

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
BH60A4000 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**MÄDÄTYKSEN VAIKUTUS LANNAN
LANNOITUSOMINAISUUKSIIN**

**Effects of the Anaerobic Digestion on the Fertilizing Properties of
Manure**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Jouni Havukainen

Lappeenrannassa 28.11.2015

Ilona Roivainen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	3
1 JOHDANTO	7
2 VOIMASSAOLEVAT SÄÄDÖKSET JA MAATALOUSPOLITIikka.....	9
2.1 Lainsäädäntö	9
2.1.1 Kansallinen lainsäädäntö	9
2.1.2 Lainsäädäntö EU:ssa	10
2.2 Tukijärjestelmät.....	11
3 LANNOITUS.....	12
3.1 Viljelykasvin ravinnetalous.....	12
3.1.1 Typpi.....	13
3.1.2 Fosfori.....	14
3.1.3 Viljavuuteen vaikuttavat tekijät.....	15
3.2 Epäorgaaniset lannoitteet	16
3.3 Orgaaniset lannoitteet.....	17
3.3.1 Raakalanta	17
3.3.2 Mädätetty lanta	19
4 MÄDÄTYSPROSESSI	19
4.1 Prosessin vaiheet	20
4.2. Eri tekijöiden vaikutukset prosessin kulkuun	22
4.2.1 Viipymäaika	23
4.2.2 Lämpötila.....	23

4.2.3 pH	23
4.2.4 Muut tekijät	24
4.3 Ympäristövaikutukset	24
5 MÄDÄTYKSEN VAIKUTUS LANNAN RAVINTEIDEN SAATAVUUTEEN KASVILLE	25
5.1 Typen käyttökelpoisuuden muutos	26
5.2 Fosforin käyttökelpoisuuden muutos	29
5.3 Muut vaikutukset.....	33
6 ESIMERKKILASKELMA.....	33
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	43
7.1 Johtopäätökset	43
7.2 Yhteenveto	44
LÄHTEET	46

LIITTEET

Liite 1. Typen ja fosforin enimmäiskäyttömäärät

Liite 2. Tarkasteltujen tutkimusten tulokset

Liite 3. Esimerkkilaskelmaan liittyvät taulukot

SYMBOLILUETTELO

<i>A</i>	pinta-ala	[ha]
<i>c</i>	ravinnepitoisuus jakeessa tuoreainetta kohden	[kg/t]
<i>E_s</i>	aineen separointitehokkuus	[-]
<i>m</i>	massa	[t], [kg]
<i>p</i>	paine	[Pa]
<i>t</i>	aika	[a], [d]
<i>T</i>	lämpötila	[K], [°C]
TS	kuiva-ainepitoisuus	[-]
<i>V</i>	kaasun tilavuus NTP-oloissa	[m ³ n]
<i>ρ</i>	kaasun tiheys NTP-oloissa	[kg/m ³ n]
-	hajuyksikkö (engl. odor unit)	[HY], [OU]

Alaindeksit

<i>A</i>	pinta-alaa kohden
bk	biokaasu
kf	kuivafraktio
max	enimmäismäärä
mj	mädätysjäännös
mp	maaperä
nf	nestefraktio
pit	pitoisuus
TS	kuiva-aine

Lyhenteet ja kemialliset merkit

ATP	adenosiinitrifosfaatti
B	boori

C	hiili
Ca	kalsium
CH ₄	metaani
Cl	kloori
CO ₂	hiilidioksidi
Cu	kupari
DNA	deoksiribonukleiinihappo, perimän sisältävä yhdiste
Fe	rauta
H	vety
H ₂ S	rikkivety, divetyysulfidi
K	kalium
K ₂ O	kaliumoksidi, kaliummonoksidi, dikaliumoksidi
kok-N	kokonaistyyppi, orgaaninen ja epäorgaaninen tyyppi
LCFA	pitkäketjuiset rasvahapot (engl. Long Chain Fatty Acids)
liuk-N	liukoinen tyyppi, ammonium- tai nitraattityppi tai orgaaninen liukoinen tyyppi
MMMa	maa- ja metsätalousministeriön asetus
Mn	mangaani
Mo	molybdeeni
N	typpi
N ₂	molekulaarinen tyyppi
N ₂ O	dityppioksidi, typpioksiduuli, ilokaasu
NH ₄ ⁺	ammoniumioni
NH ₄ -N	ammoniumtyppi
NH ₄ NO ₃	ammoniumnitraatti
NO ₂ ⁻	nitriitti-ioni
NO ₃ ⁻	nitraatti-ioni
NO ₃ -N	nitraattityppi

NTP	normaalitila: $T = 273,15 \text{ K}$ ja $p = 101\,325 \text{ Pa}$ (engl. Normal Temperature and Pressure)
O	happi
P	fosfori
P_2O_5	fosforipentoksidi
PO_4^{3-}	fosfaatti-ioni
TS	kuiva-ainepitoisuus (engl. Total Solids)
VFA	haihtuvat rasvahapot (engl. Volatile Fatty Acids)
VNa	valtioneuvoston asetus
VS	orgaanisen aineen pitoisuus, hehkutushäviö (engl. Volatile Solids)
Zn	sinkki

Termit

asetiklastinen metanogeneesi	metaanin muodostuminen etikkahaposta
asetogeneesi	etikkahapon eli asetaatin muodostuminen
asidogeneesi	happojen muodostuminen
biologinen typensidonta	erityisesti palkokasvien juurissa tapahtuva bakteerien aikaansaama reaktio, jossa ilmakehän tpestä muodostuu nitraatti-ioneja
butyraatti	$C_3H_7COO^-$ -ioni
diffuusio	aineen kulkeutuminen suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen
fekaalinen	ulosteperäinen
fotosynteesi	yhteyttäminen, kasvi sitoo viherhiukkastensa reaktioissa auringon valoenergian avulla hiilidioksidia ja vettä, jolloin lopputuotteena saadaan sokeria ja happea
fytotoksinen	kasville tautia tai muuta kasvuhaittaa aiheuttava
hydrogenotrofinen metanogeneesi	metaanin muodostuminen vedystä

kompostointi	orgaanisen aineksen hajoaminen aerobisissa oloissa mikrobitoiminnan seurauksena
konsentraatiogradientti	ohuen kalvon eri puolten välisen pitoisuuseron aiheuttama sähköinen voima
kuivalanta	lanta, joka ei sisällä virtsaa
kuivikelanta	lanta, jossa virtsa on imeytynyt kuivikkeeseen
lanta	tuotantoeläinten tuottama uloste eli sonta ja virtsa, joka voi sisältää myös kuiviketta ja vettä
lehtivihreä	kasvisolun väripigmentti, joka toimii yhteyttämisessä
lietelanta	kuiva- ja nesteosan sisältävä lanta
orgaaninen	elollinen, eloperäinen, hiiltä sisältävä yhdiste
propionaatti	$C_2H_5COO^-$ -ioni
siloksaanit	piitä ja happea sisältävät polymeeriset yhdisteet

1 JOHDANTO

Viime aikoina huoli ruuan riittävydestä on kasvanut. Ilmastonmuutos vaikuttaa maatalouteen monella tavalla, mutta ongelmat näyttävät kasautuvan trooppiselle vyöhykkeelle, jossa kehittyvillä mailla on jo ennestään vaikeuksia saada tuottavia viljasatoja kasvavalle väestölle (Porter *et al.* 2014). Samalla ruuan tuotannon kasvattaminen lisää ympäristöön kohdistuvia riskejä, kuten luonnon monimuotoisuuden vähenemistä peltoalan kasvaessa. Tällöin yhteiskunnan on pyrittävä kestävään tehostamiseen ja kehitettävä uusia menetelmiä riskien välttämiseksi. (Garnett ja Godfray 2012, 25–27; Helsingin yliopisto 2006.)

Kasvit tarvitsevat elääkseen sopivan määrän vettä ja ravinteita, jotka kasvi ottaa juurillaan maaperästä. Kasvi tarvitsee ravinteita solujensa kasvuun, elintoimintoihinsa ja lisäksi esimerkiksi kylmänkestävyyteen. Fotosynteesi on esimerkki kasvin tärkeistä elintoiminnoista. Ravinteet voidaan jakaa pääravinteisiin ja hivenaineisiin. Pääravinteista tärkeimmät ovat typpi (N), fosfori (P) ja kalium (K). Hivenaineisiin kuuluvat muun muassa rauta (Fe), mangaani (Mn) ja boori (B). Maaperässä on jo valmiina vaihteleva määrä ravinteita, mutta niiden lisääminen lannoitteiden muodossa on tärkeää sadon tuottavuuden kannalta. (Rajala 2006, 123–124.)

Maanviljelyn aloittamisesta lähtien ihminen on oppinut parantamaan viljasatoa lannoituksen avulla (Helsingin yliopisto 2004). Lannoitevalmistelaki (L 1.2.2006/539, § 4) määrittelee lannoitteeksi sellaisen aineen tai valmisteen, jonka tarkoitus on edistää kasvin kasvua tai parantaa sadon laatua kasvinravinteiden tai muiden hyödyllisten aineiden avulla. Nykyisin käytettävät lannoitusvalmisteet voidaan jakaa epäorgaanisiin ja orgaanisiin lannoitteisiin, joihin edelleen kuuluvat erilaiset kalkitus- ja maanparannusaineet, kasvualustat, mikrobivalmisteet sekä sellaisenaan käytettävät sivutuotteet. Sivutuotteet tarkoittavat tässä yhteydessä lannoitevalmisteita, jotka muodostuvat erilaisten laitosten, kuten biokaasulaitosten ja jätevedenpuhdistamojen, toiminnan seurauksena. (Evira 2014.)

Biokaasu- eli mädätyslaitosten mädätysprosessissa orgaaninen aines hajoaa anaerobisessa tilassa mikrobitoiminnan seurauksena ja lopputuotteena muodostuu biokaasua. Biokaasun sisältämä metaani eli CH₄ voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai liikenteen biopolttoaineena. Lisäksi prosessista saadaan ulos käsittely- eli mädätysjäännös, joka sisältää orgaanisesta aineksesta peräisin olevia ravinteita. (Latvala 2009, 12–13.) Suomessa biokaasulaitoksia on vielä suhteellisen vähän ja siksi tutkimus on erityisen tärkeää. Laitosten mahdollistama energiaomavaraisuus voi lisätä kiinnostusta myös maanviljelyssä. (Hagström *et al.* 2005, 5.)

