



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA

BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄSITTELY

Rakeistaminen ja kemiallinen separointi

TEKIJÄT: Johanna Kanninen
Jenni Laakso

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala			
Koulutusohjelma Maaseudun kehittämisen koulutusohjelma			
Työn tekijät Johanna Kanninen ja Jenni Laakso			
Työn nimi Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käsittely, rakeistaminen ja kemiallinen separointi			
Päiväys	25.5.2018	Sivumäärä/Liitteet	60
Ohjaaja Heli Wahlroos			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Pasi Eskelinen, Lantalogistiikka-hanke			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Maataloudessa syntyvät lantamäärät lisääntyvät tilakokojen kasvun myötä. Lannan sisältämät ravinteet tulisi hyödyntää lannoitteena entistä tehokkaammin. Lannassa on kierrätyspotentiaalia, jonka tarjoamia mahdollisuuksia tulisi hyödyntää. Työssä tutkittiin mädätysjäännös-tuhkaseoksen rakeistamista sekä mädätysjäännöksen kemiallista separointia vaihtoehtoina lannan käytön tehostamisessa. Lisäksi tarkasteltiin, miten kyseisillä menetelmillä saadaan lannan ravinteet hyötykäyttöön ja missä suhteissa separoituissa jakeissa ravinteet ovat jakaantuneet. Rakeistamisessa ja kemiallisessa separoinnissa tarkasteltiin jakeiden ravinnepitoisuuksia sekä rakeistamisessa tuhkan vaikutusta ravinteiden osalta.</p> <p>Työssä separoitiin naudon lietelannasta peräisin olevaa mädätysjäännöstä Luonnonvarakeskus Maaningan toimipaikassa. Rakeistamisessa tuhanteen litraan mädätysjäännöstä lisättiin 50 kilogrammaa tuhkaa, joka separoitiin, ja kuivajae rakeistettiin. Kemiallisessa separoinnissa mädätysjäännökseen ja siitä separoituun nestejakeeseen lisättiin rautasulfaattia ja polymeerejä. Separoinnit tehtiin ruuviseparaattorilla ja dekanterilingolla pienessä mittakaavassa.</p> <p>Rakeissa typpipitoisuus jäi vähäiseksi ja fosforia oli keskinkertaisesti. Rakeiden kaliumpitoisuus oli korkea. Tuhkan raja-arvot ylittävän arseenipitoisuuden vuoksi rakeita ei voida käyttää maataloudessa lannoitteena. Kemiallisessa separoinnissa saatiin lingon ja polymeerilisan avulla erotettua kuiva-ainetta kuivajakeeseen prosentuaalisesti enemmän kuin ilman polymeeriä. Linko erotteli jakeet ruuviseparaattoria paremmin typpipitoiseen nestejakeeseen ja fosforipitoiseen kuivajakeeseen.</p> <p>Tutkimuksella saatiin arvokasta kokemusta kyseisten menetelmien haasteista ja mahdollisuuksista. Lantalogistiikka-hankkeessa jatketaan kemiallisen separoinnin koeajoja tutkimustuloksia hyödyntäen. Käytännön toteutus lietelannan jatkojalostamisessa on vielä haastavaa ja osin kallistakin. Kuitenkin fosforin erottaminen kuivajakeeseen on lannoituksen tarkentamisen ja lannan ravinteiden täysimääräisen hyödyntämisen kannalta tärkeää.</p>			
Avainsanat mädätysjäännös, kemiallinen, mekaaninen, separointi, separaattori, rakeistus, lannoite			

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Program in Agriculture and Rural Development			
Authors Johanna Kanninen, Jenni Laakso			
Title of Thesis Biogas digestate processing, granulation and chemical separation			
Date	25.5.2018	Pages/Appendices	60
Supervisor Heli Wahlroos			
Client Organisation /Partners Pasi Eskelinen, LantaLogistiikka -project			
<p>Abstract</p> <p>The volume of manure produced in agriculture is increasing because of the growth of farm size. The nutrients of manure should be used more efficiently as fertilizers. There are recycling possibilities in manure which we can develop further. This thesis studies the possibility to granulate biogas digestate-ash – mixture and the chemical separation as an option of improving manure management efficiency. In addition it was studied how we can get more benefit from nutrients in manure with these methods and how nutrients are divided in separation fractions. The nutrient content of separated fractions were reviewed in both studies. Also the nutrient effect of ash addition in granulation research was in consideration.</p> <p>The biogas digestate that was used in the research was from the biogas plant of the Natural Research Institute of Finland in Maaninka. Cattle slurry is the basic feed of the biogas plant. In granulation research one thousand litres of digestate were mixed with fifty kilograms of ash and separated and solid fractions were granulated. In the chemical separation experiment the digestate and liquid fractions of the digestate were mixed with ferrous sulfate and polymeres. A skrew separator and a decanter centrifuge were used in these small scale experiments.</p> <p>The nitrogen content stayed low and the phosphorus amount was moderate in grains. The potassium content of grains was high. There were too much arsenic in ash for agricultural use and because of that it is also forbidden to use grains as fertilizers. With the decanter centrifuge and the polymere the solid fraction included more solids than without using the polymere. The decanter centrifuge sepated better fractions in nitrogen-rich liquid fraction and phosphorus-rich solid fraction than the skrew separator.</p> <p>These researches were valuable practical experiences about the challenges and possibilities of these methods. Lantalogistiikka – project will continue testing chemical separation and uses these results as one starting point. In practice it is challenging and a bit expensive to process manure further as a better fertilizer. However it is important to try to find ways to get phosphorus in solid fraction easily so it is possible to use manure and its nutrients efficiently and completely.</p>			
Keywords digestate, chemical, mechanical, separator, granulation, fertilizer			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	NAUDAN LANNAN OMINAISUUDET	7
2.1	Lannan fysikaaliset ominaisuudet	8
2.2	Lannan kemialliset ominaisuudet	9
2.3	Lannan käyttö kasvilannoitteena	11
3	LIETELANNAN KÄSITTELY	15
3.1	Biologiset käsittelyprosessit	15
3.1.1	Biokaasuteknologia	15
3.1.2	Kompostointi	16
3.1.3	Ilmastus	17
3.2	Lietelannan separointi	17
3.2.1	Mekaaninen separointi	18
3.2.2	Kemiallinen separointi	20
4	RAKEISTAMINEN	22
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	25
5.1	Luotettavuus ja eettisyys	26
5.2	Koejärjestely: kuivajakeen rakeistaminen	27
5.3	Koejärjestely: mädätysjäännöksen kemikaaliseparointi	31
6	TULOKSET	34
6.1	Tulokset rakeistamisesta	34
6.2	Tulokset kemikaaliseparoinnista	42
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	49
7.1	Johtopäätökset rakeistus	49
7.2	Johtopäätökset kemikaaliseparointi	51
8	PÄÄTÄNTÖ	56

1 JOHDANTO

Maatalous toimii kasvavan liiketoiminnan ympärillä, jossa täytyy kiinnittää huomiota yhä enemmän kannattavuuteen. Suurenevien tilakokojen myötä myös lantamäärät kasvavat. Lannan kuljettaminen kauemmaksi tilakeskuksesta ei välttämättä ole kannattavaa ja vaatii työtä. Kotieläintaloudessa syntyvä lanta sisältää arvokkaita ravinteita, joten sen hyödyntäminen pelloilla lannoitteena olisi tärkeää.

Maataloudessa syntyvän lannan ravinteiden kierrättämisessä on kierrätyspotentiaalia. Lannan ravinteiden edelleen käyttäminen on osa maatalouden ravinnekuormituksen vähentämistä. Lanta on arvokas lannoite, joka tulisi hyödyntää kasvien lannoitteena. Lannoitekustannusten noustessa nousee myös lietalannan arvostus lannoitteena. Lantaravinteiden hyötykäytön lisäämisessä on noussut esille lietalannan mekaaninen ja kemiallinen separointi sekä separoinnissa syntyvän kuiva- ja nestejakeen jatkojalostaminen edelleen.

Lannanlevitystä rajoittavien säädösten takia lantaa pystytään levittämään pelloille vain rajoitetun ajan vuodesta rajallisia määriä. Jo tämänkin takia lannan hyödyntämisen tulokset tulevat olla riittävät, jotta lannasta saadaan kaikki mahdolliset hyödyt. Lannan käsittelyn hyödyntämisellä voidaan pienentää lannan varastointipainetta. Lannanhyödyntämisen kehitystyössä nousee uudet innovaatiot suureen merkitykseen. Tulevaisuuden innovaationa voi olla lannasta prosessoitujen kierrätyslannoitteiden kehittäminen ja käytön lisääminen, sillä niitä on helpompi kuljettaa pois tilakeskuksista, jolloin paine lietteen levitykselle tilakeskuksen läheisyyteen osaltaan myös pienenee. Vaikka kierrätyslannoitteiden kysyntä on vielä vähäistä, kiinnostus niitä kohtaan kasvaa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on LantaLogistiikka-hanke. Hanke on Savonia-ammattikorkeakoulun, Luonnonvarakeskuksen ja Ylä-Savon ammattiopiston yhteistyöhanke. Hanketta koordinoi Savonia-ammattikorkeakoulu. Hankkeen tärkeimpiä kehitystoimia ovat ravinteiden tehokkaampi erottelu raakalannasta, lannan siirto-, levitys- ja sijoittamismenetelmiin perehtyminen, nurmenviljelyn tehostaminen lannan ravinteilla sekä tehokkaiden ideoiden kartoittaminen. Hanke koostuu neljästä toimenpidepaketista.

Opinnäytetyön aihe on mädätysjäännöksen käsittely, rakeistaminen ja kemiallinen separointi. Rakeistamisosiossa testataan rakeistamista menetelmänä lannan hyödyntämisessä. Tarkoituksena on tutkia, olisiko rakeistaminen tulevaisuuden innovaatio lietteen hyödyntämisessä ja ravinteiden varastoinnissa. Mädätysjäännös, johon on lisätty tuhkaa, separoidaan ja separoitu kuivajae rakeistetaan. Tutkitaan pystytäänkö rakeistamalla separoidussa kuivajakeessa olevat ravinteet saamaan pienempään muotoon eli rakeisiin, erityisesti fosforipitoisuudet ovat tarkastelussa. Rakeistamalla kuivajae saataisiin pienempään muotoon, jolloin ravinnerikkaita rakeita olisi mahdollisesti tilatasolla kannattavaa siirtää kauimmaisille peltolohkoille lannoitteeksi. Muilta aloilta syntyviä sivutuotteita tulisi jatkojalostaa ja hyödyntää maataloudessa. Puuteollisuuden sivutuotteena syntyy tuhkaa, jonka jatkojalostamiselle olisi kehitettävää. Opinnäytetyössä tutkitaan, olisiko tuhkan käyttö lietteen kanssa tulevaisuudessa teollisuuden sivuvirtojen ravinteiden hyödyntämistä. Lisäksi työssä testataan kemiallista separointia ja perehdytään sen mahdollisuuksiin ja haasteisiin maataloilla. Kemiallisella separoinnilla

lannasta saadaan mekaanista separointia tarkemmin erilleen kaksi erilaista lannoitusjätettä, joista toinen on fosfori- ja toinen typpipitoinen. Tavoitteena on saada lannalle lisäarvoa, sekä jalostaa mädätysjäännöksestä erilaisia lannoitejakeita.

Lyhenteet ja määritelmät

Flokkulantti = Flokkausaine, hiutaloittamisaine on kemikaali joka lisättäessä edistää hiutaloitumista eli esimerkiksi kokoaa lietteen pienempiä partikkeleita yhteen suuremmiksi ryppäiksi.

Flokkulointi = Lietteen pienet partikkelit liittyvät suurempiin yhteenliittymiin heikoin fysikaalisin sidoksien hiutaloitumista edistävän kemikaalin avulla.

Koagulantti = Suola, jota lisätään esimerkiksi lietteeseen pienentämään sähkövarauksia partikkeleiden välillä ja siten lisäämään partikkeleiden yhteenliittymistä.

Koagulaatio = Lietteen partikkeleiden epävakaata yhteenliittymää

Lannoite = Valmiste, jota käytetään kasvien kasvun parantamiseen. Sen vaikutus perustuu sen sisältämiin kasviravinteisiin.

Lanta = Sisältää sontaa ja virtsaa sekä kuivikkeena käytettyä kuiviketta esim. turvetta.

Lietelanta = Lanta joka on sekoitettu juoksevaan muotoon sisältäen virtsaa, ruokaa, sekä navetan pesuvesiä.

Mädätysjäännös/ käsittelyjäännös = Biokaasuprosessin läpikäynyttä orgaanista ainesta.

Separointi = Lietelannasta erotetaan neste- ja kuivajae separaattorilla.

Separoitu kuivajae = Separoidessa syntynyttä kuivajajettä, jonka kuiva-ainepitoisuus vaihtelee separaattorin ominaisuuksien mukaan, esimerkiksi ruuviseparaattorilla se on noin 18- 30 % välillä

Separoitu nestejaje = Separoidessa syntynyttä nestettä

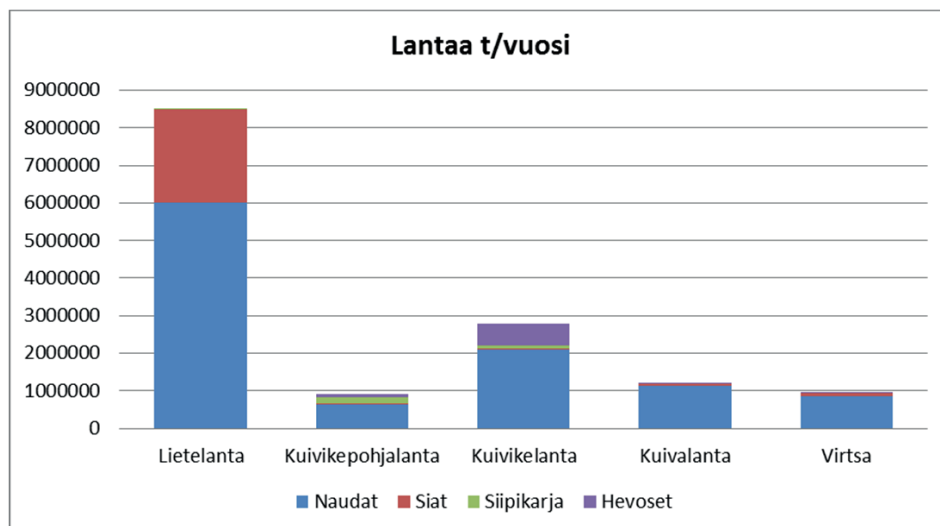
TS=Total solids = kuiva-aine, kokonaiskiintoainepitoisuus

VS= Volatile solids = orgaaninen kuiva-aine, hehketushäviö

2 NAUDAN LANNAN OMINAISUUDET

Lannan ominaisuudet vaikuttavat suuresti lannan käsittelyssä. Lantaa on pidetty aikoinaan merkittävänä orgaanisena lannoitteena maataloilla. Nykyään lantaa levitetään pelloille, mutta sen rinnalla käytetään myös kaupallisia väkilannoitteita. Väkilannoitteisiin verrattaessa lanta sisältää kaikkia pää- ja hivenravinteita, mutta yksistään sen ravinnesuhteet eivät vastaa kasveille välttämättömiä määriä. (Arkima 2015, 11-12.)

Naudanlanta koostuu ulosteesta eli sonnasta ja virtsasta. Lanta käsittää joko kuivike- tai lietelantaa. Lietelanta sisältää sontaa sekä virtsaa, johon on sekoittunut ravintoa ja navetasta tulleita esimerkiksi pesuvesiä, kuiviketta ja rehuntahteita. Lietelanta on käsiteltäessä nestemäistä ja sitä voidaan käsitellä pumpaamalla. Kuivikelannassa neste on imeytetty kuivikkeisiin tai eroteltu kiinteästä aineesta omaan säiliöön. Kuivikelanta ei ole juoksevaa vaan kiinteää. Lietelannan ja kuivikelannan kemialliset koostumukset ovat erilaiset. (Suomalainen 2007, 23-24.) Vuosittainen lietelantamäärä on moninkertainen muihin lantalajeihin verrattuna (kuvio 1).



KUVIO 1. Lantojen kokonaismäärät (tonnia/vuosi) Suomessa eläinsuojan jälkeen normilantalaskennan mukaisesti 2014 (Luostarinen, Grönroos, Hellstedt, Nousiainen ja Munther 2017, 22.)

Suomessa lantaa syntyy naudoista, sioista, siipikarjasta sekä hevosista. Lietelanta muodostaa suurimman osan Suomessa syntyvästä lantamäärästä, joka on peräisin naudoista ja sioista. Tästä naudanelielantaa on noin 76 prosenttia. Kuvioista 1. nähdään lannan kokonaismäärät tonnia per vuosi, eri eläinlajeilla eläinsuojan jälkeen Suomessa vuonna 2014. Laitumelle ja ulkotarhoihin jäävä lanta on vähennetty lantamäärästä. Lantamäärissä ei ole mukana varastoinnissa tulevia sadevesiä. (Luostarinen ym. 2017, 22.)

Sonnalla tarkoitetaan kiinteää ulostetta, joka koostuu ravinnon sulamattomista aineksista sekä suoloiston mikrobimassasta. Sonta sisältää noin puolet kotieläinten ulosteiden typpimäärästä. Siinä on kaikkia pää-, sivu- ja hivenravinteita. Sonnassa typpi on orgaanisessa eli hitaasti hajoavassa muodossa. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut typpi muuntuu mikrobitoiminnan seurauksena vähitellen

liukoiseen muotoon, jolloin se on kasveille paremmin käytettävissä. Orgaaninen typpi muuttuu liukoiseen muotoon myös varastoinnin aikana sekä maassa levityksen jälkeen. Sonnan fosfori on pääosin puoliksi orgaanisessa ja puoliksi epäorgaanisessa muodossa. Fosforin liukoisuuteen vaikuttaa suuresti eläinlaji sekä käytetty kuivike ja varastointi. Tutkimuksissa on todettu, että lannan sisältämän vesiliukoisen fosforin käyttökelpoisuuteen vaikuttaa maan fosforipitoisuus. Alhaisen fosforin maissa maahan lisätty epäorgaaninen fosfori pidättyy maahan ja tämän seurauksena vain osa fosforista on kasveille käyttökelpoista. Korkean fosforipitoisuuden mailla suurempi osa lannan epäorgaanisesta fosforista jää helppoliukoiseen muotoon ja on kasvien käytettävissä sekä on myös alttiimpaa huuhtoutumiselle. Sonnassa oleva kalium on lähes kokonaan vesiliukoista joten se on helppoliukoisessa muodossa. Lannan kaliumia voidaan pitää väkilannoitekaliumin veroisena. (Hiltunen ja Hyytiäinen 1999, 98; Suomalainen 2007, 24.)

Virtsaa sisältää pääosin verenkierrosta poistuneita liukoisia yhdisteitä sekä vettä. Typpi ja kalium ovat helppoliukoisessa muodossa, joten ne ovat kasveille välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Suunnilleen puolet ulosteiden sisältämästä typestä ja noin 70-80 prosenttia kaliumista erittyy virtsassa. Naudanlietelannassa fosfori esiintyy lähes täysin sonnassa, joten virtsassa sen osuus on vähäinen. Virtsan typpi on pääasiassa urea muodossa. (Hyytiäinen ja Hiltunen 1999, 98; Rajala, Leinonen ja Scepel 2006, 169.)

2.1 Lannan fysikaaliset ominaisuudet

Lannan fysikaaliset ominaisuudet ovat partikkelikoko, kuiva-ainepitoisuus, kosteus, tilavuus sekä viskositeetti. Partikkelikokoon vaikuttaa eläinlaji sekä syötetty ravinto. Naudanlietelannan kohdalla partikkelikokoon vaikuttaa rehun koostumus. Naudan lietelanta sisältää alle 0,025 millimetrin partikkeleita ja noin 50–55 prosenttia. Sianlietelannassa vastaava on 66-70 prosenttia. Naudan lietelannassa yli 80 prosenttia typestä ja fosforista on sitoutunut alle 0,125 millimetrin partikkeleihin. Sian lietelannassa partikkeleihin sitoutuneen typen määrä on vain 30 prosenttia kokonaistypestä. (Arkima 2015, 16; Luostarinen, Paavola, Ervasti, Sipilä, ja Rintala 2011, 44.)



KUVA 1. Separoitua kuivajaetta upokkaassa TS määrittelyssä (Kanninen 2016-06-03.)

Lannan kuiva-aine kertoo minkä verran lietelannan massassa on kiinteää ainesta. Kiintoaines ilmoitetaan TS (*total soild*). TS ilmoitetaan yleensä prosentuaalisesti lannan märkäpainosta (kuva 1). Orgaaninen aines VS (*volatile solid*) on osa kuiva-ainetta (TS), joka ilmoitetaan haihtuvan kiintoaineen määränä, yleensä tämä ilmoitetaan prosentteina kuiva-aineesta. Orgaanisen aineen osuus lannan kiintoaineesta on suuri, yleensä noin 75-85 prosenttia. Naudan lannan kuiva-ainepitoisuudella on vaikutusta lannan happamuuteen. Lannan tiheyteen ja viskositeettiin vaikuttaa kiintoaines. Viskositeetti kasvaa sen mukaan, mitä enemmän lannassa on kuiva-ainesta. Lannan pienempi viskositeetti auttaa lannan imeytymistä maahan, joka edesauttaa kasveja ottamaan lannan sisältämät ravinteet käyttöönsä paremmin. (Arkima 2015, 12-13.)

2.2 Lannan kemialliset ominaisuudet

Lannan kemiallisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan lannan ravinnesisältöä. Lannan ravinnesisältöön vaikuttaa eläinlaji ja syötettävä ravinto. Lannan kasveille käyttökelpoisten ravinteiden osuus vaihtelee suuresti. Lannan pääravinteita ovat typpi, fosfori ja kalium. Pääravinteista lannan typen kokonaispitoisuuden ja kasveille käyttökelpoisen typen määrän välillä on suurta vaihtelua. Suomessa ja ulkomailla on tehty tutkimuksia lannan ravinnepitoisuuksista. Ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat monet eri tekijät, joten eri tutkimuksissa on päädytty erilaisiin tuloksiin. Yhtenä tekijänä voidaan pitää ravinnepitoisuuksissa sitä, minkä eläimen lannasta on kyse, miten eläimet on ruokittu ja miten lantaa on varastoitu. Kotieläintiloilla suurin osa rehujen sisältämistä ravinteista päättyy lantaan. Tämän vuoksi ruokinnan suunnittelulla voidaan vaikuttaa osaltaan lannan ravinnearvoihin. Lannan tehokkaalla käytöllä sen ravinteet saadaan kasvien käyttöön, jolloin epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä voidaan vähentää. (Luostarinen ym. 2011, 17.)

