetelmien tehokkuutta ravinteiden erottelussa (Barampouti ym. 2020).

Adsorption ja ionivaihdon hyödyntäminen nestejakeen ravinteiden erotteluun on tehokas tapa ravinteiden talteenottoon. Prosessissa ravinteet adsorboidaan kiinteiden adsorbenttien, kuten hartsien tai zeoliittien pintaan. Näiden materiaalien pinnalta kiinnittyneet aineet voidaan irrottaa erilaisilla kemiallisilla tai biologisilla menetelmillä, riippuen käytetystä adsorbentista. Adsorption avulla voidaan erotella sekä fosforia että typpeä nestejakeesta tehokkaasti (Taulukko 4). Toistaiseksi adsorbointia ei ole hyödynnetty teollisessa mittakaavassa, sillä käytettävien kemikaalien aiheuttamat kustannukset ovat korkeat, varsinkin kun huomioidaan, että mädätysjäännöksen sisältämä muu materiaali kiihdyttää adsorbenttien toimintakyvyn rappeutumista. Adsorptio on kuitenkin vähän energiaa kuluttava menetelmä, eikä opeointi vaadi suurta henkilötyöpanosta. (Barampouti ym. 2020)

TAULUKKO 4. Nestejakeen käsittelymenetelmien ravinteidenerottelukyvyn vertailua. (Barampouti ym. 2020)

Jatkokäsittely menetelmä	Fosfori	Typpi
Adsorptio ja ioninvaihto	Jopa 100 %	83 %
Ammoniastrippaus	-	40-99 %
Saostus, struviittina	83-90 %	15 %
Saostus, kalsiumfosfaatteina	50-100 %	-
Nanosuodatus	97-98 %	5-23 % (NH <sub>3</sub> )
Käänteisosmoosi		95 %
Haihdutus		97,5
Polttaminen	78 %	

Ammoniastrippaus on yksi keino erotella typpeä nestejakeesta. Ammoniastrippauksessa typen erottelu nestejakeesta tapahtuu kuplittamalla, desorptiolla, aspiroimilla, suihkutorneissa tai pintailmauksella. Käsittelyn ideana on vapauttaa nesteeseen liennut ammonium nesteestä kaasuttamalla se ammoniakiksi. Strippauksen kannalta on tärkeää, että separointi on onnistunutta, sillä kiintoainejäämien läsnäolo voi haitata prosessia. (Barampouti ym. 2020) Ammoniumstrippaus vaatii onnistuneen separoinnin lisäksi sekä lämpötilan että pH:n säätelyä, ja kuluttaa siten mm. kemikaaleja, jonka seurauksena prosessin ylläpito on kallista. Prosessissa typpi eristetään menetelmässä tyypillisesti joko ammoniumsuolana (ammoniumsulfatti) tai väkevänä ammonialiuoksena. (Barampouti ym. 2020, Jørgensen 2009) Prosessissa nestejakeesta jää jäljelle runsaasti kaliumia sisältävä liuos, jonka voi jatkokäsitellä kaliumin erottamiseksi tai hyödyntää kasteluun (Jørgensen 2009). Myös liuoksen sisältämä CO<sub>2</sub> voidaan erotella strippauksella, esikäsitellyn ammoniakistrippaukselle tai struviitin saostukselle, sillä CO<sub>2</sub>-strippauksen myötä liuoksen pH nousee näille käsitellyille sopivammaksi. (Flotats ym. 2011)

Jo mainitun struviitin saostaminen on yksi tapa erotella useita ravinteita nestejakeesta. Struviitti, eli ammoniummagnesiumfosfaatti (NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>) voidaan saostaa nestejakeesta ottaen tällä tavoin talteen niin fosforia, kuin typpeä. Struviitin asemesta voidaan saostaa myös K-struviittia (KMgPO<sub>4</sub>) tai erilaisia kalsiumfosfaatteja. K-struviitissa ammoniumionit ovat korvautuneet kaliumioneilla. Saostamalla K-struviittia ja kalsiumfosfaatteja voidaan poistaa nestejakeen ylimäärä fosforia ravinnejakeiden tehokkaammaksi erotteluksi. Näitä materiaaleja voitaisiin saostaa esimerkiksi ammoniakistrippauksesta jäljelle jäävästä nesteestä, mikäli se sisältää runsaasti fosforia. Yleisesti saostamiseen tarvitaan ylisaturoitunut liuos saostettavan materiaalin suhteen, tarvittavia komponentteja oikeassa suhteessa sekä tarkoituksen mukaiset pH- ja lämpötilaolot. Tämän seurauksena saostukseen tarvitaan tyypillisesti kemikaaleja (saturointi, ionisuhteiden optimointi, pH-säätö) sekä energiaa (lämpötilansäätö). Saostusmenetelmät ovat tehokkaita menetelmiä rehevöitymisen estämiseen, sillä pääasialliset rehevöitymistä aiheuttavat alkuaineet ovat typpi ja fosfori. Koska typpeä on yleensä ylen määrin näiden eri fosfaattien saostamiseen, jää saostuksesta jäljelle typpeä sisältävä liuos, jota voidaan hyödyntää lannoituksessa, tai ylimäärä typpi voidaan erotella jollain muulla menetelmällä, mikäli sitä ei erotella ennen saostusta. (Barampouti ym. 2020)

Haihdutus on tapa pienentää nestejakeen tilavuutta ja konsentroida ravinteita paksuksi viskoottiseksi tiivisteeksi (Barampouti ym. 2020, Jørgensen 2009). Nestejakeen konsentrointi voidaan suorittaa lämmittämällä tai vakuumin avulla. Nestejakeesta erottuu haihdutuksen aikana haihtuvia aineita, kuten ammoniakkaa. (Barampouti ym. 2020) Ammoniakkin haihtumisen minimoimiseksi nestejake voidaan happamoida tai muuten käsitellä siten että haihtumista voidaan vähentää. Haihduttaminen on kuitenkin kallista ja energiaa kuluttavaa. Tästä huolimatta ravinnetiivisteiden käsittely on nestejakeetta helpompaa, sillä se mahdollistaa ravinteiden kuljettamisen laajemmalle alueelle nestejakeen tilavuuden pienentyessä merkittävästi. (Jørgensen 2009)

Nestejakeesta voidaan erotella siihen vielä jäänyt hienokiintoaine ja ravinteet kalvoilla. Kalvotekniikoita on eri tasoisia ja toisilla saadaan lopputulokseksi lähes puhdasta vettä. Eri kalvoerottelumenetelmät ovat (erottelu kyvyn mukaan): mikrosuodatus (micro filtering, MF), ultrasuodatus (ultra filtering, UF), nanosuodatus (nano filtering, NF) ja käänteisosmoosi (reverse osmosis, RO). Mikro- ja ultrasuodatuksella saadaan eroteltua eriasteisesti kaikki kiinteät aineet ja makromolekyylit. (Barampouti ym. 2020) Nanosuodatuksella pystytään erottamaan suuret lienneet molekyylit (koko- luokkaa 200-400 amu), mutta myös jonkin verran tätä pienempiä ioneita, kuten kalsium-, magnesium ja ammoniumioneita. Käänteisosmoosilla pystytään erottelemaan edellä mainitut lienneet ionit täydellisesti. (Hjorth ym. 2010)

Suodatusmenetelmät ovat energiasyöppöjä ja kalliita hankkia ja ylläpitää. Mädätysjäännöksen sisältämät bakteerit ja suolat voivat myös laskea menetelmien tehokkuutta (Barampouti ym. 2020). Paineistettujen menetelmien lisäksi myös paineettomia kalvoerottelumenetelmiä on olemassa. Tällaisia ovat bioelektrokemia, kalvotislaus, kaksisuuntainen kalvoelektrolyysi, kemsorptio kalvon läpi ja elektrodialyysi. (Barampouti ym. 2020)

Edellä mainittujen mädätysjäännöksen nestejakeen käsittelymenetelmien lisäksi lannasta eroteltua nestejakeeta on käsitelty myös sitouttamalla ravinteita biomassaan. Ravinnerikkaassa nestejakeessa voidaan esimerkiksi kasvattaa levää ravinteiden ja haitta-aineiden poistamiseksi. Kasvatettu levä voidaan tuotteistaa (biopolttoaineet, lannoitteet, rehu). Levän lisäksi ravinteita ja haitta-aineita on poistettu myös vesiensuojelukosteikoilla, eli rakennetuilla kosteikoilla, joissa kasvatetaan mm. kelluvia kasveja ja muita kosteikkokasveja ravinteiden talteenottoa varten. Samalla kosteikoilla seisoessaan loppu orgaaninen aine hajoaa luonnollisissa prosesseissa. (Flotats ym. 2011) Myös mädätysjäännöksen nestejakeen käyttö kasvualustana voisi olla yksi potentiaalinen jakeen käyttökohde tiloilla, joilla ei ole tarvetta suurelle osalle nestejakeesta.

## 2.3 MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN JA SEN JAKEIDEN HYÖDYNTÄMINEN MAATILALLA

Mädätysjäännöstä ja siitä saatavia neste- ja kiintojakeita sekä muita tuotteita voidaan hyödyntää maatilalla monipuolisesti ja monin eri tavoin. Mädätysjäännöksen separointi helpottaa mädätysjäännöksen käyttöä ja käsittelyä (Guilayn ym. 2019). Saatavat neste- ja kiintoaine jakeet voidaan jatkokäsitellä tai hyödyntää suoraan. Myös mädätysjäännös voidaan hyödyntää sinällään ilman käsittelyä lannoitukseen ja mikäli esimerkiksi tilan ravinnetasapainon kannalta tämä on hyödyllistä ja kannattavaa. Mädätysjäännös kuitenkin sisältää runsaasti fosforia ja typpeä, eikä välttämättä vastaa tilan peltojen ravinnetarvetta, samalla sen levittämistä rajaa samat säädökset, kuin lietelannankin levittämistä. (Guilayn ym. 2019) Siinä missä mädätysjäännöksen levittämisellä on selkeitä etuja lietelantaan verrattuna (ravinteet kasveille paremmassa muodossa, hajuhaitat pienempiä, käsittely helpompaa, rikkakasvien ja bakteerien siirtyminen pelloille pienempää (tuhoutuvat pääosin mädättäessä)), ei sen käyttö aina ole järkevää tai mahdollista sellaisenaan (Aguirre-Villegas ym. 2019, Barampouti ym. 2020, Guilayn ym. 2019, Möller & Müller 2012, Virkkajärvi ym. 2016). Tämän vuoksi erottelu fosforirikkaaksi kiintojakeeksi ja typpirikkaaksi nestejakeeksi on yleinen käsittely menetelmä. Vaikka erottelu ei jaottele ravinteita täydellisesti, soveltuvat ne erottelun jälkeen fosfori- ja typpilannoitteiden korvaajiksi. Näiden jakeiden tuottaminen on usein kannattavaa, sillä niillä voidaan korvata mineraalilannoitteiden käyttöä, säästäten lannoitekuluissa. (Biokaasuteknologia 2015)

Käytännön esimerkiksi liettualaisessa Doyeni ym. (2021) kolmen vuoden lannoitekäytön viljelykokeissa pitempiäaikaisen lannoituskäytön ja viljelyvasteen muutoksia seurattiin vuosittain vaihtuvalla viljakasvatuksella (kevätkuiva, ruisvehnä, ohra) koealueella. Alueen eri sekmenttien lannoitukseen käytettiin typpipitoisuuden mukaan teollista verrokki typpilannoitetta ja kolmesta eri lähteestä peräisin olevaa mädätysjäännöstä (kana, nauta, sika). Kokeissa käytettiin kontrollina lannoittamatonta segmenttiä. Kokeista nähdään niin erot teolliseen typpilannoitteeseen (pelkkä typpilannoitus) kuin eri syötelähteiden vaikutus maaperän koostumukseen. Maaperän tyyppi, hiili ja pH eivät muuttuneet kolmen koevuoden aikana merkittävästi: hiili ja pH laskivat kaikilla koealoilla; typpipitoisuus laski kontrollialueella ja sikaperäistä mädätysjäännöstä käytettäessä. Maaperän kaliumpitoisuus kasvoi huomattavasti mädätyslannoitealoilla ja laski kontrolli- ja typpilannoitealalla. (Doyeni ym. 2021)

Pellon fosforipitoisuus kasvoi kaikilla paitsi kananlannasta valmistetulla mädätysjäännöksellä. Syynä tähän annettiin Doyeni ym. mukaan lannoitusvahvuuden valinta tyyppien mukaan, mikä rajasi typpirikkaan syötteen levitysmäärää verrattuna muihin koemateriaaleihin. Muutokset maannoksessa tarkasteltiin näytteenotolla ennen ensimmäistä viljelykautta ja viimeisen viljelykauden jälkeen. Viljan tuottavuus ensimmäisenä vuonna (kevätkuiva) oli kontrollia korkeampi kaikilla lannoitteilla, typpilannoitteen ollessa paras. Toisena vuonna (ruisvehnä) viljatutuotanto oli tasaista kaikilla aloilla (viljelykausi hyvin kuiva). Kolmantena vuonna (ohra) tuottavuus oli korkein mädätysjäännöksillä lannoitetuilla aloilla. Viljantuotannon määrän lisäksi seurattiin viljan laatua (proteiinipitoisuus), joka pysyi kaikkina vuosina kaikilla lannoitetuilla aloilla hyvänä (yli rehulaadun). Myös oljen laatua tarkasteltiin ja tulokset typpipitoisuuden osalta ovat jyvistä vastaavia. Tyyppien hyödyntämisen tehokkuutta (nitrogen use efficiency, NUE) eri viljelyaloilla olivat yhtenevät typpipitoisuuden kanssa (eniten typpeä tuotteessa, eniten typpeä saatu maannoksesta). Mädätysjäännöksen lannoitekäytöllä ei havaittu haittavaikutuksia ja käytön vaikutus oli muutenkin vähäinen maaperänkuuntoon, ja että pitimmällä aikavälillä mädätysjäännöksen käyttö on sadon määrän ja laadun kannalta hyödyllistä. (Doyeni ym. 2021)

Kokemuksia mädätysjäännöksen käytöstä viljelyssä on myös tutkittu ja tutkimukset ovat laajalti osoittaneet kasvien ravinteiden oton sekä tuotannon lisääntyvän mädätysjäännöksen käytön myötä. (Lamolnara ym. 2022) Käyttökokeuksia siitä, että tilan ulkopuolisia lannoitteita tarvitaan vähemmän, on myös Suomessa. Biokaasulehden haastattelussa (2019) todetaan lannoitelaskujen pienentyneen mm. Wennströmin sekä Huutolan tilalla. Huutolan tilalla säästöt ovat vuositasolla olleet 5000–10 000 € välillä. (Arffman & Taavitsainen 2019)

Kiintojaetta voidaan hyödyntää maanparannukseen sekä lannoitukseen fosforikatoalueilla fosfori- ja kiintoainepitoisuutensa johdosta. Jae voidaan levittää pelloille lannan tapaan (Jørgensen 2009). Fosforirikkailla alueilla fosforijakeen käyttäminen lannoitukseen ei ole järkevää ympäristön kannalta, kuivajaetta voidaan kuitenkin hyödyntää tilalla myös muilla tavoilla. Kuivajaetta voidaan hyödyntää mm. navetassa kuivikkeena, lisäsyötteenä hakekattilassa tai lisäsyötteenä biokaasureaktorille (Al Seadi ym. 2008, Møller ym. 2007, Setoguchi ym. 2022). Tällä tavoin käytettynä kiintojake voi auttaa pienentämään kustannuksia korvaavana materiaalina tai energian lähteenä säästämällä siten näistä tarpeista muodostuvista kustannuksista.

Jakeiden jatkojalosteet voidaan niin ikään hyödyntää tilalla, mutta toisaalta niistä saatu taloudellinen hyöty ulos myytessä voi myös olla kannattavampi vaihtoehto tilalle jatkokäsittelyjen vaatimien merkittävien investointien ja kulujen seurauksena. Kuivajakeesta valmistettavat kuivat pellettilannoitteet, tuhka tai komposti voidaan helposti muokata maannokseen (Barampouti ym. 2020, Biokaasuteknologia 2015). Samoin biohiili, jolla voidaan parantaa maannosta, ja johon esimerkiksi nestejakeesta voidaan imeyttää ravinteita hitaamman lannoitevasteen aikaansaamiseksi (Barampouti ym. 2020, Bian ym. 2023). Nestejakeista saatavat lannoitteet taas vastaavat hyvin kaupallisia saatavilla olevia lannoitteita ja niitä voidaan siten käyttää samaan tapaan, mutta verrattuna nestejakeeseen ne pystytään kuljettamaan myös kaukana sijaitseville pelloille kustannustehokkaasti (Biokaasuteknologia 2015). Mikäli tilan kannalta kuljetusmatkat eivät kuitenkaan ole ongelma ja mädätysjäännös tai sen jakeet soveltuvat hyvin tilan ravinnetarpeisiin, voi olla järkevämpää hyödyntää jakeita suoraan ilman kalliita jatkokäsittelyjä.

## 2.4 MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELYN JA HYÖDYNTÄMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Mädätysjäännöksen käsittelyyn liittyy monenlaisia ympäristövaikutuksia, jotka voivat olla mm. kasvihuonepäästöjen kannalta niitä lisääviä tai vähentäviä. Ravinnerikkaiden materiaalien kanssa on hyvä huomioida myös ravinnehuuhtoumat sekä ulosteperäisiä materiaaleja käsiteltäessä mahdolliset patogeenit riskeinä ympäristölle ja ihmiselle. Mädätysjäännöksen oikeanlainen käsittely ja hyödyntäminen vähentää näiden erilaisten haittavaikutusten riskiä. Yleisesti neste- ja kiintoainejakeen erottelun on havaittu lisäävän hiilidioksidi-, ammonium- ja typpioksiduuli päästöjä (Zhang 2022). Erottelun ja ravinteiden talteenoton on kuitenkin havaittu vähentävän metaanipäästöjä (VanderZaag ym. 2022, Zhang 2022).

VanderZaag ym. havaitsivat ravinteiden talteenoton vähentävän metaanipäästöjä mädätysjäännöksen jälkisäilytyksessä, kun valtaosa kiintoainesta ja siten hajoavasta orgaanisesta materiaalista saadaan erilleen ja hyötykäyttöön (kuivike ja lannoitemateriaaleina usea vaiheisessa prosessissa) ennen ravinnejakeen säilömistä. (VanderZaag ym. 2022) Samalla lannoitekäytön on havaittu olevan eniten ympäristö- ja terveysvaikutuksiin positiivisesti vaikuttava tekijä. Lannoitekäytössä on kuitenkin huomioitava myös ravinnetarve ja lannoitteiden levitysmäärä, kuten lannoituksessa yleensäkin ravinnehuuhtoutumien estämiseksi. (Lamolnara ym. 2022)

Angouria-Tsorochidou ym. (2022) vertailivat eri asteisia mädätysjäännöksen (sianlanta, puhdistamoliete, elintarviketeollisuuden jätteet) jalostustapoja ja näiden ympäristövaikutuksia. Tutkimuksessa arvioitiin kolmea käsittelytapaa: mädätysjäännöksen suoraa hyödyntämistä, mädätysjäännöksestä dekantterisentrifugilla eroteltujen jakeiden hyödyntämistä sekä jakeista jalostettujen lannoitejakeiden hyödyntämistä. Jatkojalostus tapahtui kahdessa perättäisessä suodatusprosessissa ultrasuodatuksen ja käänteisosmoosin avulla, ja kaiken kaikkiaan prosessissa muodostuu kolme lannoitejaetta ja puhdasta vettä. Kaikki käsittelyt pienentävät hiilidioksidipäästöjä, mutta jatkojalostuskäsittelyistä vain pelkkä dekantterisentrifugin käyttö vähensi päästöjä verrattuna mädätysjäännöksen suoraan käyttöön. Jakeiden jalostus monivaiheisilla prosesseilla lisää myös ammoniumpäästöjä materiaalista, mutta toisaalta on hyvä huomioida, että levitettäessä selvästi eniten typpipäästöjä tuottaa käsittelemättömän mädätysjäännöksen käyttö. Yleisesti tarkastellessa useita ympäristöindikaattoreita (ilmaston lämpenemispotentiaali, happamoituminen, rehevöityminen jne.) ei elinkaariarvioinnissa ole selvää johtopäätöstä suoran käytön ja dekantterisentrifugilla erottelun molempien tarjotessa erilaisia etuja. (Angouria-Tsorochidou ym. 2022) Angouria-Tsorochidou ym. (2022) nostavat myös esille, että jatkojalostusta hyödyntäessä saadaan useita kiinteitä ominaisuuksiltaan erilaisia lannoitejakeita, lisäten joustavuutta lannoituksessa. (Angouria-Tsorochidou ym. 2022)