Tässä kandidaatintyössä keskitytään raakalannan mädätysprosessiin. Työn tavoitteena on saada selville, kuinka mädätysprosessi vaikuttaa lannan ominaisuuksiin kasvin lannoituksessa. Aiempien tutkimusten tuloksia kootaan taulukoihin ja tuloksia havainnollistetaan esimerkkilaskelman avulla. Vaikutuksia lannoitusominaisuuksiin tarkastellaan ravinteiden käyttökelpoisuuden avulla keskittymällä typpeen ja fosforiin. Lannoitukseen liittyvät keskeisesti sekä Euroopan että kansallisen tason lainsäädännöt. Lisäksi lannoitusominaisuuksien ymmärtämiseksi työssä käsitellään ravinnetaloutta typen ja fosforin osalta sekä maaperän ominaisuuksia.

2 VOIMASSAOLEVAT SÄÄDÖKSET JA MAATALOUSPOLITIikka

Tässä luvussa käydään läpi keskeisiä raakalannan ja mädätetyn lannan lannoituskäyttöä koskevia säädöksiä sekä tuodaan esille maatalouden tukijärjestelmää.

2.1 Lainsäädäntö

Sekä kansallisen että Euroopan tason lainsäädännössä on asetettu säädöksiä koskien lannan lannoitekäyttöä. Euroopan Unionin asetukset ovat sellaisenaan noudatettavia hyväksymisen jälkeen, kun taas direktiivejä varten täytyy kansallisella tasolla muodostaa säädökset erikseen (Euroopan komissio 2015). Yleisesti lannoitelainsäädännön tavoitteena on sadon parantaminen ja puhtaiden ja laadukkaiden elintarvikkeiden tuotannon turvaaminen asettamatta kuitenkaan riskejä ympäristölle, ihmiselle ja kasville. (Maa- ja metsätalousministeriö 2014.)

2.1.1 Kansallinen lainsäädäntö

Lannoitevalmistelaisissa (L 1.2.2006/539) on säädetty lannoitevalmisteiden valmistukseen, markkinoihin, kuljetukseen, valvontaan ja käyttöön liittyviä pykäläiä. Kyseisen lain nojalla on annettu useita säädöksiä, jotka käyvät ilmi tästä luvusta. Lannoitevalmistelaki koskee myös lannoitevalmisteina käytettävien sivutuotteiden hyödyntämistä eli tässä tapauksessa lantaa. Lain tavoitteena on turvata kasvintuotanto sekä elintarvikkeiden ja ympäristön laatu parantamalla sopivien lannoitevalmisteiden hyötykäyttöä (L 1.2.2006/539, § 1). 14. pykälässä säädetään lannoitteita valmistavan laitoksen hyväksymisestä ja raakalannan kohdalla on vielä otettava huomioon se, mitä on säädetty sivutuoteasetuksessa (A 4.3.2011/1069/EY), joka käydään tarkemmin luvussa 2.1.2 (L 1.2.2006/539).

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (MMM 13.9.2011/24) sekä asetus edellisen muuttamisesta (MMM 15.4.2013/7) koskevat lannoitevalmisteiden tyyppinimiä,

raaka-aineita sekä vaatimuksia eri tekijöiden suhteen, liittyen esimerkiksi laatuun ja kuljetukseen. Asetuksen liitteissä on tarkemmin kuvattu tyyppinimiin liittyvät vaatimukset. Esimerkiksi sieltä ilmenee, että lanta kuuluu orgaanisiin lannoitevalmisteisiin 1B. Lannan mädätyksestä saatava mädätysjäännös voidaan luokitella tyyppinimeltään joko orgaanisiin eläinperäisiin lannoitteisiin 1B1, orgaanisina lannoitteina sellaisenaan käytettäviin sivutuotteisiin 1B4, orgaanisiin maanparannusaineisiin 3A2 tai maanparannusaineena sellaisenaan käytettäviin sivutuotteisiin 3A5. (MMM 13.9.2011/24, Liite 1.)

Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta (VNa 1.4.2015/1250) toimeenpanee neuvoston asettaman nitraattidirektiivin 1991/676/ETY. Kyseinen asetus sisältää pykälää liittyen lannan varastointiin ja levitykseen. Esimerkiksi tuotantoeläintilalla lannat on varastoitava lantalaan, jonka tilavuuden on riitettävä 12 kuukaudessa kertyvälle lantamäärälle (VNa 1.4.2015/1250, § 5). Asetuksen liitteessä 1 on vähimmäistilavuudet eri lantalajeille ja asetuksesta selviävät tarkemmat toimenpiteet koskien esimerkiksi aumaan varastointia ja katteita (VNa 1.4.2015/1250, § 6, Liite 1). Lisäksi asetuksesta käyvät ilmi tyyppilannoituksen sallitut määrät eri viljelykasveille. Tuotantoeläinten lantaa ja orgaanisia lannoitevalmisteita käytettäessä lannoituksessa esimerkiksi kokonaistypen eli kok-N:n määrä vuodessa saa olla enintään 170 kg/ha. (VNa 1.4.2015/1250, § 11.) Kok-N tarkoittaa orgaanisen ja epäorgaanisen typen yhteenlaskettua määrää, kun taas liukoinen typi eli liuk-N tarkoittaa ammonium- tai nitraattityppeä tai orgaanista liukoista typpeä (VNa 1.4.2015/1250, § 3).

2.1.2 Lainsäädäntö EU:ssa

EU-lainsäädännön puolelta oleellisia lannan lannoituskäyttöön liittyviä säädöksiä ovat sivutuoteasetus (A 4.3.2011/1069/EY) sekä nitraattidirektiivi (1991/676/ETY), jonka pohjalta on asetettu edellä mainittu kansallisen tason säädös (VNa 1.4.2015/1250). Kansallisen jätelain mukaan lanta kuuluu sivutuoteasetuksen (A 4.3.2011/1069/EY) soveltamisalaan (L 1.5.2012/646, § 3). Sivutuoteasetuksen tavoitteena on ehkäistä ihmisten ja eläinten terveydelle sekä ympäristölle

kohdistuvia riskejä ja turvata elintarvike- ja rehuketju. Asetuksesta käyvät ilmi sivutuotteista saatavien tuotteiden luokitukset, joita on kolme kappaletta, ja joista lanta kuuluu 2. luokkaan (A 4.3.2011/1069/EY, 9 artikla). Luokitusten avulla on määritelty tuotteiden käyttöön ja hävittämiseen liittyvät seikat. Esimerkiksi lanta voidaan kompostoida, muuntaa biokaasuksi tai levittää maahan käsittelemättömänä (A 4.3.2011/1069/EY, 13 artikla). Kompostointi tarkoittaa orgaanisen aineksen hajoamista aerobisissa oloissa (VNa 1.4.2015/1250, § 3). Asetuksen mukaan mädätysjäätännöksen voi myös saattaa markkinoille ja sitä voidaan käyttää orgaanisena lannoitteena tai maanparannusaineena (A 4.3.2011/1069/EY, 31 artikla).

2.2 Tukijärjestelmät

Maatalouspolitiikka muodostuu Euroopan ja kansallisen tason tukijärjestelmistä. Euroopan unionin yhteisen maatalouspolitiikan tavoitteena on edistää maataloustuotantoa ja pitää maaseutu elinvoimaisena. Tukijärjestelmää päivitetään usein ja viime aikoina uudistukset ovat kohdistuneet erityisesti ympäristöön. (Niemi ja Ahlstedt (toim.) 2015, 49.) Suomessa maatalouden tukijärjestelmää on päivitetty viimeksi vuoden 2015 alusta (Maaseutuvirasto 2014).

Euroopan unionin yhteinen maatalouspolitiikka koostuu Suomessa maatalouden tuottajille suoraan maksettavista tuista sekä EU:n osin rahoittamista luonnonhaittakorvauksista ja maatalouden ympäristökorvauksista. Suomessa valtion varoilla ylläpidetään pohjoista eli C-tukialueen ja Etelä-Suomen eli AB-tukialueen kansallista tukea muiden tukimuotojen lisäksi. (Niemi ja Ahlstedt (toim.) 2015, 49–56.) Lainsäädännön kautta tilat noudattavat ehtoja, joiden noudattamista edellytetään tukien saamiseksi. Maaseutuvirasto on koonnut www-sivuilleen oppaita tukiehtojen täyttämiseen (Maaseutuvirasto). Maatalouden ympäristötuen ehtoihin liittyvät tarkemmat toimenpiteet tulevat esille maa- ja metsätalousministeriön asetuksesta (MMM 30.4.2007/503). Siitä käyvät ilmi esimerkiksi typen ja fosforin enimmäiskäyttömäärät, lannanlevitysajankohdat ja ravinnetaselaskennan toteuttaminen (MMM 30.4.2007/503, Liite 1, § 32). Typen ja fosforin

käyttöraajat useimmille viljelykasveille on koottu tämän työn liitteen 1 taulukoihin 1 ja 2 asetuk-
sen pohjalta.

3 LANNOITUS

Kasvi koostuu erilaisista solukoista, jotka edelleen koostuvat kasvisoluista. Kasvisolut pitävät yllä rakennetta ja tärkeitä aineenvaihduntaan liittyviä toimintoja, kuten yhteyttämistä, kasvua sekä vesi- ja ravinnetaloutta. Jokainen solun rakenneosa rakentuu alun perin erilaisista molekyyleistä, jotka muodostuvat edelleen alkuaineista, joita kasvi tarvitsee ylläpitääkseen kasvuaan ja elintoimintojaan. Kasvi tarvitsee alkuaineita myös aineenvaihduntaa ylläpitäviin reaktioihin. Tällaisia välttämättömiä alkuaineita ja yhdisteitä kutsutaan ravinteiksi. Epäorgaanisten tai orgaanisten lannoitteiden sisältämien ravinteiden avulla voidaan lisätä maaperän ravinnepitoisuutta. Pääravinteita ovat hiili (C), typpi (N), vety (H), happi (O), fosfori (P) ja kalium (K), kun taas sivuravinteita ovat rikki (S), magnesium (Mg) ja kalsium (Ca). Lisäksi voidaan erottaa kasvin pienempinä määrinä tarvitsemat hivenravinteet boori (B), kupari (Cu), sinkki (Zn), mangaani (Mn), rauta (Fe), kloori (Cl) ja molybdeeni (Mo). (Rajala 2006, 123–124.) Jatkossa käsitellään ravinteita vain typen ja fosforin osalta.