Naudan lietelannassa on noin 60 prosenttia liukoista typpeä, joka on heti kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Typpi voidaan jakaa mineraali- (ammoniumtyppi NH_4^+ ja urea) ja orgaaniseen tyyppeen. Kasvit pystyvät hyödyntämään ainoastaan ammoniun- ja nitraattityppeä. Loput lannan tyypestä on orgaanista typpeä. Jotta tämä olisi kasvien käytettävissä, vaati se mineralisaation muuttuakseen kasveille käyttökelpoiseen ammonium- tai nitraattimuotoon. Arviolta noin 20 prosenttia orgaanisesta tyypestä ehtii mineralisoitua ensimmäisenä lannoitusvuonna. Lannan orgaaninen typpi voidaan jakaa ensimmäisenä vuonna mineralisoituvaan tyyppeen (Nm) ja myöhemmin vapautuvaan jälkivaikutus-tyyppeen (Nj). (Hiltunen ja Hyytiäinen 1999, 97; Kuitunen ja Martikainen 1993; Suomalainen 2007, 34.)

Osa kasveille käyttökelpoisesta tyypestä häviää lannasta levityksen yhteydessä ammoniakkin haihtumisena sekä denitrifikaationa. Haihtumista voidaan estää sijoittamalla lanta peltoon sekä levittämällä lanta sellaisella ilmalla, joka ei edistä haihtumista. Osa tyypestä huuhtoutuu maaperässä olevan veden mukana. Typpi on herkästi huuhtoutumisaltista, koska se ei sitoudu maa-ainekseen. (Arkima 2015, 16.)

Lietelannan fosfori on epäorgaanisessa muodossa tai kiintoainekseen sitoutuneena. Orgaaninen ja epäorgaaninen fosfori jaotellaan liukoiseen tai kiinteään fosforiin. Lannan fosforin käyttökelpoisuuteen kasveilla vaikuttaa fosforin pitoisuus ja liukoisuus. Lannan sisältämän fosforin liukoisuus vaihtelee eri mautilojen välillä sekä siihen vaikuttaa myös lannan ikä ja kiintoainepitoisuus. Luostarisen ym. (2011, 20) tekemässä karjanlannan ruokintakokeessa todettiin naudon lannan sisältävän 32–77 prosenttia vesiliukoista fosforia rehusta riippuen. Suurin osa lannan fosforista on kuitenkin sitoutunut orgaanisiin yhdisteisiin. Näiden hajotessa maassa fosforia vapautuu kasvien käytettäväksi. Fosfori, toisin kuin typpi, sitoutuu maaperään ja aiheuttaa kertymistä maaperässä. (Arkima 2015, 16-17.)

Lannan kaliumia pidetään väkilannoitekaliumin veroisena. Se on helposti liukenevaa ja kaliumia esiintyy eniten virtsassa. Kuivikelannassa kaliumia on vähemmän verrattaessa lietelantaan. Kalium on suurimmaksi osaksi liukoisessa muodossa ja esiintyy lietelannassa ionimuodossa K+. Tällöin se on kasveille heti käyttökelpoisessa muodossa. Kalium ioni ei ole yhtä huuhtoutumisherkkä kuin esimerkiksi typpi-ioni, joten kalium pysyy maaperässä. (Arkima 2015, 18; Kempainen 1984, 10.)

Kasvit tarvitsevat ravinteita kasvuunsa tuottaakseen parhaan mahdollisen sadon. Tärkeimmät ravinteet ovat typpi, fosfori ja kalium. Kasvit tarvitsivat noin kahtakymmentä eri alkuainetta rakennusaineeseen ja kasvutoimintojen ylläpitämiseen. Kasviravinteet luokitellaan makroravinteiksi (pääravinteet) ja mikroravinteiksi (hivenravinteet). Makroravinteita ovat hiili, happi, vety, typpi, fosfori, rikki, kalium, kalsium ja mangaani. Näitä ravinteita viljelykasvit ottavat maasta noin 10-200 kiloa per hehtaari. Mikroravinteita ovat rauta, mangaani, kupari, sinkki, molybdeeni, boori ja kloori. Puhekielessä näistä käytetään nimitystä hivenravinteet. Näitä ravinteita viljelykasvit tarvitsevat vähemmän kuin 1 kg/ha. Lannassa olevilla hivenravinteilla on myös vaikutusta lannan arvoon. Mikroravinteita pidetään kasveille heikosti saatavilla olevina, joten tämän takia tuleekin huolehtia väkilannoitteilla näiden saannista. (Erkinjuntti, Kanerva ja Leskinen 1995, 16.)

Raakalannassa on pieninä pitoisuuksina raskasmetalleja kuten kadmiumia, lyijyä, nikkeliä, elohopeaa, kuparia, arseenia, kromia ja sinkkiä. Raskasmetallit pieninä pitoisuuksina eivät kuitenkaan ole haitallisia kasveille. Osa raskasmetalleista, kuten sinkki ja kupari, ovat oleellisia hivenaineita kasveille, mutta nämäkin ovat kasveille vahingollisia liian suurina pitoisuuksina. Raakalannan elohopea, arseeni, lyijy ja kromipitoisuuden ovat yleensä pieniä, eikä niistä ole haittavaikutuksia kasveille ja ympäristölle. Raskasmetallipitoisuuksiin voidaan vaikuttaa lannan käsittelyllä, kuten esimerkiksi separoinnilla tai mädätyksellä. (Arkima 2015, 18.)

Mädätysjäännöksen eli biokaasuprosessin läpikäyneen lannan ravinteet ja ominaisuudet eroavat jonkin verran käsittelemättömän lannan ravinteista. Mädätysjäännöksessä on kokonaistyyppiä, fosforia ja kaliumia sen verran kuin syötteessä on mennyt biokaasulaitokseen. Syötetty massa muuttuu biokaasuprosessissa, jonka aikana ei poistu ravinteita ja tästä johtuen mädätysjäännöksessä on hieman korkeammat ravinnepitoisuudet kuin syötetyssä massassa. Prosessissa osa lannan sisältämästä tyypistä muuttuu kasveille käyttökelpoisempaan, ammoniumtyppimuotoon, jolloin se vastaa peltokäytössä epäorgaanista typpilannoitetta. Prosessissa hajoa lisäksi lannan sisältämiä orgaanisia yhdistei-

tä, jonka vuoksi mädätysjäännös on hajuttomampaa ja tasalaatuisempaa kuin käsittelemätön lanta. (Motiva Oy 2013, 13; Luostarinen 2013, 19, 79.)

Astiakokeissa, mutta myös koeruutumittakaavan lannoituskokeissa on saatu näyttöä mädätysjäännöksen paremmasta lannoitusvaikutuksesta raakalantaan verrattaessa. Luonnonvarakeskuksella Maaningalla olleessa Biotila- hankkeessa tutkittiin mädätysjäännöksen vaikutusta lannoitteena ohralla ja nurmella. Ohranviljelyssä käsittelyjäännös toimi lannoitteena raakalantaa paremmin muun muassa liukoisen typen osalta. Kokeessa käsittelyjäännöksen sisältämän liukoisen typen hyväksikäyttö oli keskimäärin 98 prosenttia väkilannoitetyyppeen verrattuna, kun käsittelemättömän raakalannan liukoisen typen hyväksikäyttö jäi matalammaksi ollen vain 85 prosenttia. Nurmikokeella vastaavaa eroa ei havaittu. Muissa tutkimuksissa raakalannan ja käsittelyjäännöksen lannoitevaikutuksesta on saatu eriäviäkin tutkimustuloksia. Yksi tärkeimmistä tuloksiin vaikuttavista tekijöistä on arveltu olevan lietteen levitystapa. Käsittelyjäännöksen sijoittamisen on havaittu korreloivan parempiin sato-tasoihin kuin pintaan levittäminen. Tämän on arveltu johtuvan käsittelyjäännöksen raakalantaa korkeammista ammoniumtyyppipitoisuuksista. Ammoniumtyppi haihtuu herkästi pintalevityksen seurauksena otollisissa olosuhteissa, jolloin se ei ole enää kasvien käytettävissä. (Virkajärvi ym. 2016, 32-45.)

2.3 Lannan käyttö kasvilannoitteena

Lantaa käytetään kasvilannoitteena ja maanparannusaineena kotieläintiloilla, mutta myös kasvinviljelytilat vastaanottavat lantaa pelloilleen. Koko Suomen kotieläintiloilla vuosittainen syntyvä lantamäärä on noin 20 miljoonaa tonnia (Riiko 2014, 1). Lanta sisältää aina suurimmaksi osaksi vettä. Olomuodosta riippuen lannan kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 3-40 prosentin välillä, esimerkiksi naudon lietelannalla se on noin 5-10 prosenttia. Lannan koostumukseen ja ominaisuuksiin vaikuttaa muun muassa eläinlaji sekä eläimille käytetyt kuivikkeet sekä niiden määrä. Lietelannan voi levittää peltoon hajalevityksenä, letkulevityksenä tai sijoittamalla. Liukoisen typen hyväksikäyttöasteen on havaittu vaihtelevan erilaisten levitysmenetelmien välillä siten, että sijoittamalla saadaan kaksinkertainen hyväksikäyttöaste (jopa 50 prosenttia) hajalevitykseen verrattuna. Lannan siirto pellolle vie arvokasta aikaa ja mitä enemmän lanta sisältää vettä, sitä vähemmän ravinteita saadaan yhdellä vaunullisella kuljetettua. (Lötjönen 2014-03-24.)



KUVA 2. Lietteen levitystä letkulevittimellä (Räty 2015-05-26.)

Nitraattidirektiivillä (91/676/ETY) säädelään EU-tasolla lannan käsittelyä, varastointia ja käyttöä. Mikäli kyseessä ei ole kasvuston päälle tehty levitys, tulee lanta muokata maan sekaan vuorokauden kuluessa levityksestä. Nitraattidirektiivi määrää myös rajoitukset lannan käytölle asettamalla lannan ja orgaanisten lannoitteiden sisältämän kokonaistypen ehdottomaksi enimmäismääräksi 170 kilogrammaa hehtaaria kohden vuosittain. Myös liukoisien typen määrät on säädelty kasvi- ja maalajeittain. Rajoituksilla pyritään ehkäisemään ympäristöhaittoja, joita viljelymaan ulkopuolella voi esiintyä ravinnehuhtoutumien vuoksi. (Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250, §1, §10-11.)

Lannan levitys sisältää maan kannalta sekä mahdollisuuksia että uhkia. Toisaalta maan mikrobitointi lisääntyy ja orgaanisen aineen määrä kasvaa, toisaalta maan tiivistymisen riski etenkin tietyillä maalajeilla ja tietyissä oloissa kasvaa ja voi vaikuttaa saatavaan sadon määrään. Tiivistymisriskin minimoimisen vuoksi pieni osa tiloista on ottanut käyttöön syöttöletkulevityksen, jossa pellolla ei ajeta ollenkaan painavan lietevaunuyhdistelmän kanssa, vaan traktori vetää letkua perässään, johon liete pumpataan suoraan lietesäiliöstä. Menetelmä soveltuu ihanteellisimmin tilakeskuksen tai etäsäiliön lähellä oleville peltolohkoille. Hajanaisille lohkoille joudutaan ajamaan jatkossakin kärry kerrallaan. (Kuva 2 ja 3.) (Knuutila 2018-02-28.)



KUVA 3. Lietevaunun kiekkomultain letkuineen (Räty 2015-05-26.)

Lannan arvo lannoitteena ja toisaalta sen kasvavat tuottomäärät ovat saaneet aikaiseksi erilaisten käsittelymenetelmien suosion kasvun. Lantaa ei välttämättä enää ajeta peltoon sellaisenaan, vaan se prosessoidaan jollain tavalla, jotta siitä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty - ja toisaalta mahdollisimman vähän haittaa. Esimerkiksi Tanskassa lannan separointi on erittäin tavallista, sillä siellä edistykseksi separointitekniikoita käyttävä sikatilallinen voi käyttää kuivajakeen lannoitteena kun taas alle 1 prosenttia kuiva-ainetta sisältävä nestejake on soveltuvaa puhdistamolieteprosessiin. Uusi mahdollinen menetelmä on lannan hapottaminen, jossa lannan normaalia pH:ta (noin 7) lasketaan rikkihapon avulla noin 5,5:een. pH:n lasku merkittävästi vähentää typen haihtumista levityksen yhteydessä. Typen jäädessä lannoitteeseen, lannoitevaikutus paranee, jolloin lannan levityksen hyötykin kasvaa. On myös huomattu, että tarkennetulla ruokinnalla voidaan vähentää lannan sisältämien ravinteiden määrää. (Baltic deal 2018-02-28.)

Lannalle voi laskea rahallisen arvon kun laskee sen sisältämien ravinteiden määrän esimerkiksi tonnissa lantaa. Tätä arvoa verrattaessa kaupallisten lannoitteiden typpi- ja fosforikilon hintaan voidaan määrittää laskennallisesti taloudellisesti järkevät kuljetusmatkat. Esimerkiksi vuoden 2010 lannoitehinnoilla lietesäiliön ja pellon etäisyyden ollessa yli yhden kilometrin, muuttuu lietteen ravinteet kalliimmaksi kuin ostolannoitteet eikä tilanne ollut juuri parempi neljä vuotta myöhemminkään, jolloin tosin sijoitustuella matkaa saatiin kasvatettua huomattavasti noin seitsemään kilometriin (Lötjönen 2014-03-24). Tilakokojen kasvaessa peltojen etäisyys tilakeskukseen on kasvanut tilastojen mukaan, jolloin myös lietteen kuljetuskustannukset kasvavat edelleen. MTT:ssä (nykyinen Luke) on laskettu separoinnin kustannussäästöjä erilaisilla fosforin erotustehokkuuksilla ja laskelmien mukaan separoinnilla on saavutettavissa useampien tuhansien eurojen säästöt lannan levityksessä, vaikka fosforin erotustehokkuus olisi vaatimatonkin. Laitteistot ovat kuitenkin sen verran arvokkaita, että yksittäisen tilan ei niitä siitä huolimatta kannattaisi hankkia, mutta suurten tilojen yhteistyönä lannan hyödyntämiskäytännöt voisivat kehittyä nopeasti kaikille kannattavaksi. (Lehtonen, Kässi ja Rintamäki, 2013.)

Lietelannasta neste- ja kuivajakeen erottaminen voi olla kotieläintiloilla suurenevien tilakokojen myötä ratkaisu lannankäsittelyssä. Lannan rahallista arvoa voidaan nostaa separoimalla, jolloin separoinnin onnistuessa muodostuu typpipitoinen nestejake sekä fosforipitoinen kuivajake. Parhaimmillaan nestejakeen liukoisen typen osuus on suuri, jolloin sen typpi-fosforisuhde lannoitteena on käsittelemätöntä karjanlantaan parempi. Kokonaistypin määrää rajaa lannanlevitystä, mutta nestejakeen sisältämä suurempi liukoisen typen osuus nostaa lannan arvoa lannoitteena. Nestejake on ohuena jakeena helppo käsitellä ja imeytyy raakalantaa nopeammin maahan ja luovuttaa ravinteet kasvien käyttöön. Sijoittaminen vähentää typen hävikkiä. Toisaalta kuivajake on raakalantaa edullisempaa kuljettaa kaukaisemmille lohkoille, joilla on mahdollisesti enemmän tarvetta fosforilannoitukselle kuin tilakeskuksen läheisyydessä olevilla pelloilla. Kuivajake on tilavuudeltaan alle kymmenen prosenttia raakalietteen tilavuudesta. Kuivajakeen levittämällä saadaan kuljetettua fosforia kauemmas ja näin lannoittaa kauempia peltolohkoja pienemmällä kustannuksella. Kuivajake kompostoituu nopeasti ja kompostoitua tuhoutuu muun muassa rikkakasvien siemeniä. Kompostointi vähentää kuivajakekuormien määrää tilavuuden pienentyessä. (Luostarinen ym. 2011, 56; Reiskone Oy 2018.)

3 LIETELANNAN KÄSITTELY

Lantaa voidaan käsitellä nykyään monilla eri prosessointitavoilla. Lannan käsittelyprosessit jaotellaan kemialliseen (saostus), biologiseen (mädätys ja kompostointi) ja fysikaaliseen (mekaaninen ja kemiallinen separointi) prosessiin. Lannan käsittelyllä pyritään parantamaan sen hyötysuhdetta sekä pienentämään lantaan liittyviä haittoja. Prosessoimalla lantaa saadaan ravinteiden talteenotossa syntyneitä säästöjä. (Luostarinen, Logrén ym. 2011, 17.)

3.1 Biologiset käsittelyprosessit

Biologisilla prosesseilla tarkoitetaan mikrobiologiaan perustuvia prosesseja, joissa hyödynnetään mikrobeja muuntamaan materiaali toiseen haluttuun muotoon halutuissa olosuhteissa. Yleisesti biologiset prosessit on jaettu anaerobisiin ja aerobisiin prosesseihin. Hapellisissa (aerobinen) olosuhteissa tapahtuva eloperäisen materiaalin käsittelystä käytetään eri yhteyksissä eri nimityksiä. Kiinteiden aineiden aerobisista hajoamista kutsutaan kompostoinniksi, kun taas puolestaan nestemäisten aineiden hajoamista lietteiden ilmastukseksi. Kummassakin prosessissa helposti hajoava orgaaninen aines, joka sisältää hiiltä hajoaa mikrobien vaikutuksesta tuotten hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Hapettomissa (anaerobinen) olosuhteissa eli biokaasuteknologiassa käytetään maatalouden, teollisuuden sekä yhdyskuntien eloperäisiä jätteitä. (Luostarinen, Paavola ym. 2011, 10-16.)

3.1.1 Biokaasuteknologia

Hapettomissa olosuhteissa eli anaerobisissa olosuhteissa tapahtuvaa eloperäisen materiaalin hajoamista kutsutaan biokaasuteknologiaksi. Prosessi tapahtuu biokaasulaitoksessa, joissa muodostuu biokaasua erilaisten mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Tämän prosessin tuloksena syntyy runsaasti metaania sisältävää biokaasua sekä lannoitekäyttöön soveltuvaa orgaanista mädätysjäännöstä. Biokaasu on kaasua, joka sisältää tavallisesti 40-70 prosenttia metaania, noin 30-60 prosenttia hiilidioksidia ja hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä. (Luostarinen, Paavola ym. 2011, 10.)

Biokaasutuotanto on biologinen prosessi, jossa orgaaninen aine hajoaa hapettomissa oloissa. Biokaasua muodostuu luontaisesti esimerkiksi soiden pohjissa ja märehittöiden pötsissä. Biokaasutuotantoon soveltuvat monet erilaiset materiaalit, kuten esimerkiksi biojätteet, teollisuuden sivutuotteet, lanta, puhdistamolietteet tai peltobiomassat. Suomessa suurin potentiaali on peltobiomassoilla biokaasulaitosten raaka-aineena. Biokaasua hyödynnetään energiantuotantoon, yleensä lämmön ja sähkön tuotantoon, mutta biokaasua on puhdistuksen jälkeen mahdollista jalostaa myös liikennepolttoaineeksi. (Kuva 4.) (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 10; Motiva Oy 2013, 3-4.)



KUVA 4. Luonnonvarakeskus Maaningan biokaasulaitos (Laakso 2018-03-03.)

Biokaasuprosessi on nelivaiheinen, jonka kustakin vaiheesta vastaavat erilaiset pieneliöt. Optimaalisten olosuhteiden luominen pieneliötoiminnalle on biokaasuprosessin perusta. Ensimmäisessä hajoamisen vaiheessa hajoavat suuret orgaaniset molekyylit, kuten rasvat ja hiilihydraatit. Toisessa hajoamisen vaiheessa syntyy erilaisia happoja. Asidogeneesivaiheessa tuotetaan edellisen vaiheen esim. rasvahapoista raaka-ainetta metaanin tuottamiseen. Tälle vaiheelle tyypillistä on, että metaania tuottavat bakteerit toimivat symbioosissa vetyä kuluttavien metanogeenien kanssa. Hajoamisen viimeistä vaihetta nimitetään metanogeneesiksi. Metanogeenit tuottavat hiilidioksidia ja metaania eli biokaasua. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 60-65.)

Biokaasuprosessissa syntyvä käsittelyjäännös sisältää biokaasulaitokseen syötetyn raaka-aineen ravinteet ja hivenaineet. Suurin muutos ravinteissa tapahtuu orgaanisen typen hajoamisessa, jolloin muodostuu ammoniumtyyppiä. Typen muuttuminen liukoiseen muotoon on etu käsittelyjäännöksen ravinteiden hyödyntämisen kannalta esimerkiksi kasvilannoitteena. (Luostarinen, Paavola ym. 2011, 10-15.)

3.1.2 Kompostointi

Kompostointi on biologinen prosessi, jossa monilajinen mikrobien muodostama eliöyhteisö hajottaa kompostoituvaa materiaalia aerobisissa eli hapellisissa olosuhteissa. Mikrobien toiminta vaatii otolliset olosuhteet, jotta hajotusprosessi käynnistyy. Lopputuotteena saadaan humusta, vettä, hiilidioksidia ja lämpöä. Lisäksi muodostuu uutta suoloja sisältävää biomassaa. Hajoamistoiminnassa tär-

keimpiä ravintoaineita ovat hiili ja typpi. Tärkeässä asemassa ovat myös fosfori ja hivenaineet. Hiili toimii kompostoinnissa polttoaineena, sillä kompostissa hajotusta tekevät pieneliöt käyttävät nimenomaan hiiltä ravintonaan. Typpi taas edesauttaa pieneliöiden lisääntymistä, jotta hajotustoiminta jatkuu. Tarvittaessa hiilipitoista materiaalia, kuten haketta, lisätään kompostiin hajoamistoiminnan takaamiseksi. (Pakarinen 2018-04-07.)

Kompostoinnissa muodostuu lämpöenergiaa ja prosessiin kuuluu lämpötilan olennainen nousu. Kompostointi prosessissa vallitsevat mikrobiryhmät vaihtuvat prosessin edetessä kuten biokaasuntuotannossakin. Yleisesti kompostoituvat materiaalit sisältävät sen verran orgaanista ainesta hajotavia mikrobeja, jotta prosessi käynnistyy. Komposti, jossa hapellisista oloista ei huolehdi, muuttuu tunkioksi, jossa hapettomissa kohdissa kompostoitumisen sijaan alkaa mätäneminen. (Luostarinen ym. 2011, 16). (Pakarinen 2018-04-07.)

Kompostointi voidaan toteuttaa aumassa tai suljetussa kompostorissa. Menetelminä puhutaan aumakompostoinnista, rumpukompostoinnista sekä lietelannan kompostoinnissa käytettävä nestekompostointia eli ilmausta. Suljetut kompostorit ovat usein jatkuvatoimisia rumpukompostoreja tai panostyyppisiä tunnelikompostoreja. Lannan kompostoinnissa pH nousee, joka lisää ammoniakkin haihtumista. (Luostarinen ym. 2011, 17.)