Suoria vaikutuksia ihmisten terveyteen on myös tutkittu mädätysjäännöksen käyttöön liittyen. Irlannissa toteutetussa tutkimuksessa todettiin, että mädätysjäännöksestä voi potentiaalisesti levittää mm. E. coli-, salmonella- ja listeriabakteereja (Nag ym. 2020). Tähän potentiaaliseen terveysriskiin liittyen Nolan ym. tutkivat mädätyksen ja mädätysjäännöksen hygienisoinnin vaikutusta ravinne huuhtoumiin sekä mikrobi ja raskasmetalli päästöihin verrattuna perinteiseen lannan levitykseen. Viljelykokeissa tutkittiin näiden haitallisten komponenttien huuhtoutumista, kertymistä ja siirtymistä kasveihin (nurmi). Ryhmä havaitsi mädätysprosessin vähentävän näiden haitallisten aineiden ja eliöiden huuhtomaa vesistöihin, hygienisoinnin parantaen edelleen näitä ominaisuuksia. Mädätysjäännöksen käyttö käsittelystä huolimatta vähensi haitta-aineiden huuhtomaa, kertymistä ja kasveihin siirtymistä erityisesti mikrobien osalta, vaikka merkittävämät vaikutukset havaittiin pastöroidun mädätysjäännöksen kohdalla. (Nolan ym. 2020)

Lannoitusvaikutuksen lisäksi mädätysjäännöksen ja sen jakeiden pelloilla hyödyntämisen vaikutuksia on tutkittu niin maaperän laadun kuin tuottavuudenkin kannalta, esimerkiksi erilaisia tutkimuksia mädätysjäännöksen levityksen vaikutuksista maaperän eliöihin sekä maaperän laatuun (Jurgutis ym. 2021, Moinard ym. 2021). Moinard ym. tutkivat mädätysjäännöksen (märkämädättämöliete, syötteen: lietelanta (nauta), lannat (nauta, hevonen), jätevesiliete, rasva, muu maatalousjäte, myllyjen sivuvirrat ja nurmisäilörehu) levityksen vaikutusta lieroihin lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Tutkimuksessa havaittiin, että levitys (annostus 40 t/ha ja 80 t/ha) lisää kuolleisuutta lieroissa välittömästi levityksen yhteydessä, oletettavasti ammoniakkin myrkyllisyyden seurauksena. Pitkällä aikavälillä lierokannan havaittiin kuitenkin kasvavan säännöllisen levityksen seurauksena. (Moinard ym. 2021)

Liettuassa tehdyssä peltotutkimuksessa seurattiin mädätysjäännöksen (kananlanta, ruokajäte, maissi- ja punajuuri-jäte) käytön vaikutusta maannokseen ja pellon tuottavuuteen (nurmi) systeemissä, jossa pellot tuottavat biokaasulaitoksen syötettä uusiutuvan energiantuotannon, ja muodostuva mädätysjäännös hyödynnetään näiden peltujen viljelyssä. Tutkimuksessa hyödynnettiin niin neste-, kuin kiintoainetta erillisillä verrokkialueilla, joissa jakeita käytettiin kolmivuoden ajan lannoitukseen (vuotuinen lannoitus 85 kg/ha ja 170 kg/ha molemmilla neste- ja kiintoainejakeilla erillisille koealoille). Käsittelemättömään peltoon verrattuna maannos paranee mm. orgaanisen hiilen ja typen lisääntyessä maannoksessa. Maannoksen parantumisen seurauksena pellon tuottavuus kasvoi parhaimmillaan yli kolminkertaiseksi verrattuna käsittelemättömiin alueisiin. Myös nurmen laatu parani proteiinipitoisuuden kasvaessa. Lopputulemana mädätysjäännöksellä lannoitettujen nurmialueiden nurmi tuotti keskimäärin 19 % enemmän biokaasua kuin lannoittamattomien alueiden. (Jurgutis ym. 2021)

Lannoitehyödyn ja siten teollisten lannoitteiden korvaamisen lisäksi jakeiden muunlaisella hyödyntämisellä on ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi biokaasutuksen ja siitä muodostuvan kiintoaineen käyttö kuivikkeena on laskettu laskevan kasvihuonepäästöjä noin 7 % verrattuna lietelannan käyttöön (Setoguchi ym. 2022). Lisäksi kierrätetyn petimateriaalin käytön yhdessä biokaasulaitoksen kanssa laskettiin maitotilalla olevan kannattavaa ja lisäävän tuloja lähes 300 \$ eläintä kohden Japanissa toteutetussa tutkimuksessa. (Setoguchi ym. 2022)

Mädätysjäännöksen sisältämien ravinnepojakeiden erottelu ja näiden jakeiden kohdennettu käyttö mm. teollisuuslannoitteita korvaten tai kuivikkeena voi vähentää teollisten lannoitteiden tarvetta ja siten niiden valmistukseen käytettävän energian ja neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Samalla oikein kohdennetut ravinteet voivat potentiaalisesti vähentää ravinnehuuhtoumaa. Lannoitekäytössä mädätysjäännöksen hyödyntäminen parantaa maaperää. Kaikkiaan mädätysjäännöksen hyödyntäminen tilalla voi siis vähentää toiminnan aiheuttamia ravinne- ja kasvihuonepäästöjä, uusiutumattoman energian ja neitseellisten ravinteiden tarpeen vähentyessä.

### 3 BIOKAASUN TUOTANNOSTA SAATAVIEN SIVUVIRTAJAKEIDEN TUOTTEISTAMINEN

Mädätysjäännöstä ja sen eroteltuja komponentteja voidaan käyttää useissa eri käyttökohteissa, joista tilalla merkittävin on varmasti lannoitekäyttö suoraan tai jatkokäsittelyjen kautta. Alkuperäisen materiaalin ja sen jakeiden hyödyntämisen lisäksi mädätysjäännöksestä voidaan myös valmistaa kiertolannoitteita, eli lannoitevalmisteita, jotka on valmistettu kierrätysmateriaaleista peräisin olevista ravinteista (Tampio ym. 2018). Edellisessä luvussa esitetyn mukaan mädätysjäännöksestä ja siitä erotelluista jakeista voidaan valmistaa monenlaisia lannoitemateriaaleja, kuten ammoniumsulfaattia, struviittia, nestemäisiä ravinnetiivisteitä sekä kiintoainekomponentteja. Lannoitteiden ja kasvunestojen (maanparannusaineet) lisäksi mädätysjäännöksen kiintoainejakeesta voidaan valmistaa kuiviketta, polttoainepellettejä, kompostia tai muuta maannosta, joita voidaan myös tuotteistaa, mikäli näille ei tilalla ole tarvetta. (Barampouti ym. 2020, Biokaasuteknologia 2015, Jørgensen 2009, Setoguchi ym. 2022, Vilanova Plana & Noche 2016) Kuivikkeita voidaan hyödyntää esimerkiksi läheisillä maataloilla. Kompostia tai muuta maannosta, johon mädätysjäännöksen kiintoaine voidaan hyödyntää, voidaan käyttää viherrakentamiseen ja maisemointiin (Biokaasuteknologia 2015, Vilanova Plana & Noche 2016). Kiintoainesta puristetut polttoainepellettit voidaan käyttää pellettikattilassa energiantuotantoon kuten tavallinenkin muu pellettimateriaali (Cathcart ym. 2021).

Tuotteistamisessa on kuitenkin huomioitava erilaiset säädökset, jotka koskevat näitä lantaperäisiä materiaaleja. Lannoitevalmisteiden tulee vastata lainsäädännön niille asettamia vaatimuksia. Hygienisointi on yksi lisätoimenpide, jota voidaan tuotantotavasta riippuen vaatia (mikäli tuotteen katsotaan hygienisoituvan tuotannon aikana, ei erillinen hygienisointi ole pakollista). (Tampio ym. 2018) Hygienisointi sekä erilainen analytiikka, jota tuotteiden koostumuksesta vaaditaan, voi olla merkittävä kuluerä pienemmässä kokoluokassa.

Luonnonvarakeskus on julkaissut vuonna 2018 oppaan kierrätyslannoitteiden valmistukseen (Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille). Oppaan mukaan kompostointi ja mädätys ovat yleisiä prosesseja, joilla kiertolannoitteita Suomessa valmistetaan, mutta että mädätysprosessien tarkoituksena on harvoin lannoitevalmistus, ja siten tuote vaatii tyypillisesti jatkojalostusta. Tyypillisiä jatkojalostusmenetelmiä mädätyksen jälkeen ovat hygienisointi, separointi sekä jälkikompostointi. Näitä vaiheita voivat seurata erilaiset jakeiden jatkokäsittelyt, joita jo edellä on esitetty. Lannoitevaikutuksen varmistamiseksi jatkojalostus seostamalla voi olla tarvittava toimenpide myytiin meneville lannoitteille, jotta se vastaa markkinoilla olevaa tarvetta. Lannoitteiden lisäksi mädätysjäännöksestä voidaan tuottaa maanparannusaineita. Maanparannusaineiden on tarkoitus parantaa maannoksen rakennetta, kuten lisätä vedenpidätkykyä ja edistää pieneliöiden elinoloja. (Tampio ym. 2018)

Suomessa kaikkia lannoitevalmisteita säätelee lannoitevalmistelaki, joka on uudistumassa. Laki asettaa rajat valmisteiden raskasmetalli- ja muille haitta-aineiden pitoisuuksille sekä hygienialle. Lisäksi kiertolannoitteita koskee omat levityssäädöksensä. Näiden yleisten säädösten lisäksi mädätysprosessointia koskee omat erikoisvaatimuksensa. Karkeasti myytävät lannoitetuotteet tulee valmistaa hyväksytyssä laitoksessa, jossa toiminnan voi aloittaa omalla ilmoituksella ja on omavalvonnan alaista. Lisäksi mädätysjäännös tulee hygienisoida syötteen vaatimalla tavalla. Suuremman mittakaavan tuotantoon tarvitaan myös ympäristölupa. Lannoitevalmisteen markkinoille saattamiseksi täytyy laitos hyväksyttävä ja tehdä aloitusilmoitus Ruokavirastolle, tuotteella olla tyyppinimi sekä tuoteseloste. Ruokavirasto toimii valvojana lannoitevalmistustoiminnalle. EU-alueella lannoitteita koskee myös REACH-asetus sekä EY-asetus EY 2003/2003. Asetukset eivät kuitenkaan tällä hetkellä kata orgaanisia lannoitteita. Mikäli tuote täyttää osoitetusti CE-merkinnän vaatimukset, voidaan tuotetta markkinoida vapaasti myös EU-alueella, mutta myös kansallisen lainsäädännön puitteissa hyväksytyt tuotteet on mahdollista asettaa markkinoille muihin EU-maihin omilla erityisjärjestelyillään. (Tampio ym. 2018)

Mädätysjäännöksen eri jakeita on siis mahdollista tuotteistaa monipuolisesti, ja kaikkia muodostuvia jakeita voidaan hyödyntää myös tilan ulkopuolella, samaan tapaan kuin ne voidaan hyödyntää tilalla itsellään tarpeiden puitteisissa. Tuotteistuksessa on hyvä huomioida erilaiset asetukset, lainsäädäntö ja tuotteistamiseen liittyvät vaatimukset. Lainsäädännön sekä potentiaalisten jalosteiden suhteen on hyvä ottaa huomioon tilan omat tarpeet ja resurssit tuotteistettavien materiaalien ja tuotteistuksen vaatiman ajan sekä investointien suhteen. Mikäli tilan omat tarpeet mm. ravinnetarpeen kautta kattavat mädätysjäännöksen tuotannon yksin tai esimerkiksi yhdessä kuivikekäytön kanssa, ei tilan ole todennäköisesti järkevää investoida separointilaitteistoa pidemmälle meneviin lannoitejalostuslaitteistoihin. Tiloilla, jotka eivät tarvitse tai joilla sitä ei voida hyödyntää, mädätysjäännöksen jatkojalostaminen voi hyvinkin toimiva vaihtoehto, ja riippuen ympäröivästä tarpeesta ja tuotantovolyymistä voidaan jatkojalostusta viedä myös pitemmälle.

Väliin jäävät kuitenkin vielä tilat, joiden tuotanto ylittää oman tarpeen, mutta joissa ei ole järkevää jalostaa ylimäärää pienen määrän vuoksi. Yksi potentiaalinen ratkaisu voisi olla tilojen yhteinen jalostustoiminta, jossa toimintaan osallistuvat

voisivat yhdessä jalostaa sekä myydä tilojen ylijäämämateriaalin pois tiloilta kasvattaen ulosmyytävää volyymiä sekä tuotannon varmuutta ja joustavuutta. Samalla investoinnin kulut kohdentuisivat laajemmalle joukolle pienentäen potentiaalisesti riskejä myös kulujen suhteen. Tällainen yhteistoiminta voitaisiin järjestää esimerkiksi osuuskuntatyyppisesti.



## 4 KANNATTAVUUDEN ARVIOT KIRJALLISUUDESSA

Tässä kappaleessa on esitelty Suomen oloihin arvioituja, lantaperäisen materiaalin jalostusmenetelmien kannattavuutta koskevia arvioita. Suomessa arvioita on tehty mm. Savonia-ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen Ravinnerinki- ja Lantalogistiikka -hankkeissa, joissa on tutkittu lietelannan separoinnin tapoja ja kannattavuutta. Vaikka käsiteltävä materiaali ei ole mädätysjäätännöksen kanssa identtistä, voidaan materiaaleilla nähdä vastaavuutta, ja kustannusten kokoluokka on oletettavasti vastaava. Savonian kustannusarviossa yhden robotin navetan, eli 2000 m<sup>3</sup> vuosittaisen lietemäärän käsittelyn katsottiin olevan kannattavaa ruuviseparaattorilla pienentyvien levityskustannusten johdosta (Partanen 2019). Kannattavuutta voidaan edelleen lisätä hyödyntämällä kuivajakeen kuivikkeena. (Partanen 2019)

Samassa yhteydessä Luonnonvarakeskus on arvioinut ruuviseparaattorin ja dekantterisentrifugin (dekanterilingon) käytön kannattavuutta esimerkinomaisesti 120 lehmän kokonaisuudessa, jossa lietettä muodostuisi 3000 m<sup>3</sup>/a, nousisivat kustannukset vielä palveluna ostettavan separoinnin yläpuolelle (palveluna 1,20 €/m<sup>3</sup>). Ruuvipuristimella käsittelemäärä tulisi Luken laskelmien mukaan olla 3000 ja 4000 m<sup>3</sup>/a välillä, jotta tilan olisi järkevää investoida laitteistoon palvelun sijasta. (Pyykkönen & Ervasti 2019)

Suomen ympäristökeskuksen tekemässä kustannusarviossa tutkittiin separoinnista sekä separoinnin ja kalvosuodatuksen yhdistelmää, käyttäen BioKymppi Oy:n laitosta esimerkkinä. Jalostukseen käytettävän energian oletettiin tulevan laitoksen tuotannosta, joten sähkön hinnaksi määritettiin sähköverkon syötöstä saatava korvaus. Mallissa BioKymppi Oy myy lannoiteneesteen ja sen levityksen yhtenä pakettina, jolloin valmistus, varastointi, kuljetus ja levityskustannukset kohdistuvat biokaasulaitokselle. Kustannusten kannalta merkittävä tekijä oli kuljetusetäisyys, sillä molemmat erottelutavat olivat kannattavia tämän kokoluokan laitoksella (19 000 t/a, Latvala). Kuljetusetäisyyden kasvaessa lähenevät käsittelyjen kannattavuus, siten että lyhyillä matkoilla ruuvipuristetun nestejakeen valmistus on kannattavampaa ja pitkillä matkoilla (yli 80 km säteellä) suodatuksen kautta saatavan ravinnetiivistein valmistus on kannattavampaa. Tuloja on oletettu saatavan 1€/kg ravinnetta (liukoinen fosfori, kalium ja typpi). (Horn ym. 2020)

## 5 LABORATORIOKOKKEET

Laboratoriokokeiden tarkoituksena oli tarkemmin tutkia erilaisten erottelumenetelmien ja niiden yhdistelmien eroja maitotilalta peräisin olevan mädätysjäännöksen sekä maatilalla ruuvipuristetun mädätysjäännöksen eli biorejektin käsittelyssä. Laboratoriokokeiden aikana tutkittujen erottelu- ja käsittelymenetelmien vaikutuksia analysoitiin kiintoaine- sekä koostumusmuutosten perusteella hyödyntäen ICP-MS-, IC-, AAS- ja Kjeldahl-menetelmiä materiaalien koostumuksen selvittämiseksi.

Laboratoriokokeissa tutkitut käsittelymenetelmät olivat sentrifugointi (pilottimittakaavan dekanterisentrifugi sekä laboratoriosentrifugi), suodatus (kangas, biohiili), haihdutus/konsentroidi ja laskeuttaminen. Kokeisiin linkittyi myös erilaisia ravinteiden erottelumenetelmiä (imeytys biohiileen, saostimien käyttö). Laboratoriossa käytetyt materiaalit sisältävät useita hankkeeseen osallistuneiden yritysten tarjoamia näytemateriaaleja. Pääraaka-aineet eli mädätysjäännös ja biorejektinäytteet olivat peräisin Ilpo Wennströmin tilalla. Hankkeen aikana näytemateriaalia hankittiin useita kertoja eri ajankohtina. Mädätämateriaalien koostumuksen vaihtelun vuoksi alla on eritelty mädätysjäännöksen ja biorejektin keskimääräistä koostumusta, tulosten tarkastelua varten. Keskimääräinen mädätysjäännöksessä kuiva-ainepitoisuus on 5,93 % (n=5) ja biorejektin kuiva-ainepitoisuus on 4,38 % (n=2). Keskimääräiset ravinnepitoisuudet on esitetty Taulukossa 5. Carbons Finland Oy tarjosi useita biohiilinäytteitä (kolmea eri raekokojakauman omaavia biohiililaatua) tuotevalikoimastaan hankkeessa toteutettuihin biohiilitesteihin. Haarla Oy tarjosi kolmea teollista flokulanttia (Biopolymer HTH25, Floccstar ja Hfloc) flokkulointikokeiden suoritukseen. Haarla Oy:n asiantuntijat tarjosivat myös ohjeistusta materiaalien käyttöön flokkuloinnissa.

**TAULUKKO 5. Mädätysjäännöksen ja biorejektin merkittävät alkuaine komponentit (>0,1 %) ICP-MS- ja Kjeldahl-menetelmillä.**

	Mädätysjäännös % KA (n=5)	Biorejekti % KA (n=2)
Al	0,06	0,10
Ca	1,70	3,67
Fe	0,09	0,12
K	6,00	8,33
Mg	1,13	1,48
N	7,10	6,36
Na	0,67	0,88
P	1,16	1,65
S	1,53	1,31

### 5.1 SUODATUS

Suodatuskokeissa on hankkeen aikana testattu monentyyppisiä kangaslaatuja ja materiaaleja (TAULUKKO 6). Yleisesti suodatuksessa ongelmaksi muodostui kankaan tukkiutuminen ja/tai materiaalin itsensä suodatuspinnalle muodostama tiivis kalvo, joka estää suodatuksen niin ali- kuin ylipainesuodatuksessa. Kalvon muodostuessa suodattimen pinnan mekaanisen agitoinnin on havaittu auttavan suodatuksessa ja lopputuloksena voidaan saada muotonsa pitävää tuotetta. Laboratoriokokeiden aikana suodatusta testattiin pienissä erissä painovoiman ja mekaanisen agitoinnin yhdistelmällä, alipainesuodattamalla bühnersuppilolla vesi- sekä Piab-imulla, ylipainesuodatuksella itserakennetulla batch-suodattimella (KUVA 1b) sekä isommassa mittakaavassa kehysuotopuristimella (KUVA 1a) ja nauhasuodattimella (Kpedu).

TAULUKKO 6. Suodatuskokeissa käytetyt kangaslaadut.

Kangas	Materiaali	Huokoskoko (µm)
MON-500	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	500
MON-400	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	400
MON-300	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	300
MON-200	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	200
MON-100	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	100
MON-60	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	60
MON-25	Nailon, kudottu, yksikerroksinen	25
Suodatinkangas, puutarha	Polypropeeni, kuitukangas	-
S1107-L2K2-1700	Polypropeeni, kudottu, monikerroksinen	-
S1159-V2K2-M2-1600	Polypropeeni, kudottu, monikerroksinen	-
S1121-L2 -1900	kudottu, monikerroksinen	-
DL W2-B000-SK01 (SEPAR)	kudottu, monikerroksinen	-

Pienenmittakaavan laboratorio kokeet aloitettiin alipainesuodatuksella ja mekaanisella käsin avustetulla suodatuksella. Näissä kokeissa havaittiin, että kunnollista kakkua ei muodostu, ellei käytetä melko harvaa suodatinta tai vaihtoehtoisesti hyvin pieniä näytemääriä, jotta suodatin ei ehdi tukkeutua tai tiivis kalvo muodostua. Koska alipainesuodatuksessa havaittiin tiiviin kalvon muodostumisen ja/tai kankaan tukkeutumisen tapahtuvan melko nopeasti, testattiin parhaiten toimivia kangaslaatuja ylipainesuodatuksella hyödyntäen kehysuotopuristinta. Näin pystyttiin myös hyödyntämään suurempia näytekokoja, tasoittaen kankaiden vertailtavuutta lieventämällä heterogeenisen näytteen vaikutusta testauksessa. Kehysuotopuristin tiivistyy suotokehysten väliin asetettavilla suodatinkankailla, joten ohuempien nylonkankaiden (MON-kankaat) väliin valmistettiin karkeammasta tukiverkosta (muovipohjainen kangasmateriaali) riittävän tiiviyden varmistamiseksi (KUVA 1a). Kehysuotopuristimen ja painesuodatuksen lopputulos oli sama kuin alipainesuodatuksenkin, suodatinkankaille muodostui tiivis kalvo suodatettavaa materiaalia, jonka jälkeen neste ei enää virrannut suodatinkankaan läpi. Kankaan pinnalta pois päin siirtyessä muodostunut kakku on kosteamaa ja kosteampaa muuttuen lopulta lietteeksi kuten kuvassa 1a on esitetty.