3.1 Viljelykasvin ravinnetalous

Ravinteet ovat maaperässä ioni- tai molekyyliyhdisteinä, kuten ammoniumionina eli NH_4^+ :na. Ionit ovat joko negatiivisia anioneja tai positiivisesti varautuneita kationeja. Kasvi ottaa tarvitsemansa veteen liuenneet ravinteet juurillaan maaperästä haihdutusvirtauksen ja diffuusion avulla. Ilmarakojensa kautta kasvi saa hiilidioksidia eli CO_2 :ta yhteyttämiseen. (Rajala 2006, 123; Junnola ja Peltonen 2013.) Haihdutusvirtauksessa lehtien ilmaraoissa tapahtuvan haihdunnan seurauksena juuret imevät maaperästä vettä ottaen samalla kasviin ravinteita, kuten nitraattia eli NO_3^- :ta. Diffuusio taas tarkoittaa tässä yhteydessä ravinteiden kulkeutumista maaperästä

juuriin suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen konsentraatiogradientin seurauksena. Esimerkiksi fosfori kulkeutuu kasviin diffuusion avulla. (Junnola ja Peltonen 2013.) Liiallinen maaperän ravinnekuormitus vaikuttaa ympäristöön negatiivisesti silloin, kun ravinteita on kasvin tarpeeseen nähden ylimäärin; tämä voi johtaa niiden huuhtoutumiseen ja edelleen vesistöjen rehevöitymiseen (Tuomisto 2005, 11).

3.1.1 Typpi

Kasvin kasvu on usein riippuvainen typen saannista (Bernhard 2010; Reed *et al.* 2007, 238). Tyypeä kasvi tarvitsee erityisesti amino- sekä nukleiinihappojen rakennuspalikoiksi (Metla 2013). Proteiinit eli valkuaisaineet muodostuvat aminohappoketjuista, kun taas perimään ja proteiinien valmistukseen liittyvät perimän DNA eli deoksiribonukleiinihappo ja RNA eli ribonukleiinihappo muodostuvat nukleiinihapoista. Proteiineilla on tärkeä osa solujen rakenteissa ja reaktioissa muun muassa entsyymeinä. Lisäksi kasvisolun lehtivihreä sisältää runsaasti tyypeä, jolloin kyseinen ravinne edesauttaa myös fotosynteesiä. (California Foundation for Agriculture in the Classroom 2014.)

Typpi kiertää luonnossa maaperässä, vesistöissä ja ilmakehässä. Ilmakehän koostumuksesta 78 % on molekulaarista tyypeä N_2 (Ilmatieteen laitos 2015). Kasville käyttökelpoinen typpi on pääosin joko epäorgaanisessa tai liukoisessa orgaanisessa muodossa. Epäorgaaninen typpi tarkoittaa NO_3^- - eli nitraatti- tai NH_4^+ -eli ammoniumioneita. (Martinen *et al.* 2013, 64.) Kasvi voi hyödyntää typen erityisesti NO_3^- -ionin muodossa (ProAgria 2014). Ammoniumtyppi eli NH_4-N pidättyy helposti maaperään, mutta toisaalta nitraattityppi eli NO_3-N on NH_4-N :ää alttiimpi huuhtoutumiselle (Ylivainio *et al.* 2002, 11). Biologisessa typensidonnassa eräät maaperän tai juurinyströiden bakteerit muuntavat typpikaasua ilmasta NH_4^+ -muotoon. Nitrifikaatiossa maaperän bakteerit muuntavat NH_4^+ :n nitriitiksi eli NO_2^- -ksi, josta se voi edelleen muuntua NO_3^- :ksi. Toiset bakteerit taas voivat pelkistää NO_3^- :n takaisin NH_4^+ -muotoon. NO_3^- -ioneja voi muodostua maaperään ilmakehän tyypestä myös abioottisessa typensidonnassa muun muassa salaimonin yhteydessä. Denitrifikaatiota voi tapahtua anaerobisissa olosuhteissa, jolloin bakteerit

muuntavat NO_3^- -ioneja ilmakehän kaasuiksi molekulaariseksi typeksi N_2 tai dityppioksidiksi N_2O . Eläimille typeä sisältävät yhdisteet siirtyvät kasviravinnon kautta. Typpi palautuu taas maaperään ulosteiden ja virtsan mukana sekä kuolleiden eläinten ja kasvien hajotessa mikrobiotominnan seurauksena. Tämän perusteella lannan käyttö lannoitteena tehostaa typen luonnollista kiertoprosessia. (Happonen *et al.* 2012, 86–88.)

Kasveille ylimääräinen $\text{NO}_3\text{-N}$ voi huuhtoutua maassa olevan veden mukana vesistöihin. Typeä voi haihtua myös kasvustosta ilmaan ammoniakkinä eli NH_3 :nä. (ProAgria 2014.) NH_3 on ympäristölle haitallinen yhdiste muun muassa sen vesistöjä ja maaperää happamoittavan vaikutuksen takia (Energiateollisuus; Ilmatieteen laitos 2015). Siitä voi lisäksi muodostua ilmakehässä pieniä määriä N_2O :ta (Regina *et al.* 2007, 32). N_2O on voimakas kasvihuonekaasu, joka edistää ilmaston lämpenemistä (Ilmatieteen laitos 2014). Ympäristövaikutusten lisäksi kasvien tehokkaan ravinnetalouden kannalta ilmavan maaperän ylläpito on tärkeää denitrifikaation estämiseksi (Happonen *et al.* 2012).

3.1.2 Fosfori

Fosfori on tärkeä ravinne kasvin proteiinien valmistukseen, sillä nukleiinihapot sisältävät myös fosforia. Se edistää jyvien kehittymistä, juurien kasvua ja sukukypsyuden saavuttamista. (Penn State College of Agricultural Sciences 2002.) Energia-aineenvaihdunnalle tärkeä ATP-molekyyli, adenosiniitrifosfaatti, sisältää fosforia. Lisäksi kyseinen ravinne parantaa myös palkokasvien biologista typensidontaa vaikuttamalla juurten kasvuun (Reed *et al.* 2007).

Fosfori sijaitsee maapallollamme kallioperässä fosfaatteina eli PO_4^{3-} -ioniyhdisteinä, jotka vapautuvat maaperään ja vesiin rapautumisen tai tarkoituksellisen louhinnan yhteydessä. Fosfaatit ovat niukkaliukoisia ja siten niillä on taipumus pidäytyä maaperään, mutta ne voivat myös huuhtoutua vesistöihin. (Happonen *et al.* 2012, 89–90.) Tosin pitkän ajan kuluessa fosfori voi tulla liukoiseksi maaperässä (Marttinen *et al.* 2013). Kasvit saavat tarvitsemansa fosforin epäorgaa-

nisena PO_4^{3-} -ionina maaperästä. Kuten typen kierron kohdalla mainittiin, eläinten syödessä kasveja myös fosfori siirtyy ravintoketjussa eteenpäin ja lopulta ulosteiden tai kuolleiden eliöiden hajoamistuotteiden kautta se palautuu fosfaatteina maaperään. (Happonen *et al.* 2012, 89–90.)

3.1.3 Viljavuuteen vaikuttavat tekijät

Maaperän sadontuottokykyä kutsutaan myös viljavuudeksi ja siihen vaikuttavat erilaiset biologiset, kemialliset ja fysikaaliset tekijät. Nämä tekijät vuorovaikuttavat myös monella tapaa keskenään. (Rajala 2006, 53; Kukkonen *et al.* 2004, 11.)

Biologisia tekijöitä ovat kasvien juuret ja maaperän pieneliöt. Laajalle levittyneet juuret lisäävät pinta-alaa ravinteiden ja veden ottoon, ja ne myös lisäävät maan rakeisuutta ja siten helpottavat seuraavien juurten kasvua. Juurista vapautuvat juurieritteet helpottavat kasvin ravinteiden saantia ja lisäävät pieneliöstöä. Pieneliöt, kuten lierot, bakteerit ja sienet, voivat muokata maata ja ehkäistä kasvitauteja. Erityisen tärkeä osa niillä on eloperäisen aineksen hajottamisessa ja biologisessa typensidonnassa. Palkokasvien juurinystryöissä elävät bakteerit sitovat typpeä tehokkaimmin. Sienijuuri eli mykorrhitsa tarkoittaa kasvin ja sienen välistä symbioosia, jonka avulla sieni saa kasvin yhteyttämistuotteita ravinnoksi ja kasvi ottaa ravinteita ja vettä sieneltä. Sienijuuri voi lisäksi suojata kasvia taudinaiheuttajilta ja sen on havaittu parantavan erityisesti kasvin fosforin ottoa sitä entuudestaan niukasti sisältävässä maaperässä. (Rajala 2006, 53–65; Kukkonen *et al.* 2004, 12.)

Fysikaalisia sadontuottokykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa maalaji, rakenne, vesitalous, ilmavuus ja lämpötila. Maalajiryhmiä ovat karkeat kivennäismaat, savimaat ja eloperäiset maat (Viljavuuspalvelu 2008). Eloperäiset multa- ja saraturvemaat sekä savimaat ovat yleisesti ravinnepitoisia. Rakenteeltaan muruiset ja huokoiset maaperät parantavat vesitaloutta ja hapensaantia, mikä edelleen parantaa kasvuolosuhteita. Muruisuus myös vähentää ravinteiden huuhtoutumista. Lisäksi sopivan ilmavassa maassa juurten kasvu helpottuu sekä pieneliöstön

toiminta on aktiivisempaa, kun taas tiiviimmässä maassa pintavalunta lisääntyy kasvattaen eroosioriskiä. Kasvin vedentarve vaihtelee eri kasvuvaiheissa. Kasvukaudesta puhutaan silloin, kun keskilämpötila on pysyvästi yli 5 °C, mutta pieneliöiden sekä juurten toiminta vilkastuu vielä tätä lämpimämmässä. (Rajala 2006, 66–71; Kukkonen *et al.* 2004, 11.)

Viljavuuteen vaikuttaviin kemiallisiin tekijöihin kuuluvat maaperän happamuus, suolapitoisuus, ravinteiden määrä ja niiden varastointikyky. Suomen pellot ovat yleisesti liian happamia. Maaperän liika happamuus lisää erityisesti metallien liukoisuutta ja siten huuhtoutumista vesistöihin (Uusi-Kämpä *et al.* 2013, 6). Emäksisemmässä maassa ravinteiden varastointikyky eli kationinvaihtokapasiteetti kasvaa kivennäismailla, jotka sisältävät kallioperästä rapautuneita kivilajeja. Suurempi kationinvaihtokapasiteetti parantaa kasvien ravinteiden ottoa. Maanesteen suolapitoisuuteen voidaan vaikuttaa lannoituksella. (Rajala 2006, 72–73; Kukkonen *et al.* 2004, 11.) Maaperän liika suolaisuus heikentää kasvin ravinteiden- ja vedenottoa sekä altistaa suojojen myrkyllisille vaikutuksille (Euroopan yhteisöt 2009). Maaperän orgaaninen aines ylläpitää muurista rakennetta, ilmavuutta ja ravinteiden tasaista saantia (Kukkonen *et al.* 2004, 11). Viljavuustutkimuksessa maaperälle asetetaan oma viljavuusluokkansa sen ravinnepitoisuuden mukaan (Viljavuuspalvelu 2008). Viljavuusluokat ovat esillä liitteen 1 taulukossa 2.