Kompostoinnin tavoitteena on saada kypsää, hajutonta, paljon humusta sisältävää kompostia, tällöin kompostoinnin aikana eloperäinen aines on hajonnut biologisesti mahdollisimman pitkälle. Kypsä komposti ei ole kasvitoksinen, mutta raaka komposti voi haitata kasvien kasvua. Valmiin kompostin hiili-typpisuhteen tulisi olla alle 20:1 ja liukoisen tyyppien tulisi esiintyä nitraattityyppinä. (Luostarinen, Paavola ym 2011, 18.) Mikäli kompostointiaika on riittävän pitkä ja kompostin lämpötila riittävän korkea, kompostointi tuhoaa myös taudinaiheuttajia, rikkakasvinsiemeniä sekä tuholaisien munia (Pakarinen 2018-04-07). Esimerkiksi kuivalannassa todettu salmonella pyritään tuhoamaan kompostoinnilla (ETT 2018).

3.1.3 Ilmastus

Ilmastus on nestemäisen lietteen kompostointia. Lietteeseen lisätään ilmaa, joka saa aikaan prosessin, jossa lietteen orgaaninen aines alkaa hajota. Hajoamisen seurauksena liete muuttuu entistä tasalaatuisemmaksi sekä sen hajuhaitat vähenevät. Orgaanisen aineen hajotessa myös osa rikkakasvien siemenistä ja muista haitallisista aineista hajoaa. Ilmastus suositellaan tehtäväksi katetussa säiliössä, jossa lannasta haihtuva typpi saataisiin otettua talteen. (Hellstedt 2013.)

3.2 Lietelannan separointi

Kiinnostus lietelannan separointiin on kasvussa. Tilakoot suurenevat ja tuottavat entistä enemmän lantaa. Separoimalla lantaa saada se erilaisiin muotoihin, jolloin sen käyttöä voidaan tarkentaa ja kohdistaa paremmin. Lietelannan typpi-fosforisuhde voi olla kasveille epäedullinen, mutta lannan typpi-fosforisuhdetta (N:P) kasveille käyttökelpoisemmaksi voidaan parantaa separoimalla. Esimer-

kiksi naudan- ja sianlietelanta joka on käynyt biokaasuprosessin läpi, on sen typpi-fosforisuhde 1,1. Käsittelemättömän naudan lietelannan typpi-fosforisuhde on 0,92 ja sianlietelannalla 0,84. Voidaan todeta, että biokaasuprosessi parantaa lannan hyödynnettävyyttä peltokäytössä. Nestejakeessa typpipitoisuus on lietelantaa suurempi, kun taas kuivajakeeseen erottuu fosforia enemmän. Tyypillisesti tilakeskuksen lähipellot eivät kaipaisi juurikaan lisää fosforia, mutta fosforipitoista kuivajakeeta on taloudellisesti järkevää ajaa tilakeskuksesta kauemmas kuin separoimatonta lietelantaa. Kuivajakeella on kysyntää myös kasvinviljelytilojen lisälannoitteena, jossa voi olla tarvetta myös kuivajakeen sisältämän orgaanisen aineen lisäykselle peltoon. (Luostarinen ym. 2011, 47.)

3.2.1 Mekaaninen separointi

Mekaaninen separointi on kemialliseen separointiin verrattuna halvempaa, sillä kemikaalikustannuksia ei ole, muutoin käytetään samoja separointilaitteistoja. Mekaanista separointia voidaan tehdä maatilamittakaavassa ja se soveltuu hyvin myös maatilojen yhteiskäyttöön raakalietteelle sekä mädätysjäännökselle. Separoinnissa lannasta erotetaan neste ja kiinteäosa toisistaan erilleen. Kuivajae sisältää yleisesti enemmän kuiva-ainetta sekä fosforia, joka on sitoutunut kuivajakeeseen. Nestejae sisältää liukoista typpeä ja kalsiumia. (Arkima 2015, 20.)

Separointia voidaan tehdä useammilla erilaisilla tavoilla riippuen separoinnin tavoitteista tai käytettävissä olevista välineistä tai panoksista. Erotustehokkuus perustuu pääosin painovoimaan tai paineeseen. Laskeuttamisessa liete pumpataan säiliöön ja annetaan laskeutua itsekseen, jolloin pohjalle painuu kuiva-ainesta ja pinnalle jää nestejae. Laskeuttaminen on halpa menetelmä, mutta se sopii parhaiten vain todella ohuille lietteille, jolloin laskeutus aika pysyy lyhyenä. (Christensen, Christensen ja Sommer 2013, 110-113.)

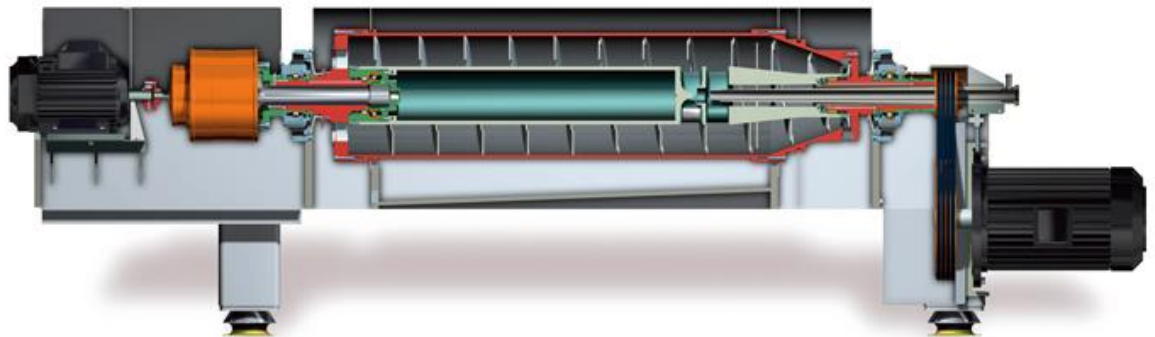


KUVA 5. Savonia-ammattikorkeakoulun omistama dekantterilinko (Laakso 2018-04-03.)

Separoiminen dekantterilingolla (kuva 5) tarkoittaa lietelannan syöttämistä linkoon, joka pyörii kovalle nopeudella ja irrottaa kuivajakeen keskipakovoiman avulla. Mitä kauemmin syötetty liete viipyy lingossa, sitä paremmin separointi toimii. Linkoaminen sopii laskeuttamista paremmin paksummille

lietteille. Linkoamisen on havaittu olevan tehokkain menetelmä erottaa kuiva-aine ja fosfori lietteestä. (Christensen ym. 2013, 118.)

Linko koostuu sylinterimäisestä rummista, jonka sisällä on ruuvi. Rumpu sekä ruuvi pyörivät kovalla nopeudella, mutta hieman eri vauhtia. Liete syötetään lingon päästä keskelle linkoa. Rumpu erottaa keskipakovoiman avulla seinämilleen kuiva-ainetta, jota eri vauhtia pyörivä ruuvi kuljettaa kohti rumpun kartion mallista päätä. Rumpun rakenne ja ruuvin puristusvoima edesauttaa sitä, että ruuvin kuivajakeesta irtoaa vielä siihen jäänyttä nestettä pois. Rumpun sisällä olevilla patolevyillä voidaan säätää rumpun sisäisen vesipatjan paksuutta. (Kuvio 2.) Lingon toimintaa säädellään patolevyillä, rumpun ja ruuvin välisellä erokierrosluvulla, lingon pääkierrosluvulla sekä ruuvin momenttiarvolla. (Mannermaa 2013, 25-27; Records ja Sutherland 2001, 22.)



KUVIO 2. Dekantterilingon leikkauskuva (Alfa Laval 2018).

Ehkä tunnetuin mekaaninen separaattori on ruuviseparaattori. Ruuviseparaattorilla voidaan separoida mekaanisesti syöttämällä liete ruuville, jossa nestejake puristuu paineen voimasta seulan läpi ja ruuvi kuljettaa kuivajakeita painoja vastaan ruuvin läpi. Ruuviseparoinnilla kuivajakeesta saadaan kuivempaa kuin muilla menetelmillä, mutta ravinteiden erottelu on heikompa. Laitteen kyky erotella kuiva-ainetta sekä ravinteita riippuu tekniikasta sekä lannan kiintoainepitoisuudesta. Fosfori on lietteessä yleensä pienissä partikkeleissa tai liuenneena nesteeseen. Tyypeä löytyy sekä pienemmistä että suuremmista partikkeleista. Seulan läpi puristuvat pienet partikkelit nestejakeeseen. Kuivajakeen vesipitoisuus on edelleen suuri, joten osa fosforista ja tyypestä jää separoinnin jälkeenkin erottelematta. Ruuviseparaattorin kyky erotella fosfori ja typpi eri jakeisiin onkin varsin rajallinen. Vaikka erottelu ei ole välttämättä ravinteiden osalta kovin tehokasta, eräissä kokeissa on havaittu, että vaikka molempiin jakeisiin jääkin sekä fosforia että tyypeä, niin kuivajakeen suurempi fosforimäärä voi tehdä siitä hyvän perustamislannoituksen tietyille lohkoille. Kemikaalien lisääminen lietteeseen separoimistuloksen tehostamiseksi on mahdollista. (Christensen ym. 2013, 116; Virkajärvi ym. 2016, 25, 33.)

Partikkelikoon lisäksi lietteen kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa separoitavan lietteen ravinteiden erottumiseen. Mitä enemmän lietteessä on kuiva-ainetta, sitä enemmän kuivajakeita muodostuu, mutta li-

säksi sitä ravinteikkaampaa kuivajae on mitä paksumpaa separoitava liete on ollut. (Virkajärvi ym. 2016, 29-30.)

3.2.2 Kemiaallinen separointi

Kemikaalien käytöllä separoinnissa pyritään pelkkää mekaanista separointia parempaan lopputulokseen ravinteiden erottamisessa ja siten jakeiden käyttökelpoisuudessa. Lietteen partikkelit ovat usein varaukseltaan negatiivisia, jolloin ne välttelevät toisiaan eikä saostumista siksi juurikaan tapahdu ilman kemikaaleja. Saostumista voidaan helpottaa lisäämällä kationeja tai polymeerejä tai molempia lietteeseen vähentämään partikkeleiden negatiivisia varauksia. Kationeilla saadaan aikaan myös fosforin saostuminen. (Christensen ym. 2013, 119-120.)

Liunneita ioneita voidaan saostaa lisäämällä lietteeseen suolaa. Fosforia saadaan tehokkaasti saostettua lietteestä lisäämällä sopivia määriä esimerkiksi rauta- tai kalsiumsuolaa. Jätevedenpuhdistamoilla käytetään menetelmää yleisesti. Erityisesti lietteen pieniin partikkeleihin suolojen teho on hyvä, mutta oikean annosmäärän löytäminen täytyy kokeilla tapauskohtaisesti kullakin käytettävällä lietteellä. (Christensen ym. 2013, 120.)

Polymeerien lisääminen lietteeseen aiheuttaa reaktioita lietteessä, jolloin liete flokkuloituu eli hiutaloituu. Polymeeri tekee lietteen pinnalle polymeerisiltoja, jotka näkyvät partikkelien kerääntymisellä yhteen. Polymeeri, jota lietteeseen yleisesti lisätään, on kationinen, jotta lietteen negatiivisesti varautuneet hiukkaset saataisiin flokkuloitumaan parhaimmalla lopputuloksella. Polymeerin valintaan vaikuttaa lietteen partikkeleiden fysikaaliskemikaaliset ominaisuudet, ionien voimakkuus sekä viskositeetti. Erilaiset polymeerit toimivat erilaisiin käyttötarkoituksiin ja eri kokoisten partikkeleiden kokoamiseen. Partikkeleiden pintajännitys vaikuttaa tarvittavaan polymeerimäärään siten, että mitä suurempi se on niin sitä enemmän polymeeriä tarvitaan riittävien vaikutusten saamiseksi. (Christensen ym. 2013, 121.)

Kemikaalien lisäämisessä täytyy olla huolellinen, jotta partikkeleiden liittymät pystyvät muodostumaan ja pysyvät yhdessä. Mikäli käytetään sekä suolaa että polymeeriä lisätään suola ensin, sillä se muodostaa pienimmistä partikkeleista saostumia. Suola tulee sekoittaa hyvin useita minutteja, jotta lietteen negatiivisesti varautuneet ionit neutraloituvat ja saostumia pääsee muodostumaan. Tämän jälkeen lisätään polymeeri hitaasti pieninä annoksina ja sekoitetaan voimakkaasti samalla, jonka jälkeen sekoitusnopeutta hidastetaan, jotta partikkeliryhmät ja saostumat voivat muodostua. Sekoituksella on suuri merkitys siinä miten hyvin polymeeri onnistuu tehtävässään, sillä liian hidasta sekoitusta tekee partikkelien yhteenliittymistä epävakaita ja liian nopea sekoitus tuhoaa yhteenliittymät. Polymeerin annostusta täytyy kokeilla tapauskohtaisesti, mutta yleisenä ohjeena pidetään 0,5-1,0 grammaa polymeeriä yhteen kilogrammaan lietettä. Lietteen kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa tarvittavan koagulantin ja polymerin määrään, sillä mitä paksumpaa liete on, sitä enemmän siinä on negatiivisesti varautuneita ioneja, jotka täytyy neutraloida ja saostaa, joten sitä enemmän tarvitaan kemikaaleja hyvän lopputuloksen saamiseksi (Christensen ym. 2013, 121-122.)

Sopivaa kemikaaliannostus voidaan tutkia pienessä mittakaavassa, jossa määritetään erilaisilla kemikaaliannostuksilla optimilisäysmäärä, jossa saavutetaan suurin nestefaasi astian pinnalle. Liian suurella sekä liian pienellä annostuksella nestefaasin osuus on pienempi. Mikäli typen ja fosforin erottuminen eri faaseihin on tärkeää, tulee testieristä ottaa näytteitä, joissa nämä määritetään. (Christensen ym. 2013, 122.)

Kemikaalien lisäyksen jälkeen liete voidaan käsitellä mekaanisesti separoimalla. Kemiallisesti esikäsitellyn lietteen separoimismenetelmän valinta vaikuttaa muodostuneiden flokkien pysymiseen sekä nesteen erottumistehokkuuteen, esimerkiksi ruuviseparointi voi hajottaa jo muodostuneita flokkeja. (Christensen ym. 2013, 121-122.)

Haittapuolena kemikaalien käytössä on havaittu, että flokkulanttien lisääminen voi muuttaa joitain raskasmetalleja, kuten sinkki, kupari ja kadmiun, erilaiseen muotoon, joka voi rajoittaa lannoituskäyttöä. On arveltu, että fosforin käyttökelpoisuus kasveille voi tietyin edellytyksin kärsiä käsiteltäessä lietettä koagulanteilla. Lisäksi suuren polymeerimäärän käyttö lisää pellolle levitettävän nesteen määrää. Lisäksi polymerien sisältämät aineet voivat olla myrkyllisiä sellaisenaan. Riskejä on kuitenkin pidetty vähäisinä, mutta ne tulee ottaa huomioon kemikaaleja käytettäessä. (Christensen ym. 2013, 105, 122; Virkajärvi ym. 2016, 30.)

4 RAKEISTAMINEN

Rakeistus on prosessi, jossa aines muutetaan haluttuun kiinteässä muodossa olevaan kiintoaines-hiukkasten muodostamaan raekokoon. Rakeistusta hyödynnetään pölymäisien materiaalien käsittelemisessä, jolloin materiaalin raekokoa suurennetaan ja näin saadaan helpommin käsiteltävää materiaalia. Rakeistuksella materiaalille saadaan korkeampi irtotiheys, joka vähentää esimerkiksi kuljetuksessa tilaa. Teollisuudessa käytetään rakeistusta yleisesti, mm. rauta- ja terästeollisuudessa, lääketieteellisyydessä sekä kierrätys- ja ympäristönsuojelussa. (Ämmälä 2015, 40-43.)

Rakeistamismenetelmät voidaan jakaa kerrostavaan- ja puristavaan rakeistukseen sekä nestemäisen faasin rakeistamiseen. Kerrostavassa rakeistuksessa käytetään rakeistusrumpuja sekä lautasrakeistimia. Puristavassa rakeistuksessa on valssipuristin ja suulakepuristin. Nestemäinen rakeistus perustuu pisararakeistukseen. Tässä työssä rakeistaminen tehtiin yhteistyössä JST Kuljetuspalvelut Oy:n kanssa ja siksi rakeistamiseen valittiin heidän eksiterminen rakeistuslaitos. Rakeistuslaitoksesta kerrotaan tarkemmin luvussa 5.2.1. (Ämmälä 2015, 44.)

Lannoiteteollisuudessa rakeistus on yleistä kaupallisten väkilannoitteiden valmistamisessa. Väkilannoitteiden raemainen olomuoto helpottaa lannoitteiden käsittelyä lannoittimenlevittimessä, jolloin annostelu on tarkempaa sekä rakeet liikkuvat paremmin. Kaupallisissa lannoitteissa ravinteet ovat samassa rakeessa ja näistä N-P-K-lannoitteista suurin osa on kuivarakeistettuja. Suuret väkilannoitevalmistajat käyttävät lannoitteiden valmistuksessa pääsääntöisesti sekahappoprosessia, jossa raakafosfaatti liuotetaan typpihappoon. Tällöin fosfaatti saadaan vesiliukoiseen muotoon. Prosessissa on monia eri vaiheita, ja ne tehdään neutralointireaktoreissa. Prosessissa syntynyt liete rakeistetaan, kuivataan ja seulotaan haluttuun raekokoon.

Toinen käytetty väkilannoitteiden valmistusprosessi on nitrofosfaattiprosessi. Prosessissa raakafosfaatti liuotetaan typpihappoon. Oikealla typpi-fosforisuhteella syntyy N-P-K-lannoitetta. Kolmannessa käytetyssä prosessissa typpihaposta ja ammoniakista valmistetaan ammoniumnitraattia, fosforihaposta ja ammoniakista monoammoniumfosfaattia eli MAPia. Nämä ja kalisuola yhdistetään rakeistuksessa.

Väkilannoiterakeet pinnoitetaan yleisesti talkki- ja öljyamiiniseoksella, jonka tehtävä on estää paakkuuntumista sekä hylkiä kosteutta. Lannoitevalmistaja Yaralla on käytössä lannoiterakeiden ulkorunkona kipsi. Lannoitevalmistajien raekoko riippuu käytetystä prosessista sekä seulonnan tarkkuudesta. Yaralla N-P-K rakeista yli 90 prosenttia on 2-4 millimetrin kokoisia ja heidän keskiraekoko on 3,2 millimetriä. (Ylhäinen 2014.) (Kuva 6.)



KUVA 6. Yara Mila Y10-väkilannoitesäkki (Kanninen 2018-05-07.)

Lannoitusrakeita levitettäessä kasvustoon on se tärkeää saada tehtyä tasaisesti, jotta kaikkialle peltoon tulee oikeassa suhteessa lannoitetta. Tällä hetkellä käytössä lannoitteiden levityksessä on sijoitus, pinta- ja lehtilannoittaminen. Lannoiterakeita levitettäessä yleisin levitysmuoto on pintalevytys. Siinä rakeet levitetään maan pinnalle lannoitteenlevittimellä. Käytössä olevat levittimet ovat keskipa-koislevitin sekä suuremmilla työleveyksillä voidaan käyttää paineilmalevittimiä. Eri valmistaja ovat testanneet lannoittimenlevittäjiään ja tehneet niille omat levitystaulukot, joden mukaan lannoitteet levitetään. Näissä kerrotaan miten levitin pitää säätää jotta saadaan paras mahdollinen levitystulos kiloa hehtaarille. (Yara 2018.)

Lentotuhkan käyttäminen rakeistamisessa

Palamisessa syntyvät tuhkat jaetaan lentotuhkaan ja arinatuhkaan. Arinatuhka on kattilan pohjalle jäänyttä tuhkaa kun taas lentotuhka on savukaasujen mukana kulkeutuvaa kevyttä mineraaliainesta. Lentotuhka syntyy kivihillen palamistuotteena sekä puuteollisuudessa puun ja turpeen poltossa. Lentotuhka erottamiseen savukaasuista käytetään sähkö- tai letkusuodattimia, joihin se jää kiinni. Suodattimiin jäänyt lentotuhka kerätään ja varastoidaan (Ash-Pover 2018.)

Lentotuhka (kuva 7) on hienojakeista, ja sen raekoko on $2 \text{ \AA } 100 \text{ \mu m}$. Lujuus muodostuu kitkasta, sekä koheesiosta. Lentotuhka on emäksikästä, joten se on hyvä happamien neutraloija. Lentotuhkan pääaineosat ovat piidioksidi ja alumiinioksidi. Puunpoltosta peräisin olevassa tuhkassa on keskimäärin 0,2-3 prosenttia fosforia, 0,5-10 prosenttia kaliumia, 5-40 prosenttia kalsiumia ja alle 0,1 prosenttia booria. Näiden lisäksi se sisältää pienempiä määriä muita alkuaineita. Näistä raskasmetallit ovat olleet kiinnostuksen kohteena niiden haitallisuuden takia.

Tuhkan koostumus vaihtelee yleensä seuraavissa rajoissa:

- Piidioksidi (SiO_2) 45-55 prosenttia
- Alumiinioksidi (Al_2O_3) 20-30 prosenttia
- Rautaoksidi (Fe_2O_3) 8-11 prosenttia
- Kalsiumoksidi (CaO) 4-7 prosenttia
- Magnesiumoksidi (MgO) 3-5 prosenttia
- Kaliumoksidi (K_2O) 1-2 prosenttia
- Natriumoksidi (Na_2O) 0-2 prosenttia

(Huotari 2012, 6; Keppo, Mrouel, Mäkelä, Rämö ja Whalström 1995, 9-10.)



KUVA 7. Lentotuhkaa (Kanninen 2016-03-06.)

Ennen vuotta 1993 tuhkan käytöllä ei ollut juurikaan rajoituksia, eikä sen raskasmetallipitoisuuksia tällöin osattu pitää liian korkeina. Vuonna 1993 Suomi liittyi ETA:an ja samalla tuhka tuli lannoitelain alaiseksi, jonka seurauksena tuhkalla täytyy olla tuoteseloste. Tämän myötä tuhkan raskasmetallipitoisuuksiin alettiin kiinnittää enemmän huomiota. Tuhkan käyttöä lannoitteena säätelee Suomessa lannoitevalmistelaki (539/2006) ja tämän perusteella annettu asetus MMM asetus 24/11. Tuhkalannoitteiden on täytettävä lannoitevalmisteille asetetut vaatimukset. Eviralta tulee hakea tyyppinimeä, mikäli tuhkaan lisää jotain orgaanista ainesta, kuten esimerkiksi lietettä, ja valmistetaan tästä lannoitetta. Tuhkalannoitteena käytetty tuhka voi olla peräisin kasviperäisten raaka-ainesten tai lannan poltosta. Evira on asettanut tuhkan raskasmetallipitoisuuksille raja-arvot metsäkäytössä sekä pelto- ja puutarhataloudessa. Tähän katsotaan kuuluvaksi myös viherrakentaminen sekä maisemointi. Metsäkäytössä raskasmetallipitoisuuksien arvot ovat suurempia verrattaessa pelto- ja puutarhatalouteen. (Evira 2018; Huotari 2012, 9.)