Kehysuotopuristimella ja pienessä mittakaavassa laboratorioissa tehtyjen mekaanista liikuttelua suodatinpinnalla hyödyntävien kokeiden perusteella päätettiin testata biorejektin suodatusta nauhasuodattimella. Kpedun tiloissa on käytössä Pannevis 510.001, RT100 nauhasuodatin, jolle valmistimme puutarhaan tarkoitettua suodatinkangasta suodatinnauhan (todettu hyväksi suodatusmateriaaliksi aiemmissä kokeissa), jonka pystyi liittämään itseensä lenkiksi liimamalla pitävästi, jonka takia se voitiin asettaa suodattimelle. Nauhasuodattin toimii alipainesuodatus-periaatteella ja nauhan päässä oleva kaavin kiintoaineen irrottamiseen nauhalta. Tarpeeksi hitaan nauhan liikkeen (riittävän imuajan) mukaista hidasta lietteen syöttöä ei kuitenkaan pystytty säätämään. Hitaimmilla asetuksilla liete tulvi nauhalta kiintoaineen sekaan, nestemäärän ollessa liian suuri imunopeuteen nähden nauhapinnan läpäisykyvyn laskiessa. Kokeen alussa kiintoainetta saatiin kuitenkin kaavittua nauhalta ja siten kokeet vaikuttivat vastaavalle tekniikalle lupaavalta, vaikkakaan kyseinen prosessi ei lopulta toiminut.



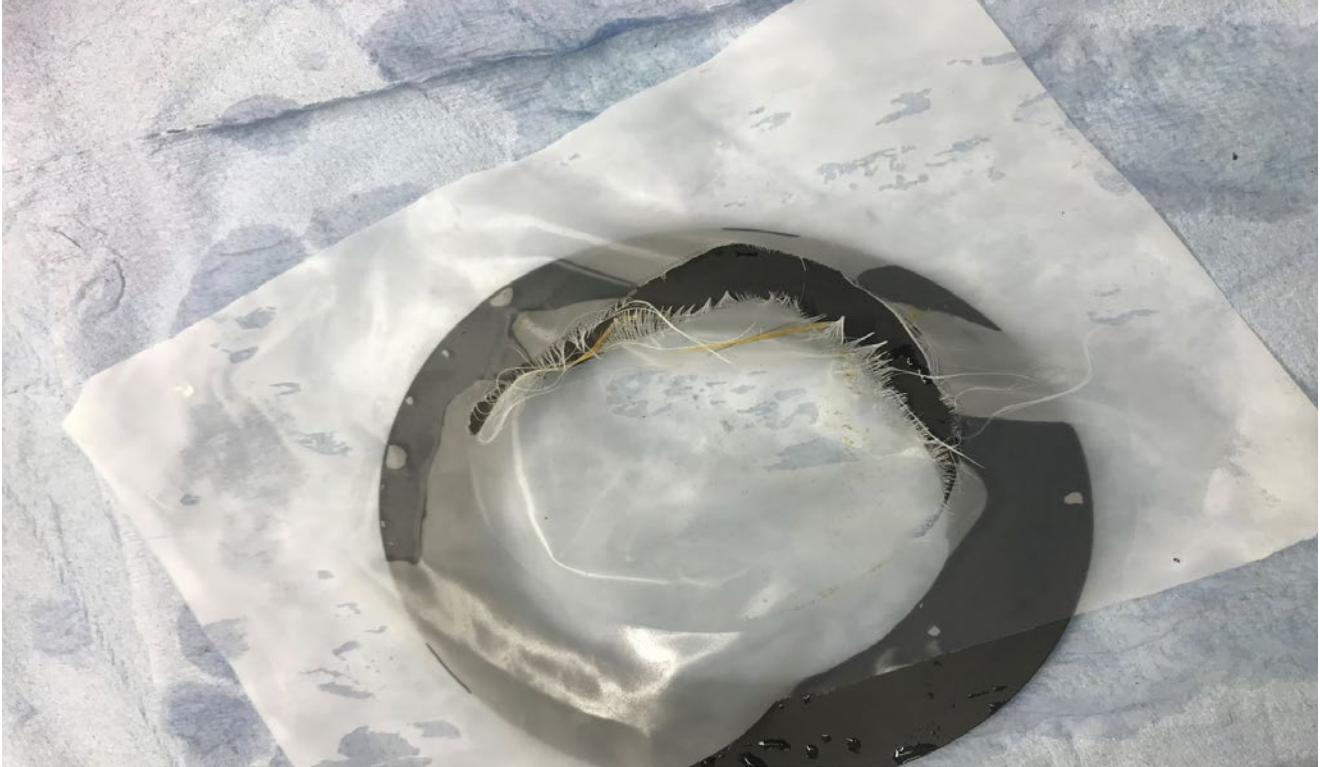
KUVA 1. a) Tukkiutuneen kehysuotopuristimen kakku, b) Ylipainesuodatin, omavalmiste.

Parhaiden kankaiden suodatuskykyä arvioitiin karkeasti panossuodatuksella paineistetulla suodattimella. Lopulta suodatinkankaiden vertailua varten hyödynnettiin pientä omarakenteista ylipainesuodatinta (KUVA 1b), jonka avulla kvantifioitiin eri kankaiden suodatuskykyä. Kokeiden aikana testattiin puutarhakäyttöön tarkoitettua suodatinkangasta sekä pyrittiin testaamaan käytössä olevat yksinkertaiset nailonkankaat läpi. Koelaitteen pyöreän suotinpinnan halkaisija on noin 5 cm. Kokeissa lietepanos asetettiin suodattimeen ja se pyrittiin puristamaan noin 2 barin paineella suodattimesta läpi viiden minuutin ajan. Mikään materiaaleista ei testatulla panoskoolla (noin 1,5 dl) suodattunut kokonaisuudessaan ja suodattuminen loppui ennen viiden minuutin koeajan päättymistä. Suodatinkankaalla sekä suurempi reikäisillä nailon kankailla pystyttiin suodattamaan jollain tasolla, mutta MON-60 kangas ehti tukkeutua ennen kuin suodosnäytettä ehti kertyä ja kangas repesi paineen alla (KUVA 2). Tämän seurauksena pienin reikäistä MON-25 kangasta ei testattu. Tulokset suodoksen laadusta on esitetty Taulukossa 7. Tuloksien perusteella voidaan sanoa, että hienojakoinen kiintoaine sisältää vielä fosforia ja sitä on mahdollista suodattaa pois myös pienemmillä suodattimilla. Eli kiintoainepitoisuuden laskiessa laskee myös fosforipitoisuus. Samalla huokoskoon pienetessä kalvon muodostus nopeutuu ja suodoksen läpivaluma laskee.

TAULUKKO 7. Parhaiten toimivien suodatinkankaiden suodatuksen kvantifionti.

Kangas	Näyte (MK R8)	Suodos	Suodoksen osuus näytteestä	Suodoksen KA	Suodoksen P	
	g	g	%	%	mg/kg	mg/kg KA
MON-200	153	43	28	2,80	297	10600
MON-100	153	39	26	2,63	258	9822
Harso	153	23	15	2,52	258	10239

Kokeiden perusteella toimiva suodattaminen vaatii suodattimen pinnan ajoittaista puhdistusta, mutta sopivilla laitteilla (suodatuspintaa kaapiva tai vastaava) ja yksinkertaisella kankaalla suodattaminen ei oletettavasti ole haaste sinänsä ainakaan tarpeeksi suurilla huokoskoilla. Suodatuksen aikana muodostuva kalvo vaikuttaisi muodostuvan kaikista pienimmistä partikkeleista (mahdollisesti mädätysjäännöksen ja biorejektin sisältämästä solukosta), joka voi hankaloittaa suodatusta tietyn kynnyksarvon alle menevässä huokoskoossa. Kokeissa toimivimmaksi on todettu yksin kertainen nylonkudos, joka laboratoriomittakaavassa on saatu toimimaan niin 200 kuin 100  $\mu\text{m}$  reikäkoolla. Tätä pienempi reikäiset kankaat ovat työläitä ja niiden toimivuutta pitäisi voida testata sopivammalla laitteistolla.

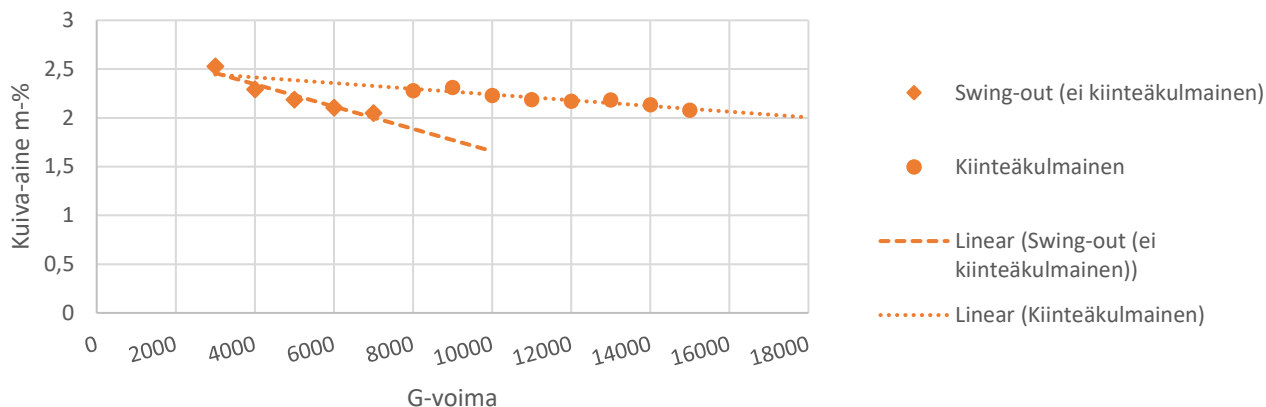


KUVA 2. MON-60 kangas painesuodatuksen jälkeen.

## 5.2 SENTRIFUGOINTI

Mädätysjäännöksen sekä biorejektin sisältämän kiintoaineen erottelua testattiin hankkeen aikana myös sentrifugointimenetelmillä. Erottelua testattiin niin laboratoriosentrifugilla kuin pilottimittakaavan dekanterisentrifugilla. Sentrifugointitestauksessa pyrittiin seuraamaan linkouksen aiheuttaman voiman vaikutusta nestejakeen kiintoainepitoisuuteen. Dekanterisentrifugia (ThermoScientific Multifuge X Pro Series) testattiin mädätysjäännöksen käsittelyyn. Kokeiden aikana todettiin, että mädätysjäännös täytyi esisuodattaa, jotta se voitiin edes pumpata laitteelle, sillä kyseisen laitteen sisäänotto tapahtuu pienellä peristaattisella letkupumpulla. Kiintoaine, jonka dekanterisentrifugi sai syötettyä ulos, oli murenevaa ja muihin menetelmiin verrattuna kuivempaa. Valtaosa hienommasta aineksesta, joka saatiin erotettua lietteestä, oli kuitenkin tahmaista eikä irronnut laitteen sisäisestä ulossyöttöruuvista. Osittain tämän johdosta (neste viipymä aika pieneni ruuvien täytyessä) ja osittain rajallisen pyörimisnopeuden (maksimi pyörimisnopeus 10 000 rpm) johdosta, sisälsi nestejake edelleen merkittävästi hienoainetta. Alustavasta testauksesta dekanterisentrifugilla siirryttiin seuraavaksi laboratoriosentrifugin käyttöön, jotta saataisiin parempi kuva hienoaineen laskeutumiseen tarvittavista voimista ja voiman vaikutuksista nestejakeen koostumukseen. Tulokset laboratoriossa tehdyistä sentrifugointikokeista Kuvioissa 1-3.

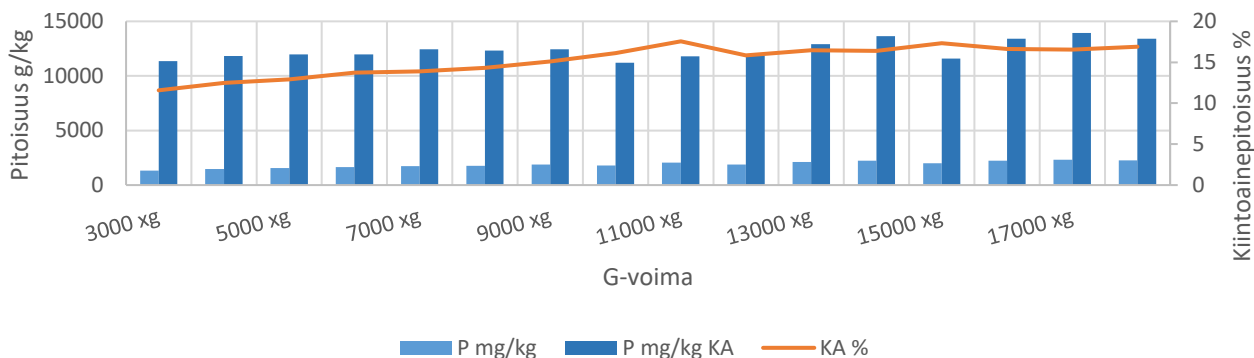
## Kuiva-aine nestejakeessa suhteutettuna linkousvoimaan



**KUVIO 1.** Linkousvoiman vaikutus erotellun mädätysjäännöksen nestejakeen kiintoainepitoisuuteen.

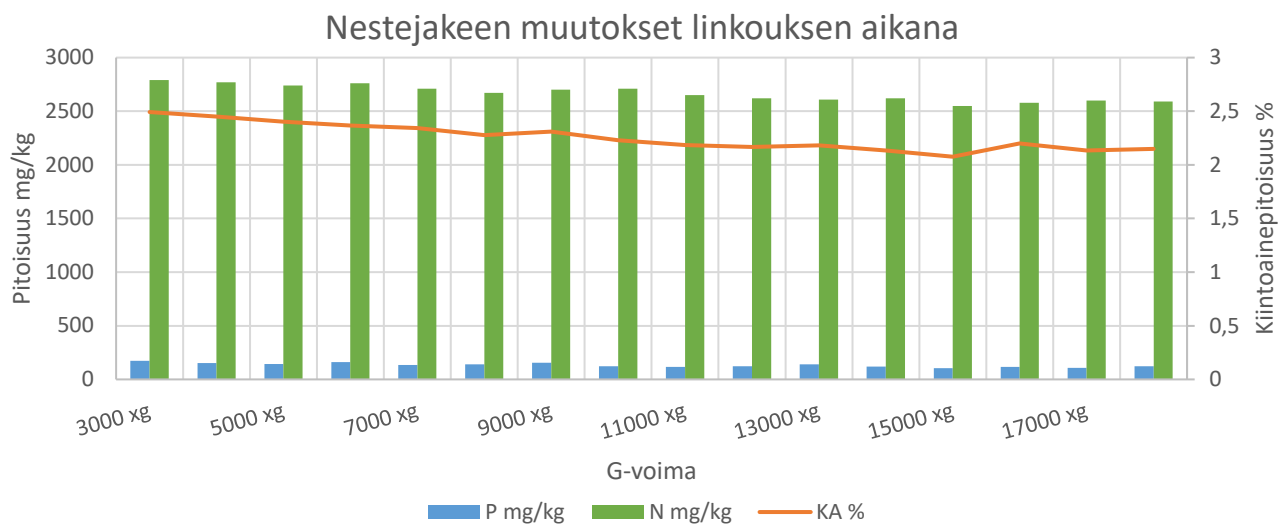
Kuviosta 1 nähdään nestejakeen kiintoainepitoisuuden laskevan alimmillaan reiluun 2 % ja jo pienimmilläkin g-voimilla (3000 xg) 2,5 % eli alle puoleen alkuperäisestä kiintoainemäärästä. Jäljelle jäävä supernatanttiliuos on ruskeaa ja läpinäkymätöntä, sakka tahmeaa ja kostea erikokoisia partikkeleja sisältävää tahnamaista materiaalia. Sentrifugoinnilla on tarkoitus lisätä materiaalin käsittelyä ja parantaa ravinteiden erottelua. Niinpä jakeista seurattiin kiintoainepitoisuuden lisäksi ravinnepitoisuuksia (P ja N). Kuviossa 2 on esitetty kiintoainesakan koostumuksen muutosta käytetyn g-voiman suhteen. Kuviosta nähdään, että fosforin osuus kiintoaineessa pääsääntöisesti kasvaa g-voiman kasvaessa, ja vaikuttaa tasaantuvan noin 13 000 xg:tä ja sitä suuremmilla voimilla. Myös kiintoaineen kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa tasaantuvan 11 000 xg:sta eteenpäin. Fosforipitoisuuden kasvu ei kuitenkaan ole suurta ja vaihtelu näytteiden välillä on merkittävää, mitä todennäköisimmin heterogeenisen näytteen johdosta. Tästä huolimatta yleistrendi on kasvava.

## Kiintoainejakeen muutokset linkouksen aikana



**KUVIO 2.** Linkousvoiman muutoksen vaikutukset kiintoainejakeen fosfori- ja kuiva-ainepitoisuuteen.

Vastaavasti nestejakeen kiintoainepitoisuus laskee yhdessä fosforipitoisuuden kanssa ja tasaantuu jonkin verran suuremmilla g-voimilla. Myös nestejakeessa vaihtelu on suurta, mutta trendi laskeva (KUVIO 3). Vastaava trendi voidaan nähdä myös typpipitoisuudessa. Tämä ei oletettavasti kuitenkaan johdu ainakaan merkittävässä määrin siitä, että tyyppiä siirtyisi kiintoainejakeeseen, vaan todennäköisemmin haihtuminen on voimakkaampaa mitä rankempi käsittely on. Kuten jo 3000 xg:n tuloksista nähdään, että typpipitoisuus on laskenut keskimääräisestä (märän näytteen typpipitoisuus mädätysjäännökselle noin välillä 3600–4100 mg/kg). Sama voidaan havaita myös fosforipitoisuudessa, joka mädätysjäännöksessä on tyypillisesti 600–750 mg/kg, mutta laskee nestejakeessa jo pienimmillä voimilla alle 200 mg/kg ja parhaimmillaan merkittävästi alle 150 mg/kg eli alle neljäsosaan alkuperäisestä.



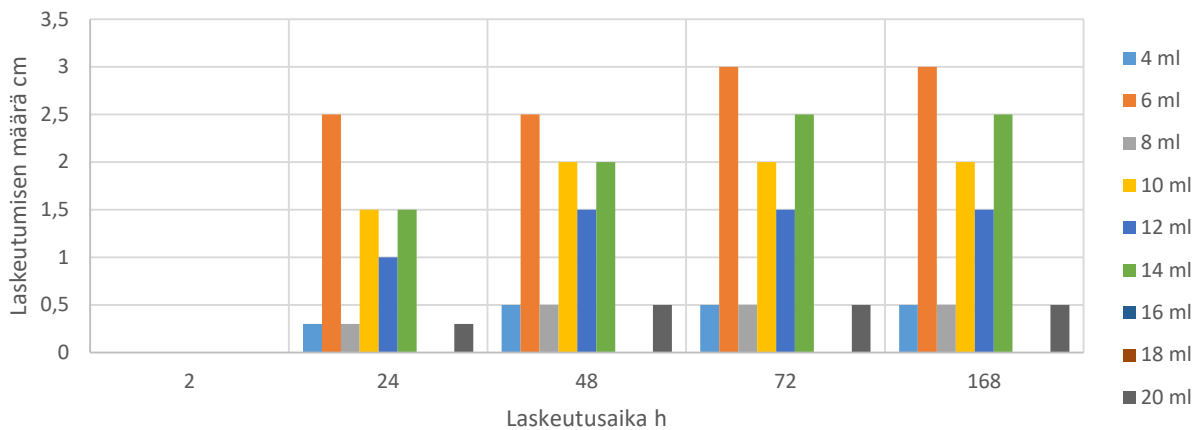
**KUVIO 3.** Linkousvoiman muutoksen vaikutukset nestejakeen fosfori-, typpi- ja kuiva-ainepitoisuuteen.

Mädätysjäännöksen sentrifugointi vähentää merkittävästi materiaalin kiintoainepitoisuutta ja siirtää jonkin verran fosforia. Vastaavaan kiintoaineen ja fosforipitoisuuden laskuun ei päästä ruuviseparoinnin avulla, ainakaan käytössämme olleessa koemateriaalissa. Fosforia on nestejakeeseen suspendoituneessa hienossa kiintoaineessa vielä merkittävästi ja sitä on mahdollista siirtää kiintoainejakeeseen linkoamalla.