3.2 Epäorgaaniset lannoitteet

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus lannoitteista ja asetus edellisen muuttamisesta määrittelevät epäorgaanisen lannoitteen uuton tai fysikaalisen tai kemiallisen prosessin kautta valmistetuksi kivennäisainelannoitteeksi (A 13.10.2003/2003/EY; A 24.11.2014/1257/EU). Yleisesti myös urea voidaan luokitella samaan tyyppinimiryhmään. (A 13.10.2003/2003/EY, 2 artikla.) Saman asetuksen liitteestä 1 tulevat esille eri alaryhmät lannoitteille. Esimerkiksi urea luokitellaan liitteen mukaan typpilannoitteeksi ja NPK-lannoitteet ovat moniravinteisia pääravinnelannoitteita, joissa vähimmäisravinnepitoisuudet ovat typelle 3 %, fosforipentoksidille P₂O₅:lle 5 % ja kaliumoksidille K₂O:lle 5 %. (A 13.10.2003/2003/EY, Liite 1.) Epäorgaanisia

lannoitteita voidaan myös jalostaa orgaanisista lannoitteista, esimerkiksi lannasta (Ympäristöministeriö 2014). Epäorgaanisissa lannoitteissa ravinteet ovat usein kasville käyttökelpoisemmassa muodossa nopeammin kuin orgaanisissa lannoitteissa, mutta epäorgaanisten lannoitteiden kohdalla on huomattu vesistökuormituksen lisääntyneen (Ylivainio *et al.* 2002, 7, 11). Tässä työssä epäorgaanisilla lannoitteilla tarkoitetaan myös mineraali- ja väkilannoitteita.

3.3 Orgaaniset lannoitteet

Orgaaniset lannoitteet sisältävät nimensä mukaisesti orgaanisia yhdisteitä, ja niitä muodostuu luonnon prosesseissa, kuten lantaa muodostuu sivutuotteena tuotantotiloilla. Orgaanisten lannoitteiden kohdalla typen ja fosforin on mineralisoiduttava ennen kuin kasvi voi hyödyntää ne ravinteina (Ylivainio *et al.* 2002, 11–12). Esimerkiksi lantaa on tällöin levitettävä enemmän kuin epäorgaanista lannoitevalmistetta ja lannan varastointi voi tuoda oman hankaluutensa verraten epäorgaanisiin, ja siten orgaanisista lannoitteista voi kertyä suuremmat kustannukset. Orgaanisten lannoitteiden käyttö mielletään usein kuitenkin luonnonmukaiseksi lannoitustavaksi, koska esimerkiksi lantaa hyödyntäessä voidaan tehostaa ravinteiden luonnollista kiertoa ja vähentää tarvetta teollisesti valmistetuille lannoitteille (Luostarinen *et al.* 2011).

3.3.1 Raakalanta

Valtioneuvoston asetuksessa eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta määritellään lannaksi käsittelemätön tai käsitelty tuotantoeläimen sonta ja virtsa, jossa voi olla mukana myös kuiviketta ja vettä. Tällaista lantaa kutsutaan myös lietelannaksi (Suomalainen 2007, 23). Kuivikelannassa virtsa on imeytynyt kuivikkeeseen, kun taas kuivalanta ei sisällä virtsaa. (VNa 1.4.2015/1250, § 3.) Separoimalla lietelantaa saadaan erilleen kuiva-aine ja neste, jotka voidaan levittää suoraan pellolle. Kuivajae voidaan myös kompostoida. (Mikkola *et al.* 2002, 86.) Kuivajakeessa etenkin typpi voi olla huomattavasti saatavissa

kasville kuin nestefraktiossa, sillä kuivajaetta levitettäessä pintalevitysmenetelmin NH₃:ia haihtuu enemmän. Tällöin on mahdollisesti käytettävä lisäksi epäorgaanisia lannoitteita. (Marttinen *et al.* 2013, 28–29.) Eri tuotantoeläinten lannoilla on erilainen koostumus ravinteiden suhteen. Ravinnekoostumukseen vaikuttavat myös eläimen ruokavalio ja kuivikemateriaali (Sharpley ja Moyer 2000). Erilaisten lantalajien ravinnekoostumus on nähtävillä taulukossa 1.

Taulukko 1. Eri lantalajien ravinnekoostumus. Pitoisuudet on ilmoitettu kg/tonnia tuoreainetta. Kok-N = kokonaistyyppi, liuk-N = liukoinen tyyppi, P = fosfori ja ka = keskiarvo. (Viljavuuspalvelu 2000–2004, 2005–2009.)

Lantalaji	kok-N [kg/t]	ka [kg/t]	liuk-N/kok-N [%]	ka [%]	P [kg/t]	ka [kg/t]
NAUTA						
kuivalanta	5,4–5,6	5,5	26,8–31,5	29,2	1,4–1,6	1,5
kuivikelanta, sis. virtsan ¹	5,2	5,2	28,8	28,8	1,3	1,3
lietelanta	3,0	3,0	56,7–60,0	58,4	0,5	0,5
virtsa	2,5–2,7	2,6	59,3–72,0	65,7	0,1	0,1
SIKA						
kuivalanta	7,4–7,5	7,5	29,3–31,1	30,2	4,3–4,7	4,5
kuivikelanta, sis. virtsan ¹	5,1	5,1	33,3	33,3	3,0	3,0
lietelanta	3,7–3,8	3,8	64,9–65,8	65,4	0,8	0,8
virtsa	2,1	2,1	66,7–76,2	71,5	0,1–0,2	0,2
SIPIKARJA						
kuivalanta	16,8–18,3	17,6	20,2–42,3	31,3	8,0–8,3	8,2
TURKISELÄIN						
kuivalanta	11,3–17,1	14,2	25,7–40,4	33,1	16,0–18,5	17,3
HEVONEN						
kuivalanta	4,5–5	4,8	20,0	20,0	1,0	1,0
LAMMAS/VUOHI						
kuivalanta	8,7–9,2	9,0	21,7–25,3	23,5	2,1–2,6	2,4
¹ tieto kerätty vuosina 2005–2009						

Taulukon 1 perusteella siipikarjan ja turkiseläinten kuivalannassa on eniten kok-N:ää, kun taas liukoista typpeä suhteessa kokonaistyypeen on lannoista eniten sian lietelannassa ja fosforia on eniten turkiseläinten kuivikelannassa. Sian ja naudan lantalajeja vertailtaessa tullaan siihen johtopäätökseen, että sian lanta on keskimäärin ravinnerikkaampaa. (Taulukko 1.)

3.3.2 Määtetty lanta

Mädätysprosessissa tuotteena saadaan käsittelyjäännös, joka soveltuu sellaisenaan käytettäväksi lannoituksessa. Jäännös voidaan myös separoida kuiva- ja nestefraktioihin. Mädätysjäännöstä käytetään typpi-fosforilannoitteena, fosforipitoinen kuivajae maanparannusaineena tai lannoitteena ja nestejäte eli rejektivesi typpilannoitteena. Jatkojalostuksessa voidaan kuitenkin saada jäännöksen ravinteet pienempään tilavuuteen, mikä parantaa sen käytettävyyttä. Raaka-aineesta ja prosessista riippuen tuotteen käyttökelpoisuus kasveille vaihtelee. Saatujen tutkimustulosten mukaan yleisesti typen käyttökelpoisuus paranee mädätyksessä, kun taas ravinteiden kokonaispitoisuus pysyy samana. (Marttinen *et al.* 2013, 12–13.) Mädätysprosessi esitellään yksityiskohdaisemmin luvussa 4 ja määtetyn lannan ominaisuudet tulevat tarkemmin esille aiempia tutkimuksia tarkastelemalla luvussa 5.

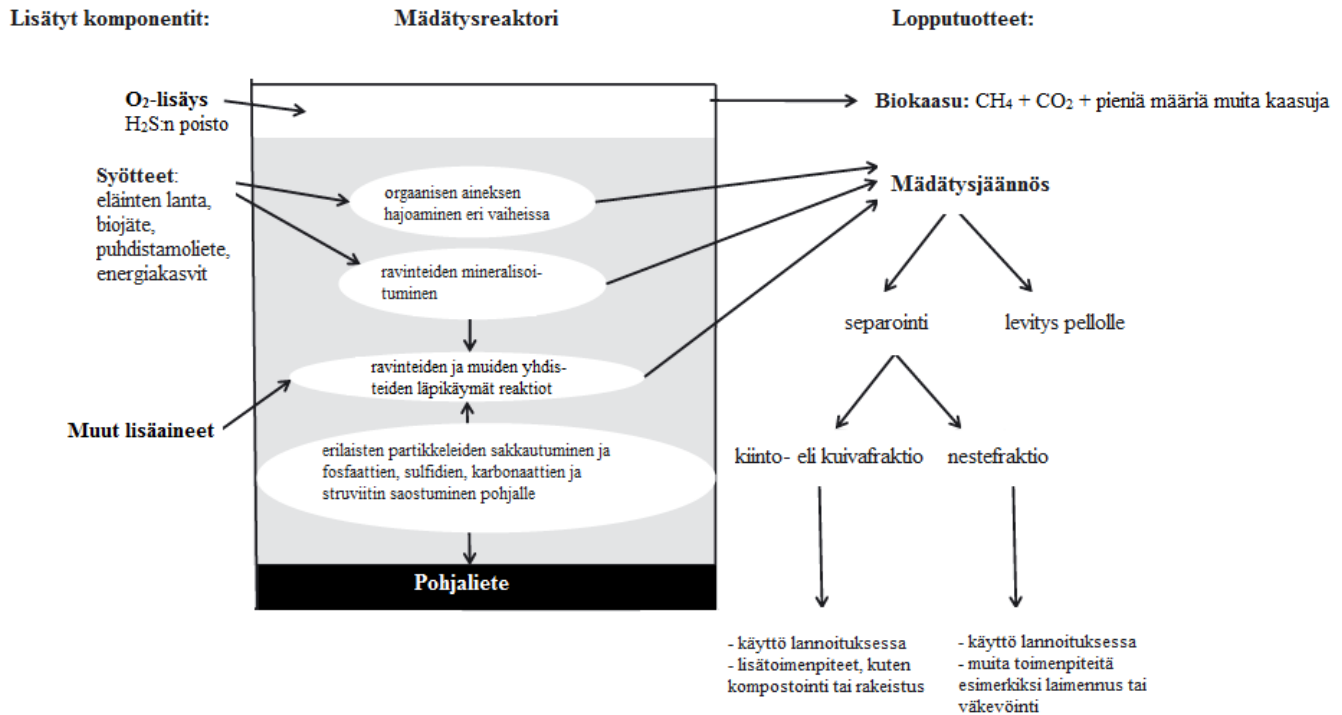
4 MÄDÄTYSPROSESSI

Anaerobinen mädätys tapahtuu biokaasulaitoksissa, joita Suomessa toimii jätevedenpuhdistamoiden, maatalojen ja biojätteen käsittelylaitosten yhteydessä. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden mädätyslaitokset eivät käsittele lantaa, joten ne jätetään tässä työssä tarkastelematta. Maatalojen yhteydessä toimivat biokaasulaitokset hyödyntävät tiloilla muodostuvan lannan ja muut orgaaniset sivutuotteet. Vuonna 2013 maatalan biokaasulaitoksia on ollut käytössä Suomessa 12 kappaletta. Lisäksi toiminnassa on ollut 11 yhteismädätyslaitosta, jotka hyödyntävät biojätteitä, lantaa ja puhdistamolietteitä. Uusia laitoksia on myös suunnitteilla tai

rakenteilla. Tuotettua biokaasua voidaan käyttää sekä lämmöntuotantoon että yhdistettyyn lämmön ja sähkön tuotantoon. (Huttunen ja Kuittinen 2014, 3, 29, 40.) Jalostettu biokaasu soveltuu myös liikenteen polttoaineeksi (Latvala 2009, 44).