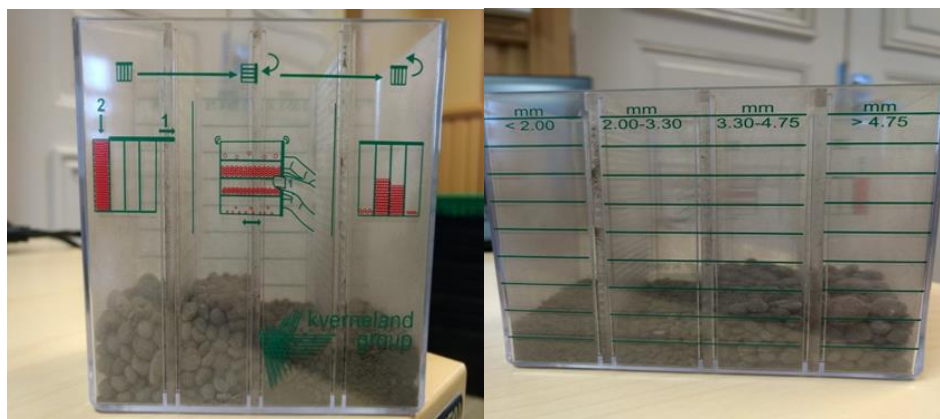
5 AINEISTO JA MENETELMÄT

Biokaasulaitoksen läpikäyneestä mädätysjäännöksestä separoitiin mekaanisesti ja kemiallisesti kuiva- ja nestejätettä Luonnonvarakeskus Maaningan toimipaikalla, jossa toimii tutkimuspihaton yhteydessä biokaasulaitos. Biokaasulaitoksessa käsitellään naudan lietelantaa sekä muita maatalouden biomassoja. Lietelanta kerätään lietekuilun kautta esisäiliöön, josta se pumpataan biokaasureaktoriin. Kasvibiomassojen syöttöä varten on erillinen syöttölaite. Biokaasu ohjataan reaktorisäiliön suojakuvun alla olevaan kaasuvärasäiliöön. Käsittelyjäännös virtaa ylivirtauksena jälkikaasualtaaseen. Lopulta biokaasuprosessin läpikäynyt mädätysjäännös pumpataan värasäiliöön ja käytetään pelloilla lannoitteena.

Työ käytännön toteutus tehtiin Luke Maaningan toimitiloissa heidän ruuviseparaattorillaan (Bauer Separator S 655) ja muulla tarvittavalla kalustolla. JST Kuljetuspalvelu Oy teki rakeistamisen. Kemikaaliseparoinneissa dekantterilinkona toimi DeLaval-merkkinen Savonia-ammattikorkeakoulun dekantterilinko. Maaningalla käytössä oleva ruuviseparaattori on tyyppiltään sellainen, jonka maatila voisi hankkia itselleen separoimaan tuottamansa lietelannan.

Kuiva-ainepitoisuus (TS, total solids) määritettiin Maaningalla kuivaamalla näytteitä lämpökaapissa 105 asteessa 15-20 tuntia, jolloin näytteiden sisältämä vesi on haihtunut. Nestemäisiä näytteitä punnittiin noin 30 grammaa ja kuivajätettä noin 10 grammaa upokkaiisiin. Kuivapainon ja tuorepainon suhteesta saadaan laskettua kuiva-ainepitoisuus. Tarkemmat ravinneanalyytit tehtiin Suomen ympäristöpalvelu Ahma ympäristö Oy:ssä ja raskasmetallipitoisuudet analysoitiin Eurofins Suomi Oy:ssä. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen ja Rintala 2007, 61.)

Rakeiden kokojakauma testattiin lannoiteseulalaatikon avulla. Laatikon yksi lokero täytettiin täyteen rakeita. Tämän jälkeen laatikko käännetään sivuttain ja sitä aletaan ravistaa sivusuunnassa edestakaisin. Ravistamisen aikana rakeet liikkuvat laatikon sisällä olevien kolmen erikokoisen seulan läpi (Kuva 8.). Laatikossa on neljä eri lokeroa rakeille. Laatikkoa ravistellessa rakeet hakeutuvat seulojen läpi oikeankokoiseen lokeriin.



KUVA 8. Lannoiteseulalaatikko (Kanninen 2016-11-15.)

Rakeiden liukenemista testattiin liukenemiskokeella. Verrokkina oli Yaran kaupallinen NK1-väkilannoite. NK1:tä ja separoituja rakeita laitettiin omiin astioihinsa yhden desilitran verran ja vettä kaadettiin päälle yksi litra. Sen jälkeen mitattiin aikaa veden kaatamisesta siihen hetkeen, kun kummatkin rakeet olivat lienneet täysin.

Separoitavasta mädätysjäännös tuhaseksesta määritettiin separoinnin yhteydessä kuiva- ja nestejakeesta kuiva-ainepitoisuudet. Ravinnelaskelmissa laskettiin separoinnista syntyvän kuivajakeen tuoremassa seuraavalla kaavalla:

$$\mathbf{mkuivajae = (kajäännös - kaneste) / (ka kuivajae - ka nestejake) * mjäännös}$$

mkuivajae = separoinnissa syntyvän kuivajakeen tuoremassa

kajäännös = separoitavan käsittelyjäännöksen kuiva-aine pitoisuus (ka % /100)

kanestejake = separoinnissa syntyvän nestejakeen kuiva-aine pitoisuus (ka % /100)

kakuivajae = separoinnissa syntyvän kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus (ka % / 100)

mjäännös = separoitavan käsittelyjäännöksen tuoremassa.

(Luostarinen 2013,14.)

Työssä separoinneissa käytettiin mädätysjäännöstä, koska sen oletettiin sisältävän enemmän liukoista typpeä. Rakeistamisessa esikokeen perusteella tuhanteen litraan mädätysjäännöksen lisättiin puuteollisuuden lentotuhkaa 50 kilogrammaa, joka separoitiin ruuviseparaattorilla. Separoitu kuivajae rakeistettiin. Rakeistamisessa verrattiin rakeiden ravinnepitoisuuksia, etenkin fosforipitoisuutta. Oletuksena oli, että tuhkan lisääminen nostaa fosforipitoisuutta. Tarkasteltiin, olisiko kuivajakeen rakeistaminen pienempään muotoon taloudellisesti järkevää, jolloin fosforipitoista jaetta voisi kuljettaa tilakeskuksesta kauemmas. Kemiallisessa separoinnissa tutkittiin rautasulfaatin ja polymeerien vaikutusta ravinteiden erottamiseen mädätysjäännöksestä ja tarkasteltiin käytännön toteutuksen mahdollisuuksia maatilalla ruuviseparaattorilla sekä dekanterlingolla. Kemiallisella separoinnilla lannasta on kokemusten mukaan saatu mekaanista separointia tarkemmin erilleen kaksi erilaista lannoitusjaetta, joista toinen on fosfori- ja toinen typpipitoinen.

5.1 Luotettavuus ja eettisyys

Työssä käytetyt menetelmät olivat tuhkan lisäystä mädätysjäännökseen lukuun ottamatta ennestään tunnettuja. Näytteitä otettiin osanäytteinä separointien edetessä eri jakeista. Tulee kuitenkin huomioida, että työssä tutkimuskohteena on mädätysjäännös, jonka koostumus vaihtelee mistä seuraa muuttujien välisiä eroja. Myös biokaasulaitoksen syötteillä on merkitystä mädätysjäännöksen ravinnepitoisuuksiin ja ominaisuuksiin. Kemialliset separointikokeet on tehty silloin, kun biokaasulaitoksella on ollut lisäsyötteenä useamman aiemman kuukauden ajan hevoselantaa, jonka jälkeen siirryttiin käyttämään lisäsyötteenä apila-heinäsäilörehua. Näytteiden pienen otannan ja käsittelyiden toistojen vähyyden takia tieteellisen tutkimuksen vaatimaan tarkkuuteen ei tässä työssä päästä. Työn tulokset ovat verrattavissa muihin vastaavanlaisiin suomessa tehtyihin kokeisiin ja niistä saatuihin tuloksiin. Työssä tutkittavan aineiston yhteys on osa suurempaan kokonaisuuteen, johon tuloksia voi verrata.

Analyysitulokset teetettiin ostopalveluna, joten niiden työtarkkuuteen ei voitu itse vaikuttaa. Tältä osin rakeistamisen mädätysjäännös tuhcaseosnäytteissä oli ensimmäisellä analysointikerralla ongelmaa epärealististen analyysitulosten kanssa. Syynä tähän oli mädätysjäännöksessä olevan tuhkan nopea painuminen näytteen pohjalle. Tämän takia analyysinäyte oli otettava heti koko näytteen sekoittamisen jälkeen, jotta kaikki näytteessä oleva aines tuli mukaan. Kuitenkin oletuksena on että ammattitaitoinen laboratoriohenkilökunta tekee työn luotettavasti.

5.2 Koejärjestely: kuivajakeen rakeistaminen

Tuhkan lisäämisellä mädätysjäännökseen pyrittiin saamaan selville fosforipitoisuuden kasvua sekä rakeiden parempaa koossapysymistä. Esikokeessa tuhkan eri annostuksilla haluttiin selvittää tuhkan vaikutusta separointituloksiin, etenkin kuiva-aineen muutokseen. Separaattorissa käytettiin 0,5 millimetrin seulaa oletuksena, että seula kaappaa paremmin fosforin kuivajakeesta kuin 0,75 millimetrin seula.

TAULUKKO 1. Tuhkalisäyksen esikokeen annostasot

Tuhkaa kg	Mädätysjäännöstä
0	1 m ³
1	1 m ³
10	1 m ³
50	1 m ³
100	1 m ³

Tuhkan annostasot perustuvat Dao & Daniel tutkimukseen 2002 (Dao ja Daniel 2002). Tässä tutkimuksessa tuhka on hiilen poltosta peräisin olevaa lentotuhkaa. Tässä työssä käytettiin puuteollisuudessa syntynyttä lentotuhkaa. Aikaisempaa käytännön kokemuista tuhkan ja mädätysjäännöksen sekoittamisesta ei ollut, joten jouduttiin kokeilemaan hyvinkin erilaisten tuhkamäärien sekoittamista. (Taulukko 1.)

Mädätysjäännös tuhcaseos separoitiin kahdella erilaisella puristusvoimalla: täydellä puristusvoimalla (jatkoksa tiukka puristusvoima) ja kevyemmällä puristusvoimalla (jatkoksa: kevyt puristusvoima). Täydellä puristusvoimalla separaattorilla oli vastapainoa kymmenen kiloa kummankin separaattorin vipuvarren päässä (kuva 9) ja kevyemmällä puristusvoimalla painoa oli viisi kiloa molempien vipuvarsiensa päissä. Eri puristusvoimien vaikutuksella haluttiin selvittää kuiva-ainepitoisuuden muutosta tuhkamäärän kasvaessa mädätysjäännöksessä. Kuiva-ainepitoisuudet esitetään taulukossa 2.



KUVA 9. Separattori sepatoimassa mädätysjäänöstä. Separattorin vipuvarressa on kymmenen kilon vastapainot (Kanninen 2016-06-03.)

Mädätysjäänös imettiin imuvaunulla biokaasulaitoksen jälkikaasualtaasta. Kuution konttiin mädätysjäänös puhallettiin imuvaunun letkulla. Tuhka punnittiin erikseen vaa'alla. Punnittu tuhkamäärä ripoteltiin pienissä erissä mädätysjäänöksen sekaan sekoituksen ollessa päällä (kuva 10). Tuhkalisäyksen jälkeen seosta sekoitettiin kymmenen minuuttia. Tuhkamäärään sata kiloa sekoitusaika oli viisitoista minuuttia. Tuhka sekoittui silmämääräisesti hyvin mädätysjäänökseen. Suuremmissa määriä tuhkaa jäi vähäisiä määriä kontin pohjalle, etenkin kontin kulmiin. Sekoituksen jälkeen seos separoitiin.



KUVA 10. Vasen kuva tuhkan punnitseminen vaa'alla. Oikea kuva tuhkan lisäys mädätysjäänökseen (Kanninen 2016-06-03.)

Näytteet otettiin jokaisesta mädätysjäänös tuhkaseoksesta eri tuhkamäärillä kuiva- ja nestejakeesta. Mädätysjäänös tuhkaseoksesta ja nestejakeesta mitattiin pH. Separoinnissa syntynyttä nestejakeetta ei otettu talteen vaan se meni lietekaivoon. Jokaisesta näytteestä tehtiin kuiva-aine TS, määritykset lämpökaapissa (kuva 11).



KUVA 11. Näytteet upokkaissa lämpökaapissa kuivumassa (Kanninen 2016-06-02.)

TAULUKKO 2. Esikokeen eri tuhka-annosten TS tulokset mädätysjäännös tuhaseoksessa, nestejakeessa sekä kuivajakeessa

Painot	Tuhka- annos kg/m ³	TS		
		Mädätysjäännös	Nestejake	Kuivajake
Tiukka	0	5,8	3,7	28,2
Kevyt	0		3,7	17,4
Tiukka	1	5,8	3,8	29,7
Kevyt	1	5,4	3,6	18,6
Tiukka	10	6,6	4,4	31,4
Kevyt	10	6,6	4,0	20,8
Tiukka	50	9,1	5,7	36,2
Kevyt	50	9,2	5,2	26,3
Tiukka	100	12,3	7,7	42,0
Kevyt	100	13,6	8,1	30,6

Tuhkan lisääminen nosti kuiva-ainepitoisuutta kymmenen, viidenkymmenen ja sadan kilon tuhkalisäyksissä. Mädätysjäännöksen tuhka-annos nolla kilogrammaa kuutiossa kevyellä puristuksella kuiva-ainemääritys on jäänyt tekemättä. Separaattorissa käytetyillä painoilla ei ollut juurikaan merkitystä nestejakeen TS:n kohdalla. Kuivajakeen kohdalla puolestaan huomataan, että separaattorissa käytetyillä painoilla sekä tuhkan lisäämisellä on vaikutusta suurentavasti kuiva-ainepitoisuuteen (Taulukko 2).

TAULUKKO 3. Esikokeen eri tuhka-annosten pH mädätysjäännöksessä sekä nestejakeessa

Painot	Tuhka-annos kg/m ³	pH	
		Mädätysjäännös	Nestejake
Tiukka	0	7,6	7,7
Kevyt	0		7,8
Tiukka	1	7,8	7,7
Kevyt	1	7,9	7,9
Tiukka	10	7,8	7,9
Kevyt	10	7,8	7,9
Tiukka	50	8,4	8,4
Kevyt	50	8,3	8,4
Tiukka	100	9,0	9,1
Kevyt	100	9,2	9,3

Tuhkan lisääminen nostaa pH:ta mädätysjäännös tuhkaseoksessa sekä nestejakeessa. Mädätysjäännöksen pH 7,6 tiukalla puristuksella ilman tuhkaa on keskiarvoihin nähden normaali (kevyellä painolla jäänyt mittaamatta). Tuhkalisäyksessä sata kiloa nousi pH yhdeksään eli emäksisemmäksi. Tuhka itsessään on emäksistä, joten tämä vaikutti pH:n nousuun. Tuhkalla tiedetään olevan maanparannusaineena pelloilla pH:ta kohottava vaikutus. Tämä näkyi myös tuhkalisäyksissä mädätysjäännökseen (Taulukko 3).

Esikokeen tulosten perusteella valittiin rakeistettavaksi tuhkalisäys viisikymmentä kiloa tuhkaa kuutiossa mädätysjäännöstä. Separointi tehtäisiin 0,5 millimetrin seulalla separaattorissa käyttäen tiukkaa puristusta. Tähän päädyttiin esikokeen kuiva-aine tulosten sekä JST Kuljetuspalvelun Jukka Tuoriniemi (2016-06-01) keskustelun perusteella (Tuoriniemi 2016-06-01.)

Rakeistukseen separoitavan kuivajakeen käytännön toteutus toteutettiin esikokeen tavoin. Kuivajaetta separoitiin yhteensä neljä kuutiota. Kuivajae toimitettiin JST Kuljetuspalveluille joissa rakeistaminen tehtiin.

Rakeistaminen JST Kuljetuspalvelulla

Työssä käytetään JST Kuljetuspalvelut Oy:n eksitermistä rakeistamislaitosta joka rakeistaa rumpurakeistuksella (kuva 12 ja 13). Rumpurakeistamisessa separoitu kuivajae rakeistuu pyörivässä sylinterissä. Sylinterissä on lapoja, jotka pyörittävät kuivajaetta, auttaen rakeiden muodostumista. Sylinteri on kaltevassa tasossa, jotta kuivajae kulkeutuisi sylinterin läpi. Rakeistamislaitoksen sylinterin kaltevuutta säädetään tunkin avulla. Sylinterin kaltevuus vaikuttaa rakeistamisnopeuteen. Mitä pystymässä sylinteri on, sitä hitaammin rakeistaminen tapahtuu. Raekokoa voidaan säädellä haluttuun kokoon. (Tuoriniemi 2016-06-01.)



KUVA 12. JST Kuljetuspalvelut Oy:n rakeistamislaitos (Eskelinen 2016-08-16.)

Rakeistamislaitoksen vieressä on erillinen lämmityskontti, josta tuotetaan rakeistamissyylinteriin lämpöä. Sylinterin lämpö on oltava vähintään + 80 asteista jotta lietteessä mahdollisesti olevat taudinaiheuttajat kuolevat. Kuivajakkeen on oltava vähintään kaksikymmentä minuuttia tässä lämpötilassa. Sylinterin jälkeen rakeet kulkevat hihnaa pitkin, jolloin ne kuivuvat varastointikelpoisiksi. Rakeistus täyttää Eviran hygienisointivaatimukset. (Tuoriniemi 2016-06-01.)



KUVA 13. Kuivajakkeen lisääminen rakeistamislaitokseen (Eskelinen 2016-08-16.)

5.3 Koejärjestely: mädätysjäännöksen kemikaaliseparointi

Kemikaaliseparointikokeet aloitettiin pienessä mittakaavassa ja siirryttiin suurempaan. Rautasulffaattina käytettiin Kemiran Ferix-3 – ferrisulfaattia. Flokkulanttina käytettiin Kemiran C 2260 ja SD 2064 – polymeerejä. Polymeerit ovat rakenteeltaan hieman erilaisia ja SD 2064 -polymeerin tulisi rakenteensa puolesta kestää paremmin esimerkiksi ruuviseparaattoria. Sekä rautasulfaatista että polymeereistä tehtiin ennen kutakin separointitestiä käyttöliuos. Ferix-3 – rautasulfaatin käyttöliuos tehtiin sekoittamalla rakeistettua Ferix 3:ta veteen 50/50 suhteessa, jolloin käyttöliuoksessa oli 11 prosenttia rautaa. Molemmista polymeereistä tehtiin 0,5 prosentin käyttöliuokset ja SD 2064 polymeeristä myös yhden prosentin käyttöliuos veden kanssa. Kemiallisten käsittelyiden lisäksi verrokkina toimi aina liete ilman lisättyjä kemikaaleja. (Pyykkönen 2018.)

Ensimmäiset esitestit tehtiin 300 millilitran dekanterilaseissa (kuva 14). Dekanterikokeita tehtiin sekä mädätysjäännöksellä että mädätysjäännöksestä separoidulla nestejakeella. Lietteiden kuiva-

ainepitoisuus oli suhteellisen suuri, jolloin havaintojen helpottamiseksi ja laskeutusajan lyhentämiseksi lietteitä laimennettiin hanavedellä. Dekanterilaseihin tehtiin erilaisilla kemikaaliannostuksilla kokeita laskeutumisesta. Ferix-3:lla kokeiltiin suositeltuja annoksia väliltä 0-50 grammaa Ferixiä kilogrammaa kuiva-ainetta kohden ja polymeeriannosmäärinä kokeiltiin eri määriä 0,5-1,0 grammaa polymeeriä kilogrammaa lietettä kohden (Pyykkönen 2018). Ferixiä ja polymeerejä ei vielä tässä vaiheessa sekoiteltu keskenään vaan kokeet tehtiin kullakin kemikaalilla erikseen. Näytteistä otettiin ruiskulla pintanäytteet, joista määritettiin kuiva-aine. Pohjamassasta määritettiin kuiva-aine. Mahdollisia eroja ravinnepitoisuuksissa ei voitu näin pienen mittakaavan kokeista tehdä.



KUVA 14. Laskeutuskokeet aloitettiin 300 millilitran dekanterilaseissa (Laakso 2018-02-25.)

Mittakaavaa suurennettiin ruuviseparattorille sekä dekanterilingolle. Ensimmäiset koeajot tehtiin biokaasulaitoksen mädätysjäännöksellä ilman rautasulfaattia kahdella eri polymeerillä, kahdella eri kemikaalimäärällä (12 prosentin ja 19 prosentin käyttöliuosta lietteen sekaan) ja kolmella erikokoisella separattorin seulalla (taulukko 4). Kaikissa kokeissa käytettiin samaa puristusvoimaa separattorissa, jossa viiden kilon painot kiinnitettiin vastapainoiksi separattorin vipuvarsien päihin.

TAULUKKO 4. Ensimmäisten ruuviseparointikokeiden koeasetelmat

Seula	Ei kemikaalia	C 2260	SD 2064
0,25 mm	x	x	x
0,5 mm	x	x	x
0,75 mm	x	x	x

Ruuviseparointikokeita varten mädätysjäännöstä otettiin jälkikaasualtaasta imuvaunuun, josta sitä saatiin annosteltua haluttu määrä tuhannen litran kontteihin, josta liete pumpattiin separattorille. Lietteen määrä kontissa oli joko tuhat litraa (ei polymeerilisäystä), 880 litraa (120 litraa polymeerin käyttöliuosta) tai 810 litraa (190 litraa polymeerin käyttöliuosta). Koe aloitettiin aina tekemällä verkkoiseparointi ilman kemikaalia samoilla asetuksilla kuin kemikaalienkin kanssa. Tämän jälkeen valittu polymeeri sekoitettiin veteen tuhannen litran kontissa tarkoitukseen sopivalla sekoittimella ja annettiin tekeytyä 30 minuutin ajan hiljalleen sekoitellen. Ruuviseparoinnissa käytettiin 0,5 prosent-

tisia käyttöliuoksia. Tämän jälkeen liete ja kemikaalin käyttöliuos yhdistettiin ja sekoitettiin konttisekoittimella hyvin ja seos separoitiin ruuviseparaattorilla. Verrokkiseparoinnista sekä kemikaaliseoksesta sekä separaattorin tuottamista kuiva- ja nestejakeista otettiin näytteet ja määritettiin kuiva-ainepitoisuus kolmena rinnakkaisena näytteenä näytteidenkuivatusuunissa (105 astetta, 15-20 tuntia).