### 5.3 FLOKKULOINTI, KOAGULOINTI JA LASKEUTUMINEN

Laboratoriossa testattiin erilaisia flokkulointiaineita / koagulointiaineita ja niiden vaikutusta mädätysjäännöksen laskeutumiseen ja käsiteltävyyteen. Oletettavan lannoitekäytön myötä keskityttiin biopohjaisiin materiaaleihin, jotta mädätteisiin ei lisättäisi potentiaalisesti haitallisia aineita. Erilaisia aktivoituja ja muita luonnonmateriaaleja on käytetty onnistuneesti jätevesien puhdistukseen. (Asharuddin ym. 2019, Popovic ym. 2017, Turunen ym. 2019, Usefi ym. 2019) Mädätysjäännöksen sakeus erottaa sen jäteveden käsitelystä, joten haluttiin tutkia voisiko vastaavia materiaaleja hyödyntää myös tällaisten paksujen, runsaasti orgaanista materiaalia sisältävien lietteiden kanssa. Käytössä oli luonnollisia flokkulanteja, kuten tärkkelys-, tanniini- ja kitiiniliuoksia, sekä Haarla Oy:n tarjoamia teollisen vedenpuhdistukseen tarkoitettuja, flokkulanteja pääsääntöisesti 1 % liuoksina. Käytetyistä flokkulanteista yksi oli biopolymeeri (A) jonka rinnalla käytettiin kahta perinteisempää flokkulanttimateriaalia (B, C). Flokkulanttien käytössä tarkkailtiin, erottuuko neste ja kiintoaine paremmin omiksi jakeikseen. Pääsääntöisesti tämä tarkoitti kiintoaineen laskeutumisen silmämääräistä tarkastelua ja erottuneiden faasien analysointia.

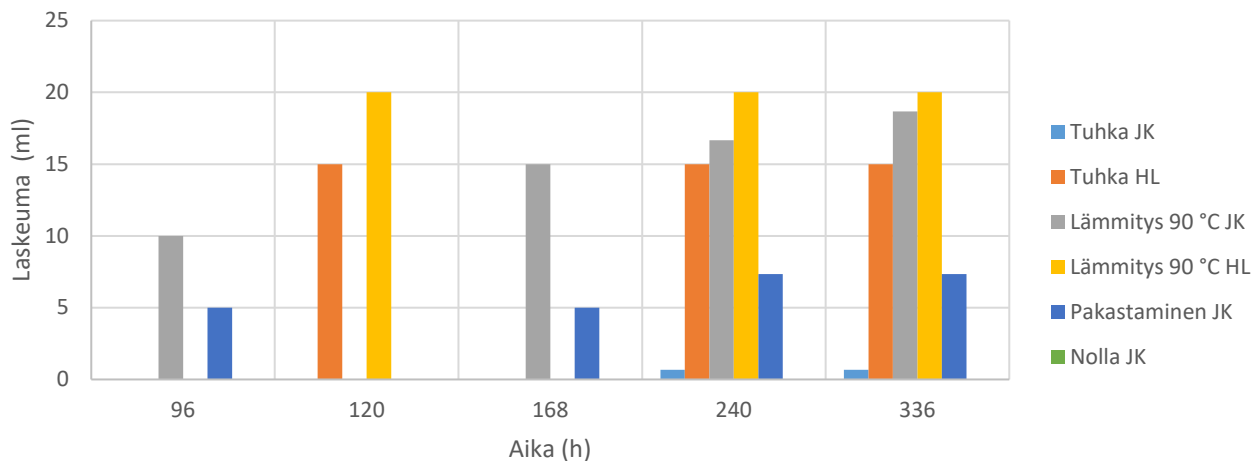
## Pakastetun mädätysjännöksen laskeutuminen biopolymeerin avulla



KUVIO 4. A-flokkulantti lisäyksen vaikutus eri maltillisina tilavuusosuuksina ajan suhteen.

Ensimmäisissä koe-erissä käytettiin flokkulantteja 1%-liuksina pienillä lisäyksillä (2-10 %). Tämän kokoiset lisäykset eivät vaikuttaneet materiaaliin. Seuraavissa kokeissa flokkulantti annosta lisättiin, kokeet aloitettiin A-flokkulantilla. Kuviossa 4 nähdään flokkulanttiliuoksen 2-10 vol- %:n lisäysten vaikutukset laskeutumisaikaan viikon kestäneissä kokeissa. Parhaiten kokeessa laskeutui nollanäyte. Alustavissa kokeissa käytetty mädätämateriaali oli pakastettua. Pakastamisen on havaittu mädätysjännöksen kanssa työskentelyn myötä edistävän laskeutumista verrattuna jääkaapissa säilytettyyn materiaaliin. Havainnon johdosta jatkokokeiden aikana päädyttiin tutkia myös jäädyttämisen ja kuumentamisen vaikutuksia laskeutumiseen. Samaan aikaan koesarjaan lisättiin myös ravinteiden saostamisen vaikutus laskeutumiseen, lisäämällä magnesiumpitoista tuhkaa mädätysjännökseen fosforin ja typen samanaikaisesti saostamiseksi. Tuhkan lisäys nostaa materiaalin pH:ta ja sillä on aiemmissa kokeissa havaittu olevan vähäinen, mutta positiivinen vaikutus suodatettavuuteen. Flokkulanttien lisäyksen määrää tutkittiin yhdessä pakastamisen, kuumentamisen ja ravinteiden saostamisen (tuhkalisäys) rinnalla. Kokeissa käytettiin biorejektia MK R9. Kuviossa 5 on esitetty vaikutukset materiaaleissa, joissa havaittiin mitattavaa muutosta. Tärkkelyksen, kitiinin ja tanniinin käsitellyissä havaittiin mahdollista flokkuloitumista pinnalle, mutta flokkuloinnin määrää ei ollut mahdollista selvittää, flokkuloinnin ollessa vain osittaista.

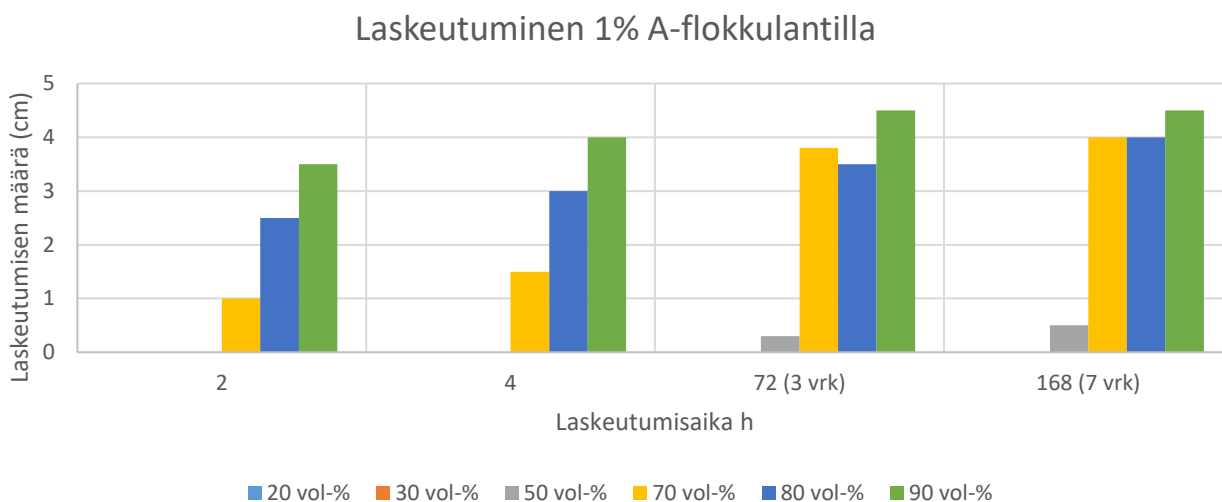
## Käsittelyjen ja säilytyslämpötilan vaikutus laskeutumiseen



KUVIO 5. Eri lisäaineiden ja käsittelyjen vaikutukset laskeutumiseen.

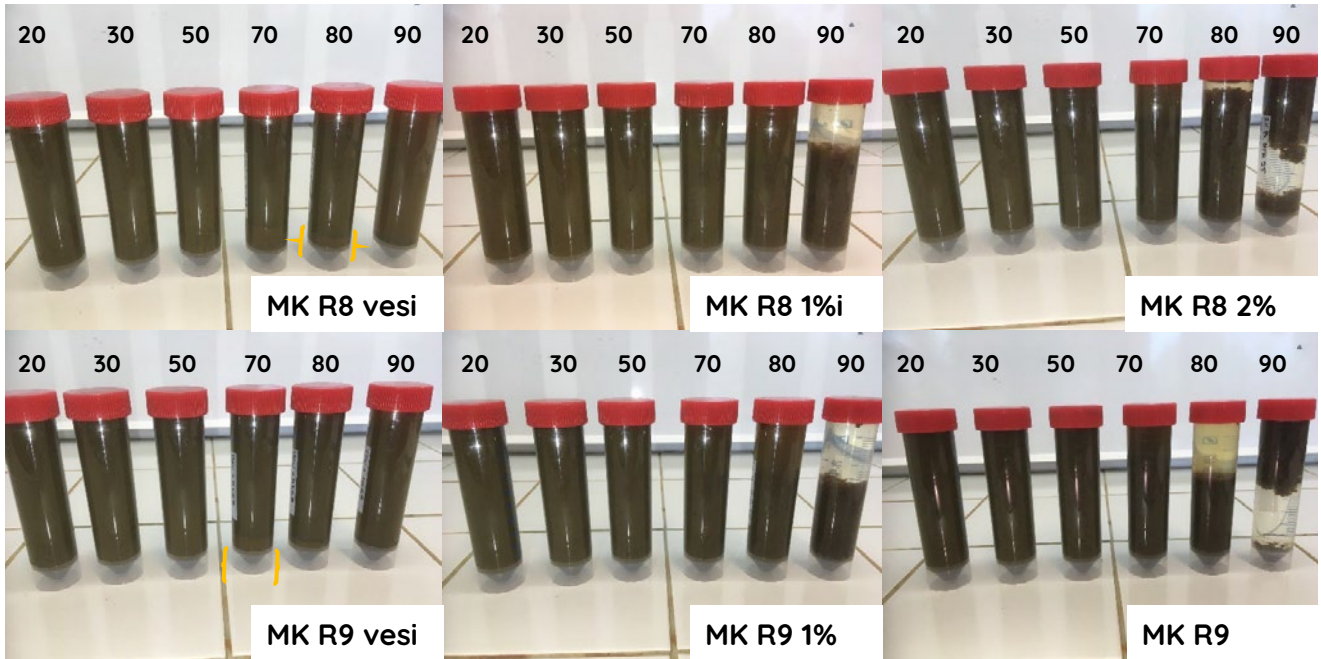


Flokkulanttien vähäisen vaikutuksen vuoksi tarkasteltiin kaupallisen flokkulantin A (1-% liuos) kohdalla suurempia lisäysmääriä (KUVIO 6). Kokeissa havaittiin, että ajalla on edelleen vaikutusta laskeutumisen määrään, mutta suurilla annoksilla valtaosa laskeutumisesta tapahtuu suhteellisen nopeasti. Mädätteen tilavuuteen nähden flokkulanttiliuoksen määrä ei kuitenkaan voida ajatella olevan järkevää, jos loppuliuksen tilavuudesta 90 % on peräisin flokkulanttiliuoksesta. Tämän seurauksena suoritettiin jatkokeiteita, joissa tarkasteltiin väkevämpää liuosta ja veden lisäystä, sillä laskeutumista voi häiritä myös mädätysjäännöksen sakeus ja viskositeetti. Tämän seurauksena suoritettiin vertailukoikeita käyttäen 1% ja 2% A-liuoksia.



**KUVIO 6. Biopolymer HTH25 -flokkulantin lisäyksen vaikutus eri merkittävänä tilavuusosuuksina ajansuhteen.**

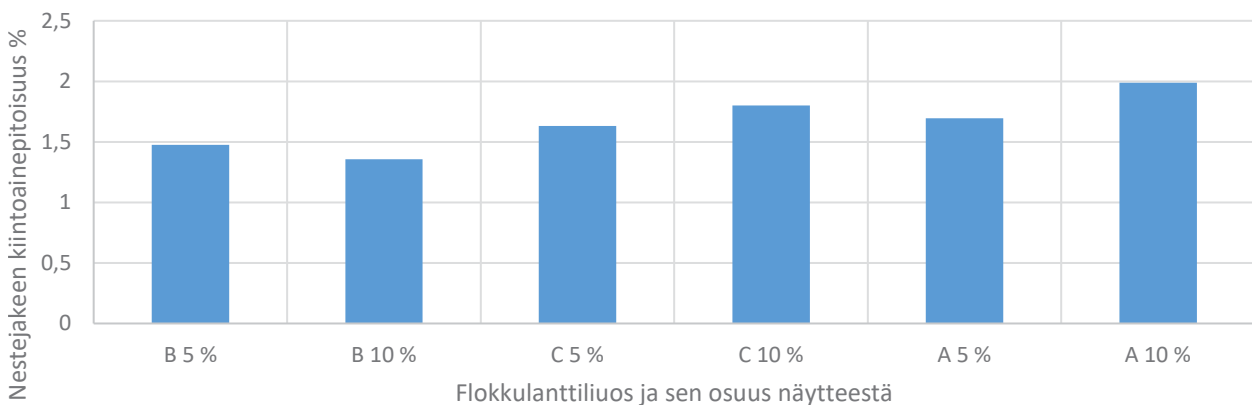
Flokkulointia testattiin niin käsittelemättömälle mädätysjäännökselle (MK R8) kuin biorejektille (MK R9). Kokeen lopputuloksissa kiinnostavaa on huomata, että suuret flokkulanttipitoisuudet tuottavat kirkasta nesteä, joka kirkastuu asteittain flokkulantin määrän lisääntyessä. Lisäyksillä flokkulantin vaikutus saa kiintoaineen laskeutumaan, mutta suuremmilla lisäyksillä (2% liuos) kiintoaine nousee pintaan nesteen erottuessa sen alle (KUVA 3). Samanaikaisesti tehtiin myös rinnakkaiskokeet veden lisäyksestä ja sen vaikutuksesta kiintoaineen laskeutumiseen. Karkeampi kiintoaine laskeutuu hyvin, vaikka laskeutumisen havaitseminen on haastavaa nesteosuuden merkittävän hienoaineosuuden ja sitä seuraavan tummuuden johdosta. Tästä huolimatta kuvissa 3 a ja d voidaan nähdä, kuinka karkea kiintoaine on laskeutunut pohjalle. Veden lisäys ei kuitenkaan siis poista hienoa kiintoainetta, toisin kuin flokkulantit. On kuitenkin mahdollista, että reaktion ja erottumisen saavuttamiseksi vaaditaan enemmän tilaa kuin mädätysjäännöksessä on tarjolla selkeän laskeutumisen tai kohoamisen ja sitä seuraavan erottelun mahdollistamiseksi.



KUVA 3. Flokkulantin A ja veden lisäyksen vaikutus mädätysjäännöksen (MK R8) ja biorejektin (MK R9) kiintoaineen erottumiseen nestejakeesta.

Flokkuloitumisen myötä testattiin myös flokkulanttikäsiteltyjen lietteiden sentrifugointia. Kokeissa hyödynnettiin kaupallisia Haarla Oy:n flokkulantteja. B- ja C-flokkulantit lisättiin 1 % liuoksina ja A-flokkulantti laimentamattomana liuoksena. Näytteet sentrifugoitii 18 000 xg voimalla kiinteäkulmaisella roottorilla ja erottuneet neste ja kiinteä faasi eroteltiin. Kuviossa 8 on esitetty sentrifugoinnin jälkeisen nestefaasin kiintoainepitoisuus, joka jää alle 2 % kaikilla materiaaleilla, eli kiintoainepitoisuus saadaan pienemmäksi kuin pelkällä mädätysjäännöksen sentrifugoinnilla on mahdollista. Parhaimmillaan B-flokkulantin lisäys pienentää kiintoainepitoisuuden alle 1,5 % eli karkeasti noin neljäsosaan alkuperäisestä keskimääräisestä.

### Sentrifugoitu flokkuloitu mädäte



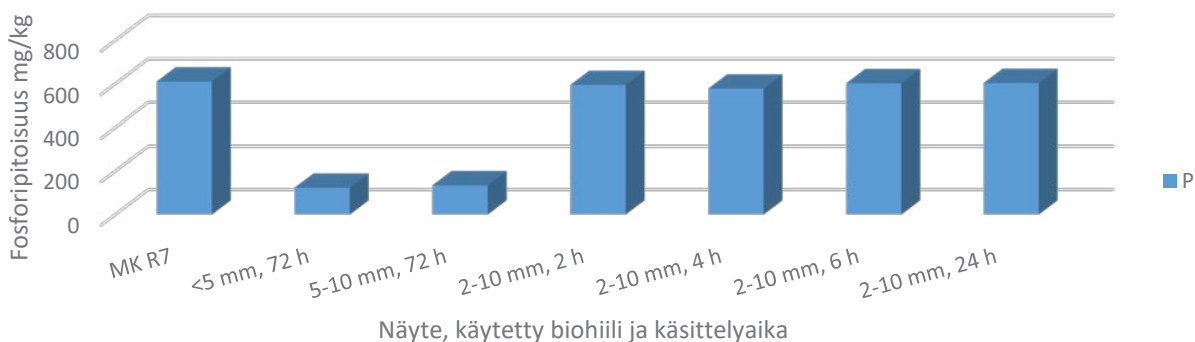
KUVIO 8. Kaupallisten flokkulanttien lisäyksen vaikutus mädätysjäännöksen kiintoaineen eroteltavuuteen sentrifugoidessa.

## 5.4 BIOHIILEN HYÖDYNTÄMINEN FOSFORIN TALTEENOTOSSA

Biohiilen avulla tutkittiin suodatuksen lisäksi hiilen fosforin sitomiskykyä mädättemateriaaleista. Kokeissa hyödynnettiin Carbons Finland Oy:n tarjoamia biohiilinäytteitä ja mädätysjäännöstä sekä biorejektia. Alustavissa kokeissa tarkkailtiin ajan vaikutusta fosforin sidontakykyyn (Kuvio 9). Kokeissa käytettiin aluksi laajimman kokojakauman omaavaa biohiiltä (2-10 mm). Alle 24 h kestoisella vaikutusajalla ei havaittu olevan merkitystä fosforin määrään suodoksessa.

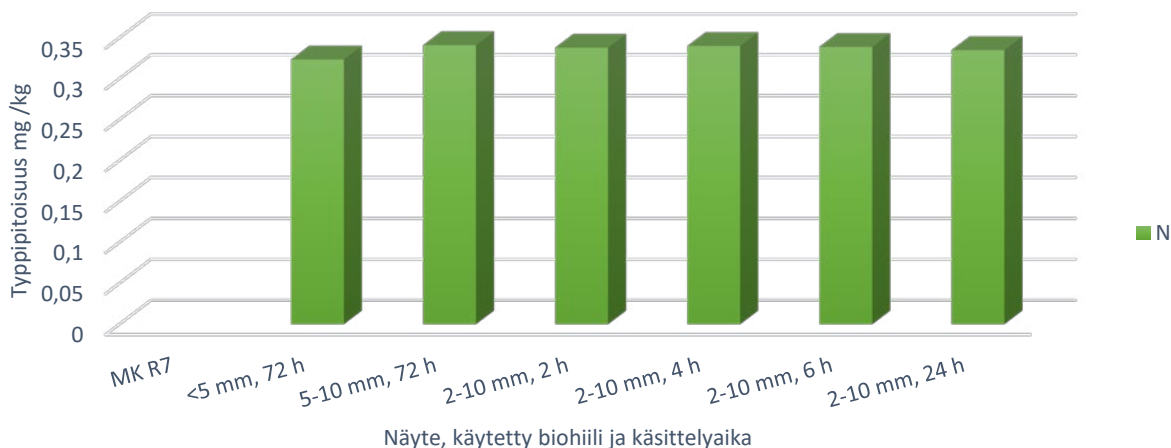
Kokeiden pituutta lisättiin ja siirryttiin suurempiin partikkelikoon hiiliin, jotta hiilen erottelu kokeen päättyessä helpottuisi, mädätemateriaalien suodatusaasteiden ratkaisemiseksi. Hiilimäärää vaihdeltiin välillä 0,7-4,0g/ dl sopivan annostuksen löytämiseksi. Kokeiden aikana havaittiin, että biohiilen vettäminen vie merkittävästi aikaa ja siten käsittely vaatisi myös merkittävän ajan mädätysprosessin jälkeen, lisäten potentiaalisesti lietteen varastointiin tarvittavaa tilaa. Havaitun käytöksen perusteella tehtiin jatkokokeita, joissa testattiin biohiilen vettämistä ionivaihdetulla vedellä ennen sen mädätysjäännökseen lisäämistä.