4.1 Prosessin vaiheet

Kuvassa 1 on kuvattuna mädätysprosessi ja siihen liittyvät materiaalivirrat. Orgaaninen aines syötetään reaktoriin, jossa vallitsee anaerobinen tila. Prosessin vaiheet voidaan jakaa hydrolyysiin, happokäymiseen ja CH_4 :n muodostumiseen. Hydrolyysivaiheessa erilaiset mikrobikannat käyttävät ravinnokseen ainesta ja sen hajoamistuotteita. Aineksen sisältämät hiilihydraatit, proteiinit ja lipidit hajoavat sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi eli LCFA:iksi (engl. Long Chain Fatty Acids). Aminohapoista irtoaa liukoista NH_3 :ia käsittelyjäänökseen. Hydrolyysivaiheen tuotteista muodostuu happokäymisessä eli asidogeneesissä pienimolekyylisiä rasvahappoja, usein propionaattia ja butyraattia. Edelleen asetogeneesivaiheessa ne pilkkoutuvat etikkahapoksi ja vedyksi. Asetiklastisessa metanogeneesissä bakteerit muodostavat CH_4 :ää etikkahaposta, kun taas hydrogenotrofisessa metanogeneesissä lähtöaineena on vety. Prosessissa saadaan käsittelyjäänös, joka sisältää syötteessä tulleen typen liukoisemmassa muodossa, ja biokaasua, joka sisältää CH_4 :n lisäksi CO_2 :a ja mahdollisesti pieniä määriä muita kaasuja. On havaittu, että lannan aiheuttamat hajuhaitat vähenevät mädätyksessä. (Latvala 2009, 29–30; Taavitsainen *et al.* 2002, 14.) Struviitin muodostuminen ammonium-, fosfaatti- ja magnesiumioneista voi olla myös mahdollista prosessissa (Möller ja Müller 2012, 243).



Kuva 1. Mädätysprosessi ja materiaalivirrat (muokattu lähteestä Möller ja Müller 2012, 243).

Biokaasulaitoksen syötelle on olemassa tietty kuiva-aine eli TS-pitoisuuden (engl. Total Solids) yläraja, sillä liian kuiva syöte saattaa aiheuttaa prosessiin häiriöitä tai laiterikkoja. Toimintahäiriöt voivat edelleen asettaa riskin ympäristölle. Näiden välttämiseksi liian kuiva syöte voidaan ennen varsinaista mädätystä sekoittaa kostempaan ainekseen, kuten lietelantaan tai puhdistamolietteen, tai sekaan voidaan lisätä vettä. Liete- eli märkäprosessissa syötteiden TS-pitoisuus on usein alle 15 % kokonaispainosta, kun taas kuivaprosessissa TS-pitoisuus on yleensä 20–50 % (Latvala 2009, 29.) TS-pitoisuuden lisäksi arvioidaan syötteen orgaanisen aineen määrää eli VS-pitoisuutta (engl. Volatile Solids) joko osuutena TS:stä tai kokonaismassasta. Näiden arvojen avulla saadaan tietoa tuotettavan biokaasun määrästä. (Latvala 2009, 25.) Tämän työn taulukoista 2 ja 3 sekä liitteen 2 taulukoista 1 ja 2 nähdään erilaisten raakalanta- ja mädätettyjen lantajakeiden TS-arvoja. Mädätysprosessi voidaan toteuttaa lämpötilan suhteen joko mesofiilisesti tai termofiilisesti. Mesofiilinen prosessi suoritetaan noin 35–37 °C:ssa, kun taas termofiilinen prosessi tapahtuu lämpimämmässä, noin 50–55 °C:ssa. (Latvala 2009, 34.)

Hieman harvinaisempi menetelmä on psykoofiilinen prosessi, joka tapahtuu noin 17 °C:ssa (Massé *et al.* 2007).

Maatilan biokaasulaitoksilla lietelanta siirretään usein suoraan eläinsuojasta putkella esisäiliöön, jossa sekoitin ja esilämmitin pitävät huolen syötteen laadusta ennen varsinaista prosessia. Kasvibiomassoja käytettäessä voidaan hyödyntää murskainta ennen esisäiliöön syöttöä. Biokaasureaktoriin syöttäminen tapahtuu pumppaamalla. Yhteiskäsittelylaitoksilla käsittelyn vaiheet on suoritettava erilaisten syötteiden takia joko täysin erillään tai sen syötteen mukaan, joka vaatii vaativimman käsittelymenetelmän. On olemassa esimerkiksi monenlaisia esikäsittelymenetelmiä, kuten seulonta, hygienisointi, sterilointi ja saostus. Ruokajätteiden, puhdistamolietteen ja lannan termofiilisessä käsittelyssä ei kuitenkaan vaadita esikäsittelyä ja hygienisoinnin osoitus tapahtuu lopputuotteesta. Pelkkää lantaa ja ruokajätettä käsittelevän laitoksen samaa laitoshyväksyntä korvaa myös hygienisoinnin. (Latvala 2009, 26–27, 38.)

Kuten edellä jo mainittiin, lopputuote voidaan levittää maatilalla sellaisenaan pellolle, mutta se voidaan myös erotella neste- ja kiintojakeisiin. Kiinteää ainesta voidaan edelleen kompostoida tai rakeistaa. (Kuva 1.) Liete on varastoitava lietesäiliöihin valtioneuvoston asetuksen mukaisesti (VNa 1.4.2015/1250, § 6–7). Käsittelyjäännöksen kuivauksessa erottuvat rejektivedet, jotka on käsiteltävä asianmukaisesti. (Latvala 2009, 51.) Maatiloilla ja vain eläin- ja kasviperäistä materiaalia käsittelevillä yhteiskäsittelylaitoksilla ne usein soveltuvat lannoitukseen (Latvala 2009, 55).

4.2. Eri tekijöiden vaikutukset prosessin kulkuun

Fysikaaliset ja kemialliset tekijät vaikuttavat mädätysprosessiin ja edelleen saataviin lopputuotteisiin monella tavalla. Inhibitioksi kutsutaan niitä haittavaikutuksia, jotka häiritsevät prosessia. Inhibitio voi pahimmillaan jopa keskeyttää mädätyksen kulun. (Latvala 2009, 36.)

4.2.1 Viipymäaika

Syötteen viipymäaika reaktorissa vaihtelee materiaalin homogeenisuuden, TS-pitoisuuden, orgaanisen aineen määrän, lämpötilan, reaktorin tilavuuden ja sekoituksen mukaan. Mitä pidemmän ajan syöte viipyy reaktorissa, sitä tehokkaammin aines hajoaa ja sitä parempi on käsittelyjäännöksen hygienisointitulok. Tällöin toisaalta kustannukset kasvavat lämmityksen ja sekoituksen ylläpidon takia ja myös reaktorin on oltava suurempi. Suomessa viipymäaika on usein 12–30 vuorokautta. (Latvala 2009, 35.)

4.2.2 Lämpötila

Termofiilinen prosessi on mesofiilistä herkempi inhibitiolle sekä olosuhteiden muutoksille pH:n ja lämpötilan suhteen. Toisaalta termofiilisessä prosessissa saavutetaan tehokkaampi hygienisointi ja prosessin viemä aika on lyhyempi. Lämpötilalla on vaikutusta lisäksi muun muassa ammoniakkin ja kasville käyttökelpoisen $\text{NH}_4\text{-N}$:n pitoisuuksiin. (Latvala 2009, 34, 36.)

4.2.3 pH

pH eli happamuus vaihtelee mädätyksessä kuormituksen mukaan. Kuormitus ilmaisee, kuinka paljon orgaanista kuiva-ainetta syötetään reaktorin nestetilavuuskuutiota kohden vuorokaudessa ($\text{kgVS/r-m}^3/\text{d}$). Suuresta määrästä rasvaista orgaanista ainesta pilkkoutuu bakteeritoiminnan seurauksena enemmän rasvahappoja, jolloin pH laskee. Happamammissa oloissa CH_4 :ää tuottavat bakteerit eivät tule toimeen, jolloin prosessissa muodostuu vähemmän biokaasua. Päinvastoin keskeytyvä syöttö voi taas johtaa pH:n kasvuun, mikä voi häiritä haponmuodostajabakteerien toimintaa ja edelleen keskeyttää prosessin. Haihtuvien rasvahappojen eli VFA:iden (engl. Volatile Fatty Acids) pitoisuus voidaan määrittää alkaliteettititrauksella. Alkaliteetti tarkoittaa tässä yhteydessä VFA:iden puskuroimiseksi tarvittavaa alkaliteettiä eli kykyä vastustaa pH:n muutoksia. Happamuutta voidaan säädellä lisäaineilla. Myös pH vaikuttaa lämpötilan ohella NH_3 :n ja NH_4^+ :n pitoisuuksiin. (Latvala 2009, 34–36; Chen *et al.* 2007, 4046.) Happamassa

syötteessä esiintyy enemmän liukoista $\text{NH}_4\text{-N}$:ää, kun taas pH-arvon kasvaessa riski $\text{NH}_3\text{:n}$ haihtumiseen kasvaa (Taavitsainen *et al.* 2002, 18).