Ruuvikokeiden lisäksi aloitettiin myös kokeet dekantterilingolla (kuva 15). Imuvaunusta purettiin mädätysjäännös kuution konttiin, josta separaattorin syöttöpumppu pumppasi lietteen separaattorille. Separaattorin tuottama nestejake pumpattiin uppopumpulla edelleen kuution konttiin. Tähän konttiin sekoitettiin toisessa kontissa valmistettua polymeerin käyttöliuosta valittu määrä ja se sekoitettiin konttisekoittimella hyvin. Käyttöliuos oli tätä ennen valmistettu sekoittamalla polymeeriä veteen siten, että saatiin yhden prosentin vahvuinen käyttöliuos, jonka annettiin tekeytyä hitaasti sekoittaen puoli tuntia. Liete-polymeeriseoksen oltua tasalaatuista noin viiden minuutin sekoituksen jälkeen liete pumpattiin lingolle uppopumpulla. Lingon syötevirtausta ohjattiin manuaalisella palloventtiilillä ja syötemäärä oli 2,5-3 kuutiota tunnissa. Lingon rummun kierrokset olivat 3240 rpm ja erokierrokset kahdeksan. Nämä säädöt olivat lingon normaalit automaattisäädöt.

Lingon tuottama kuivajake kerättiin kottikärryyn ja nestejake ohjattiin lietevarastoon. Lingolle syötettiin ruuvin separoimaa nestejaetta ilman kemikaalia sekä kahdella eri kemikaaliannostuksella, 10 prosentin ja 15 prosentin seoksesta oli kemikaalikäyttöliuosta. Näytteitä otettiin mädätysjäännöksestä sekä kaikista tuotetuista jakeista ja määritettiin kuiva-ainepitoisuus sekä orgaanisen aineen määrä Maaningalla. Kutakin koe-erää separoitiin tuhat litraa lingon läpi ja näytteet otettiin erän loppuvaiheesta, kun lingon jakeet olivat tasaantuneet muutosten väliltä. Näytteet lähetettiin ravinneanalyysiin Eurofins Oy:lle lanta-analyysiin, jossa määritettiin kuiva-ainepitoisuus, tilavuuspaino, kokonaistyyppipitoisuus, liukoisen tyypin määrä, fosforipitoisuus sekä kaliumpitoisuus. Polymeeri voi vaikuttaa lietteen raskasmetallipitoisuuteen, mutta sen vaikutuksen on oletettu olevan vähäinen eikä tässä kokeessa näytteistä analysoitu raskasmetallipitoisuuksia.



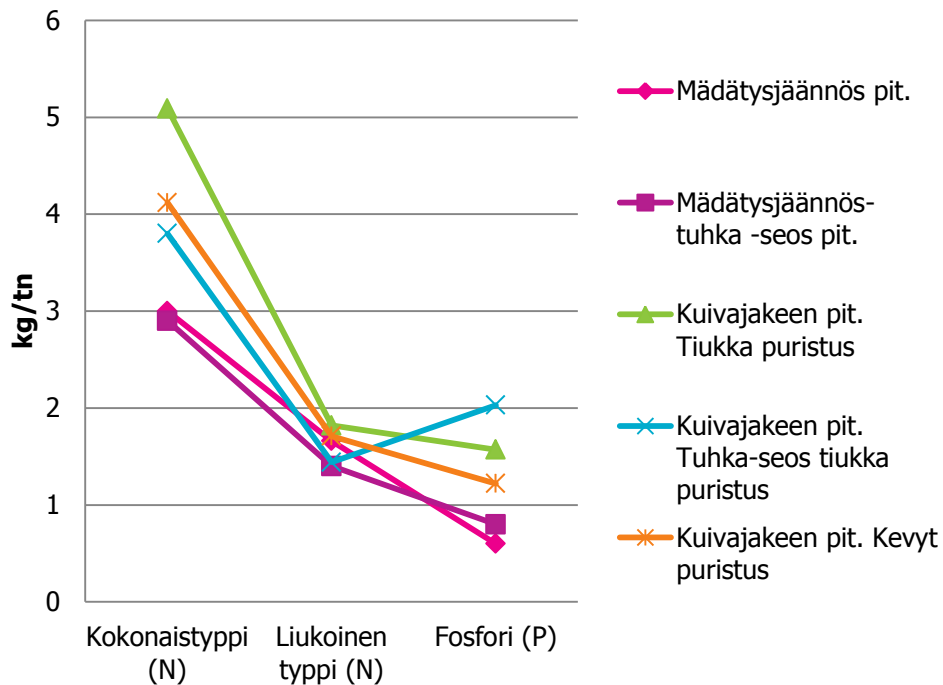
KUVA 15. Linkoamisen koejärjestelyt käsittivät monta vaihetta. Ensin liete separoitiin ja linkoon syötettävään ruuvin nestejakeeseen sekoitettiin kemikaali (Laakso 2018-03-20.)

6 TULOKSET

Tuloksissa tarkastellaan tuotettujen jakeiden ja rakeiden ravinnepitoisuuksia, separointiasetuksien vaikutusta separoinnin lopputulokseen sekä separoinnin massataseita. Rakeiden osalta tarkastellaan myös tuotettujen rakeiden raskasmetallipitoisuuksia, liukenemisnopeutta sekä raekokoa. Tuloksissa otetaan kantaa jakeiden lannoitusominaisuuksiin ja niiden suhteeseen kaupallisiin lannoitteisiin.

6.1 Tulokset rakeistamisesta

Mädätysjäännöksen separoinnissa käytettiin separaattorin tiukkaa puristusta ja 0,5millimetrin seulaa. Lähtötilanteen mädätysjäännöksen kokonais- ja liukoinentyyppi, fosfori sekä kalium ja kuiva-aine ovat tilastollisiin keskiarvoihin nähden verrannollisia.



KUVIO 3. Mädätysjäännöksen ja tuhkaseoksen tiukalla puristuksella separoidun kuivajakeen pitoisuudet sekä mädätysjäännöksen kevyellä puristuksella separoidut pitoisuudet.

Esikokeessa separoitiin separaattorissa käyttäen eri puristusvoimaa. Lähtötilanteessa mädätysjäännöksen ja tuhkaseoksen kokonais- ja liukoinen tyyppi sekä fosforipitoisuudet olivat jokseenkin samaa tasoa ennen separointia. Mädätysjäännöksestä separoitaessa kevyellä puristuksella on ravinteita jäänyt kuivajakeeseen vähemmän verrattaessa tiukalla puristuksella separointiin. Tuhkaseoksen tiukalla puristuksella separoidessa fosforia on jäänyt kuivajakeeseen verrattaessa muihin separointiin enemmän (kuvio 3).

TAULUKKO 5. Määtysjäännöksen ja sen jakeiden ravinne pitoisuudet sekä määtysjäännös tuhka-lisäyt 50 kg/m³ jakeiden ravinnepitoisuudet.

	Yksikkö	Määtysjäännös pit.	Kuivajakeen pit.	Nestejakeen pit.	Määtysjäännös- tuhka -seos pit.	Kuivajakeen pit. Tuhka- seos	Nestejakeen pit. Tuh- kaseos
Kuiva-aine %	%	5,7	28,2	3,6	9,8	38	7
Kokonaistyyppi	kg/tn	3	5,09	2,7	2,9	3,8	2,7
Liukoinen tyyppi	kg/tn	1,66	1,82	1,5	1,4	1,44	1,4
Fosfori	kg/tn	0,6	1,57	0,44	0,8	2,03	0,7
Kalium	kg/tn	3,3	3,28	2,8	3,2	4,05	3,3
Magnesium	kg/tn	0,63	1,56	0,46	1,9	6,59	1,5
Kalsium	kg/tn	0,97	2,66	0,73	7,3	27,9	5,5
Natrium	kg/tn	0,43	0,38	0,37	0,5	0,8	0,53

TAULUKKO 6. Määtysjäännöksen ja sen jakeiden ravinne pitoisuudet sekä määtysjäännös tuhka-lisäyt 50 kg/m³ jakeiden ravinnepitoisuudet.

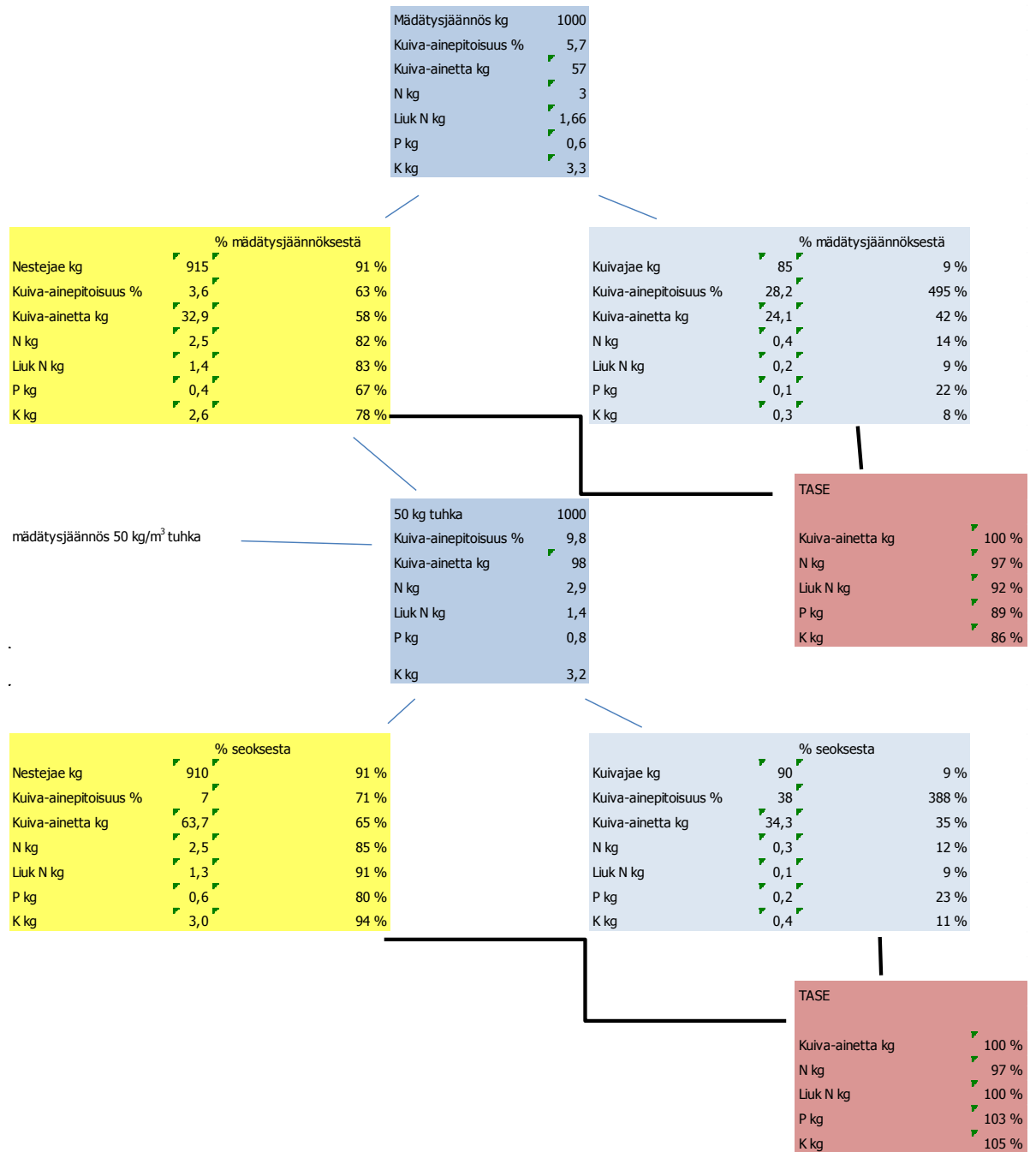
	Yksikkö	Määtysjäännös pit.	Kuivajakeen pit.	Nestejakeen pit.	Määtysjäännös- tuhka -seos pit.	Kuivajakeen pit. Tuhka- seos	Nestejakeen pit. Tuh- kaseos
Kupari	g/tn	3,2	6,5	2,6	6,2	16,7	5,8
Mangaani	g/tn	18	45	13,2	100	359	83
Sinkki	g/tn	15	35,9	12	42	133	36
Boori	g/tn	1,4	6,5	0,8	4	14,9	2,9

Tuhkan lisäämisellä määtysjäännökseen oli kuiva-ainetta sekä kivennäis ja hivenaineita kohottava vaikutus. Tämä on todettavissa myös kuivajakeessa. Kalium pitoisuus oli ainut, joka ei muuttunut merkittävästi tuhkan lisäyksessä. Kalsiumi ja mangaani pitoisuudet kohosivat eniten. Kokonais- ja liukoinen tyyppi sekä fosfori olivat suunnilleen samoissa pitoisuuksissa ennen separointia. Fosforipitoisuus lisääntyi tuhkaseoksessa 0,2 kilogrammaa tonnissa verrattaessa määtysjäännökseen. Tuhkaseoksen kuivajakeeseen jäi fosforia. (Taulukko 5 ja 6.)

TAULUKKO 7. Kuiva-aineen erottuminen mädätysjäännöksessä ja tuhkaseoksessa (tFM tarkoittaa tuoretonnia).

	mädätysjäännös	tuhkaseos
Separoitava liete tFM	1000	1000
Lietteen TS %	5,7	9,8
Kuivajae TS %	28,2	38,0
Nestejae TS %	3,6	7,0
Kuivajaetta separaattorista tFM	85	90
Nestejaetta separaattorista t FM	915	910
Kuivajaetta tFM/separoitu tFM	9 %	9 %
Nestejaetta tFM/separoitu tFM	91 %	91 %
TS:sta kuivajakeeseen	42 %	35 %

Tuhkalla lisäys nosti lietteen kuiva-ainepitoisuutta mädätysjäännös-tuhkaseoksessa sekä siitä separoituissa jakeissa. Kuitenkin taulukosta 7 voidaan huomata, että kuiva-ainetta jäi kuivajakeeseen vähemmän tuhkalisäyksessä, 35 prosenttia kun taas mädätysjäännökseen jäi 42 prosenttia (taulukko 7).



KUVIO 4. Massataseet määtysjäännöksestä ja tuhkaseoksesta

Kuviosta 4 ilmenee määtysjäännöksen ja tuhkaseoksen separoinnin ravinteiden erottuminen. Ylhäällä on lähtötilanne, määtysjäännös, joka separoidaan ruuviseparaattorilla kuiva- ja nestejakeeseen. Tase on sata prosenttia silloin kun analyysiin perustuvien laskelmien mukaan määtysjäännöksessä sekä kuiva- ja nestejakeessa on yhtä paljon ravinteita. Tase ei täsmää kaikilla ravinteilla täysin. Tähän voi olla syynä analyysien epätarkkuus ja se ettei tehty rinnakkaisia näytteitä. Tuoremassan ja kuiva-aine prosentin tase on aina sata, koska laskenta perustuu kuiva-ainepitoisuuksiin. Typen osalta ravinteet ovat jakaantuneet tasaisesti, mutta fosforin ja kaliumin kohdalla huomataa epätasaista jakaantumista. Seuraavassa laatikossa näkyy tuhkalisäys viisikymmentä kg/m³ määtysjäännökseen. Tästä separoidaan samalla tapaa ruuviseparaattorilla kuiva- ja nestejake. Taseesta huomataan että se on lähellä tai hieman yli sata. Liukoinen typpi on jakaantunut eri jakeiden kesken

tasan. Kummassakin separoinnissa huomataan, että nestejakeeseen on jäänyt enemmän ravinteita. (Kuvio 4.)

TAULUKKO 8. Mädätysjäännös tuhka seoksen 50 kg/m³ ruuviseparointi, lietteen ja separoitujen jakeiden pitoisuudet, erotustehokkuudet ja tase

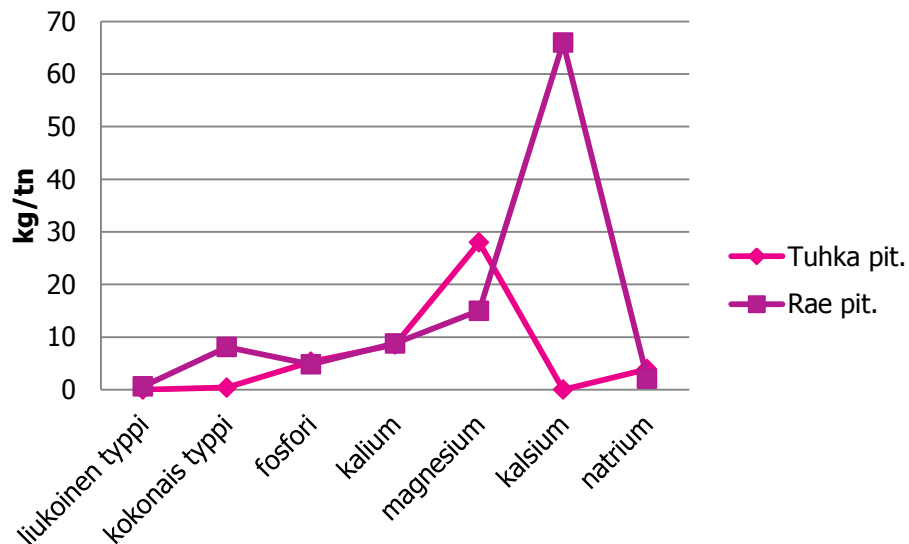
	Yksikkö	Liete-tuhka - seos pit.	Kuiva- jakeen pit.	Nestejakeen pit.	Kuiva- jakeessa %	Neste- jakees- sa %	Tase %
Tuoremassa	-	-	-	-	9	91	100
Kuiva-aine	%	9,8	38,0	7,0	35	65	100
Kokonaistyyppi	kg/t	2,9	3,8	2,7	12	85	97
Liukoinen typpi	kg/t	1,4	1,44	1,4	9	91	100
Fosfori	kg/t	0,8	2,03	0,7	23	80	103
Kalium	kg/t	3,2	4,05	3,3	11	94	105
Magnesium	kg/t	1,9	6,59	1,5	31	72	103
Kalsium	kg/t	7,3	27,9	5,5	35	69	103
Natrium	kg/t	0,5	0,8	0,53	14	96	111
Kupari	g/t	6,2	16,7	5,8	24	85	109
Mangaani	g/t	100	359	83	32	76	108
Sinkki	g/t	42	133	36	29	78	107
Boori	g/t	4,0	14,9	2,9	34	66	100

Kuviossa 4 on esitetty taseet mädätysjäännöselle ja tuhkaseokselle. Kivennäis- ja hivenravinteiden kohdalla tase on sata boorin kohdalla (taulukko 8). Tuhannesta kilosta mädätysjäännös tuhkaseosta kuiva-aineanalyysiin perustuvassa massataselaskelmassa tuli kuivajaetta yhdeksän prosenttia (90 kg) ja nestejaetta 91 prosenttia (910 kg). Mädätysjäännöksellä samat lukemat ovat yhdeksän prosenttia (85 kg) ja 91 prosenttia (915 kg) (kuvio 4).

TAULUKKO 9. Tuhkan ja rakeiden ravinnepitoisuudet

Alkuaine	Yksikkö	Tuhka pit.	Rae pit.
liukoinen typpi	kg/t	<0,1	0,6
kokonais typpi	kg/t	0,4	8,1
fosfori	kg/t	5,3	4,8
kalium	kg/t	8,6	8,8
magnesium	kg/t	28	15
kalsium	kg/t	<0,72	66
natrium	kg/t	3,9	2,1

Tuhkan tyypipitoisuudet ovat pieniä. Liukoista typpeä on alle 0,1 kilogrammaa tonnissa ja kokonaistyyppipitoisuus on 0,4 kilogrammaa tonnissa. Typen pienet pitoisuudet selittyvät sillä, että orgaanisen aineksen palaessa tuhkasta poistuu typpi. Rakeiden tyypipitoisuus on korkeampi. Rakeissa oleva typpi on peräisin mädätysjäännöksen typestä. Rakeiden fosforipitoisuus on pienempi verrattuna tuhkan pitoisuuteen. (Taulukko 9.)



KUVIO 5. Tuhkan ja rakeiden ravinnepitoisuudet.

Rakeiden kalsiumpitoisuus on huomattavasti korkeampi verrattaessa muihin ravinteisiin. Tuhkassa kalsiumia on ainoastaan <0,72 grammaa tonnissa, joten kalsium on peräisin mädätysjäännöksestä (kuvio 5).

TAULUKKO 10. Mädätysjäännöksen 50 kg/tn tuhkaa ruuviseparointi, 0,5 millimetrin seula, tiukka puristus, mädätysjäännöksen ja jakeiden raskasmetallipitoisuudet

Alkuaine	Yksikkö	Mädätysjäännös- tuhka -seos pit.	Kuivajakeen pit.	Nestejakeen pit.
arseeni	g/t	1,2	5,4	1
kadmium	g/t	0,083	0,36	0,1
kromi	g/t	4,1	24	3,7
kupari	g/t	4,8	17	5,4
elohopea	g/t	0,015	0,073	0,016
nikkeli	g/t	3,4	19	3
lyijy	g/t	2,9	14	2,4
sinkki	g/t	38	150	45

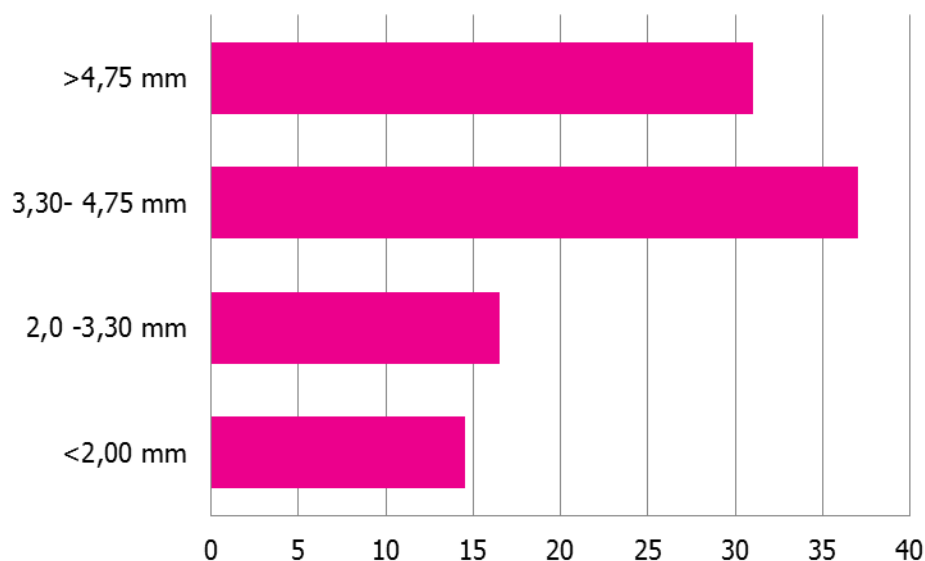
Mädätysjäännöksessä on aina pieninä pitoisuuksina raskasmetalleja. Tuhkan lisääminen mädätysjäännökseen ei aiheuttanut merkittäviä raskasmetallipitoisuuksien nousuja. Separoituun kuivajakeeseen jäi raskasmetalleja enemmän kuin nestejakeeseen. (Taulukko 10.)