### Fosforin määrä biorejektissä



KUVIO 9. Ajan vaikutus biohiilen fosforin talteenottokykyyn

### Typpin määrä biorejektissä



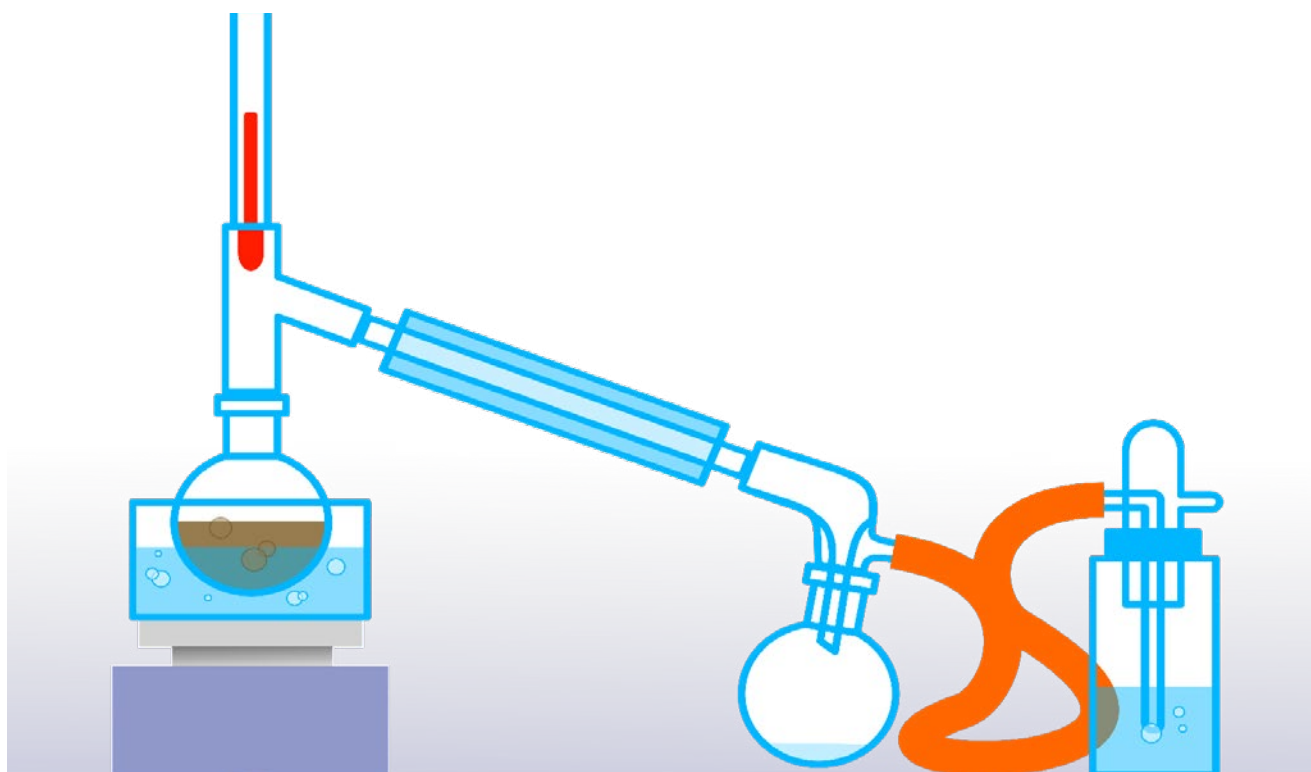
KUVIO 10. Typpin määrä liuoksessa biohiilen fosforin talteenoton jälkeen.

Jatkokokeissa tutkittiin ajanjaksoja 2-72 h niin vettäminen kuin fosforin talteenoton osalta. Taulukossa 8 on esitetty vettäminen vaikutus liuoksen fosforipitoisuuteen. Taulukosta nähdään, että vettämisellä voidaan säästää merkittävästi aikaa, joka fosforin imeytymiseen vaaditaan. Näiden kokeiden perusteella 2 h vettäminen yhdistettynä 24 h fosforintalteenottoon säästäisi aikaa ja toimisi saman tasoisesti kuin 72 h imeytymisaika ilman vettämistä. Fosforin talteenotto-kyky ei vettämisessä noussut yhtä korkealle kuin alkuperäisissä 72 h kokeissa, joissa fosforin poistokyky oli lähellä 80 %. Tästä huolimatta se oli huomattava myös jatkokokeissa, jossa parhaimmillaan fosforista saatiin talteen yli 35 % fosforista. Koska kokeissa hyödynnettiin rejekti, oli osa mädätysjäännökseen fosforista otettu talteen jo maatilalla ruuvipuristuksen yhteydessä.

TAULUKKO 8. Vettämisen ja imeytymisajan vaikutus liuoksen fosforipitoisuuteen biohiilellä.

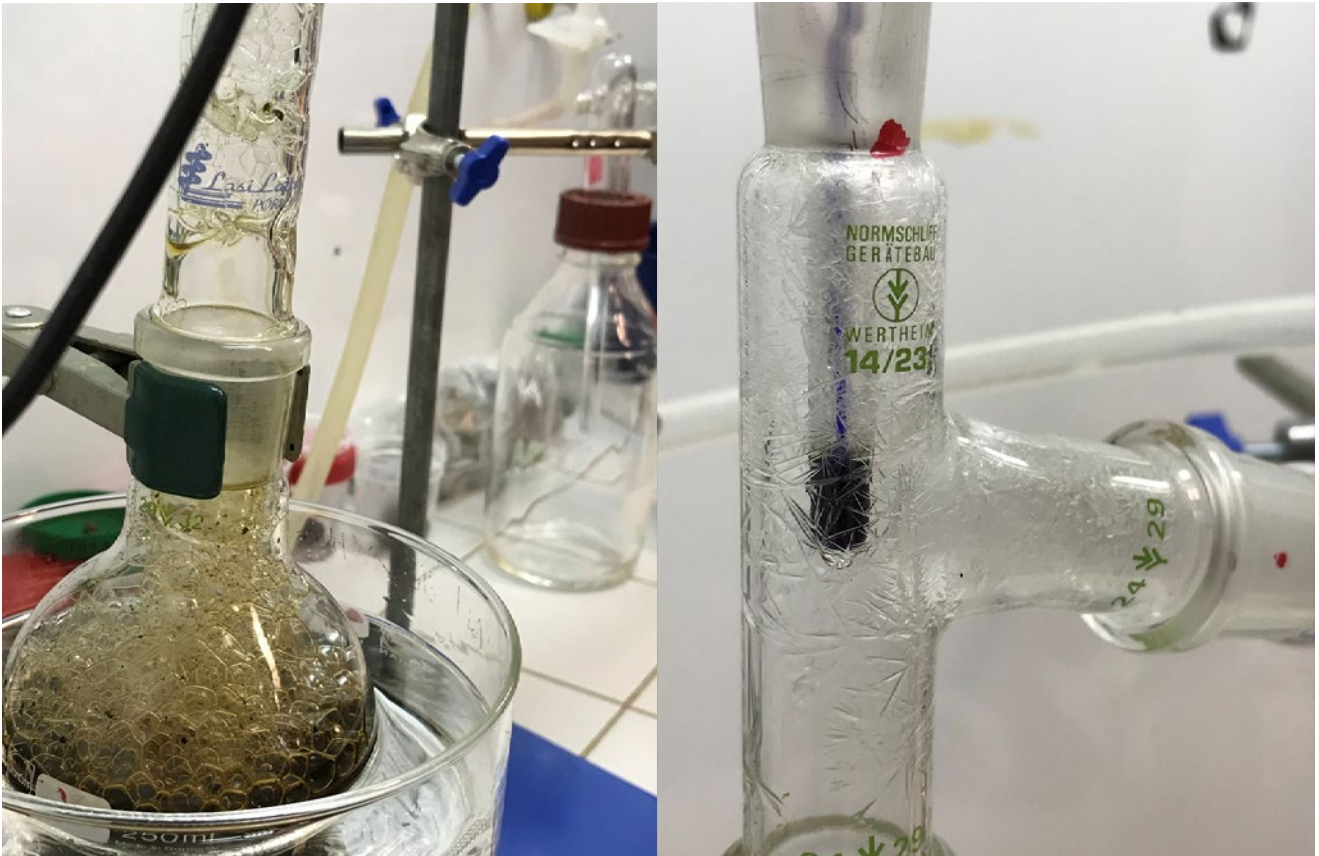
Vettäminen		Rejekti	Aika (h); fosforipitoisuus mg/kg					
			2	6	24	48	72	
Aika (h)	0		664				545	425
	2			595	550	429	462	487
	6			585	515	460	558	649
	24			594	524	497	567	596
	48			629	510	489	564	569
	72			650	640	533	554	608

## 5.5 KONSENTROINTI JA TISLAUS



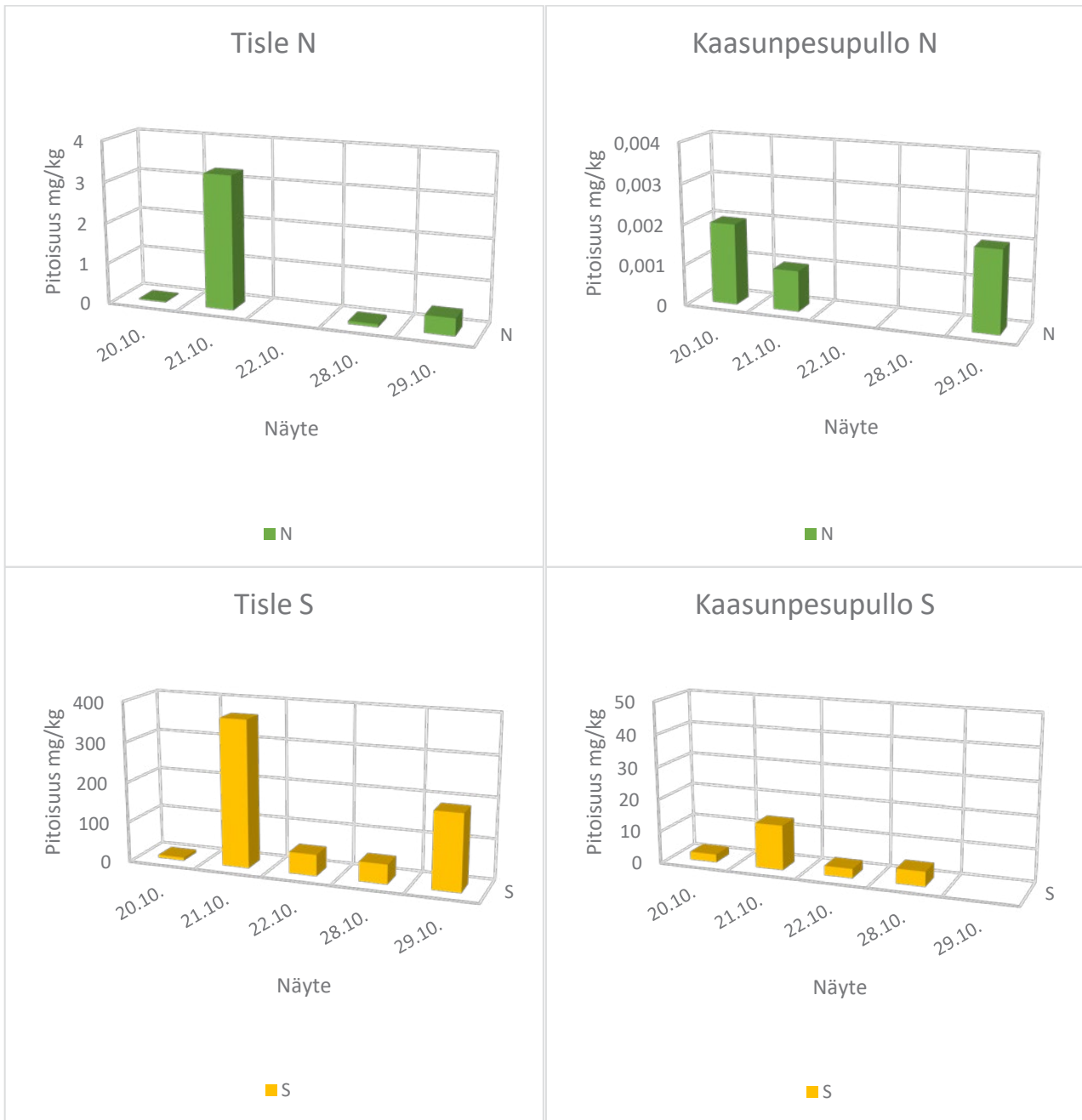
KUVIO 11. Määtysjäännöksen tislaukseen käytetty tisluslaitteisto.

Laboratoriokokeissa tutkittiin konsentroinnin vaikutusta koostumukseen eri lämpötiloissa sekä yhdessä saostajien kanssa. Konsentroidinnilla ei havaittu vaikutusta käsittelystä huolimatta materiaalin suodatettavuuteen. Kuviossa 11 on esitetty kaaviokuva määtysjäännöksen tislaukseen käytetystä laitteistosta. Tislauksen avulla tutkittiin konsentroidinnin aikana muodostuvaa höyryä/kaasua tiivistämällä höyry vesikierron avulla ja puluttamalla muodostuva paine vedellä täytetyn kaasunpesupullon kautta pois. Tisla oli pistävän hajuista tyyppä ja rikkiä sisältävää vesiliuosta (KUVIO 12). Kaikki tyyppi ja rikki eivät kuitenkaan tiivistyneet veden kanssa vastaanottoastiaan, vaan molempia aineita päätyi myös kaasunpesupulloon. Kaasunpesupullon sisältämän nesteen pitoisuudet eivät ole verrannollisia tisleeseen tai toisiinsa, sillä pullon vesimäärä vaihteli kokeesta kokeeseen. Kaasunpesupullon käytöllä oli tarkoitus selvittää millaisia kaasuja pääsisi pakenemaan höyryn tiivistämisestä huolimatta.



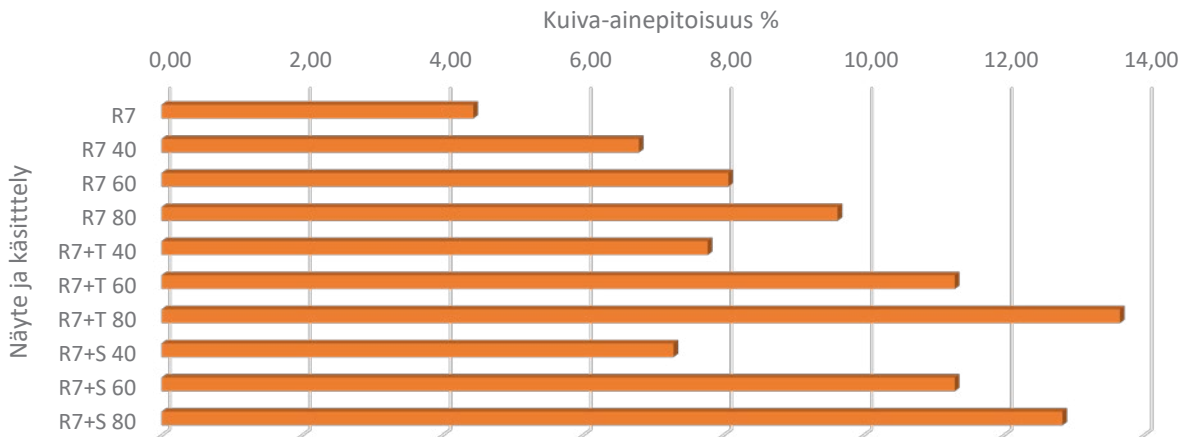
**KUVA 4.** Mädätysjäännöksen tislauksen a) mädätysjäännöksen epätasainen kiehuminen ja vaahtoaminen, b) tislauksen aikana tapahtuva kiteytyminen.

Konsentrintikokeissa biorejektin, biorejektin ja tuhkan sekä biorejektin ja suotokakun seoksia konsentroidtiin vesihäuteen avulla. Kokeissa käytettiin kolmea eri lämpötilaa 40 °C, 60 °C ja 80 °C. Koeolosuhteilla pyrittiin selvittämään mitä kondensointi aiheuttaa nestefaasin alkuainetasapainolle ja eroteltavuudelle kiintoaineesta. Kuviossa 13 on esitetty näytteiden kuiva-ainepitoisuudet kondensoinnin jälkeen verrattuna käsittelemättömään MK R7 biorejektin kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuus kasvaa lämpötilan kohotessa voimakkaamman haihtumisen seurauksena ja kuiva-ainepitoisuus on suurempi tuhka- ja suotokakkukäsittelyissä, sillä biorejektin sekaan on lisätty kiintoainetta ennen koetta.



**KUVIO 12.** Tisleeseen ja kaasunpesupulloon päätyvät alkuaineet. Tyypeä ei voitu mitatta näytteestä 22.10. näytteen pienen koon vuoksi.

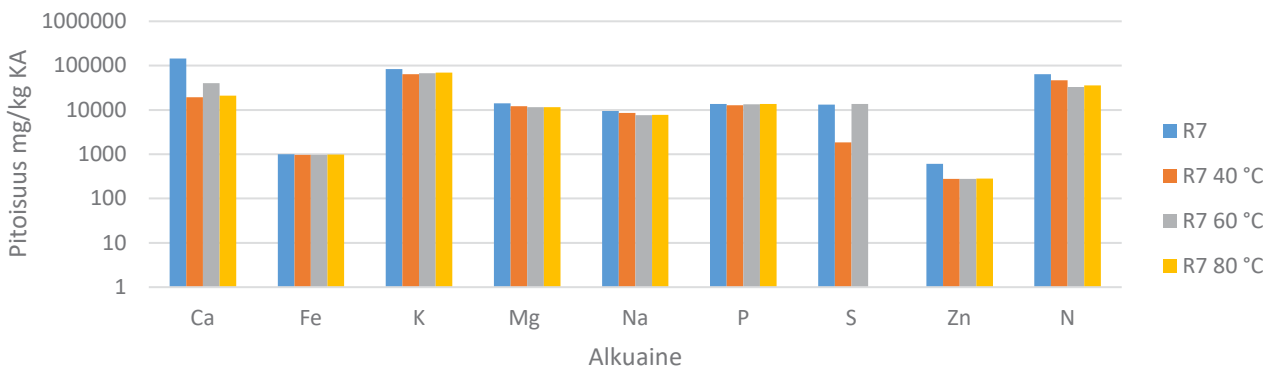
## Kuiva-ainepitoisuus konsentroiduissa näytteissä



KUVIO 13. Kuiva-ainepitoisuuden muutokset konsentroiduissa eri lämpötiloissa ja käsittelyissä.

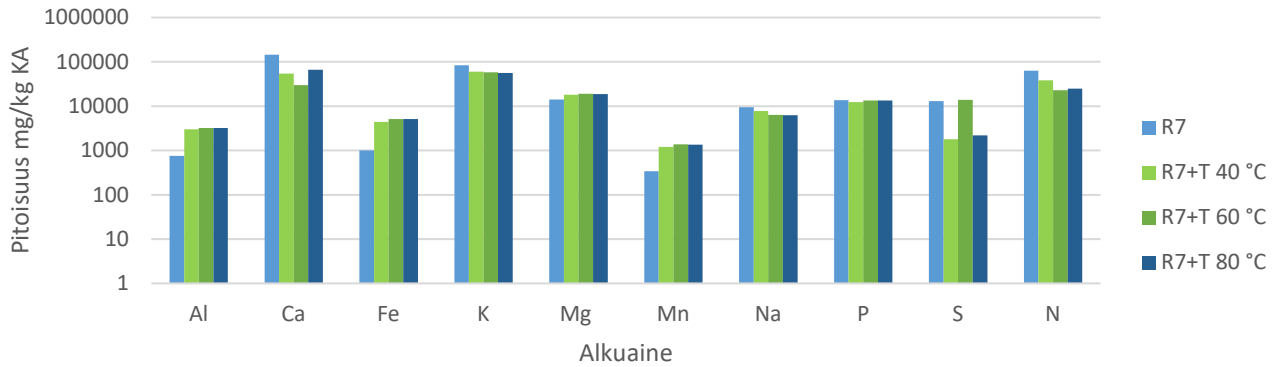
Kuvioissa 14-16 on esitetty eri käsittelyjen ja kondensoinnin seuraukset näytteen koostumukselle (kuvioihin on sisällytetty pääkomponentit, joiden pitoisuus on > 1000 mg/kg KA) verrattuna alkuperäisen MK R7 biorejektin kokonaiskoostumukseen kuiva-aine kiloa kohden. Typpi vähenee lämpötilan kasvaessa, kuten on odotettavissa, muut alkuainevaihtelut ovat oletettavasti lietteen heterogeenisyydestä peräisin. Tuhka- ja suotokakkukäsittelyt lisäävät typen haihtumista korkeissa lämpötiloissa, lisäysten aiheuttaman pH:n nousun vuoksi. Muut selkeät poikkeamat pelkän lietteen ja seosten välillä johtuvat oletettavasti suotokakun ja tuhkan lisäyksestä (alumiini, raudan, mangaanin määrän kasvu tuhkaseoksissa ja alumiinin ja raudan määrän kasvu suotokakkuseoksissa).

## Biorejekti



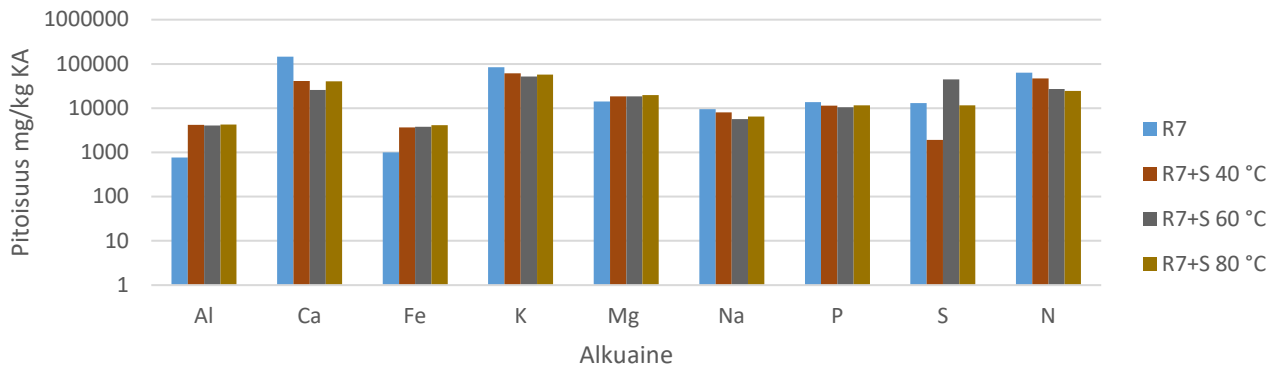
KUVIO 14. Biorejektin kondensointikäsittelyn vaikutukset alkuainejakaumaan.