4.2.4 Muut tekijät

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi mädätyksessä tarvittavien mikrobien toimintaan voivat vaikuttaa erilaiset syötteen tai sen välituotteiden sisältämät inhiboivat yhdisteet. Syötteeseen voi joutua esimerkiksi puhdistusaineita tai raskasmetalleja. Välituotteina inhibiitiota voivat aiheuttaa muun muassa rikkivety eli H_2S ja ammoniakki. Proteiinipitoisemmat syötteet kasvattavat reaktorissa $\text{NH}_3\text{:n}$ pitoisuutta, millä voi olla inhiboiva vaikutus, joka ei ilmene niin voimakkaasti liukoisella $\text{NH}_4\text{-N}$:llä. Tarpeen tullen reaktoriseosta voidaan laimentaa vedellä tai laimeammilla syötteillä, seoksesta voidaan poistaa inhiboivia yhdisteitä ja mikrobeja voidaan sopeuttaa. Riittävä sekoitus ja jatkuva reaktoritilan hapettomuus ovat myös edellytyksenä toimivalle prosessille. (Latvala 2009, 36; Chen *et al.* 2007, 4045.)

4.3 Ympäristövaikutukset

Prosessista saatavan tuotekaasun sisältö vaihtelee syötteen mukaan. Biokaasu sisältää metaanin lisäksi vaihtelevan määrän hiilidioksidia, happea, typpeä, vettä, siloksaaneja, erilaisia partikkeleita ja se voi sisältää myös hajua aiheuttavia yhdisteitä. Laitoksesta ulos tuleva liete on kuitenkin yleisesti hajuttomampaa kuin syöte. Maatiloilla muodostuu myös epäpuhtautena H_2S :ää, joka voi aiheuttaa korroosiota laitteistoon. Sen muodostuminen voidaan estää lisäämällä hieman ilmaa reaktoriin (Kuva 1). Tämä toisaalta inhiboi prosessia. Prosessissa voidaan käyttää myös rautaoksidipetiä, johon rikki sitoutuu. (Latvala 2009, 40–43.)

Häiriöt laitoksella voivat aiheuttaa erilaisten haju-, kasvihuone- ja terveydelle haitallisten päästöjen muodostumista. Hajupäästöjä voidaan määrittää hajupaneeleissa arvioiden hajuyksiköitä HY/m^3 tai OU/m^3 (engl. Odor Unit). Hajuja saadaan vähennettyä erilaisilla suodattimilla tai

esimerkiksi otsonoinnilla. Suurempina pitoisuuksina terveydelle haitallisia kaasuja ovat edelläkin mainitut CH₄, CO₂, H₂S ja NH₃. NH₃:a voi vapautua ilmaan loppuvarastoinnin ja levityksen yhteydessä, kun NH₄-N dissosioituu NH₃-kaasuksi korkeammassa pH:ssa. Voimakkaat kasvihuonekaasut CH₄ ja N₂O aiheuttavat riskin ympäristölle vuotojen yhteydessä. (Latvala 2009, 59–62.) CH₄:ää ja H₂S:ää käsiteltäessä on olemassa myös räjähdysvaara (Latvala 2009, 67–68). Käsittelemättömästä lietelannasta poiketen käsitelty lietelanta ei muodosta typen yhdisteiden haihtumiselta suojaavaa kerrosta, joten huolellinen kattaminen varastoidessa on ensiarvoisen tärkeää (Taavitsainen *et al.* 2002, 19). Yleisesti biokaasulaitosten toiminta vähentää maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä ja laitoksilla mahdollisesti tuotettava energia korvaa usein uusiutumattomia luonnonvaroja (Chen *et al.* 2007, 4044).

5 MÄDÄTYKSEN VAIKUTUS LANNAN RAVINTEIDEN SAATAVUUTEEN KASVILLE

Tässä luvussa käydään läpi aiempien tutkimusten tuloksia mädätyksen vaikutuksista lannan ravinnekoostumukseen ja sen aiheuttamista muutoksista koskien kasvin ravinteiden ottoa ja sadontuottokykyä. Mädätyksestä johtuva ravinnekoostumuksen muutos näkyy kasvissa esimerkiksi parempana itämisenä ja vahvempana juurten kasvuna (Maunuksela *et al.* 2012). Lannan lisäksi mädätysprosessissa on voitu käyttää muita syötteitä, joista mainitaan erikseen. Tarkasteltavien tutkimusten tulokset ovat koottuina taulukoissa 2 ja 3, joihin on eritelty erilaisten syötteiden ravinnekoostumuksien vaihteluvälit ja keskiarvot N:n ja P:n osalta ennen ja jälkeen mädätyksen. Liitteissä on nähtävillä yksityiskohtaisemmat taulukot, joista tulevat esille esimerkiksi mädätettyjen seosten tarkemmat sisällöt ja käytetty prosessityyppi (Liite 2, Taulukot 1 ja 2). Taulukoissa on käytetty vain niitä tutkimusartikkeleita, joissa on ilmaistu toistensa kanssa verrattavissa olevat selkeät luvut ravinnekoostumuksen suhteen. Tekstissä käydään läpi myös taulukoiden ulkopuolisten tutkimusten tuloksia. Yleisesti mädätyksen vaikutuksia on tutkittu enemmän typen osalta.

5.1 Typen käyttökelpoisuuden muutos

Taulukossa 2 näkyvät tarkasteltujen tutkimusten tulosten keskiarvot ja vaihteluvälit typen osalta mädätettäessä lantaa. Taulukon perusteella useimmissa tapauksissa liukoisen typen pitoisuuden suhde kokonaistypen pitoisuuteen eli liuk-N/kok-N on kasvanut, kok-N:n pitoisuus kasvanut tai pysynyt samana ja TS-pitoisuus laskenut keskimäärin. (Taulukko 2.) Yksityiskohtaisemmasta taulukosta nähdään, kuinka liuk-N/kok-N on kasvanut ja TS-pitoisuus laskenut paria poikkeusta lukuun ottamatta (Liite 2, Taulukko 1).

Taulukko 2. Mädätyksen vaikutus lannan kuiva-aine- eli TS-pitoisuuteen, kokonaistypen eli kok-N:n pitoisuuteen kg/t tuoreainetta sekä liukoisen ja kokonaistypen pitoisuuksien suhteeseen liuk-N/kok-N. Vihreä tarkoittaa kasvannutta, ruskea laskennutta arvoa verrattuna mädätettyyn sekä ka merkitsee keskiarvoa.

Materiaali	TS [%]	ka [%]	kok-N [kg/t]	ka [kg/t]	liuk-N/kok-N [%]	ka [%]	Lähde
NAUTA							
raaka lietelanta	6,9–9,9	8,4	3,3–4,3	3,8	31,7–60,5	49,9	1, 2, 3, 4
mädätetty	5,5–7,1	6,4	3,4–4,5	3,8	42,2–64,6	56,4	1, 2, 3
raaka kuivikelanta	17,4–19,3	18,3	3,5–4,5	4,0	12,9–14,9	13,9	5
mädätetty kuivikelanta	26,7–29,5	28,1	3,7–4,3	4,0	11,9–15,8	13,9	5
mädätetty seos	3,5–7,2	5,2	3,7–4,6	4,2	42,2–71,7	60,5	4, 6
SIKA							
raaka lietelanta	3,8–10,0	7,8	4,1–8,1	5,9	41,5–75,0	60,9	2, 4, 7, 8
mädätetty	2,8–4,9	3,9	4,5–6,7	5,6	60,0–80,3	70,1	2, 7
mädätetty seos	2,5–32,0	9,7	3,6–9,0	6,1	44,4–81,7	69,7	4, 8, 9
¹ Frost ja Gilkinson 2011, ² Mokry <i>et al.</i> 2008, ³ Wang <i>et al.</i> 2010, ⁴ Ørtenblad, ⁵ Schäfer <i>et al.</i> 2006, ⁶ Pognani <i>et al.</i> 2009, ⁷ Massé <i>et al.</i> 2007, ⁸ Vaneckhaute <i>et al.</i> 2013, ⁹ Marttinen <i>et al.</i> 2013							

Kaikista suurin kasvu liukoisen ja kokonaistypen suhteelle on liitteen 2 taulukon 1 perusteella saatu Pognanin *et al.* (2009) tutkimuksessa, jossa syötteenä käytettiin naudan lietelannan, maatalousjätteen ja energiakasvin sekoitusta. Prosessi toteutettiin muista poiketen termofiilisenä ja

siinä varsinaisen mädätyksen jälkeen jäännös vielä jälkimädätettiin. Tällöin lopputuotteen liuk-N/kok-N kasvoi 47,9 prosenttiyksikköä verrattuna syötteeseen. (Liite 2, Taulukko 1.) Huomionarvoisena tuloksena mainittakoon myös Marttisen *et al.* (2013) lietelannan ja teollisuuden sivutuotteiden mädätys, jossa rejektiveden liuk-N/kok-N kasvoi 31,7 prosenttiyksikköä raaka-aineeseen verrattuna, sekä Massén *et al.* (2007) psykoofiilisen mädätyksen vaikutus sian lietelannalle. Tavallista alemmassa lämpötilassa, 17 °C:ssa, tapahtunut prosessi kasvatti lannan liuk-N/kok-N-arvoa 22,4 prosenttiyksikköä (Massé *et al.* 2007). Schäferin *et al.* (2006) tutkimuksessa mädätetyn naudän kuivikelantaseoksen arvot on laskettu kuivafraktiosta ja mädätys tapahtui kuivaprosessina, mikä selittää muista poikkeavan arvon liuk-N/kok-N:lle. Liitteen 2 taulukosta 1 nähdään myös, että seos sisälsi kuivikelannan lisäksi maatalousjätteitä, ja että syksyn mädätyksessä liukoisen typen pitoisuus on hieman laskenut (Schäfer *et al.* 2006). Lisäksi Vaneckhauthen *et al.* (2013) kuiva- ja nestefraktioseoksen ja Marttisen *et al.* (2013) kuivafraktiosta otetuista näytteistä liuk-N:n pitoisuus on laskenut. Mädätysjäännöksestä separoitu kuivafraktio sisältää siis vähemmän liukoista typpeä kuin nestefraktio. Vaneckhaute *et al.* (2013) totesi silti, ettei kasvin N:n otossa tapahtunut lopulta merkittävää muutosta.