TAULUKKO 11. Eviran asettamat raja-arvot tuhkassa eri raskasmetalleille, sekä rakeiden ja tuhkan vastaavat pitoisuudet verrattuina keskenään

Alkuaine	Yksikkö	EVIRA Pelto- ja puutarhatalous	EVIRA Metsäkäyttö	Rae	Tuhka
Arseeni	mg/kg ka	25	40	16	30
Elohopea	mg/kg ka	1	1	0,22	0,17
Kadmium	mg/kg ka	2,5	25	1,3	2,2
Kromi	mg/kg ka	300	300	70	100
Kupari	mg/kg ka	600	700	50	71
Lyijy	mg/kg ka	100	150	45	78
Nikkeli	mg/kg ka	100	150	60	89
Sinkki	mg/kg ka	1500	4500	480	720

Pelto- ja puutarhataloudella tarkoitetaan maataloudessa käytettävän tuhkan raja-arvoja. Eviran asettamiin raskasmetallipitoisuuksien raja-arvoihin verrattaessa tuhkassa ylittyy arseeni pitoisuus sallitusta arvosta. Arseenin raja-arvo ylittyy viisi milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. Kadiumin arvo on lähellä raja-arvoa, mutta se alittuu kuitenkin 0,3 milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. Muut tuhkan sisältämät raskasmetallien raja-arvot alittuvat selvästi. Rakeiden osalta raskasmetallien raja-arvot eivät ylity. Arseeni pitoisuus, joka tuhkassa ylittyi, on rakeissa 16 milligrammaa kilogrammassa kuiva-ainetta. Tämä on 9 milligrammaa kilossa kuiva-ainetta pienempi raja-arvoon nähden. (Taulukko 11.) (EVIRA 2018.)

Rakeille tehtiin kokolajittelujakauma lannoiteseulalaatikolla. Luvussa 5 kerrotaan tarkemmin menetelmästä. Raekoossa oli suurta hajantaa ja raekoko oli pääasiallisesti suurempaa verrattaessa kaupallisiin väkilannoitteisiin. Kaupallisissa väkilannoitteissa raekoko on 2-4 millimetriä. Tähän verrattaessa, koe-erässä oli 2,0-3,30 millimetrin rakeita vain 17 prosenttia. Suuremman koon rakeita 3,30-4,75 millimetriä oli 37 prosenttia. (Kuvio 6.)



KUVIO 6. Raekoon jakautuminen millimetreinä prosentuaalisesti

Rakeiden liukenemista testattiin liukenemiskokeella. Kappaleessa 5 kerrotaan tarkemmin menetelmästä. Separoidussa rakeessa hienoaines painui astian pohjalle ja rakeet jäivät kellumaan nesteen pinnalle. Rakeiden imiessä vettä itseensä alkoivat ne painua pikkuhiljaa astian pohjalle (kuva 16). NK1 rakeet pysyivät astian pohjalla. Liukenemista alkoi tapahtua välittömästi ja lannoiterakeet alkoivat hajota.



KUVA 16. Liukenemaan laitettuja separoituja rakeita. Pinnassa näkyvät kelluvat rakeet ja pohjassa painunut kiintoaines (Kanninen 2016-11-15.)

Kummatkin rakeet laitettiin liukenemaan samanaikaisesti kello 08:36. NK1 rakeet olivat lienneet veteen kokonaan kello 11:30 mennessä. Tähän mennessä separoidut rakeet eivät olleet lienneet juuri ollenkaan. Veden väri oli muuttunut tummemmaksi. Sitä mukaa kun rakeet imivät vettä itseensä, alkoivat ne pikku hiljaa painua astian pohjalle. Separoiduista rakeista ei voitu sanoa yhdessä päivässä, että rakeet olisivat lienneet kokonaan veteen, joten rakeiden annettiin olla kaksi vuorokautta vesiasiassa, välillä sekoittaen. Tämän jälkeenkin astianpinnalla kellui vielä rakeita (kuva 17).



KUVA 17. Vasemmalla NK1 väkilannoitteen liukeneminen litraan vettä. Oikealla separoitujen rakeiden liukeneminen litraan vettä (Kanninen 2016-11-15.)

TAULUKKO 12. Jakeiden arvo verrattaessa väkilannoitteeseen ja käsittelemättömään naudanlietteeseen. Ravinnekilon hinta väkilannoitteessa Kasper – laskurista (Luke 2018) ja Naudan lietalannan ravinnearvot Viljavuuspalvelu Oy:n keskiarvot vuosilta 2013-2017 (Viljavuuspalvelu, Jokela.)

	N liuk kg/m ³	N liuk e/m ³	P kg/m ³	P e/m ³	K kg/m ³	K e/m ³		
Ravinnekilon hinta väkilann.	0,9		1,6		1,4			e/kg
Naudan lietalanta, Suomen keskiarvo	1,7	1,53	0,5	0,8	2,8	3,9	6,3	
Mädätysjäännös	1,6	1,44	0,6	1,0	3,3	4,6	7,0	e/m ³
Nestejae	1,5	1,35	0,4	0,7	2,8	3,9	6,0	e/m ³
Kuivajae	1,1	0,99	1,0	1,5	3,2	4,5	7,0	e/m ³
Mädätysjäännös tuhaseos	1,4	1,26	0,8	1,3	3,2	4,5	7,0	e/m ³
Nestejae	1,4	1,26	0,7	1,1	3,3	4,6	7,0	e/m ³
Kuivajae	0,7	0,63	1,0	1,6	2	2,8	5,0	e/m ³
Rae	0,4	0,36	2,9	4,64	5,4	7,56	12,6	e/m ³

Väkilannoitteen sisältämän ravinnekilon hintaa verrattaessa lietekuution sisältämään ravinnemäärään voidaan lietteelle laskea hinta. Liukoisen tyypin osalta eri jakeiden arvo ei juuri nouse. Kaliumia on lietteessä ja eri jakeissa paljon. Sen arvossa on nousua. Fosforiravinteena lietteen arvonnousu tapahtuu melkein kaikissa jakeissa. Erityisesti rakeissa tämä korostuu. (Taulukko 12.)

6.2 Tulokset kemikaaliseparoinnista

Dekantterilaseissa suoritetuilla esikokeilla ei saavutettu haluttua tavoitetta ja löydetty sopivia kemikaalimääriä separointeja varten millään testatulla kemikaalilla eli Ferix-3:lla ja polymeereillä C 2260 ja SD 2064. Esikokeissa lietettä laimennettiin vedellä laskeutusten nopeuttamiseksi ja silminnähtäviä eroja vedellä laimennetun ja vedellä laimennetun ja kemikaalikäsitellyn lietteen välillä ei havaittu laskeutuksissa. Nestefaasin korkeus ja koostumus ei silminhavaittavasti eronnut kemikaalittomalla ja kemikaalikäsitellyillä näytteillä. Selkeästi kirkkaan nestefaasin saaminen dekantterilaseihin vaati suuren määrän kemikaaleja (kuva 18). Pienen mittakaavan kokeissa ei tehty ravinneanalyysyjä, joten ravinteiden erottumista ei tarkasteltu. Selviä eroja pelkän veden sekä veden ja kemikaalien lisäämiseen ei saatu tässä mittakaavassa kirjallisuuden suosittamalla tai suuremmillakaan kemikaalimäärillä. Mahdollisia eroja ravinnepitoisuuksissa ei voitu näin pienen mittakaavan kokeista havainnoida eikä ravinneäytteitä otettu. Nestefaaseissa otetuissa kuiva-ainenäytteissä ei havaittu eroja eri käsittelyiden välillä.



KUVA 18. Lisäämällä runsaasti Ferixiä saatiin muutama koelasiin täysin kirkas kerrostuma (Laakso 2018-03-28.)

Ruuviseparaattorilla tehdyissä kokeissa seulakoon sekä lisätyn polymeerin määrän vaikutus separointijakeiden kuiva-ainepitoisuuksiin jäi pieneksi. Ruuviseparoinnissa kokeet aloitettiin polymeereillä ilman ferixin lisäystä eikä kokeita ehditty tehdä ferixin kanssa työhön raportoitavaksi. Polymeeri sekoitettiin kuution kontissa ensin veteen, jossa tehtiin 0,5 prosentin käyttöliuosta. Käyttöliuos sekoitettiin lietemäärään, siten että separoitava määrä oli tavoitteen mukainen tuhat litraa. Kun polymeeri ja liete olivat sekoitettu tasalaatuisiksi massaksi, seoksen pinnalla oli ihan selviä partikkelien yhteenliittymiä.

TAULUKKO 13. Ruuviseparoinnin kuiva-aineet ja massataseet C2260 polymeerin annostuksilla, jossa annos 1 on 12 prosentista ja annos 2 on 19 prosentista käyttöliuosta. Lisäksi vesiverrokki, jossa oli 19 prosenttia vettä.

Seulakoko	0,25 mm			0,5 mm			0,75 mm			0,75 mm
	Mädäte	M+annos1	M+annos2	Mädäte	M+annos1	M+annos2	Mädäte	M+annos1	M+annos2	M + vesi2
Separoitava liete tFM	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Lietteen TS %	7,50	6,30	6,00	6,80	6,20	5,70	6,70	6,00	5,70	5,10
Kuivajae TS %	25,90	25,00	26,20	26,30	23,70	24,80	25,10	22,70	24,80	25,40
Nestejae TS %	4,70	3,90	3,80	4,70	4,10	3,70	4,60	4,20	3,70	3,70
Kuivajaetta separaattorista tFM	132	114	98	97	107	95	102	97	95	65
Nestajaetta separaattorista t FM	868	886	902	903	893	905	898	903	905	935
Kuivajaetta tFM/separoitu tFM	13 %	11 %	10 %	10 %	11 %	9 %	10 %	10 %	9 %	6 %
Nestajaetta tFM/separoitu tFM	87 %	89 %	90 %	90 %	89 %	91 %	90 %	90 %	91 %	94 %
TS:sta kuivajakeeseen	46 %	45 %	43 %	38 %	41 %	41 %	38 %	37 %	41 %	32 %

Pelkän mädätysjäännöksen separoimisella ja polymeerillisillä ei ollut merkittävää eroa kuiva-aineen erottamisessa kuivajakeeseen kummallakaan polymeerillä. Erot olivat pieniä tai niitä ei havaittu ollenkaan ja etenkin SD2064 polymeerillä kuivajakeen erottuminen oli yksittäisessä kokeessa tehok-

kaampaa ilman kemikaalilisäystä, esimerkiksi käytettäessä 0,25 millimetrin seulaa. Pienintä seulaa (0,25 millimetriä) käytettäessä kummallakin polymeerillä saavutettiin suurin erottelukyky. Sen sijaan kahden suuremman seulan välillä eroja ei havaittu, mikäli lietteen kuiva-ainepitoisuus pysyi samoissa lukemissa. Heikoin erottelutehokkuus havaittiin mädätysjäännöksen ja veden sekoituksen separoimisessa, jolloin myös kuiva-ainepitoisuus oli lähtötilanteessa alhaisin. Kokeet tehtiin eri päivinä, joten mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuudessa on eroja kertojen välillä. (Taulukot 13 ja 14.)

TAULUKKO 14. Ruuviseparoinnin kuiva-aineet ja massataseet SD 2064 polymeerin annostuksilla, jossa annos 1 on 12 prosentista ja annos 2 on 19 prosentista käyttöliuosta. Lisäksi vesiverrokki, jossa oli 19 prosenttia vettä.

Seulakoko	0,25 mm			0,5 mm			0,75 mm			0,75 mm
	Mädäte	M+annos1	M+annos2	Mädäte	M+annos1	M+annos2	Mädäte	M+annos1	M+annos2	M + vesi2
Separoitava liete tFM	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Lietteen TS %	6,80	5,90	5,50	5,90	5,30	6,70	6,50	6,00	5,50	5,10
Kuivajae TS %	25,90	24,10	25,10	24,20	25,00	26,20	24,40	25,10	25,00	25,40
Nestejaje TS %	4,40	3,90	3,50	4,00	3,50	4,50	4,50	4,10	3,90	3,70
Kuivajaeetta separaattorista tFM	112	99	93	94	84	101	101	90	76	65
Nestejaetta separaattorista t FM	888	901	907	906	916	899	899	910	924	935
Kuivajaeetta tFM/separoitu tFM	11 %	10 %	9 %	9 %	8 %	10 %	10 %	9 %	8 %	6 %
Nestejaetta tFM/separoitu tFM	89 %	90 %	91 %	91 %	92 %	90 %	90 %	91 %	92 %	94 %
TS:sta kuivajakeeseen	43 %	40 %	42 %	39 %	39 %	40 %	38 %	38 %	34 %	32 %

Linkokokeessa havaittiin eroja kuiva-aineen erottumisessa kuivajakeeseen. Kokeessa kokeiltiin useampaa kemikaaliannostusta sekä tehtiin verrokkiseparointi ilman kemikaalilisäystä. Käyttöliuoksen polymeeripitoisuus nostettiin ruuvikokeiden 0,5 prosentista yhteen prosenttiin. Linkokokeessa käytettiin polymeeriä SD 2064 lisättynä separoituun nestejakeeseen, sillä sen tulisi rakenteeltaan olla toista polymeeriä kestävämpää. Kemikaaliannostuksia tehtiin kolme erilaista: annos 1:seen lisättiin 8 prosenttia SD 2064 1-prosenttista käyttöliuosta, annos 2:teen 10 prosenttia ja annos 3:een 12 prosenttia. Erot ravinnemäärissä on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Pääravinteiden pitoisuudet linkokokeen jakeissa sekä kuiva-aine ja tilavuuspaino.

Näytteen nimi	Typpi (N) kg/tonni	Typpi (N) Liuk kg/tonni	Fosfori (P) kg/tonni	Kalium (K) kg/tonni	Kuiva-aine %	Tilavuuspaino kg/m ³
Mädätysjäännös	3,5	2,5	0,8	3,7	7	990
Ruuvín nestejæe	3,4	2,5	0,54	4,2	4,6	1000
Ruuvín kuivajæe	5,9	2,1	1,8	3,8	25,4	490
Lingon nestejæe	2,8	2,7	0,27	3,5	3,3	1000
Lingon kuivajæe	6,6	2,3	3,3	3,9	15,8	1000
Annos 1 seos (SD)	3	2,3	0,55	4	4,2	1000
Annos 1 lingon nestejæe (SD)	2,6	2,2	0,21	3,6	2,7	1000
Annos 1 lingon kuivajæe (SD)	7,6	2,4	3,5	4,2	17,6	1000
Annos 2 seos (SD)	3,3	2,3	0,49	4,3	4,3	1000
Annos 2 lingon nestejæe (SD)	2,9	2,2	0,2	3,6	2,7	1000
Annos 2 lingon kuivajæe (SD)	7,8	2,2	3,3	3,7	17	1000
Annos 3 seos (SD)	3,4	2,1	0,45	4,3	4,2	1000
Annos 3 lingon nestejæe (SD)	2,8	2,1	0,19	3,6	2,5	1000
Annos 3 lingon kuivajæe (SD)	7,4	2,1	3,1	3,7	15,9	1000

Linkokokeessa polymeeri lisättiin mädätysjäännöksestä separoituun nestejakeeseen. Ruuviseparattorin seulakoko oli 0,5 millimetriä. Verrattaessa aiempiin ruuviseparointikokeissa saatuihin tuloksiin, separointitehokkuus oli samaa luokkaa. Linkokokeessa suuremmalla polymeerimäärällä saavutettiin suurempi erottelevuus kuiva-aineessa kuivajakeeseen (taulukko 16).

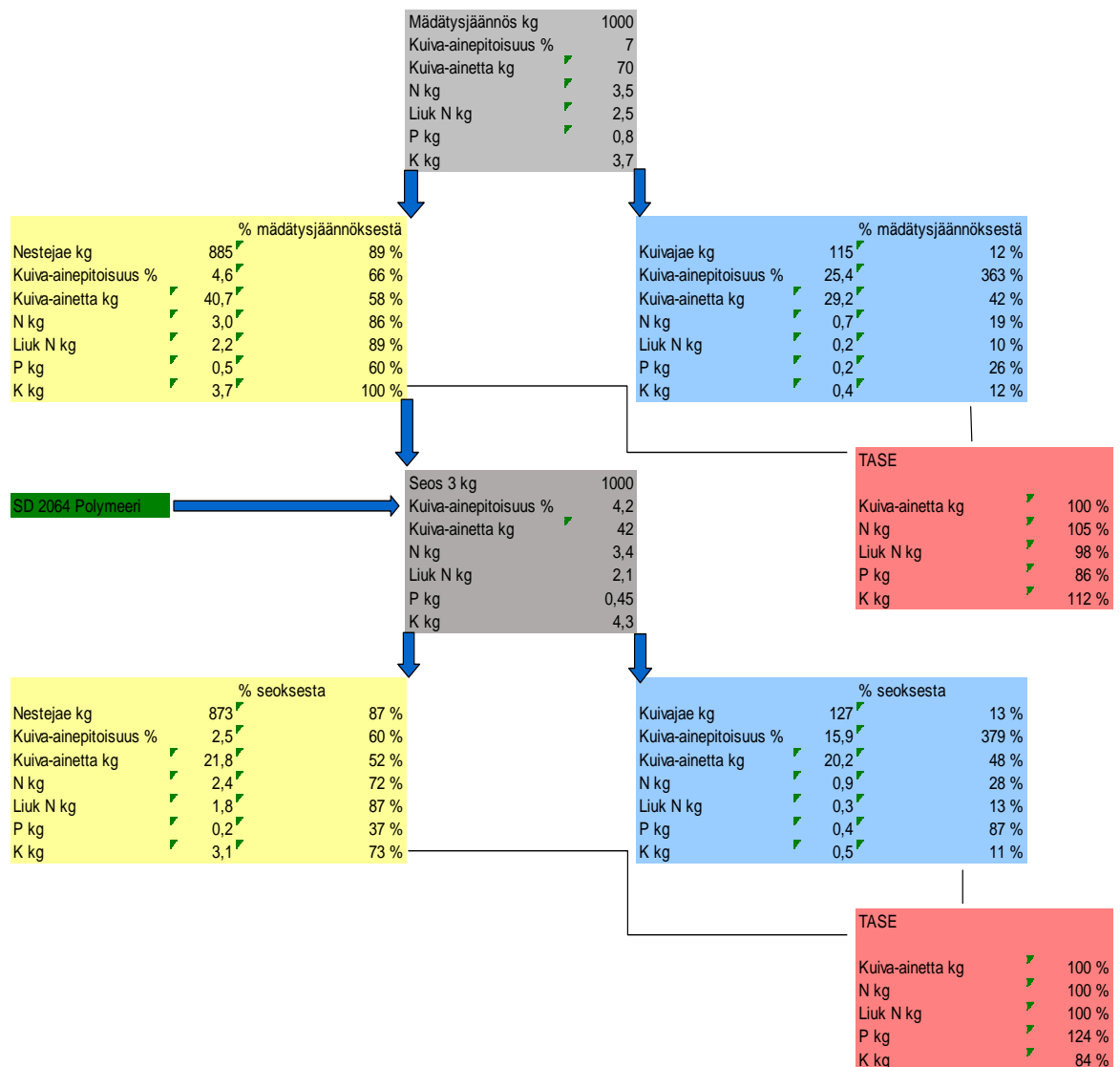
TAULUKKO 16. Kuiva-aineen erottuminen kuivajakeeseen linkokokeessa, (tFM tarkoittaa tuoretonnia)

	Mädäte	Annos 1	Annos 2	Annos 3
Separoitava liete tFM	1000			
Lietteen TS %	6,88			
Kuivajæe TS %	24,36			
Nestejæe TS %	4,56			
Kuivajæetta separaattorista tFM	117			
Nestejæetta separaattorista t FM	883			
Kuivajæetta tFM/separoitu tFM	11,72 %			
Nestejæetta tFM/separoitu tFM	88,28 %			
TS:sta kuivajæeeseen	41 %			
Separoitava liete tFM	1000	1000	1000	1000
Lietteen TS %	4,56	4,17	4,19	4
Kuivajæe TS %	14,97	16,21	16,04	15
Nestejæe TS %	3,33	2,69	2,7	2,49
Kuivajæetta separaattorista tFM	106	109	112	121
Nestejæetta separaattorista t FM	894	891	888	879
Kuivajæetta tFM/separoitu tFM	11 %	11 %	11 %	12 %
Nestejæetta tFM/separoitu tFM	89 %	89 %	89 %	88 %
TS:sta kuivajæeeseen	35 %	43 %	43 %	45 %

Massataseet laskettiin linkokokeen koejäsenelle annos 3. Ruuviseparattori erottelee suurimman osan kuiva-ainemassasta nestejakeeseen, sen sijaan lingotussa lietteessä kuiva-ainekilot jakautuvat melko tasaisesti molempiin jakeisiin. Pääravinteissa ruuviseparointi ei prosentuaalisesti erota niin

paljon ravinteita kuin linkoaminen, jossa nestejakeeseen jää selvästi suurin osa liukoisesta typestä ja kuivajakeeseen suurin osa fosforista. Massataseet eivät fosforin ja kaliumin kohdalla täysin täsmää, mutta typen osalta varsin hyvin. Taseiden kohtaamattomuus voi johtua esimerkiksi rinnakkaisten näytteiden ja analyysien puutteesta. (Kuvio 7).

Kuviosta 7 käy ilmi kemiallisen separoinnin ravinteiden erottuminen ja separoinnin eteneminen. Ylhäällä on lähtötilanne, mädätysjäännös, joka separoidaan ruuviseparaattorilla kahteen jakeeseen. Näiden kahden jakeen ravinnetaseiden ollessa sata prosenttia, ovat kaikki mädätysjäännöksen ravinteet jakautuneet jakeiden kesken. Separointia jatketaan edelleen nestejakeen kanssa, johon lisätään polymeerin käyttöliuosta. Tässä tapauksessa dekantterilingolle ohjattiin tuhat kilogrammaa lietettä, josta 880 kilogrammaa oli ruuviseparoinnissa tuotettua nestejaetta ja 120 kilogrammaa polymeerin käyttöliuosta. Edelleen ravinnanalyysien perusteella voidaan laskea tase linkoseparoinnille. Linkoseparoinnissa fosforin erottuminen kuivajakeeseen on onnistunut (87 prosenttia) ja suurin osa liukoisesta typestä on jäänyt nestejakeeseen (87 prosenttia).



KUVIO 7. Massataseet linkokokeen koeasetelmasta, jossa nestejakeeseen lisättiin 12 prosenttia SD 2064 käyttöliuosta

Lietteelle arvoa laskiessa voidaan verrata väkilannoitteen sisältämän ravinnekilon hintaa lietekuution sisältämään ravinnemäärään. Liukoisen typen osalta kemiallinen separointi ei juuri nosta eri jakeiden arvoa. Mädätysjäännöksen arvo sen sijaan liukoisen typen osalta on raakalantaa suurempi. Kaliumia lietteessä ja eri jakeissa on runsaasti. Fosforiravinteena lietteen arvonnousua tapahtuu jo ruuviseparoitaessa, mutta etenkin lingotessa. Lingon kuivajakeessa on jopa yli nelinkertaisesti fosforia mädätysjäännökseen nähden ja yli kolminkertaisesti ruuviseparoituun kuivajakeeseen nähden. (Taulukko 17.)