### Biorejeki-tuhka -seos



KUVIO 15. Biorejeki-tuhka -seoksen kondensointikäsitteilyn vaikutukset alkuainejakaamaan.

### Biorejeki-suotokakku -seos

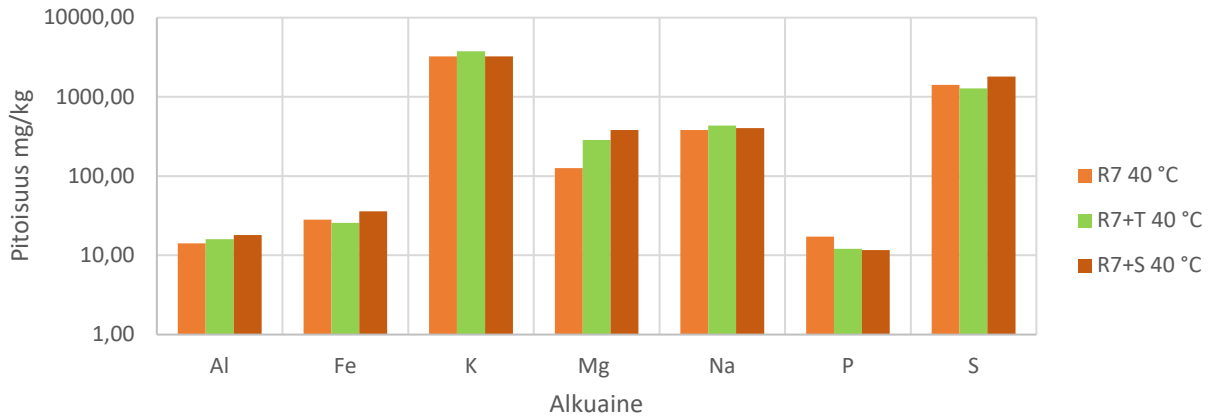


KUVIO 16. Biorejeki-suotokakku -seoksen kondensointikäsitteilyn vaikutukset alkuainejakaamaan.

Kokonaiskoostumuksen lisäksi nestejakeiden koostumusta tarkasteltiin. Kondensoinnin jälkeen näytteet suodatettiin MON-200 suodatinkankaan ja 0,45 µm ruiskusuodattimen läpi, jotta nähtäisiin muutokset nestefaasissa ja voitaisiin havainnoida mahdolliset muutokset suodatuksen kannalta. Suodatus ei helpottunut huomattavasti käsitteilyllä, mutta eri käsitteilyillä oli vaikutusta nestefaasin koostumukseen. Vain 40 °C konsentroitinäytteistä saatiin kattava näytteenotto analyysijä varten, muut näytteet olivat liian haastavia suodattaa. Kuviossa 17 on esitetty nestejakeen koostumuksen (pitoisuudet > 10 mg/kg). Kuvion perusteella fosfori on saostunut hyvin konsentroidin aikana ja vain 1–2 % fosforista on nestejakeessa. Nestejakeet sisältävät pääosan näytteiden hyvin liukoisista materiaaleista, eli kaliumista, natriumista sekä rikistä.



## Nestejakeen koostumus



KUVIO 17. 40 °C konsentroitujen näytteiden nestejakeen alkuainepitoisuus.

### 5.6 ERI MENETELMIEN EROTUSKYKY

Yleisesti mitä tarkemmin hieno kiintoaine saadaan eroteltua nestejakeesta, sitä paremmin saadaan eroteltua fosfori ja typpi toisistaan. Se kuinka pitkälle prosessi kannattavuuden kannalta voidaan viedä, riippuu monista tekijöistä. Runsaasti energiaa ja/tai lisättäviä kemikaaleja vaativat menetelmät eivät välttämättä ole kannattavia maatilakokoluokassa. Harkittavaa on myös mihin käyttöön tuotteet on tarkoitus käyttää. Jos ruuvipuristimen saavuttama erottelu kyky on riittävä, ei jatkotoimenpiteisiin ole järkevää investoida. Tutkituista menetelmistä parhaan erottelukyvyn saavutti linkous. Suodatus sekä imeytys biohiileen olivat myös tehokkaita menetelmiä erottaa fosfori nestejakeesta tietyissä oloissa. Biohiilen fosforin talteenotto kyky kuitenkin vaihteli voimakkaasti kokeiden aikana. Käytetyn mädätysjännöksen suodattaminen oli haastavaa, ja suodatuksen tehostamiseksi ja mahdollistamiseksi pienemmillä seuloilla tarvitaan suodatustekniikka, jossa suodatuspintaa puhdistetaan aika ajoin. Tällaisessa suodatuksessa voidaan potentiaalisesti päästä merkittävästi parempiin tuloksiin, sillä osittainen suodattaminen onnistuu myös pienillä huokoskoilla. Laboratoriossa tehtyjen kokeiden perusteella linkous on siis tehokkain fosforin talteenottomenetelmä. Kun huomioidaan että jatkuvatoiminen linkous ei sovi kaikille materiaaleille tilamittakaavassa parhaaksi vaihtoehdoksi jää suodatus. Mikäli menetelmiä on mahdollista yhdistää tai suodatusta avustaa esimerkiksi kogulanteilla kannattavasti, ovat erottelutulokset odotettavasti parempia. Kustannushaasteiden sekä sopivien kemikaalien löytäminen voi kuitenkin olla hyvin vaativaa.

## 6 TILALLA KANNATTAVAT KÄSITTELYMENETELMÄT

Suomessa maatilakokoluokan biokaasulaitoksen ovat pääasiassa nauttiloilla, erityisesti maitotiloilla, mutta esimerkkejä myös sian lantaa hyödyntävistä laitoksista kuitenkin on (Anttila 2019, Degerman 2015, e-farm 2023, Haverinen 2014, Hyttinen 2022, Jokiaho 2021, Laaksonen ym. 2017, Laatikainen 2022, Lehtonen 2021, Mulari & Viitasalo 2020, Nevalainen 2017, Poikelin 2018, ProAgria 2018, Uusiouutiset 2020, Yle 2018, Ympäristöministeriö 2022). Maatilakokoluokan biokaasulaitoksia on maatilojen lisäksi myös joillain oppilaitoksilla ja Luonnonvarakeskuksella (Biokaasulaitokset kartalla 2021, Ympäristöministeriö 2022). Myös tilayhteistyötä on Suomessa jo kokeiltu Juvan Bioson Oy:n ja Biohauki Oy:n toimesta (Winquist ym. 2018). Kaiken kaikkiaan käytössä on monikirjava kattaus erilaisia tiloja ja laitoksia, ja siten erilaisia tarpeita myös mädätysjäännöksen käsittelylle. Tässä kappaleessa pyritään esittämään erilaisia vaihtoehtoja käsittelymenetelmille. Samalla käydään läpi nykyistä tilakokoluokan biokaasutuotannon infrastruktuuria.

Biokaasulaitokseen investointi on merkittävä satsaus tilalle kuin tilalle, ja siten tilakoko sanelee monesti biokaasun tuotantoon ja sen tuotteiden jatkojalostukseen investoinnin kannattavuuden. Monissa selvityksissä ja raporteissa on tuotu esille lannan potentiaali niin biokaasutuksessa, kuin ravinteena (Luostarinen 2019, Jääskeläinen 2020). On kuitenkin oleellista ottaa huomioon mistä lantapotentialia koostuu, eli minkä kokoisissa yksiköissä lantaa muodostuu. Koska lannan tai lietelannan kuljetus ei pitemmillä välimatkoilla ole kannattavaa, on realistista lantapotentialia usein vain sellainen, joka on kannattavaa toteuttaa tilalla (vs. keskitetty laitos), eli tilakoko rajaa nykytilanteessa osan potentiaalista saavuttamattomiin. Suomessa on arvioitu tilalla olevan kannattavaa sijoittaa biokaasureaktoriin, jos tilalla on lypsykarjaa 150-160 päätä (Motiva 2013, Winquist ym. 2015).

Suomessa vuonna 2022 36 % (32 % vuonna 2021) maitotilojen lypsylehmiä elää tiloilla, joissa on vähintään 100 lypsy-lehmää (2022 tämä tarkoittaa 11 % maitotiloista). Pohjanmaan maakuntien (Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaa sekä Pohjanmaa) alueella vastaava luku on 36 % (31 % 2021). Tämä tarkoittaa, että koko maassa 11 % tiloista on sellaisia, joissa on yli 100 lypsy-lehmää ja vastaavasti Pohjanmaan maakuntien alueella tiloista 13 %. Konkreettisesti tilamäärässä tämä tarkoittaa yli 250 tilaa, mikä on kokoaisuudessa merkittävä osa (46 %) koko Suomen yli 100 lehmän lypsytiloista. (Luke 2022) Tälle alueelle sijoittuu 18 (Pohjois-Pohjanmaa 9; Keski-Pohjanmaa 6, Etelä-Pohjanmaa 3) maatilakokoluokan biokaasulaitosta eli merkittävä osa tällä hetkellä käytössä olevista maatilojen biokaasulaitoksista (laitoksia kaikkiaan noin 20-30). (Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Hyttinen 2022, Laaksonen ym. 2017, Savela 2021, Ympäristöministeriö 2022)

### 6.1 TILAKOKOLUOKAN BIOKAASULAITOKSET SUOMESSA

Maatilakokoluokan biokaasulaitoksia on monen kokoisilla tiloilla, vaikka pääosa esimerkki tiloista kuuluvat karjakokoluokkiin 100-149, 150-199, 200-299 ja 300-, kuten taulukosta 9 voidaan nähdä (Luke 2022). Kokemuksia biokaasulaitoksista löytyy kuitenkin myös pienemmiltäkin tiloilta. Kaiken kaikkiaan Suomessa biokaasulaitoksia on tai on ollut käytössä tiloilla, joiden eläinmäärä on tiedossa, joissa eläimiä on 20 ja 550 eläimen välillä. (Anttila 2019, Degerman 2015, e-farm 2023, Haverinen 2014, Hyttinen 2022, Jokiaho 2021, Laatikainen 2022, Mulari & Viitasalo 2020, Nevalainen 2017, Poikelin 2018, ProAgria 2018, Yle 2018) Tämä jättää ulkopuolelleen valtaosan tiloista Suomessa. Taulukoissa 9 ja 10 esitetyt biokaasulaitokset lasketaan pääosin pieniä laitoksia, jotka käsittelevät tyypillisesti enintään 20 000 t syötettä vuosittain, ja jäävät siten ympäristövaikutusten arviointimenettelyn ulkopuolelle (Biokaasuteknologia 2015). Valtaosa näistä laitoksista on märkämädätyslaitoksia, mutta joitain kuivamädätyslaitoksia on myös käytössä niin tiloilla kuin muilla toimijoilla. Taulukossa 9 on esitetty Suomessa toimineita, toimivia ja rakenteilla olevia tilakokoluokan biokaasulaitoksia, sekä niiden toimintaan liittyviä tekijöitä, kuten syötelahteet. Maatiloilla sijaitsevien biokaasulaitosten lisäksi pienlaitoksia löytyy myös oppilaitoksilta ja tutkimuslaitoksilta (TAULUKKO 10).

Suomessa maatiloilla toimivilla biokaasulaitoksilla on monia erilaisia kokoonpanoja, jotka voivat olla joko omatoimiraennettuja tai toimitettuja ostolaitoksia. Taulukosta 9 on poimittu joitain esimerkkejä erikokoisista itse rakennetuista sekä tehdastoimitetuista biokaasulaitoksista, joita käsitellään tekstissä hieman tarkemmin, eri kokoisten ja valmistustien laitosten toiminnan ja kustannusten havainnollistamiseksi. Tilat on valittu tiedon saatavuuden ja tilakokojen perusteella, jotta saadaan käsiteltyä mahdollisimman laaja skaala erikokoisia tiloja, joilla on biokaasuntuotantoa. Yleisesti, kuten taulukosta 9 voidaan nähdä, on laitoksia otettu käyttöön melko tasaisesti, mutta kiihtyvällä tahdilla 1990-luvun lopulta alkaen. Laitoksia on sijoittunut lähes koko maahan aivan pohjoisia osia lukuun ottamatta (Biokaasulaitokset kartalla 2021). Laitokset ovat kuitenkin huomattavasti yleisempiä pohjanmaalaisissa maakunnissa sekä Varsinais-Suomessa. (Biokaasulaitokset kartalla 2021)

Esimerkkeinä omarakenteisista biokaasulaitoksista ovat Haatajan tila Suomussalmella (n. 20 lypsy-lehmää, n. 25 ha), Heikki Junntilan tila (Heusuan tila) Nivalassa (70 lypsy-lehmää + nuorkarjaa), Ryytilän tila Siikajoella, (n. 550 nautaa, n.

300 ha) (Haverinen 2014, Mulari & Viitasalo 2020). Haatajan tilalla biokaasu hyödynnetään lämmitykseen ja laitoksella tuotetaan 80 MWh vuodessa, eli yli tilan oman tarpeen. Reaktorinsyötteenä käytetään lietelantaa ja säilörehua (maksimissaan 300 kg/a). Laitoksen rakennuskustannukset ovat noin 37 000 € (arvonlisäveroton). (Haverinen 2014) Junttilan tilalla biokaasua hyödynnetään niin lämmön kuin sähkön tuotantoon (Haverinen 2014, Mulari & Viitasalo 2020). Tuotetun biokaasun avulla voidaan kattaa noin puolet tilan sähkön tarpeesta (tarve 100 MWh/a) ja koko lämmön tuotantotarve (Haverinen 2014). Syötteenä käytetään lietelantaa ja talvella lisänä peltobiomassaa sekä paistinrasvaa (Haverinen 2014, Mulari & Viitasalo 2020). Määtysjäännös hyödynnetään lannoitukseen, ja kokemuksen perusteella on todettu mädätteellä voitavan korvata väkilannoitteita viljan viljelyssä (Haverinen 2014). Tilalla on myös liikennepolttoaineeksi jalostamiseen tarvittava laitteisto. (Haverinen 2014, Mulari & Viitasalo 2020) Laitos on alunperin rakennettu Itä-Suomen yliopiston koelaitokseksi, joka on myöhemmin siirretty Nivalaan. Rakennuskustannukset ovat olleet n. 60 000 € (koneet ja laitteet). Ryytilän tilalla biokaasun tuotannon tarkoituksena on ollut tuottaa energiaa (sähköä ja lämpöä) tilan käyttöön sekä jalostaa biokaasusta liikennepolttoainetta. Kustannukset laitosta varten ovat olleet n. 160 000 €. (Haverinen 2014)

Vastaavasti tehdastoimitetuille laitoksille tila esimerkkejä ovat Virtaalan tila Haapajärveltä (70 lypsylehmää + nuorkarjaa) ja Wennströmin tila Toholammilta (n. 280 lypsylehmää + nuorkarjaa). Molempien tilojen biokaasulaitokset on toimittanut Demeca Oy (Nevalainen, Mulari & Viitasalo 2020). Virtaalan tilalla biokaasu hyödynnetään energian tuotantoon (sähkö ja lämpö) ja tila on energiaomavarainen (tuotanto 21 MWh, tarve 20 MWh). Biokaasureaktorin syötteenä käytetään lietelantaa ja ylijäämärehua. Jäännös hyödynnetään lannoitukseen. (Nevalainen) Wennströmin tilalla biokaasulla tuotetaan lämpöä ja sähköä. Vuotuinen sähköntuotanto on noin 350 MWh, joka kattaa sähkön tarpeen, lämmitykseen energiaa käytetään käyttöveden lämmitykseen ja tarvittaessa navetan lämmitykseen. Syötteenä liete- ja kuivikelanta sekä pilaantunut rehu. (Mulari & Viitasalo 2020)

Kuten taulukosta 9 nähdään, tyypillisen kokoisia laitoksia ovat tällä hetkellä saatavilla olevan tiedon perusteella noin 5000 t/a sekä 10 000 t/a tai enemmän käsittelevät laitokset, jotka sijoittuvat joko lypsy- tai karjatilaille. Nämä ovat kooltaan tiloja, joissa maidontuotannossa on yli 100 lypsävää, ja voidaan puhua tiloista, joissa parhaimmillaan karjaa on noin 550 eläintä (Taulukko 9). Esimerkkejä laitoksista on myös sikaloiden yhteydessä. Nämä ovat ainakin tällä hetkellä hieman nautatiloja suurempia yksiköitä ja puhutaan tyypillisesti yli 10 000 t/a käsittelymääristä ja liikutaan jo tuhansissa eläimissä per tila (Taulukko 9). Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty eri laitosten syötteet saatavilla olevan tiedon puitteissa. Pääasialliset syötekategoriat ovat: Lanta, enimmäkseen nautojen ja sikojen lanta, myös mm. siipikarjan, hevosten ym. eläinten lanta; ylijäämärehu ja muut kasvibiomassat; elintarviketeollisuuden sivuvirrat; erilaiset jättejakeet (biojätteet, jäte lietteet jne.).

Maatilojen lisäksi pienen mittakaavan biokaasulaitoksia on myös oppilaitosten ja tutkimuslaitosten yhteydessä, ja ne ovat pääasiassa märkämädätyslaitoksia. Ammattiopistojen biokaasulaitokset toimivat usein opetustilojen osana ja syötteenä käytetään siten lantaa, erilaisia biomassoja sekä elintarviketuotannon sivuvirtoja ja elintarvikettä. Luonnonvarakeskuksen laitoksista toinen (märkämädätys) toimii maatilan yhteydessä ja toinen on kuivämädätyslaitos, johon syötetään peltobiomassoja. Tietoja näistä laitoksista on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 9. Suomen maatilakokoluokan/pienen kokoluokan biokaasulaitokset ja niiden tietoja.