Taulukoitujen tutkimusten lisäksi muuallakin on raportoitu lannan typen käyttökelpoisuuden kasvusta mädätyksessä sen kasvattaessa lannan liuk-N/kok-N-arvoa (Paavola 2010). Mädätetyn naudän lietelannan käyttö timotei-nurminatan lannoituksessa kasvatti liuk-N:n määrää pellolla ensimmäisenä vuonna 4,5 % ja toisena vuonna 11,7 % (Kapuinen *et al.* 2008a). Sian lietelannan mädätyksessä Kapuinen *et al.* (2008b) raportoi arvon kasvavan ensimmäisenä vuonna 2 ja toisena 5 %-yksikköä lannoitettaessa ohraa. Myös Möller ja Müller (2012) huomasivat aikaisempien tutkimusten perusteella liukoisen NH₄-N:n osuuden kok-N:stä kasvavan 10–33 % mädätettäessä lietelantaa.

Muutokset kokonaistypen pitoisuudelle ovat tulosten perusteella kokonaisuudessaan vaihtelevia. Liitteen 2 taulukosta 1 nähdään, kuinka kok-N:n pitoisuus on hieman kasvanut tai pysynyt samana mädätettäessä raakaa lantaa, kun taas lisättäessä syötteeseen muuta orgaanista ainesta

pitoisuus on vaihdellut enemmän. Kok-N:n pitoisuus väheni Pognanin *et al.* (2009) jälkimädätyksessä, Schäferin *et al.* (2006) kevään kuivaprosessissa ja Vaneckhauten *et al.* (2013) prosessissa. Jälkimmäisessä tapauksessa näytteet otettiin kuiva- ja nestefraktioista (Vaneckhauten *et al.* 2013). Lisäksi Ørtenbladin mädätyksessä kok-N:n pitoisuus pieneni verrattaessa arvoa sian lietelantaan. Suurin lasku pitoisuudessa huomataan Vaneckhauten *et al.* (2013) tutkimuksessa nestefraktiolle: 55,6 %:n vähennys verrattuna mädättämättömään sian lietelantaan. Pitoisuuden kasvut eivät olleet kovin merkittäviä – muissa tapauksissa alle 10 % – lukuun ottamatta Marttisen *et al.* (2013) tutkimusta, jossa kuivafraktiossa kok-N-pitoisuus on noin 45 % suurempi kuin mädättämättömässä seoksessa. (Liite 2, Taulukko 1.)

TS-pitoisuus väheni eniten Vaneckhauten *et al.* (2013) tutkimuksessa, jossa nestefraktiossa oli kuiva-ainetta 75,0 % vähemmän kuin raa'assa syötteessä. Lähelle tätä arvoa ylsivät Pognanin *et al.* (2009) jälkimädätystuote, jonka näytteen perusteella TS-pitoisuus oli vähentynyt mädätyksessä 72,4 %, ja Massén *et al.* (2007) mädätysjäännös, jonka kohdalla pitoisuus väheni 72,0 %. TS-pitoisuuden kasvu oli taas suurin Schäferin *et al.* (2006) syksyn mädätyksessä, jossa tapahtui 53,4 %:n kasvu. Tämä on loogista, kun ottaa huomioon näytteenoton kuivafraktiosta. Näin toimittiin myös Marttisen *et al.* (2013) tapauksessa. Siinä syötteen TS-pitoisuudesta ei ollut tietoa, mutta sen voidaan arvella olevan noin 10 %:n luokkaa, jolloin pitoisuus olisi kasvanut suuresti 32 %:iin verrattaessa syötettä ja kuivafraktiota. Useimmissa tapauksissa TS-pitoisuus kuitenkin väheni, mikä oli trendi myös muissa artikkeleissa. (Liite 2, Taulukko 1.) Esimerkiksi Möller ja Müller kokosivat kirjallisuuskatsaukseensa (2012) tietoa aikaisemmista tutkimuksista ja havaitsivat pienemmän TS-pitoisuuden verrattuna mädättämättömään lietelantaan. Massén *et al.* (2007, 2820–2821) tutkimuksen mukaan TS-pitoisuuden lasku vähentää myös viskositeettia, minkä taas todetaan parantavan lannan imeytymistä maaperään ja edelleen N:n saatavuutta kasville. Tällöin vähenevät edelleen NH₃:n haihtuminen ilmakehään ja hajuhaitat (Massé *et al.* 2007; Paavola 2010).

Kirjoittajat toivat esille myös lannoitusmenetelmän merkityksen ravinteiden käyttäytymiselle maaperässä. Sijoituksella on todettu olevan vaikutusta typen käyttökelpoisuudelle, sillä vaikka

liuk-N:n määrä olisikin kasvanut mädätyksessä, ilman materiaalin sijoitusta suoraan maaperään mädätysjäännöksen $\text{NH}_4\text{-N}$:ää ei saada kasvin saataville, toisin kuin epäorgaanisten lannoitteiden ammoniumnitraatin eli NH_4NO_3 :n kohdalla. Pintalevitettynä mädätetty lanta aiheuttaa myös suuremman riskin NH_3 :n haihtumiselle, sillä mädätysjäännöksessä on mädättämätöntä lantaa korkeampi pH. (Regina *et al.* 2007; Kapuinen *et al.* 2008a ja 2008b; Paavola 2010; Möller ja Müller 2012.) Toisaalta mädätetyn lannan sijoittamisesta voi aiheutua denitrifikaation seurauksena suuremmat N_2O -päästöt (Regina *et al.* 2007, 28). Kapuinen *et al.* (2008a) korosti lannoitustavan lisäksi lannoitusajankohdan merkitystä N:n saatavuudelle ja sen kautta sadontuotolle, sillä kasvin N:n käytön havaittiin olevan tehokkainta keväällä.

Mainittavaa edellisten huomioiden lisäksi on, että sekoitettaessa sian ja naudan lietelantoja saatiin mädätysjäännökseen arvot asettumaan sian ja naudan lantajakeiden väliin (Ørtenblad). Lisäksi Massé *et al.* (2007, 2821) arvioi artikkelissaan myös mädätyksessä laskeneen kemiallisen hapen tarpeen pienentävän hiilen ja typen suhdetta lannalle, mikä edelleen vähentäisi N:n pidättymistä maaperässä ja kasvattaisi ravinteen käyttökelpoisuutta kasville. Myös Sharpley ja Moyer (2000) kirjoittivat C/N:n vaikutuksesta N:n stabiiliuteen ja käyttäytymiseen maaperässä.

Aiempien ruukkukokeiden perusteella mädätyksen tuotteilla oli havaittu positiivisia vaikutuksia N:n saatavuuteen ja sadontuottoon, mutta pelto-oloissa suoritettavat kokeet tuottivat vaihtelevia tuloksia. Tämän takia Möller ja Müller (2012) painottivat lisätutkimuksen tarvetta. Tätä mieltä oli myös Maunuksela *et al.* (2012) kohdistuen tarpeen erityisesti erilaisten mädätyksen lopputuotteiden vertailuun pelto- ja ruukkukokeissa.

5.2 Fosforin käyttökelpoisuuden muutos

Taulukossa 3 näkyvät tarkasteltujen tutkimusten tulosten keskiarvot ja vaihteluvälit fosforin osalta. Sen perusteella P:n määrä tuoreaineessa on keskimäärin laskenut suurimmassa osassa

tutkimuksia. Toisaalta mädätettyjen lantaseosten kohdalla fosforipitoisuus on keskimäärin kasvanut. Taulukkoa 3 tarkastellessa on toisaalta otettava huomioon se, kuinka naudat ja sian raakojen lietelantojen arvot on kerätty useammasta lähteestä kuin mädätettyjen lantojen arvot, minkä takia lantajakeissa on eroavaisuuksia raan ja mädätetyn lannan kohdalla. Tämän vuoksi myös fosforipitoisuudessa nähdään keskiarvoisesti suurtakin laskua. (Taulukko 3.) Lukuarvojen lisäksi on tarkasteltava käytettyä mädätysprosessia, syötteen sisältöä ja sitä, onko mädätetyn jakeen näyte otettu separoidusta jakeesta vai mädätysjäännöksestä. Näitä tietoja nähdään tarkemmin liitteen 2 taulukosta 2.

Taulukko 3. Mädätyksen vaikutus lannan kuiva-aine- eli TS-pitoisuuteen sekä fosforiin eli P:hen kg/t tuoreainetta. Vihreä tarkoittaa kasvanutta, ruskea laskenutta arvoa verrattuna mädätettyyn ja ka keskiarvoa.

Materiaali	TS [%]	ka [%]	P [kg/t]	ka [kg/t]	Lähde
NAUTA					
raaka lietelanta	7,0–12,7	9,8	0,3–0,8	0,6	1, 2, 4
mädätetty	6,6	6,6	0,2	0,2	1
raaka kuivikelanta	17,4–19,3	18,3	0,7–1,1	0,9	3
mädätetty kuivikelanta	26,7–29,5	28,1	0,7–0,8	0,8	3
mädätetty seos	3,5–7,2	5,2	1,0–2,5	2,0	2, 3, 4
SIKA					
raaka lietelanta	3,8–10,0	7,9	1,1–2,4	1,7	4, 5, 6
mädätetty	2,9	2,9	1,3	1,3	5
mädätetty seos	2,5–32,0	9,7	0,3–7,0	1,8	4, 6, 7
¹ Wang <i>et al.</i> 2010, ² Pognani <i>et al.</i> 2009, ³ Schäfer <i>et al.</i> 2006, ⁴ Ørtenblad, ⁵ Massé <i>et al.</i> 2007, ⁶ Vaneeckhaute <i>et al.</i> 2013, ⁷ Martinen <i>et al.</i> 2013					

Laajemmasta taulukosta huomataan, että Marttisen *et al.* (2013) tutkima mädätysprosessi kasvatti fosforipitoisuutta huomattavat 400 % verrattaessa raakaa seosta ja kuivafraktiota, kun taas mädätysjäännökseen ja nestefraktioon fosforipitoisuus väheni. (Liite 2, Taulukko 2.) Tämän perusteella kuivafraktio sisältää runsaammin P:tä kuin nestefraktio. Myös Pognanin *et al.* (2009)

tapauksessa fosforipitoisuus kasvoi 243 % raakaan lietelantaan verrattuna 40 vuorokauden viipymäajalla ja jälkimädätyksen jälkeen – jolloin viipymä oli yhteensä 50 vuorokautta – kokonaiskasvu tapahtui jopa 257 %. Prosessi suoritettiin termofiilisesti, ja lietelantaan sekoitetuilla maatalousjätteillä ja energiakasvilla oli ilmeisesti vaikutusta P:n käyttäytymiseen mädätyksessä. Samassa tutkimuksessa kokonaistypen pitoisuus oli vähentynyt jälkimädätyksessä. (Liite 2, Taulukko 2.) Marttisen *et al.* (2013) kohdalla viipymäaika oli 25 vuorokautta ja Pognanin *et al.* (2009) tutkimuksessa viipymä oli tavanomaista pidempi, mikä mahdollisesti vaikutti P:n pitoisuuden kasvuun. Lisäksi Ørtenbladin artikkelissa mädätetyn seoksen fosforipitoisuus oli 25 % naudnan raakalietelantaa korkeampi, mutta kuitenkin 9 % alempana kuin prosessiin lisätyn sian lietelannan pitoisuus. (Liite 2, Taulukko 2.)