TAULUKKO 17 . Linkokokeiden jakeiden arvo verrattaessa väkilannoitteeseen ja käsittelemättömään naudaneliitteeseen. Ravinnekilon hinta väkilannoitteessa Kasper – laskurista (Luke 2018) ja Naudan lietalannan ravinnearvot Viljavuuspalvelu Oy:n keskiarvot vuosilta 2013-2017. (Viljavuuspalvelu, Jo-
kela.)

	N liuk kg/m ³	N liuk e/m ³	P kg/m ³	P e/m ³	K kg/m ³	K e/m ³	
Ravinnekilon hinta väkilann.	0,9		1,6		1,4		e/kg
Naudan lietalanta, Suomen keskiarvo	1,7	1,7	0,5	0,8	2,8	3,1	5,6
Mädätysjäännös	2,5	2,5	0,8	1,2	3,7	4,0	7,7 e/m ³
Nestejae	2,6	2,6	0,6	0,8	4,2	4,6	8,0 e/m ³
Kuivajae	1	1	0,9	1,3	3,8	4,2	6,5 e/m ³
Lingon neste	2,8	2,8	0,3	0,4	3,5	3,9	7,1 e/m ³
Lingon kuiva	2,4	2,4	3,4	5,2	3,9	4,3	11,9 e/m ³
Annos 1 neste	2,3	2,3	0,2	0,3	3,6	4,0	6,6 e/m ³
Annos 1 kuiva	2,4	2,4	3,5	5,3	4,2	4,6	12,3 e/m ³
Annos 2 neste	2,2	2,2	0,2	0,3	3,6	4,0	6,5 e/m ³
Annos 2 kuiva	2,3	2,3	3,4	5,1	3,7	4,0	11,4 e/m ³
Annos 3 neste	2,2	2,2	0,2	0,3	3,6	4,0	6,5 e/m ³
Annos 3 kuiva	2,1	2,1	3,2	4,8	3,7	4,1	11,0 e/m ³

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lannan jatkojalostaminen edellyttää yleensä eri prosessien yhdistämistä keskenään, jotta päästään haluttuun lopputulokseen tai edes lähelle sitä. Tällaisia voi olla esimerkiksi biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen neste- ja kuivajakeen erottelu. Osa käsitteleyprosesseista on käytettyjä ja niistä on kokemuksia, mutta on myös paljon sellaisia prosesseja, joiden toiminta on vielä kehittyasteella. Lannan jatkokäsittelyssä tulee huomioida tilakohtaiset tarpeet ja siihen soveltuvat prosessit. Osa prosesseista kuten separointi soveltuu tilakohtaiseen toimintaan, mutta osa vaatii suurempia laitoksia eikä niitä ole järkevää soveltaa tilatasolla.

7.1 Johtopäätökset rakeistus

Rakeistamisessa esikokeessa testattiin eri tuhkalisäysmääriä separoiden niitä separaattorissa käyttäen kevyttä sekä tiukkaa puristusta. Tämän perusteella huomattiin, että tiukalla puristuksella separoimalla saadaan ravinteita erottumaan eri jakeiden välillä paremmin kuin kevyellä puristuksella. Tuhkalisyys nosti kuiva-ainepitoisuutta. Esikokeen tulosten perusteella päädyttiin separoimaan rakeistettavaa kuivajaetta separaattorin tiukalla puristusvoimalla ja tuhkalisyystasolla viisikymmentä kilogrammaa kuutiossa.

Mädätysjäännöksessä sekä tuhkaseoksessa kokonais- ja liukoinen tyyppi sekä fosfori pitoisuudet olivat aikalailla samat kilogrammaa/tonnissa ennen separointia. Tuhkan lisääminen mädätysjäännökseen ei lisännyt merkittävästi seoksen fosforipitoisuutta. Kivennäis- ja hivenaineiden puolesta tuhkalisyys nosti näiden pitoisuuksia merkittävästi mädätysjäännös tuhkaseoksessa. Näiden pitoisuudet tuhkassa olivat korkeat verrattaessa normaaleihin arvoihin. Tuhkan kalsiumpitoisuus oli matala <0,72 kilogrammaa tonnissa.

Mädätysjäännöksen sekä tuhkaseoksen separoinnissa nestejakeeseen on jäänyt prosentuaalisesti enemmän ravinteita. Separoinnissa käytettiin ruuviseparaattoria, jonka teho esimerkiksi linkoon verrattuna on heikompi erottamaan ravinteita eri jakeiden välillä. Tämä selittää ravinnetaseiden ja ravinteiden epätasaista jakaantumista jakeiden välillä. Meyelin ym. (2007) mukaan käsittelemättömässä naudan lietelannassa fosforista ja kokonaistypestä voi erottua jopa alle 0,125 millimetrin partikkeleihin. Mädätysjäännöksessä voi olla pieniä partikkeleita vielä enemmän, sillä biokaasuprosessi hajottaa lannan partikkeleita raakalantaa pienemmäksi. Separaattorissa käytetty 0,5 millimetrin seulakoko ja painava puristus eivät saaneet eroteltua ravinteita eri jakeiden välillä tehokkaasti. Hjorth ym. 2009 on todennut tutkimuksissaan, että ruuviseparaattori soveltuu lietteen esikäsittelyyn. Mekaanisesti ilman kemikaaleja tarkempaan erotteluun parempi vaihtoehto on linko. Tällä perusteella lingon käyttämisellä olisi voitu saada eroteltua fosfori paremmin kuivajakeeseen.

Massataseiden laskemisella saadaan selville, kuinka paljon tuhannesta kuutiosta tuoretta mädätysjäännöstä saadaan eri jakeita. Massataselaskelmissa huomataan jakeiden erotteluheikkous. Tuhkaseoksen kuivajakeeseen erottui keskimäärin 35 prosenttia alkuperäisen tuhkaseoksen kuiva-aineesta, 9 prosenttia liukoisesta typestä, 12 prosenttia kokonais typestä ja 11 prosenttia kaliumista.

Tuhkalisäyksellä huomattiin olevan kuiva-ainetta kohottava vaikutus. Kuitenkin tarkasteltaessa kuiva-ainepitoisuutta kuivajakeessa on se pienempi verrattaessa mädätysjäännökseen. Tämä voi johtua separaattorin ominaisuuksista, jolloin sen erottelukyky ei ole yhtä hyvä paksummalla kuin ohuemalla lietteellä, jolla se saa pienemmällä voimalla nesteen irrotettua lietteestä. Syöttönopeutta ei voi separaattorista säätää.

Rakeistaminen itsestään on sellainen prosessi, jota ei ole kannattavaa toteuttaa maataloilla rakeistuslaitteiston kustannusten takia. Maatilatasolla separointi on soveltuva prosessi toteutettavaksi. Rakeistamisen ideana on, että biokaasulaitoksilta saataisiin kuljetettua tehokkaasti pois fosforia mädätysjäännökseen mukana. Tämä on osa laajempaa kokonaisuutta ja ajattelutapaa, jossa tilat toisivat lietteen biokaasulaitokseen ja hyötyisivät sillä tavoin. Tällöin rakeistaminen olisi järkevää suuremmissa mittakaavassa ja tilallinen saisi hyötyä lietemassojen käsittelemisessä.

Valmistetuissa rakeissa typpipitoisuus jäi alhaiseksi, fosforia jäi rakeeseen oletettua vähemmän ja kaliumpitoisuudet olivat suuret. Separoinnissa suurin osa tyyppistä jää nestejakeeseen, joten typpipitoisuuksien ei oletettu olevan korkeita. Tuhkan alhainen typpipitoisuus ei nostattanut rakeiden tyyppiä. Tuhkan lisääminen mädätysjäännökseen ei kohottanut fosforin suuresti. Separoituun kuivajakeeseen jäi fosforia enemmän kuin pelkkään mädätysjäännökseen. Rakeiden fosforipitoisuus on 4,8 kilogrammaa tonnissa. Tuhka sisälsi kaliumia, joka nosti rakeiden kaliumpitoisuuden korkeaksi 8,8 kilogrammaa tonnissa.

Kuivajakeen rakeistaminen tarjoaisi mahdollisuuksia varastoinnissa. Separointi ja rakeistaminen voitaisiin tehdä talvella, jolloin kevään ruuhkahuippuun tulisi tältä osin helpotusta. Rakeet saisi varastoitua pienempään muotoon, josta ne keväällä voisi kuljettaa lannoitteeksi kauemmille pelloille. Kuljetuksen kannalta pienempään tilaan meneviä rakeita saisi kuljetettua enemmän verrattuna kuivajakeeseen. Siitä, paljonko rakeistaminen maksaa, ei ole tietoa. Kuitenkin yleisesti ajatellaan, että mikäli lietteestä on siirtynyt fosforia kuivajakeeseen enemmän kuin lähtöaineessa on, pidetään kannattavana siirtää kuivajaeetta kauemmas tilakeskuksesta. Rakeistamisessa tuhkaeroksesta separoidussa kuivajakeessa on fosforia enemmän lähtötilanteeseen nähden ja rakeissa on fosforia 4,8 kilogrammaa tonnissa. Tähän perustuen rakeiden kuljettaminen tarjoaisi vaihtoehdon fosforin siirtämisessä.

Rakeistuksessa käytetyssä tuhassa ylittyi Arseenipitoisuus Eviran raja-arviossa sallitusta määrästä peltokäytössä. Rakeissa raskasmetallipitoisuudet alittuivat raja-arvoista, mutta lähtöaineessa ylittynyt pitoisuuden takia ei rakeita saakäyttää maataloudessa. Saadut rakeet olisivat soveltuvia metsälannoitteeksi, sillä metsälannoitteiden raskasmetallien pitoisuudet ovat alhaisemmat ja tältä osin raja-arvot eivät ylittyisi missään vaiheessa. Puhtaan tuhkan käyttöä metsälannoitteena on tutkittu, ja siitä on saatu hyviä tuloksia metsän kasvun osalta. Metsätuhkalannoitteissa on tyyppien osalta vajautta, joten olisiko mädätysjäännökseen tai lietteen ja tuhkan separointi ja kuivajakeen rakeistaminen mahdollisuus metsälannoitteissa. Joitakin metsän lannoituskokeita (Moilanen ym. 1987; Veijalainen ym. 1993; Hytönen ja Takalo 1997; Hytönen 1999; Lazdina ym. 2011) on tehty tuhkan ja biolietteen sekoittamisesta keskenään ja siitä rakeistettu typpipitoisia rakeita. Näiden käyttö vaatii kuitenkin vielä tutkimustyötä, jotta käytöntö yleistyisi. (EVIRA 2018; Huotari 2012, 12.)

Raekoon suuren hajonnan takia rakeiden levittäminen lannoittimenlevittimellä olisi ongelmallista. Raekokoa 3,30- 4,72 millimetriä oli 37 prosenttia ja yli 4,75 millimetrin rakeita 31 prosenttia tehdys- sä raekokojakaumaotannassa. Toisaalta myös pientä < 2,0 millimetrin raeetta oli 14,5 prosenttia. Tä- hän lukuun sisältyy myös jauhomainen roska, joka meni tähän ja osaltaan suurentaa tulosta. Tulos- ten perusteella rae-erä sisälsi tavanomaisesti väkilannoitteissa käytetyn raekokoon nähden isompaa raeetta. Mikäli rakeistetut rakeet levitettäisiin lannoittimenlevittimellä, tulisi tästä ongelmia epätasai- sen raekoon takia. Oletettavasti suuret rakeet tukkisivat vantaat. Jos rakeistettaviin rakeisiin saa- daan riittävät ravinnearvot ja niitä hyödynnettäisiin peltolannoitteina, olisi raekoko saatava standar- diksi kaupallisiin väkilannoitteisiin nähden.

Separoitujen rakeiden liukenemisnopeus veteen oli hidasta verrattaessa kaupalliseen Yara NK1 lan- noiterakeisiin. Rakeen liukenemisen ollessa hidasta ei voi olettaa, että kasvit saisivat ravinteet käyt- töönsä mahdollisimman nopeasti lannoitushetken jälkeen, joka olisi tärkeää parhaan kasvun saavut- tamiseksi. Lannoitteiden liukenemiseen tarvitaan vettä, jotta sitä imiessä sen rakenne rikkoutuu ja liukeneminen alkaa. Tähän vaikuttaa se kuinka hyvin rakeet pystyvät imemään itseensä vettä. Val- mistetut rakeet olivat kovia ja tämä voi osittain selittää hitaan liukenemisen. Syy voi olla rakeen huokosissa, sillä kovassa rakeessa huokosia on vähemmän. Rakeissa käytetty tuhka voi myös olla liukenemistä hidastava tekijä, sillä tuhalla on huono vedenläpäisykyky (Peltonen 2010.)

Kierrätysravinteiden käyttö on yleistynyt ja on firmoja jotka markkinoivat erilaisia kierrätysravinteita. Maataloudessa tuhkaa käytetään pellon maanparrannusaineeta sellaisenaan levitettynä. Tulee muis- taa että kierrätysravinteita markkinoissa niillä tulee olla lannoitevalmistelain mukainen tyyppinimi jotta niitä saa käyttää. Tällä hetkellä tuhkasta valmistetaan metsälannoitteita, mutta varsinaista maataloudessa yksinomaan käytettävää tuhkapohjaista lannoitevalmistetta eri lähteitä hyödyntäen löytynyt. Tuhkapohjaisia tuotteita käytetään viherrakentamisessa sekä maanparannuksessa. Näissä pienemmät tuhkan raskasmetallipitoisuuksien raja-arvot sallivat käytön sekä tuhkan tuomat edut esimerkiksi maanparannuksessa tuhalla voidaan korvata luonnon kivihiihiaineeksi.

Rakeiden NPK suhde on 8-5-9. Tässä täytyy kuitenkin muistaa, että separoitujen rakeiden ravin- nearvot ovat kymmenkertaisia. Lannasta puhuttaessa, ravinteita on kilogrammaa tonnissa. Kaupalli- sissa väkilannoitteissa lukemat ovat prosentteja. Tällöin ravinnesuhteet eivät ole yksi yhteen verrat- tavissa. Rakeiden levitysmäärä olisi luokkaa viisituhatta kiloa hehtaarille kun väkilannoitteilla vastaa- va on neljäsataa kiloa hehtaarille. Rakeet sisältävät orgaanista ainesta, joten niillä olisi maaperää pa- rantavaa vaikutusta.

7.2 Johtopäätökset kemikaaliseparointi

Kemiallinen separointi aloitettiin pienestä mittakaavasta, mutta paksujen lietteiden ja liiankin pienen mittakaavan vuoksi annosmäärien hakeminen oli haastavaa. Lietteessä on paljon negatiivisesti va- rautuneita ioneita ja niiden määrä kasvaa lietteen kuiva-ainepitoisuuden noustessa. Paksuun, esi- merkiksi lietteeseen, jonka kuiva-ainepitoisuus on yli seitsemän prosenttia, tarvitaan huomattavasti

suurempia kemikaalimääriä verrattuna esimerkiksi todella ohueeseen kuiva-ainepitoisuudeltaan kahden prosentin lietteeseen, jotta vaikutus olisi paljain silmin nähtävissä. Annosten hakeminen olisi voinut olla helpompaa, jos olisimme ehtineet valmistaa tarkoitusta varten pidemmät laskeutusputket, jossa olisimme voineet käsitellä suurempia määriä lietettä ja ottaa näytteitä ravinneanalyysiin. Yleisesti suositellaan esikokeita, jotta polymeerin optimaalinen määrä saadaan määritettyä ennen kuin aletaan separoida suurempia määriä. (Christensen ym. 2013, 122.)

Ruuviseparoinneissa ei saatu juurikaan eroja aikaiseksi, vaikka selviä flokkeja muodostuihin lietteeseen ennen separointia. Tämä tukee kirjallisuuden havaintoa, että ruuviseparaattori mahdollisesti rikkoo jo muodostuneita flokkeja, jolloin ravinteiden erottumisteho ei nouse kemikaaleja käytettäessä (Christensen ym. 2013, 121-122). Ruuviseparoinneissa ei kuitenkaan kokeiltu käyttää ennen polymeeriä rautasulfaattia, joten sen toimimisesta ruuviseparoinnissa tai rautasulfaatin ja polymeerin yhteistehosta ei voida tehdä johtopäätöksiä. Christensen ym. (2013, 121-122) mukaan rautasulfaatin sekoittaminen ensin ja vasta sitten polymeerin lisääminen edistäisi ravinteiden erottumista parhaimmalla tavalla, jolloin rautasulfaatin avulla saataisiin myös pienimmissä partikkeleissa kiinnittynyt fosfori eroteltua kuivajakeeseen.

Linkoamalla mädätysjäännöksen nestejakeesta saatiin kuiva-ainetta eroteltua kuivajakeeseen paremmin kuin ruuviseparaattorilla suoraan mädätysjäännöksestä. Lisäksi polymeerin lisäyksellä havaittiin olevan vaikutusta erottelutehokkuuteen. Ravinnemääriä tarkasteltaessa havaittiin, että lingon tuottamassa kuivajakeessa on korkeammat fosforipitoisuudet kuin ruuviseparaattorilla käsitellyssä kuivajakeessa. Dekantterilinkoamista ei ehditty testaamaan siten, että nestejakeeseen olisi ensin sekoitettu rautasulfaattia, jotta pienissä partikkeleissa kiinnittyneenä ollut fosfori olisi saatu vielä paremmin eroteltua polymeerilisyksellä ja linkoamalla kuivajakeeseen. Erottelutehokkuus voi tällöin nousta edelleen ja nestejakeeseen edelleen linkokokeessa jäänyt fosforimäärä pienentyä vieläkin nyt havaitusta. Ravinnemäärien puolesta kaikki tuotetut kuivajakeet ovat mädätysjäännöstä parempaa fosforilannoitetta. Esikokeita lukuun ottamatta kokeissa ei opinnäytetyön valmistumista ennen ehditty tekemään toistoja ollenkaan, mikä osittain vähentää yleistämismahdollisuuksia tulosten osalta.

Christensen ym. (2013, 118) mukaan ravinteiden erottelu onnistuu helpoiten ohuella lietteellä. Vertaen paksut kokeessa käytetyt lietteet olivat haastavia käsitellä ja vaativat paljon kemikaaleja. Jopa lietteestä separoitu nestejake on kuiva-ainepitoisuudeltaan sen verran korkeaa, että erottelutehokkuus kärsii maltillisilla kemikaalimäärillä. Dekantterilinkoon tulisi voida syöttää paksuakin lietettä, mutta käytännön koejärjestelyillä oikeiden säätöjen löytyminen voi viedä aikaa. Esimerkiksi sianliete voisi toimia paremmin lingotessa kuin naudanliete, joka on luonnostaan paksumpaa. Kokeessa testiajot tehtiin samoilla automaattisäädöillä, jotta muuttujien määrä ei kasvaisi liikaa. Mikäli linkoajoissa olisi ollut käytössä polymeerien annostelijat, olisi annostelua ja linkoa voitu säätää jatkuvatoimisesti (Prominent 2018). Myöskään kokeissa käytetyssä lingon syöttöpumpussa ei ollut säätöä, vaan syötön säätö tehtiin tavallisella pallohanalla virtausta kuristamalla. Christensen ym. (2013, 120) mukaan polymeerien sekoittamisella lietteeseen on suuri vaikutus onnistumiseen, joten on mahdollista että polymeerien sekoitus ja syötejärjestelmien puute on voinut vaikuttaa lopputulokseen.

Massataseista tarkasteltuna voidaan laskea esimerkiksi tuhannen kuution mädätysjäännöksen separoinnista ja linkoamisesta saatavat lannoitejakeet. Tuhannesta kuutiosta mädätysjäännöstä irtoaisi ruuviseparattorilla 115 kuutiota kuivajaetta esimerkiksi maanparannusaineeksi viljatilalle. Nestejaetta jäisi 885 kuutiota lingottavaksi. Kemikaalin käyttöliuosta tulisi valmistaa koko määrän linkoamiseen noin 120 kuutiota, josta polymeeriä SD 2064 kuluisi 600 litraa ja loppu olisi vettä. Lopputuotteen saataisiin 873 kuutiota nestejaetta ja 127 kuutiota fosforipitoista kuivajaetta. Kokonaisuutena levitysmäärä kasvaisi lisätyn veden määrän verran, mutta lietteen levitysmäärä laskisi. Lisättävän veden määrä on kuitenkin varsin huomattava. Osan lannasta pääsisi levittämään kuivalantana, fosforilannoitteena ja maanparannusaineena tilan kaukaisimmille lohkoille, jonne lietettä ei enää välimatkan vuoksi kannata ajaa tai tarjota kasvinviljelytiloille. Lötjösen (2014-03-24) mukaan lietettä on kannattava ajaa vain noin seitsemän kilometrin päähän, mutta kuivajaetta kannattaa fosforilannoituksena ajaa pidemmällekin.

Kustannuksiltaan kemikaaliseparointi dekantterilingolla on varsin kallista. Ruuviseparattorin hankintakustannukset ovat halvimmillaan noin 20 000 euroa ja dekantterilingon noin 60 000 euroa (Eskelinen 2018). Lisäksi kustannuksia tulee kemikaaleista ja dekantterilingon käyttö voi viedä runsaasti sähköä. Lisäksi tulee olla useampia säiliöitä, joissa säilötään käsittelemätöntä lietettä, ruuvin nestejaetta ja lingon nestejaetta. Kuivajakeille tulee olla oma, kiinteäpohjainen kokoamispaikka varattuna. Kuivajakeet alkavat lämpeämään ja kompostoitumaan kasassa, jos niitä joudutaan säilyttämään pitkiä aikoja. Tällöin tulee varautua myös hoitamaan kompostia, jotta kasa kompostoituu tasaisesti eikä mätäne. Hyvin kompostoitunut kuivajae on hyvää lannoitetta ja siinä on ravinteet kasveille käyttökelpoisessa muodossa (Reiskone Oy 2018). Ruuviseparoidulle kuivajakeelle voi olla lannoitustarkoituksen lisäksi muita käyttötapoja, esimerkiksi riittävän kuivaksi separoituna sitä voidaan käyttää parissa kuivikkeena, jolloin ostokuivikekustannukset pienenevät. Separoimiselle on laskettu myös kuutiokohtaisia kustannuksia, jossa ruuviseparoinnin kustannus on 0,6 euroa per kuutio käsiteltyä lietettä ja dekantterilinkoamisen hinnaksi on laskettu vastaavasti 1,27 euroa. (Pyykkönen 2017b, 14-26.)