Tila tai laitos	Sijainti	Toiminta	Laitostyyppi	Syötemäärä	Syöte	Käyttöönotto, rakennusvuosi	Eläinten määrä	Lähde
<b>BioBoksi, Kuittilan tila</b>	Parainen		K	850 000 kg	KL, R, E, B			Valjakka 2018
<b>Lähteen tila</b>	Haapavesi		K, M	4680 t/a	LL, KL, R, E	2014/2015	120-130 LY	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Degerman 2015, Huttunen ym. 2018, ProAgria 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Vuoremaan tila</b>	Haapavesi		K, M	15402 t/a	LL, KL, N, R, E	2014/2015		Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>BioHauki Oy, yhteinen</b>	Mikkeli	Liikenne-polttoaineen jalostus	K	19500 t/v	L, LK, N	2017		Huttunen ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Biopir oy, yhteinen</b>	Vehmaa	Porsastuotanto	M	17 000 m <sup>3</sup> /a 20 000 t/a	L, N	2021	S 1600 emakkoa, yli 50 000 porsasta/a	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Lehtonen 2021, Uusiouutiset 2020, Ympäristöministeriö 2022
<b>Emomylly</b>	Huittinen	Porsastuotanto	M	L: 14000 t/v; muu: 5000, 15000 t/a	L, E, Y, L, N	2013/ 2016	S 2500 emakkoa	Huttunen ym. 2018, Laaksonen ym. 2017, Winquist ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Haatajan tila</b>	Suomussalmi	Maidontuotanto	M		LL, R, N	2009	20 LY	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Haverinen 2014, Huttunen ym. 2018
<b>Halsuan Kehitysoy</b>	Halsua			10700 m <sup>3</sup> /v	L, E, Y			Ympäristöministeriö 2022
<b>Hannula</b>	Kalajoki			3000 m <sup>3</sup> /v	LL, N	1998		Laaksonen ym. 2017, Latvala 2009
<b>Hietakorven tila</b>	Sääksvesi (Vimpeli)		M	7000 t/a	L, N		160 L, 30 H	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Poikelin 2018, Spoof-Tuomi & Välimäki 2021
<b>Huutolan tila</b>	Suomussalmi	Maidontuotanto	M	<10000 t/a	LL, R	2012	120 (60 LY), 115 (55 LY)	Biokaasulaitokset kartalla 2021, e-farm 2023, Haverinen 2014, Huttunen ym. 2018, Spoof-Tuomi & Välimäki 2021
<b>Ilpo Wennström</b>	Toholampi	Maidontuotanto	M	14750 t/v	L, R		280 LY&H	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Mulari & Viitasalo 2020, Spoof-Tuomi & Välimäki 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Jokimaan tila</b>	Askola				LL	2017		Biokaasulaitokset kartalla 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Junttilan tila/ Heusalan tila</b>	Nivala	Maidontuotanto	M	2600 m <sup>3</sup> /v	LL, N, R	2000	70 LY, +H	Haverinen 2014, Huttunen ym. 2018, Biokaasulaitokset kartalla 2021, Winquist ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Juntulan tila</b>	Suomussalmi		M	<10000 t/a	LL,R			Spoof-Tuomi & Välimäki 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Juvan Bioson Oy, yhteinen</b>	Juva	Energiantuotanto, mädäte osakkaille	M	19500 t/a	LL, LK, E	2011		Huttunen ym. 2018, Valjakka 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Kalmarin tila (Meterer Oy)</b>	Leppävesi	Liikenne-polttoaine, lämpö sähkö	M, K	2000 m <sup>3</sup> /v (märkä)	N, LL, E	Märkä 1998, kuiva 2015		Laaksonen ym. 2017, Latvala 2009, Spoof-Tuomi & Välimäki 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Keskitalon tila</b>	Haapavesi	Maidontuotanto	M		LL, kuivike	2022	200	Hyttinen 2022
<b>Klemolan tila</b>	Ullava	Maidontuotanto	M			2021		Savela 2021
<b>Koivunen</b>	Virrat		M	4300 t/v	LL, E, Y	2005		Biokaasulaitokset kartalla 2021, Laaksonen ym. 2017, Huttunen ym. 2018, Spoof-Tuomi & Välimäki 2021

Tila tai laitos	Sijainti	Toiminta	Laitos- tyyppi	Syötemäärä	Syöte	Käyttöönotto, rakennusvuosi	Eläinten- määrä	Lähde
<b>Kotimäki</b>	Halsua		M	5000 t/a		2003		Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Spooft-Tuomi & Välimäki 2021
<b>Maatila Lassi Kähkönen</b>	Valtimo			6000 t/v		2017	130 LY	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Spooft-Tuomi & Välimäki 2021, Winquist ym. 2018, Yle 2018
<b>Maitoparrat Oy</b>	Utajärvi	Maidontuotanto, lihan- tuotanto	M	5550 t/v	LL, KL, R	2017	350 (140 LY, 120 N)	Anttila 2019, Biokaasulaitokset kartalla 2021, Winquist ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Mikko Elo-vaara Oy ja Elovasikka Oy, yhteinen</b>	Kiuruvesi	Sonnien kasvatus	M		LL	2022	2500 (1800 sonnia, 700 vasikkaa)	Laatikainen 2022
<b>Mty Kylmäaho</b>	Siikalatva				LL, N		N	Ympäristöministeriö 2022
<b>Mty Lähteenmäki</b>	Rusko		M	7780 t/v	L, R			Biokaasulaitokset kartalla 2021, Spooft-Tuomi & Välimäki 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Mty Nygård</b>	Alajärvi	Maidontuotanto			LL		300 LY	Jokiaho 2021, Ympäristöministeriö 2022
<b>Palopuron Biokaasu Oy, yhteistoimintaa</b>	Hyvinkää		K	4200 t/a	N, LHe, LK			Biokaasulaitokset kartalla 2021, Spooft-Tuomi & Välimäki 2021
<b>Picnus Oy</b>	Kurikka			10800 t/v	LL, KL, R		N/S	Ympäristöministeriö 2022
<b>Pirilä</b>	Uusikau- punki		M	4600 m <sup>3</sup> /a	LL, Y		S	Laaksonen ym. 2017
<b>Riihimäki H</b>	Halsua			10700 m <sup>3</sup> /v	L, E, Y		S	Laaksonen ym. 2017
<b>Ryytilän tila, NautaRyytilä Oy</b>	Siikajoki	Naudanli- hantuotanto		n. 7000	LL, KL, N	2014	550 N	Haverinen 2014, Winquist ym. 2018, Ympäristöministeriö 2022
<b>Salmela</b>	Orivesi				maatalo- usliete	2006		Latvala 2009
<b>Uusitalo Group</b>	Kannus		M		LL, N			Biokaasulaitokset kartalla 2021
<b>Virtaala</b>	Haapavesi	Maidontuotanto	M		LL, R	2004, 2006	70 LY +H	Latvala 2009, Nevalainen 2017
<b>Qvidja Gärd</b>	Parainen			<10000 t/a			He, N, La	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Spooft-Tuomi & Välimäki 2021, Qvidja Gärd 2023

K=kuivamädätys; M=märkämädätys; KL=kiintolanta; LL=lietelanta ja maatalousliete; R=säilörehu/rehu; N=nurmi, peltobiomassa tai heinä; L=lanta; LK=kananlanta; LHe=hevosenlanta; E=elintarviketuotannon ja elintarvike jätteet (rasva, teurasjäte, kalanperkuujäte, vihannesjäte); B=muu biomassa muut (vihermassat ja kasvimassat); Y=(biojäte, yhteiskuntajäte, jätelietteet); LY=lypsylehmä; H=hieho/nuorkarja; N=lihakarja; S=sika; He=hevonen, La=lampaita.

**TAULUKKO 10.** Suomessa sijaitsevien oppilaitosten ja tutkimuslaitosten pienenkokoluokan biokaasulaitokset ja niiden tietoja.

Laitos	Sijainti	Laitos-tyyppi	Syöte	Käyttöön-ottovuosi	Lähde
<b>Ammattiopisto Lappia</b>	Tervola	M	LL, B, L, N, E	2013	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Laaksonen ym. 2017, Ympäristöministeriö 2022
<b>Ammattiopisto Livia</b>	Piikkiö (Kaarina)	M	L, LL, B, glyseroli	2012	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Tuorlan opetusmaatila 2023, Ympäristöministeriö 2022
<b>Haapajärven ammattiopisto</b>	Haapajärvi	M	LL, R	2007	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Latvala 2009, Ympäristöministeriö 2022
<b>Kauhajoen ammattiopisto (Ammatti-instituutti Suurpohja)</b>	Kauhajoki	K	LL (septoitu), N, E	2017	Huttunen ym. 2018, Mulari & Viitasalo 2020, Laaksonen ym. 2017, Ranta-Nikkola 2017
<b>Luke</b>	Maaninka	M	LL +, Y, biomassoja	2009	Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Laaksonen ym. 2017, Luke 2023, Ravinnerenki 2015
<b>Luke</b>	Sotkamo	K	N		Biokaasulaitokset kartalla 2021, Huttunen ym. 2018, Luke 2015

K=kuivamädätys; M=märkämädätys; KL=kuivalanta; LL=lietelanta; R=säilörehu/rehu; N=nurmi, peltobiomassa tai heinä; L=lanta; LK=kananlanta; LH=hevosenlanta; E=elintarviketuotannon ja elintarvike jätteet (rasva, teurasjäte, kalanperkuujäte, vihannesjäte); B=muu biomassa (vihermassat, kasvibiomassa), Y=(biojäte, yhteiskuntajäte, jäteliätteet)

## 6.2 MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSET TILALLA

Mädätysjäännöksen käsittely tilalla vaati aina jonkinlaisia investointeja laitteistoon tai laitteistoihin, joilla mädätysjäännöstä voidaan separoida ja muuten jatkojalostaa. Taulukossa 11 on esitetty erilaisia kirjallisuudesta löytyviä hankinta-, käyttö- ja kokonaiskustannuksia eri separointi- ja jatkojalostusmenetelmille. Mukaan on sisällytetty myös aiemmin esitetyt lannan käsittelykustannukset Flotatsin ym. (2011) raportoinnista. Taulukosta nähdään, että erilaiset puristimet ja suodattimet ovat keskimäärin halvempia investointeja sekä käyttökustannuksiltaan pienempiä kuin lingot, ja siten kokonaiskustannuksiltaan pienempiä kuin lingot, mitä separointiin tulee.

Jatkojalostuksen laitekustannuksista tietoa on saatavilla niukasti pienen mittakaavan tuotannossa, mutta esimerkiksi LUKE:n raportoima ammoniumstrippauslaitteisto ei sinällään ole järjetön kuluerä maatilalle. Jatkojalostuslaitteet vaativat kuitenkin tyyppillisesti syötettävän materiaalin esikäsittelyä, ja niiden käyttökustannukset voivat olla merkittäviä mm. energiankulutuksen ja/tai tarvittavien kemikaalisäysten johdosta, jolloin kokonaiskustannukset nousevat merkittävästi. Esimerkiksi LUKE:n laskelmissa nestejakeen (naudan lietelanta) käsittelyhintaa nousee 9–12 €/m<sup>3</sup> (sisältää erottelun sekä ammoniakkin erottelun ammoniakki strippauksen avulla). (Pyykkönen & Ervasti 2019) Investoinnin takaisinmaksun sekä tilalle syntyvän hyödyn kannalta laitteistojen käyttövolyyymi on oleellista. Mitä enemmän laitetta käytetään, sitä nopeammin investointi maksaa itsensä takaisin, käytön mukanaan tuomien etujen myötä sekä käsittelyn hinnan per volyyymi laskiessa. Tämä johdosta myös mädätysjäännöksen käsittely, kuten ylipäätään biokaasulaitoksen perustaminen, on pääsääntöisesti sitä kannattavampaa mitä suurempi yksikkö.

Tilan ei kuitenkaan ole aina välttämätöntä sijoittaa itse mädätysjäännöksen käsittelylaitteistoon, vaan ainakin separointi voidaan ostaa palveluna tilan ulkopuolelta. Koska lietteen separointikustannuksiin vaikuttaa volyyymi, eikä mädätysjäännöstä synny tilalla paljoa, voi separointi ostopalveluna tai vuokralaitteilla olla järkevämpi ratkaisu. Lietteen separointia palveluna ja vuokrattavia laitteita Suomessa on tarjonnut ainakin Separointi.fi (Separointi.fi). Verkkosivuston mukaan käsittelyhintaa urakalle noin 0,7–1,70 €/m<sup>3</sup> alkaen riippuen lietteen kuiva-ainepitoisuudesta. Sivuston

mukaan tämä tarkoittaisi lypsytilalle 1,20 ja karjatilalle 1,70 €/m<sup>3</sup> kustannuksia (kuiva-ainepitoisuudet 4-9 % ja yli 9 %). (Separointi.fi)

Vähintään vastaava kustannustaso tulisi siis saavuttaa separoinnissa tilan omalla laitteistolla. Laitteiston odotettu käyttöikä huomioon ottaen (10-12 vuotta), vastaisi Luken esittämien esimerkkien kohdalla, investointituella (35 %) hankittuja erottimen ja pumpun yhdistelmää noin 19 500 € (ruuviseparaattori) ja 48 400 € (dekanterilinko) (Cathcart ym. 2021, Pyykkönen & Ervasti 2019). Ostopalveluna hankittavassa separoinnissa on kuitenkin hyvä huomioida, että lietteiden säilytys vaatii todennäköisesti enemmän tilaa, kuin silloin jos tilalla itsellään omat välineet käytössä. Säilytystilaa tarvitaan tällöin separoimattomalle mädätysjännökselle sekä neste- ja kiintoainejakeille. Lietteen varastointiin tarvittavien tilojen mahdolliset rakennus- ja hankintakustannukset tulee siten ottaa huomioon. Ostopalvelun lisäksi osuuskuntamalli voisi myös keventää tilakohtaisia kustannuksia, jos tiloille hankitaan yhteinen suuremman kapasiteetin liikuteltava järjestelmä separointiin. Näin voitaisiin potentiaalisesti optimoida laitteen käyttö, ja tilakohtainen kierto pystyttäisiin sopimaan joustavammin kuin palveluna ostettaessa.

TAULUKKO 11. Ruuviseparaattorien ja dekantterisentrifugien hankinta- ja käyttökustannuksia.

Menetelmä	Hankinta-kustannukset	Käyttö-kustannukset ja separointi määrä	Kokonais-kustannukset	Takaisin-maksuaika (a)	Lähde
Ruuvipuristin			0,54 €/m <sup>3</sup>		Barampouti ym. 2020
	75 000 Can\$	0,35 kWh/m <sup>3</sup>			Fournel ym. 2019
	15,000-65,000 £	0,4-1,2 kWh/t			Lyons 2021
	10 000 £	4000 t/a	0,44 £/t	10	Møller ym. 2000
	25 000 £	0,53 £/t, 15 499 t/a	0,74 £/t	10	Cathcart ym. 2021
	17 000-28 000 €	0,50-0,90 €/m <sup>3</sup>			Flotats ym. 2011*
	22 000 €	1,38 €/m <sup>3</sup> , 2000 m <sup>3</sup> /a	1,00 €/m <sup>3</sup>	20	Partanen 2019*
	35 000 € + 35 % investointi tuki	1,32 €/m <sup>3</sup> , 3000 m <sup>3</sup> /a		12 (käyttöikä)	Pyykkönen & Ervasti 2019*
Dekantterilinko			3,68 €/m <sup>3</sup>		Barampouti ym. 2020
	145 000 Can\$	5,00 kWh/m <sup>3</sup>			Fournel ym. 2019
			0,7-2,1 €/m <sup>3</sup>		Jacobsen 2011
	50,000-250,000 £	2,2-5,1 kWh/t			Lyons 2021
	50 000 £	4000 t/a	2,21 £/t	10	Møller ym. 2000
	100 000 £	3,68 £/t, 15 499 t/a	4,52 £/t	10	Cathcart ym. 2021
	40 000-100 000 €	0,6-2,3 €/m <sup>3</sup>			Flotats ym. 2011*
70 000 € + 35 % investointi tuki	2,85 €/m <sup>3</sup> , 3000 m <sup>3</sup> /a			Pyykkönen & Ervasti 2019*	
Telapuristin	75 000 Can\$	0,10 kWh/m <sup>3</sup>			Fournel ym. 2019
Suotopuristin	25 000-125 000 €	1,5 €/m <sup>3</sup> (nauhasuodatin)			Flotats ym. 2011*
Rumpusuodatin	25 000 €	0,35 €/m <sup>3</sup>			Flotats ym. 2011*
Seula ja täryytin	18 500-23 000 €				Flotats ym. 2011*
Sakeutin 350 m <sup>3</sup>	17 000 €				Flotats ym. 2011*
Partikkelikoon kasvattaminen (kemikaalien avulla)	50 000 €	0,80 €/m <sup>3</sup>			Flotats ym. 2011*
PAM-lisäys separointia varten		2,9 €/m <sup>3</sup>			Pyykkönen & Ervasti 2019*
Strippaus	60 000-100 000 €	9-12 €/m <sup>3</sup>			Pyykkönen & Ervasti 2019*

\*kustannukset laskettu lietalannan käsittelylle; PAM=polyakryyliamidi



## 7 YHTEENVETO

Mädätysjäännöksen käsittelymenetelmiä on lukemattomia, mutta pienen mittakaavan biokaasulaitoksilla kannattavuus rajaa monia erottelumenetelmiä pois käytännön toteutuksista. Siinä missä nämä menetelmät eivät tilan ympäristöstä ja ravinnetarpeesta riippuen ole välttämättömiä, tarjoaa tehokas ravinteiden erottelu monia etuja mm. lisästen hyödynnettävyyttä (kohdentaminen, kuljetus jne.) ja eri sovelluskohteita mahdollistamalla. Tehokkaampien erottelumenetelmien käytön kannattavuutta voitaisiin parantaa esimerkiksi kollektiivisilla biokaasulaitoksilla tai mädätysjäännöksen jalostuslaitoksilla, joihin kerättäisiin raaka-aineet ympäröivistä tiloista laajemmin. Lisäksi tällaisissa suuremmissa yksiköissä mädätysjäännöksen jalostaminen erilaisiksi lannoitevalmisteiksi voisi olla kannattavaa. Tällöin lannoitteiden valmistus voisi olla yksi lisätulon lähde, kun ravinteet, joita ei tarvita tiloilla voidaan myydä kuljetettavassa muodossa ulos yhteisöstä. Yhteisöllistä mallia voitaisiin toteuttaa myös yhteisillä laitehankinnoilla, joita hankintaan osallistuvat tilat voisivat käyttää tarpeen mukaan. Tällainen toimintamalli mädätysjäännöksen käsittelyssä ja potentiaalisesti myös jalostuksessa voisi muodostua osaksi tilojen välistä osuuskunta- tai muuta yhteistoimintamallia.

Koska tilalla tapahtuvan jalostustoiminnan kannattavuus riippuu paljon tilan koosta, on tärkeää huomioida, millaisessa ympäristössä toiminta tapahtuu. Oletettavasti tilakoko tulee jatkossakin olemaan Suomessa sellaista kokoluokkaa, että tilojen omat biokaasulaitokset lasketaan pienenmittakaavan laitoksiksi. Sen vuoksi täytyy myös tällaiseen pienemässä mittakaavassa löytää toiminta- ja käsittelytapoja ravinnerikkaan mädätysjäännöksen parhaan mahdollisen hyödyntämisen takaamiseksi mm. niillä tiloilla, joilla ei ole mahdollisuutta osallistua osuuskuntaan tai muuten tehdä yhteistyötä muiden tilojen kanssa. On yhtä lailla tärkeää ottaa huomioon, että kategoriaan pienlaitokset, eli alle 10 000 t vuodessa tuottavat laitokset, sisältävät laajan skaalan erilaisia ja keskenään erikokoisia laitoksia ja tiloja. Tämä on nähtävissä esimerkiksi nykyisin toiminnassa olevien biokaasulaitosten käsittelemästä mädätysjäännöksen määrästä, joka vaihtelee noin 2000 ja 10 000 t/a välillä (Taulukko 9). Tämä vastaa kokoluokaltaan esimerkiksi maitotilojen kohdalla tiloja, joilla on nautoja noin sadasta yksilöstä ylöspäin. Separoinnin kannattavuuden rajaksi (yleinen lietteen separointi) on arvioitu Suomessa jotain 2000–4000 m<sup>3</sup> vuotuisen käsittelymäärän välillä. (Partanen 2019, Pyykkönen & Ervasti 2019) Toki tilakokojen tulevaisuudessa potentiaalisesti kasvaessa, kasvavat myös käsittelymäärät ja biokaasulaitosten koko.

Yksittäisellä tilalla ja yleisesti käsittelykustannusten kannalta kannattavin käsittelymenetelmä mädätysjäännöksen prosessointiin on ruuviseparaattori. Ruuviseparaattorin sijasta voidaan harkita dekanterilinkoa, mikäli syöte on sopivaa suoraan lingolla käsiteltäväksi. Lisäksi on mahdollista, että myös muita puristin vaihtoehtoja voi olla kannattavaa käyttää tilalla ruuviseparaattorin tapaan, mutta tiedot hinnoista sekä käytettävyydestä ovat ruuviseparaattoriin verrattuna rajallisia. Suuremmilla tiloilla sekä yhteistoimintajärjestelyissä suurempi käsittelyvolyymi tasaa investointikustannuksia suhteessa käyttötarpeeseen. Tällöin voidaan harkita myös peräkkäisiä käsittelymenetelmiä tai erilaisia jakeiden jatkojalostusmenetelmiä. Näin voitaisiin tuottaa useita käyttäjakeita kuten karkeaa kiintoainetta kuivikkeeksi, hienoa kiintoainetta fosforilannoitteeksi ja typpipitoista nestettä lannoitteeksi tai typpilannoitteen raaka-aineeksi riippuen, kuinka pitkälle prosessi halutaan viedä. Ruuviseparointi mahdollistaa kuitenkin jo karkean jaottelun fosforipitoiseen helpommin kuljetettavaan ja kuivikkeeksi soveltuvaan kiintoainejakeeseen sekä typpipitoiseen helposti levitettävään nestejakeeseen, mahdollistaen ravinteiden kohdentamisen.

## LÄHTEET

Aguirre-Villegas, H. A., Larsson, R. A. & Sharara, M. A. 2019. Anaerobic digestion, solid-liquid separation, and drying of dairy manure: Measuring constituents and modelling emissions. *Science of the Total Environment* 696, 134059-134070.

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen R. 2008. *Biogas – Handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg. Saatavissa: <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>. Viitattu 26.5.2023.

Angouria-Tsorochidou, E., Seghetta, M., Trémier, A. & Thomsen, M. 2022. Life cycle assessment of digestate post-treatment and utilization. *Science of the Total Environment* 815, 152764-152773.

Anttila, A. 2019. Veljekset muuttivat maitotilansa osakeyhtiöksi – ”Karjatalous on muuttunut ison luokan liiketoiminnaksi”. *Päivän-lehti*. Saatavissa: <https://www.paivanlehti.fi/veljekset-muuttivat-maitotilansa-osakeyhtioksi-karjatalous-on-muuttunut-ison-luokan-liiketoiminnaksi/>. Viitattu 26.5.2023.

Arffman, M. & Taavitsainen, T. 2019. Maatilanmittakaavan biokaasun tuotanto. *Biokaasu* 1/19, 10-11. Saatavissa: [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2019/11/Biokaasulehti-2019\\_light.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2019/11/Biokaasulehti-2019_light.pdf). Viitattu 26.5.2023.

Asharuddin, S.M., Othman, N., Zin, N.S.M., Tajarudin, H.A. & Din, M.F.M. 2019. Flocculation and antibacterial performance of dual coagulant system of modified cassava peel starch and alum. *Journal of Water Process Engineering* 31, 100888-100900.

Balsari, P., Gioelli, F., Menardo, S. & Paschetta, E. 2010. The (re)use of mechanical separated solid fraction of digested or not digested slurry in anaerobic digestion plants. 14th Ramiran Conference. Lisboa, 13.-15. syyskuuta.

Barampouti, E. M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K. & Loizidou, M. 2020. Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 134, 110379-110390.

Bian, X., Wang, K. & Gong, H. 2023. Biochar-enhanced agricultural application of liquid digestate from food anaerobic digestion for celery cultivation. *Science of the Total Environment* 869, 161562-161570.

Biokaasulaitokset kartalla 2021. 2021. Saatavilla: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZHpwSB6Av2QQIzSGySCriDCW7piuXnBM&ll=63.71419157616261%2C25.5049118552287&z=6>. Viitattu: 26.5.2023

Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. 2015. Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.). Hämeenlinna: Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>. Viitattu 26.5.2023.

Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of Environmental Management* 216, 111-119.

Botania Näring i Kretslopp. 2020. Raportti biokaasun nykytilanteesta Merenkurkun alueella. Infolehtinen 1. Saatavilla: <https://biofuelregion.se/projekt/botnia-naring-i-kretslopp/infosheet-botnia-naring-i-kretslopp/>. Viitattu: 26.5.2023.

Cathcart, A., Smyth, B. M., Lyons, G., Murray, S., Rooney, D. & Johnston, C. R. 2021. An economic analysis of anaerobic digestate fuel pellet production: can digestate fuel pellets add value to existing operations? *Cleaner Engineering and Technology* 3, 100098-100108.

Degerman, R. 2015. Karjatila väentää lannasta sähköä ja lämpöä – pienvoimalakin voi tuottaa tarpeeksi sähköä. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-8386773>. Viitattu: 26.5.2023.

Doyeni, M.O., Stulpinaite, U., Baksinskaite, A., Suproniene, S. & Talvikiene, V. 2021. The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System. *Plants* 10, 1734-1746.

e-farm. 2023. Huutolan tila, Suomussalmi. Saatavissa: <https://www.efarm.fi/kohteet/e-farm-huutolan-tila/>. Viitattu: 26.5.2023.

- Ervasti, S. & Winquist E. 2016. Typen erotus ja talteenotto lantaperäisestä nesteestä. Maataloustieteen Päivät. Helsinki, 12.-13. tammikuuta. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote –sarja.
- Ervasti, S., Winquist, E. & Rasi, S. 2018. Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä – tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuus arvio. Helsinki. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 4/2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-532-5>. Viitattu 26.5.2023.
- Flotats, X., Foged, H. L., Bonmati Blasi, A. Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K. M. 2011. Manure processing technologies – Technical Report No. II to the European Commission, Directorate-General Environment. Tjele. Agro Business Park ja GIRO Centre Tecnològic. Saatavissa: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/583aacc3-8e66-40d8-8828-47f8cd4262d7> Viitattu 26.5.2023.
- Fournel, S., Godbout, S., Ruel, P., Fortin, A., Génereux, M., Côté, C., Landry, C. & Pellerin, D. 2019. Production of recycled manure solids for bedding in Canada dairy farms: I. Solid-liquid separation. Journal of Dairy Science 102, 1832-1846.
- Frondelius, L., Lindeberg, H. & Pastell, M. 2019. Separoitu kuivajae toimii makuuparsien kuivikkeena. Teoksessa Pulkka, E.-K., Tantalala, T., Antikainen, S., Eskelinen, P. & Partanen, J. (Toim.) Lanta liikkeelle ja ravinteet kiertoon. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja 3/2019. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Lantalogistiikka ja Ravinnerenki -hankkeet, 12-13 Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019102835181>. Viitattu: 26.5.2023.
- Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L. & Sommer, S. G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. Agronomy for Sustainable Development 30, 153-180.
- Horn, S., Seppänen, A.-M., Winquist, E., Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismahdollisuudet – vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42: 2020. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5229-0>. Viitattu 26.5.2023.
- Guilayn, F., Jimenez, J., Rouez, M., Crest, M. & Patureau, D. 2019. Digestate mechanical separation: Efficiency profiles based on anaerobic digestion feedstock and equipment choice. Bioresource Technology 274, 180-189.
- Haverinen, T. 2014. Maatilojen omatoimirakennetut biokaasulaitokset. Toteutus ja kustannukset. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Huttunen, M.J., Kuittinen, V. & Lampinen, A. 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-2856-6>. Viitattu: 26.5.2023.
- Hyttinen, S. 2022. Omat lehmät tuottavat sähkön ja lämmön Keski-taloon maatilalle. Haapavesi-lehti. Saatavissa: <https://www.haapavesi-lehti.fi/artikkeli/omat-lehmat-tuottavat-sahkon-ja-lammon-haapavetiselle-keskitalon-maatilalle-syksyn-mittaan-kaytto>. Viitattu: 26.5.2023.
- Jacobsen, B. 2011. Cost of slurry separation technologies and alternative use of the solid fraction for biogas production or burning – a Danish perspective. International Journal of Agricultural Management 1, 11-22.
- Jokiaho, T., 2021. Biokaasulaitos kokosi kävijöitä Nygårdin tilalle Alajärvellä. Torstai-lehti. Saatavissa: <https://www.torstai-lehti.fi/2021/11/28/biokaasulaitos-kokosi-kavijoita-nygardin-tilalle-alajarvella/>. Viitattu: 26.5.2023.
- Jurgutis, L., Šlepetienė, A., Amalevičiūtė-Volungė, K., Volungevičius, J. & Šlepetys, J. 2021. The effect of digestate fertilisation on grass biogas yield and soil properties in field-biomass-biogas-field renewable energy production approach in Lithuania. Biomass and Bioenergy 153, 106211-106220.
- Jääskeläinen, K. 2020. Naudan lietelannan biokaasupotentiaali ja ravinnetarkastelu. Kokkola. Centria-ammattikorkeakoulu. Centria Raportteja ja selvityksiä, 44. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020052739357>. Viitattu 26.5.2023.
- Jørgensen, P. J. 2009. Biogas – green energy: Process, Design, Energy supply, Environment. 2. uudistettu painos. Aarhus. Aarhus University. Saatavissa: <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasPJJuk.pdf>. Viitattu 26.5.2023.
- Kaparaju, P. L. N. & Rintala, J. A. 2008. Effects of solid-liquid separation on recovering residual methane and nitrogen from digested dairy cow manure. Bioresource Technology 99, 120-127.

- Laaksonen, J., Merilehto, K., Pietarinen, A. & Salmenpää H. 2017. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Suomen ympäristö 3/2017. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79699/SY\\_03\\_2017.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79699/SY_03_2017.pdf). Viitattu: 30.1.2023.
- Laatikainen, A. 2022. Lämpöä ja sähköä lannasta. Kiuruvesi-lehti. Saatavissa: <https://kiuruvesilehti.fi/2022/10/25/lampoa-ja-sahkoa-nautojen-lannasta-mikko-elovaara-oy-ja-elovasikka-oy-siirtyivat-biokaasu-aikaan/>. Viitattu: 26.5.2023.
- Lamolinará, B., Pérez-Martínez, A., Guardado-Yordi, E., Guillén Fiallos, C. Diéguez-Santana, K. & Ruiz-Mercado, G. J. 2022. Anaerobic digestate management, environmental impact, and techno-economic challenges. Waste Management 140, 14-30.
- Latvala, M. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä – Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Helsinki. Suomen ympäristökeskus. SUOMEN YMPÄRISTÖ 24: 2009. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY\\_24\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viitattu 30.1.2023
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Ålander, T. (toim.) Jyväskylä. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-3075-2>. Viitattu: 26.5.2023.
- Lehtonen, S. 2021. Pirteän Porsaan kupeessa pöhisevä biokaasulaitos kierrättää eläinten lannan lämmittämään ja valaisemaan sikalaa. Maaseuduntulevaisuus. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/57cb0678-f282-560b-8658-57b6ba81d23c>. Viitattu: 30.1.2023
- Luke, 2015. Luke Sotkamon VuoGas-biokaasulaitoksen esittely / VuoGas biogas reactor. Saatavissa <https://www.youtube.com/watch?v=mqdwNf4NJvA>. Viitattu: 30.1.2023
- Luke, 2022. Lypsylehmien lukumäärä karjakokoluokittain. Saatavissa: [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_02%20Maatalous\\_04%20Tuotanto\\_12%20Kotielainten%20lukumaara/03\\_Lypsylehmien\\_lukumaara\\_karjakokoluokka.px/table/tableViewLayout2/?loadedQueryId=d22827fc-f07d-41f9-9fb1-4dab37a3adc8&timeType=top&timeValue=1](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_12%20Kotielainten%20lukumaara/03_Lypsylehmien_lukumaara_karjakokoluokka.px/table/tableViewLayout2/?loadedQueryId=d22827fc-f07d-41f9-9fb1-4dab37a3adc8&timeType=top&timeValue=1). Viitattu: 26.5.2023
- Luke, 2023. Maaninnan tutkimusinfrastruktuuri. Saatavissa: <https://www.luke.fi/fi/tutkimus/tutkimusinfrastruktuurit/maaninnan-tutkimusinfrastruktuuri#tutkimusnavetta>. Viitattu: 30.1.2023
- Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Sipilä, I. & Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. Jokioinen. MTT Jokioinen. MTT RAPORTTI 27: 2011. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti27.pdf>. Viitattu 26.5.2023.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo T. & Ylivainio, K. Lantakaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>. Viitattu 26.5.2023.
- Lyons, G. A., Cathcart, A., Frost, J. P., Wills, M., Johnston, C., Ramsey, R. & Smyth, B. 2021. Review of Two Mechanical Separation Technologies for the Sustainable Management of Agricultural Phosphorus in Nutrient-Vulnerable Zones. Agronomy 11, 836-860.
- Moinard, V., Redonidi, C., Etiévant, V., Savoie, A., Duchene, D., Pelosi, C., Houot, S. & Capoweiz, Y. 2021. Short- and long-term impact of anaerobic digestate spreading on earthworms in cropped soils. Applied Soil Ecology 168, 104149-104162.
- Motiva Oy. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Helsinki. Motiva Oy. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf). Viitattu 26.5.2023.
- Mulari, A. & Viitasalo, P. 2020. Biometaanin hyödyntäminen maaseudulla. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Møller, H. B., Lund, I. & Sommer, S. G. 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. Bioresource Technology 74, 223-229.
- Møller, H. B., Hansen, J. D. & Sørensen, C. A. G. 2007. Nutrient Recovery by Solid-Liquid Separation and Methane Productivity of Solids. Transactions of the ASABE 50, 193-200.

- Möller, K. & Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences* 12, 242-257.
- Nag, R., Whyte, P., Markey, B. K., O'Flaherty, V., Bolton, D., Fenton, O., Richards, K. G. & Cummins, E. 2020. Ranking hazards pertaining to human health concerns from land application of anaerobic digestate. *Science of the Total Environment* 710, 136297-136313.
- Nevalainen, R. 2017. Pohjois-Pohjanmaan maataloussektorin biokaasun tuotantopotentiaali. Oulu: Oulun yliopisto. Diplomityö.
- Nolan, S., Thorn, C. E., Ashekuzzaman, S. M., Kanvanagh, I., Nag, R., Bolton, D., Cummins, E., O'Flaherty, V., Abran, F., Richards, K. & Fenton, O. 2020. Landspreading with co-digested cattle slurry, with or without pasteurisation, as a mitigation strategy against pathogen, nutrient and metal contamination associated with untreated slurry. *Science of the Total Environment* 744, 140841-140855.
- Partanen, J. 2019. Lannan separoinnin kannattavuus. Teoksessa Pulkka, E.-K., Tantala, T., Antikainen, S., Eskelinen, P. & Partanen, J. (Toim.) *Lanta liikkeelle ja ravinteet kiertoon*. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja 3/2019. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Lantalogistiikka ja Ravinnerenki -hankkeet, 4-5. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019102835181>. Viitattu: 26.5.2023.
- Poikelin, V. 2018. Biokaasulaitos toi positiivista kuhinaa Sääksjärvelle. *Torstai-lehti*. Saatavissa: <https://www.torstai-lehti.fi/2018/11/02/biokaasulaitos-toi-positiivista-kuhinaa-saaksjarvelle/>. Viitattu: 26.5.2023.
- Popovic, O., Gioelli, F., Duniccio, E., Rollè, L. & Balsari, P. 2017. Centrifugation of Digestate: The Effect of Chitosan on Separation Efficiency. *Sustainability* 9, 2302-2310.
- ProAgria. 2018. Johtaminen lähtee itsestä. Saatavissa: <https://www.proagria.fi/ajankohtaista/johtaminen-lahtee-itsesta>. Viitattu: 26.5.2023
- Pyykkönen, V. & Ervasti, S. 2019. Separoinnin mahdollisuudet ja kannattavuustekijät. Teoksessa Pulkka, E.-K., Tantala, T., Antikainen, S., Eskelinen, P. & Partanen, J. (Toim.) *Lanta liikkeelle ja ravinteet kiertoon*. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja 3/2019. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Lantalogistiikka ja Ravinnerenki -hankkeet, 6-8. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019102835181>. Viitattu: 26.5.2023.
- Ranta-Nikkola, K. 2017. Biokaasu tähtää tulevaisuuteen. *Tejuka-lehti*. Saatavissa: <https://www.tejuka-lehti.fi/artikkeli-6.107462230.5673753003>. Viitattu: 30.1.2023.
- Tuorlan opetusmaatila. 2023. Bioenergia. Saatavissa: <http://ravinnejaenergia.fi/materiaali/tuorla/biokaasu/>. Viitattu: 26.5.2023.
- Ravinnerenki, 2015. Yleistä biokaasusta, Luke Maaningan biokaasulaitos. Saatavissa: [https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Renki\\_tuparit\\_Luke\\_biokaasu.pdf](https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Renki_tuparit_Luke_biokaasu.pdf). Viitattu: 30.1.2023
- Savela, P. 2021. Nyt saa sähkölasku kyytiä. Keskipohjanmaa. Saatavissa: <https://www.keskipohjanmaa.fi/artikkeli/nyt-saa-sahkolasku-kyytia-klemolan-maatalousyhtyma-ullavassa-korvaa-lahes-kokonaan-biokaasun-kaytol>. Viitattu: 26.5.2023.
- Separointi.fi, 2022. Separoinnin hinta. Saatavissa: <http://separointi.fi/separointiurakointi/separoinnin-hinta/>. Viitattu 17.3.2022.
- Seppänen, A.-M., Laakso, J. & Luostarinen, S. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi – Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa. Helsinki. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-590-5>. Viitattu: 26.5.2023.
- Setoguchi, A., Oishi, K., Kimura, Y., Ogino, A., Kumagai, H. & Hirooka, H. 2022. Carbon footprint assessment of whole dairy farming system with a biogas plant and the use of solid fraction of digestate as a recycled bedding material. *Resources, Conservation & Recycling Advances* 15, 200115-200125.
- Spoof-Tuomi, K. & Välimäki, S. 2021. Suomalaisen biokaasuntuotannon ja biokaasun jakeluinfrastruktuurin benchmarkkaus. Vaasa. Vaasan yliopisto. Saatavissa: <https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2021-09/>

[Suomalaisen%20biokaasutuotannon%20ja%20biokaasun%20jakeluinfrastruktuurin%20benchmarkkaus.%20Kes%C3%A4kuu%202021.pdf](#). Viitattu: 27.1.2023

Szymańska, M., Szara, E., Sosulski, T., Wąs, A., van Pruisen, G. W. P., Cernelissen, R. L., Borowik, M. & Konkol, M. 2019. A Bio-Refinery Concept for N and P Recovery – A Chance for Biogas Plant Development. *Energies* 12, 155.

Tampio, E., Marttinen, S. & Rintla, 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* 125, 22-32.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Helsinki. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>. Viitattu: 26.5.2023.

Turunen, J., Karppinen, A. & Ihme, R. 2019. Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution. *SN Applied Sciences* 1, 210-218.

Usefi, S., Asadi-Ghalhari, M., Izanloo, H., & Yari, A. & Mostafaloo, R. 2019. The Performance of Starch as a Natural Coagulant for Turbidity Removal from Wastewater in Stone Cutting Industry. *Archives of Hygiene Sciences* 8. 17-26.

Uusiouutiset. 2020. Sikatilalle Doranovan märkämädättäjä. Saatavissa: <https://www.uusiouutiset.fi/sikatilalle-doranovan-markamadattamo/>. Viitattu: 26.5.2023.

Valjakka, M. 2018. Pienimuotoisen biokaasun tuotannon ratkaisut ja haasteet Suomessa. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö.

VanderZaag, A. & Baldé, H. 2022. Nutrient recovery abates methane emissions from digestate storage. *Bioresource Technology Reports* 18, 101086-101092.

Vilanova Plana, P. & Noche B. 2016. A review of the current digestate distribution models: storage and transport. 8th International Conference on Waste Management and The Environment. València, 1.-9. Kesäkuuta. Southampton: WIT Press.

Winquist, E., Luostarinen, S., Kässi, P., Pyykkönen, V. & Regina, K. 2015. Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-045-0>. Viitattu 26.5.2023.

Winquist, E., Rikkinen, P. & Varho, V. 2018. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-630-8>. Viitattu: 26.5.2023.

Virkkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M., Pakatinen, T., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maataloilla II – Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-266-9>. Viitattu: 26.5.2023.

Vondra, M., Máša, V., Touš, M. & Konečná. 2018. Vacuum Evaporation of a Liquid Digestate from Anaerobic Digestion: A Techno-economic Assessment. *Chemical Engineering Transactions* 70, 769-774.

Yle, 2018. Lassi Kähkösen navetasta runsaasti biokaasua. Saatavissa: <https://areena.yle.fi/podcastit/1-4529258>. Viitattu: 26.5.2023.

Ympäristöministeriö, 2022. Toimivat biokaasulaitokset ja biopolttoaine.xlsx. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Biokaasu+ja+biopolttoainelaitokset.pdf/04268564-2b1c-e960-cd5d-dd69979a5f40/Biokaasu+ja+biopolttoainelaitokset.pdf?t=1649650326400>. Viitattu: 27.1.2023

Zhang, X., Liu, C., Liao, W., Wang, S., Zhang, W., Xie, J. & Gao, Z. 2022. Separation efficiency of different solid-liquid separation technologies for slurry and gas emission of liquid and solid fraction: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management* 310, 114777-1144788.

Qvidja Gård. 2023. Eläimet. Saatavissa: <https://www.qvidja.fi/qvidjan-tila/elaimet/>. Viitattu 26.5.2023.

# KANNATTAVAT MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELYMENETELMÄT MAATILAKOKOLUOKAN BIOKAASULAITOKSISSA

Tämä raportti kokoaa yhteen kirjallisuudessa esitetyt ja HABITUS-hankkeen aikana suorittujen laboratoriotestien tulokset mahdollisista mädätysjäätännöksen käsittely menetelmistä, joita maatilakoko-luokan biokaasulaitoksilla voidaan hyödyntää. Raportin taustana on ollut tarve löytää maatilakoko-luokkaan toimiva menetelmä mädätysjäätännöksen käsittelylle, jotta muodostuneen ravinnerikkaan liet-teen käsittely sekä ravinteiden tehokas hyödyntäminen mahdollistuisi tehokkaasti. Ravinteiden tehok-kaan hyödyntämisen osana raportti tarkastelee myös mädätysjäätännöksen jalostamista ja tuotteistamista, jotta ravinteet, joita tiloilla ei tarvita saataisiin käyttöön ja tulon lähteeksi maataloille. Raportti koostuu kirjallisuusselvityksestä, joka esittelee mädätysjäätännöksen eri käsittely ja jalostusmenetelmiä; laborato-riokokeista, joissa on laboratoriomittakaavassa testattu nestefaasin ja kiinteän faasin erotusolosuhteita sekä erottelun apuaineita; sekä käsittelyn kannattavuuden tarkastelusta kirjallisuuden ja suomalaisen tilakoon sekä olemassa olevien maatilojen biokaasulaitosten koot huomioiden. Raportti toteaa mädätys-jäätännöksen käsittelyn lisäävän mädätteen käytettävyyttä ja kuljetettavuutta, mädätysjäätännöksen lannoit-tepotentiaalain kohdennettua käyttöä sekä mädätysjäätännöksen tuomia positiivisia ympäristövaikutuksia. Nykytilakoon sekä tiedossa olevien kustannusten perusteella yksinkertaiset separointimenetelmät ovat kannattavimpia käsittelymenetelmiä yksittäisille tiloille, mutta suurempia mädätysjäätännös määriä käsi-teltäessä voi löytyä myös järkeviä jatkojalostus menetelmiä. Tilakoon tulevaisuudessa kasvaessa ja tek-nologian kehittyttäessä voivat erilaiset investoinneiltaan kalliimmat separointi ja jatkojalostusmenetelmät nousta kannattaviksi myös yksittäisille tiloille. Tämän kehityksen lomassa tilojen välinen yhteistyö esi-merkiksi biokaasun jalostukseen keskittyneissä osuuskunnissa tai muussa tilojen yhteisessä toiminnassa, joka mahdollistaa yhteisiä investointeja myös mädätysjäätännöksen käsittely- ja jalostuslaitteistoihin on yksi potentiaalinen tapa nostaa biokaasutuksen toisen päätuotteen arvoa.

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 78.  
ISSN 2342-933X  
ISBN 978-952-7173-94-7