Vähentämällä yksittäisten jakeiden laskennallisesta arvosta (taulukko 16) laskennalliset separointikustannukset, putoaa lingon nestejakeiden arvo alle raakalannan arvon. Ruuviseparoinnin jakeiden arvo pysyy vielä juuri ja juuri raakalannan arvon yläpuolella. Lingon kuivajakeiden arvo sen sijaan on edelleen noin 10 euroa kuutiolta kun raakalannan arvo jää noin 5,5 euroon kuutiolta. Kaliumia on mädätysjäännöksessä ja kaikissa sen jakeissa enemmän kuin raakalannassa, jopa liikaakin lannoitustarkoituksiin. Lannan todellinen arvo on todennäköisesti tämän vuoksi hieman alhaisempi, kun kaliumia on ylenmäärin.

Osaltaan kustannuksia helpottaisi, mikäli liete voitaisiin syöttää suoraan dekantterilingolle ja säästytäisiin yhdeltä työvaiheelta ja yhden nestejakeen varastoinnilta. Tässä kokeessa ei voitu testata tätä, sillä lingon tasainen syöttö onnistui vain tasalaatuisella nestejakeella johtuen syöttöjärjestelyistä, jossa palloventtiilillä säädettiin lietteen virtausnopeutta. Venttiili tukkeutuu helposti, mikäli lietteen seassa on esimerkiksi rehua, mikä on hyvin tyypillistä käsittelemättömälle lietteelle. Palloventtiiliä parempi syöttöjärjestely olisi ollut pumppu, jolla virtausta olisi voitu säätää ilman kuristavaa venttiili-

liä. Käsittlemättömän lietteen separointitehokkuudesta lingolla ei ole saatu Maaningalla kokemuksia.

Ravinnepitoisuuksiltaan ja ravinnesuhteiltaan separoidut jakeet eroavat käsittlemättömästä lietteestä kasvien eduksi. Liukoisen typen ja fosforin suhde parani separoimalla siten, että nestejakeissa suhde oli huomattavasti parempi kuin lähtötilanteessa. Suurempi suhdeluku tarkoittaa käytännössä sitä, että lietteenlevityksessä saadaan fosforirajoitusten puitteissa levitettyä suurempi määrä liukoista typpeä saman lietemäärän mukana. Taulukossa 18 on esitetty separoinnin jakeiden liukoisen typen ja fosforin suhteet verrokkiseparoinneissa ilman kemikaalia. Polymeerin lisäys ei kokeessa vaikuttanut suhteeseen ratkaisevasti.

Taulukko 18. Liukoisen typen ja fosforin suhde separoinnissa

Näytteen nimi	Liuk N:P
Mädätysjäännös	3
Ruuvin nestejake	5
Ruuvin kuivajake	1
Lingon nestejake	10
Lingon kuivajake	1

Ravinnesuhteet muuttuivat myös typen jakautumisen kannalta edullisiksi. Nestejakeiden sisältämän liukoisen typen suhde kokonaistyppeen oli suuri: 0,7-0,9 kaikissa nestejakeissa. Viljavuuspalvelu Oy:n aineiston mukaan keskimäärin suhde on Suomessa naudon lietelannalla 0,6 (Viljavuuspalvelu, Jokela.) Myös mädätysjäännöksellä suhde on korkeampi kuin käsittlemättömällä lietelannalla. Mitä korkeampi lietteen liukoisen typen suhde kokonaistyppeen on, sitä enemmän lietteen mukana saadaan kasveille käyttökelpoista liukoista typpeä levitettyä lietekuorman mukana. Ravinnesuhteiden muuttuminen kasveille edullisemmaksi tekee separoinnin jakeista käsittlemättömiä lietteitä potentiaalisempia lannoitteita. (Pyykkönen 2017b, 12.)

Lietelannasta saatava kokonaistypin määrä saa olla lohkolle enimmillään 170 kilogrammaa hehtaarille vuodessa, joten mitä enemmän lannassa on liukoista typpeä, sitä enemmän sitä saadaan tämän määrän rajoissa levitettyä peltoon. Taulukossa 19 on esitetty, paljonko linkokokeen nestejakeita saisi levittää pellolle typpimaksimin mukaan, kun lietettä ajettaisiin maksimimäärä eli kokonaistypin määrä lietteessä olisi 170 kilogrammaa hehtaarille. Fosforilannoituksen enimmäismäärät tulisivat vastaan nurmea ja viljaa viljeltäessä levitysmäärässä jo aiemmin, mikäli levitettävillä lohkoilla ei olisi huono fosforitila. Polymeerikäsiteltyä lingon nestejakeita tosin voisi fosforinkin puolesta levittää lantapoiikkeuksen nojalla jopa fosforiltaan hyvälle lohkolle. Lantapoiikkeuksella tarkoitetaan toimintaa, jossa kaikki lannoitusfosfori annetaan karjanlannan mukana. Kaliumin osalta nykyiset lannoitusosuudet (30-170 kilogrammaa kaliumia hehtaarille) jäävät kauas taakse, mutta tutkimusten mukaan esimerkiksi heikon kaliumtilan mailla toisesta nurmisadosta eteenpäin kaliumlannoituksen määrä voisi hyvinkin olla 220-240 kilogrammaa kaliumia hehtaarille. Runsaasta kaliumlannoituksesta voi olla haittaa eläinten terveydelle, joten rehujen analyysit ovat tarpeen runsaasti lannoitettaessa. (Mavi 2015; Virkajärvi, Kykkänen, Rätty, Hyrkäs, Järvenranta, Isohahti ja Kauppila 2014, 42.)

Taulukko 19. Kokeen lietteiden ravinnemäärät peltolevityksessä jos levitetään ympäristötuen maksimimäärä typpeä

Levitettävä jae	kok. typpi (N) 170 kg	Liuk typpi (N) kg/ha	Fosfori (P) kg/ha	Kalium (K) kg/ha
Raakalanta	61	103	30	170
Mädätysjäännös	49	121	39	180
Ruuvn nestejaje	50	125	27	210
Lingon nestejaje	61	164	16	213
Annos 3 lingon nestejaje	61	128	12	219

Mikäli lietteenlevityksen määrä olisi maltillisempi, fosforilannoituksen rajat eivät tulisi aivan heti vastaan. Ero raakalantaan on etenkin liukoisen typen osalta varsin merkittävä, mikäli levitysolosuhteiden puolesta typpitappiota ei tapahtuisi. Mädätysjäännöksen mukana tulee vielä huomattavasti fosforia, jopa ruuviseparointi poistaa fosforia sen verran että fosforilannoitusmäärä putoaa kymmeneen kiloon hehtaarilla (Taulukko 20.)

Taulukko 20. Ravinnemäärät peltolevityksessä, mikäli kokeen lietteiden levitysmäärä olisi 40 tonnia hehtaarille

Levitettävä jae	Levitysmäärä tn/ha	Liuk typpi (N) kg/ha	Fosfori (P) kg/ha	Kalium (K) kg/ha
Raakalanta	40	68	20	112
Mädätysjäännös	40	100	32	148
Ruuvn nestejaje	40	100	22	168
Lingon nestejaje	40	108	11	140
Annos 3 lingon nestejaje	40	84	8	144

Fosforipitoisten kuivajakeiden osalta samoihin fosforilannoitusmääriin päästään jo noin 10 tonnia hehtaarille levitysmäärällä kuin levitettäessä nelinkertaisesti lietejakeita. Typpeä jakeissa on vähän, joten käyttötarkoitustaan palvelee nimenomaan käyttää jakeita fosforilannoitteena siellä missä fosforista todella on puutetta. Levitettävät lannoitusmäärät pysyvät suhteellisen matalina, joten kuljetus kaukaisimmille lohkoille on kannattavampaa kuin lietteen kuljetus. Typen ja kaliumin määrät jäävät varsin alhaisiksi. Kaliumlannoitus voi kuitenkin olla riittävä hyvän kaliumtilan maille. (Taulukko 21.)

Taulukko 21. Kokeen kuivajakeiden levityksessä saavutettavat lannoitemäärät, kun levitysmäärä maltillinen 10 tonnia hehtaarille

Levitettävä jae	Levitysmäärä tn/ha	Liuk typpi (N) kg/ha	Fosfori (P) kg/ha	Kalium (K) kg/ha
Ruuvn kuivajaje	10	21	18	38
Lingon kuivajaje	10	23	33	39
Annos 3 lingon kuivajaje	10	21	31	37

8 PÄÄTÄNTÖ

Lannan käsittely ja hyödyntäminen on aiheena ajankohtainen ja tärkeä. Lietelantaa tuotetaan paljon ja sitä levitetään pellolle erilaisin käytännöin. Fosforin erottaminen lietelannasta pois laskisi lähimpien peltojen fosforikuormaa ja toisaalta säästäisi kustannuksia. Fosforipitoinen kuivajae voisi olla kiinnostava maanparannusaine myös läheisille viljailoille. Ruuviseparaattori erottelee jakeiden ravinteita heikosti, mutta silti esimerkiksi lietelannan määrän väheneminen on selvä etu separoinnissa. Ruuviseparaattori on yksinkertainen käyttää eikä vaadi toimiakseen jatkuvaa vahtimista. Lisäksi tuotettua kuivajaeetta voi olla mahdollista tietyin edellytyksin käyttää kuivikkeena, jolloin ostokuivikekustannukset pienenevät.

Rakeistaminen on tilatasolta ulkoistettava työvaihe. Yksittäisen viljelijän ei ole järkevää investoida rakeistuslaitteistoon sen kustannusten vuoksi. Separoidun kuivajakeen rakeistaminen ei kuitenkaan ole täysin poissuljettu vaihtoehto mietittäessä erilaisia vaihtoehtoja kuivajakeen jatkokäsittelyssä. Rakeistamisen kannattavuuden laskeminen olisi aiheellista, jotta saataisiin numeraalista faktaa.

Eri sivuvirtojen ravinteiden hyötykäyttöä tulisi lisätä, joten tuhka olisi tässä suhteessa hyvä kiertotalouden lannoite. Tuhkan korkeat raskasmetallipitoisuudet ovat tiedossa, mutta tulevaisuudessa voisi kehittää puunpoltoon menetelmiä, jotta pitoisuudet saataisiin matalimmiksi ja tuhka olisi paremmin hyödynnettävissä maataloudessa. Tällä kertaa työssä käytetyn tuhkan raja-arvon ylittävä arseenipitoisuus teki rakeista käyttökeltottomia maatalouden osalta. Kuitenkin metsäpuolella ja maanrakennuksessa ne olisivat käyttökelpoisia.

Dekantterilingolle ei Maaningalla päästy syöttämään separoimatonta lietettä, mutta epäilemme että syöttönopeus olisi pitänyt olla matala, jotta erottumista olisi tapahtunut. Mädätysjäännös oli käytettyjen lisäsyötteiden vuoksi varsin paksua, mutta erilaisilla syötteillä tuotettu mädätysjäännös olisi voinut olla huomattavasti erilaista. Lingon säätöjä ei myöskään kokeessa ehditty testaamaan, mutta niillä voi olla suurikin merkitys lingon jakeisiin ja erottelutehokkuuteen. Kemikaalisyötössä olisi ollut mukava testata oikeita, syöttöön tarkoitettuja pumppuja ja välineitä. Kemikaalimäärien haarukoiminen oli haastavaa ja aikaavievää ja on varmaankin sellainen työvaihe, jonka esimerkiksi linkoamista suunnitteleva maanviljelijä mielellään ulkoistaa. LantaLogistiikka – hanke jatkaa kemikaaliseparoinnin koeajoja tulosten pohjalta. Rakeistamistulokset eivät vastanneet odotuksia, mutta kokeella saatiin arvokasta tietoa hankkeelle.

Kaikkiaan lietelannan käsittelyn tehostaminen ja tehokkaammaksi lannoitteeksi jalostaminen on toivoaksemme seuraava maatalouden suuri edistysaskel. Lietelannan ravinnesisällön saaminen kasvien käyttöön tarkemmin olisi äärimmäisen tärkeää ravinnekierron ja käytännön toimien kannalta. Dekantterilinkoseparoinnilla sekä rakeistamisella voi molemmilla olla osansa asian ratkaisussa, kunhan käytännöt saadaan kuntoon ja kustannukset kuriin. Yhteisjakeistamislaitokset, kylän omat lannoite- tehtaot voisivat olla yksi mahdollisuus kustannusten kurissapitämiseen.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ALFA LAVAL 2018. Lingot [verkkajulkaisu]. Alfa Laval. [Viitattu 2018-04-04.] Saatavissa: <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/erottelu/keskipakoseparaattorit/lingot/p2/>
- ARKIMA, Svetlana. 2015. Naudanlanta biokaasulaitoksen raaka-aineena, käsittely ja logistiikka. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2016-10-23.] Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/104287/fi_Arkima.pdf?sequence=2
- ASH-POWER 2018. Tietoa lentotuhkasta [verkkajulkaisu]. Ash-power. [Viitattu 2018-05-07.] Saatavissa: <https://www.ashpower.fi/#kayttokohteet>
- BALTIC DEAL s.a. Manure management [verkkajulkaisu]. Baltic deal. [Viitattu 2018-02-28.] Saatavissa: <http://www.balticdeal.eu/measures/manure-management/page/2/>
- CHRISTENSEN, M., CHRISTENSEN, K. ja SOMMER, S. 2013. Animal Manure Recycling: Treatment and management. Wiley United Kingdom.
- DAO, TH. ja DANIEL, TC. 2002. Particulate and dissolved phosphorus chemical separation and phosphorus release from treated dairy manure. [Viitattu 2017-11-11.] Saatavissa: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12175060>
- ESKELINEN, Pasi 2018-05-08. Opinnäytetyö kommentoitavaksi. [Sähköpostiviesti]. Jenni Laakso ja Johanna Kanninen. [Tulostettu 2018-05-08.]
- ESKELINEN, Pasi 2016. Rakeistuslaitteisto. [Digikuva]. Sijainti: Iisalmi: tekijän sähköiset kokoelmat.
- ETT 2018. Lannan ja laidunten käsittelyohjeet salmonellatiloille [verkkajulkaisu]. ETT. [Viitattu 2018-04-07.] Saatavissa: https://www.ett.fi/sites/default/files/user_files/ohjeet_ja_lomakkeet/Lanta-%20ja%20laidunohje.pdf
- EVIRA 2018. Tuhkan käyttö lannoitteena [verkkajulkaisu]. Evira. [Viitattu 2018-04-18.] Saatavissa: <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/kierratysravinteet/tuhkan-kaytto-lannoitteena/>
- HELLSTEDT, M. 2013. Näkökohtia lannan käsittelyyn ja varastointiin. TehoPlus-hankkeen koulutusmateriaali. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-03-15.] Saatavissa: https://www.google.fi/search?client=opera&hs=ZSv&q=n%C3%A4k%C3%B6kohtia+lannan+varastointiin+maarit+hellsted&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjf7K_X5qjaAhVrOpoKHWKxBhIQBQgiKAA&biw=1366&bih=658#
- HUOTARI, Noora. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Vammalan kirjapaino Oy.
- HYTYIÄINEN, Teija ja HILTUNEN, Sari. 1999. Kasvintuotanto 1. Kirjayhtymä.
- KANERVA, K., LESKINEN, M., ERKINJUNTTI, R. 1995. Kasvun tekijät: Mitä kasvi tarvitsee kasvaakseen? Kemianteollisuus (yhdistys).
- KANNINEN, Johanna 2016. Rakeistuskokeet. [Digikuva]. Sijainti: Kuopio: tekijän sähköiset kokoelmat.
- KEMPPAINEN, Erkki. 1984. Karjanlannan ravinnepitoisuus ja syyt sen vaihteluun. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden rahasto.

- KNUUTILA, Jussi 2018-02-28. Vetoletkulevitys vie uuteen teholuokkaan. Maatilan Pellervo. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-02-28.] Saatavissa: http://www.pellervo.fi/maatila/mp6_07/vetoletku.htm
- KYMÄLÄINEN, M. ja PAKARINEN, O. 2015. Biokaasuteknologia raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [Viitattu 2018-03-10.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LAAKSO, Jenni 2018. Kemikaaliseparoinnit. [Digikuva]. Sijainti: Kuopio: tekijän sähköiset kokoelmat.
- LEHTOMÄKI, A., PAAVOLA, T., LUOSTARINEN, S. ja RINTALA, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. [Viitattu 2018-30-03.]
- LEHTONEN, H., KÄSSI, P. ja RINTAMÄKI, H. 2013. Lannan hyödyntäminen ja talous. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-03-05.] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE2C69D65-6A87-4F26-B5C5-0C3148E5DEEC%7D/55857>
- LUKE 2018. Fosforilaskuri. [Verkkajulkaisu]. Luke. Viitattu [2018-05-10.] Saatavissa: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/pelto/peltopalvelut/fosforilaskuri>
- LUOSTARINEN, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi – käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. MTT raportti 113. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-03-04.] Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481263/mttraportti113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- LUOSTARINEN, S., GRONROOS, J., HELLSTEDT, M., NOUSIAINEN, J. ja MUNTHER, J. 2017. Suomen normilanta- laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.4.2018]. Saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540239/luke-luobio_47_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LUOSTARINEN, S., LOGRÉN, J., GRÖNROOS, J., LEHTONEN, H., PAAVOLA, T., RANKINEN, K., RINTALA, J., SALO, T., YLIVAINIO, K. ja JÄRVENPÄÄ, M. 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT raportti 21. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-04-20.] Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti21.pdf>
- LUOSTARINEN, S., PAAVOLA, T., ERVASTI, S., SIPILÄ, I. ja RINTALA, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT raportti 27. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-04-04.] Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti27.pdf>
- LÖTJÖNEN, T. 24.3.2014. Karjanlannan levityksen teknologiat ja talous. InnoTietoa! – hanke. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-03-08.] Saatavissa: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely/toimipaikat/ruukki/Tietopankki/Naudanlihantuotanto/Nivala_Kempele_TimoL.pdf
- MANNERMAA, H. 2013. Online-mittaukset lietteenkuivauksen optimoinnissa. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2018-04-04.]. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201305291358.pdf>
- MAVI. 2015. Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2015. [Verkkajulkaisu]. Maaseutuvirasto. Taulukot. [Viitattu 2018-05-11.] Saatavissa: <http://maaseutuvirasto.mobiezone.fi/zine/467/toc>

- MOTIVA OY 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Opas maatiloille. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.10.2016.] Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf
- MÄKELÄ, E., WHALSTRÖM, M., MROUEL, U., KEPPO, M., RÄMÖ, P. 1995. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkan hyötykäyttö maanrakentamisessa. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 2018-04-18.] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1995/J809.pdf>
- PAKARINEN, A. 2018-04-07. Bioliike. Kompostointi. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-04-07.] Saatavissa: <https://sites.google.com/site/bioliike2013/biojaetteen-kaesittely/kompostointi>
- PELTONEN, Jari 2010-09. Lannoitteiden liukenemistesti tuotti yllätystuloksia. Maatilan Pellervo [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: http://www.pellervo.fi/maatilanpellervo/mp9_10/mp9_10dee.htm#
- PROMINENT 2018. Polymeerien annostelijat [Verkkosivu]. Prominent. [Viitattu 2018-05-10.] Saatavissa: <https://www.prominent.fi/fi/Tuotteet/Tuotteet/Annostelujärjestelmät-ja-laitteistot/Polymeerien-annostelujärjestelmät/pg-metering-systems-polymer.html>
- PYYKKÖNEN, Ville 2017-12-12. LaLo-kokeita? [Sähköposti]. Jenni Laakso. [Tulostettu 2018-05-10.]
- PYYKKÖNEN, V. 2017b. Mädätysjäännöksen ominaisuudet, käsittely ja hyödyntäminen viljelyssä. Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen. BiKa-hankkeen julkaisu. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-05-08.] Saatavissa: https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--research-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/bika/materiaalit/bika_julkaisu_28.11.2017_madatysjaannoksen-ominaisuudet-kasittely-ja-hyodyntaminen.pdf
- RAJALA, J., LEINONEN, P. ja SCHPEL, I. 2006. Luonnonmukainen maatalous Julkaisuja 80 Helsingin yliopiston maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli.
- RECORDS, A ja SUTHERLAND K. 2001. Decanter Centrifuge Handbook. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-04-04.] Saatavissa: https://books.google.fi/books?id=_SOGHTONXbUC&dq=decanter+centrifuge+principle&hl=fi
- REISKONE OY 2018. Separoinnin hyödyt [Verkkajulkaisu]. Reiskone Oy. [Viitattu 2018-05-10.] Saatavissa: <http://separointi.fi/tietoa-separoinnista/separoinnin-hyodyt/>
- RIIKO, K. 2014. Lantaravinteet kiertoön yhteistyöllä ja tekniikalla. Farmi 8/2014. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-03-08.] Saatavissa: https://www.jarki.fi/sites/default/files/farmi_8_2014_jarki-lanta.pdf
- RÄTY, Mari 2015. Lietevaunu. [Digikuva]. Sijainti: Kuopio: tekijän sähköiset kokoelmat.
- SUOMALAINEN, Marcella. 2007. Naudan liettelannan käsittelymenetelmien taloudellinen vertailu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2016-10-23.] Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/29758/Naudan%20liettelannan%20k%3%83%2%a4sittelymenetelmien%20taloudellinen%20vertailu.pdf?sequence=1>
- TUORINIEMI, Jukka 2016-06-01. Toimitusjohtaja. [Haastattelu.] Kuopio: Luonnonvarakeskus Maaninka.
- VALTIONEUVOSTON ASETUS ERÄIDEN MAA- JA PUUTARHATALOUESTA PERÄISIN OELVIEN PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISESTA. 1250/2014. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2018-02-24.] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>

VILJAVUUSPALVELU, Jokela, Venla 2018-04-12. Lietenäytepurkkien tilaaminen. [Sähköposti.] Johanna Kanninen. [Tulostettu 2018-05-10.]

VIRKAJÄRVI, P., HYRKÄS, M., RÄTY, M., PAKARINEN, T., PYYKKÖNEN, V., ja LUOSTARINEN, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maataloilla II. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2018-04-04.]

Saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536848/luke-luobio_37_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VIRKAJÄRVI, P., KYKKÄNEN, S., RÄTY, M., HYRKÄS, M., JÄRVENRANTA, K., ISOLAHTI, M., ja KAUPPILA, R. 2014. Nurmen kaliumtalous. MTT raportti 165. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2018-05-11.] Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485102/mttraportti165.pdf>

WIITASEUDUN ENERGIA. 2018. Jäteveden puhdistus [Verkkojulkaisu]. Wiitaseudun energia. [Viitattu 2018-04-03.] Saatavissa: <http://www.wse.fi/vesi/jateveden-puhdistus>

YARA. 2018. Lannoitteen levitys. [Verkkojulkaisu]. Yara. [Viitattu 2018-03-08.] Saatavissa: <http://www.yara.fi/lannoitus/lannoiteturvallisuus/lannoitteen-levitys/>

YLHÄINEN, Annaleena 2014-01-22. Suuri lannoitekatsaus. Käytännön Maamies [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2018-04-19.] Saatavissa: <http://kaytannonmaamies.fi/suuri-lannoitekatsaus/>

ÄMMÄLÄ, Ari. 2015. Mekaaniset yksikköprosessit. 477011P Prosessitekniikan perusta 5 op. Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2018.] Saatavissa: <http://www.oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%202.pdf>