Kaikkein suurin lasku fosforin pitoisuudessa saavutettiin Vaneckhauten *et al.* (2013) tutkimuksessa. Kun vertaillaan syötteen ja nestefraktion fosforipitoisuuksia, vähenemistä tapahtui Vaneckhauten *et al.* (2013) prosessissa 87,5 % ja Marttisen *et al.* (2013) tapauksessa 71,4 %. (Liite 2, Taulukko 2.) Tämä vahvistaa tietoa siitä, että separoitu nestejäte sisältää kuivajätettä vähemmän P:tä. Vaneckhauten *et al.* (2013) tuloksista kävi myös ilmi, että mädätysjäännöksessä P on paremmin kasvin käytettävissä ja stabiilimmassa muodossa. Kun mädätysjäännöstä ei käytetty, fosfaattien määrä ylitti maaperässä raja-arvon, ja kun sitä käytettiin – jolloin fosforia maaperässä vähemmän – kasvi sai fosforia enemmän (Vaneckhaute *et al.* 2013, 187). Tämän perusteella kasvin käytettävissä olevan liukoisen fosfaatin osuus kasvoi mädätyksessä. Huomionarvoista on myös mainita Schäferin *et al.* (2006) mädätysprosessi syksyllä, jolloin fosforipitoisuus pysyi samana. Tähän on voinut vaikuttaa näytteenotto kuivajäkeestä. (Liite 2, Taulukko 2.)

Kapuinen *et al.* (2008a) sai kenttäkokeessaan nurmella tulokseksi naudnan lietelannan fosforipitoisuuden pienenevän suhteessa liukoisen typen pitoisuuteen. Fosforipitoisuus laski vuonna 2006 noin 21 % (Kapuinen *et al.* 2008a). Myös Möller ja Müller havaitsivat tutkimuksessaan (2012) vesiliukoisen P:n osuuden laskevan lietelannan mädätyksessä. Lisäksi esimerkiksi Massén *et al.* (2007) tutkimuksessa N/P kasvoi arvosta 3,9 arvoon 5,2 mädätysjäännökseen ja

arvoon 9,2 asettuneen jäännöksen nestefraktioon. Kun mädätetyssä lannassa on suurempi osuus käyttökelpoista N:ää suhteessa P:hen, voidaan tuotetta käyttää enemmän, sillä ympäristötukiehdotusten mukaiset P:n enimmäiskäyttöraajat (Liite 1, Taulukko 2) eivät tule niin pian vastaan, ja kasvi ei joudu kärsimään N:n puutteesta niin nopeasti kuin mädättämätöntä lantaa käytettäessä. Erityisesti sian lannassa P:tä on tyypillisesti yli tarpeen (Massé *et al.* 2007). N/P:n arvoa saatiin myös kasvatettua separoidessa mädätysjäännöstä nestefraktioksi. Tällöin jäljelle jäänyttä runsasfosforista kuivafraktiota voitaisiin myydä tilan ulkopuolelle kasvattaen samalla mädätyksen taloudellisia hyötyjä. (Kapuinen *et al.* 2008b.)

Ebeling *et al.* (2003) vertaili erilaisia lantajakeita mädätettyyn puhdistamolietteeseen ja mineraalilannoitteeseen erilaisilla kasvualustoilla ja tuli siihen johtopäätökseen, että runsaasti orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä fosfori saadaan parhaiten kasville, kun käytetään lannoituksessa hitaasti P:tä vapauttavia materiaaleja eli esimerkiksi liete- tai kuivikelantaa. Nimittäin tällöin maaperän biologinen aktiivisuus edesauttaa P:n mineralisoitumista. Toisaalta hiekkapitoisella maalla epäorgaanisen lannoitteen ja mädätysjäännöksen käyttö parantaa kasvin ravinteentottoa, sillä P:tä pidättyy tällöin vähemmän hiekkamaan matalamman biologisen aktiivisuuden seurauksena. (Ebeling *et al.* 2003.)

Kahiluoto *et al.* (2015) havaitsi mädätyksen aiheuttaman orgaanisen aineksen hajoamisen lisäävän P:n pidättymistä ja sähkönjohtavuutta maaperässä, mikä edelleen vähentäisi ravinteiden käytettävyyttä kasville. Tutkijat vetosivat lannoitteen sisältämällä pienelläkin orgaanisen aineksen määrällä olevan suurta merkitystä P:n pidättymisen estämiseksi, vaikkakin sen merkitystä on yleisesti aliarvioitu. Artikkelissa samalla kyseenalaistettiin käsitystä vesiliukoisen P:n avainasemasta ravinteiden tehokkaassa kierrätyksessä. (Kahiluoto *et al.* 2015.) Lopputuloksena Kahiluoto *et al.* (2015) linjasi, ettei mädätyksellä ole selkeää vaikutusta P:n käyttäytymiseen maaperässä, ja kuinka selkeämpien tulosten saavuttamiseksi tarvitaan pitkällä aikavälillä toteutettuja tutkimuksia. Kirjoittajat painottivat myös maatalouden sivutuotteiden kunnollisten käsittelymenetelmien parantavan mädätystuotteiden asemaa niiden sisältämän käyttökelpoisen P:n osalta verrattuna epäorgaanisiin lannoitteisiin. (Kahiluoto *et al.* 2015.)

Ebeling *et al.* (2003) huomasi karjan ruokavalion kautta fosforipitoisuuksiltaan eritasoisten lietalantojen vaikuttavan kasvin P:n ottoon ja ravinteen huuhtoutumiseen; liukoisen P:n pitoisuus huuhtoumassa oli suurempi pitoisuudeltaan korkeimman lannan kohdalla. Sharpley ja Moyer (2000) mainitsivat myös eläimen ruokavalion vaikuttavan suuresti lannan ravinnepitoisuuteen. Yhteenvedossa Ebeling *et al.* (2003) linjasi, kuinka eri P:n lähteitä vertailtaessa on tärkeää huomioida maaperän vaikutus ja erilaiset alttiudet huuhtoutumiselle. Sharpley ja Moyer (2000) päättelivät mittaustensa perusteella epäorgaanisen vesiliukoisen P:n olevan huuhtoutumiselle herkin fosforin muoto. Lisäksi Kapuinen *et al.* (2008a) huomasi sijoituksen vähentävän liukoisen P:n huuhtoutumista.

5.3 Muut vaikutukset

Mädätys on vaikuttanut positiivisesti syötteen hygienisointitulokseen vähentämällä lietalannan enterobakteerien, *E. coli*n ja fekaalisten streptokokkien määrää (Kapuinen *et al.* 2008a; Paavola 2010). Tämän lisäksi maaperän humuspitoisuuden ja siten biologisen aktiivisuuden on todettu kasvavan ja lannan fytotoksisten yhdisteiden pitoisuuksien laskevan mädätysjäännöstä käyttämällä. Mädätyksen on tiedostettu myös hajottavan lannan tiettyjä orgaanisia haitta-aineita. (Paavola 2010.) Vaneeckhaute *et al.* (2013) toi tutkimuksensa kautta esille mädätysjäännöksen hyödyntämisen taloudelliset edut sekä ympäristöhyödyt kasvihuonepäästöjä ja energiankäyttöä laskeamalla, kun sitä käytettäisiin epäorgaanisten lannoitteiden lisänä.

6 ESIMERKKILASKELMA

Tässä luvussa suoritettavan esimerkkilaskelman tarkoituksena on havainnollistaa aiempien tutkimusten tuloksia. Laskelmassa tarkasteltiin keskikokoista maitotilaa sekä biokaasulaitosta, joka käsittelee 10 000 tonnia syötettä vuodessa. Pellolle levitettiin kuvitteellisesti erilaisia jakeita: lypsylehmien tuottamaa raakaa lietalantaa, mädätysjäännöstä sekä siitä separoimalla saatuja kuivafraktiota ja nestefraktiota. Typen ja fosforin enimmäiskäyttömääriä varten valittiin

maalajityypiltään karkea kivennäismaa Etelä- ja Keski-Suomessa ja viljavuusluokaksi tyydyttävä (Uusitalo ja Salo (toim.) 2002). Viljelykasviksi valittiin ohra. Näiden tietojen ja liitteen 1 taulukoiden 1 ja 2 perusteella saatiin ravinteille enimmäiskäyttömäärät, joita käytettiin edelleen laskennassa. Lietelannan ja mädätysjäännöksen ravinnepitoisuudet otettiin Wangin *et al.* (2010, 2624–2625) tutkimuksesta, jossa naudan liotelannan mädätyksen viipymä oli ollut 20 vuorokautta. Kuiva- ja nestefraktioiden kokonaistypen ja fosforin pitoisuuksissa käytettiin Møllerin *et al.* (2002, 195) artikkelin separointitehokkuusarvoja sentrifugilla käsitellylle mädätetylle liotelannalle. Lisäksi liukoista tyypeä oletettiin olevan separoituissa jakeissa saman verran kuin mädätysjäännöksessä. (Liite 3, Taulukko 1.) Lopputuloksena saatiin jakeiden massat, niiden sisältämät ravinnemäärät, levityspinta-alat sekä ravinteiden määrät pinta-alaa kohden. Laskennassa käytetyt ravinnearvot sekä lasketut jakeiden enimmäislevitysmäärät löytyvät liitteen 3 taulukosta 1. Liitteen 3 taulukoista 2 ja 3 taas selviävät laskentaan liittyvät lukuarvot. Laskuista saadut lopulliset tulokset ovat näkyvillä tämän luvun taulukoissa 4 ja 5.

Vuoden 2015 toukokuussa keskimääräisellä suomalaisella maitotilalla oli 33 lypsylehmää (Luonnonvarakeskus 2015). Lisäksi tiedetään, että yksi lypsylehmä tuottaa noin 25 tonnia liotelantaa vuodessa (Rasi *et al.* 2012, 12). Tällöin saadaan tilalla muodostuvan liotelannan määräksi

$$m_{\text{syöte}} = 33 \cdot 25 \text{ t/a} = 825,0 \text{ t/a.}$$

Seuraavaksi laskettiin syötteiden kuiva-aineen, TS, ja orgaanisen aineen, VS, määrät. Laskussa käytettiin Kahiluodon ja Kuisman (toim.) (2010, 100) raportista löytyviä arvoja TS-pitoisuudelle 6 % ja VS/TS:lle 80 % naudan liotelannalle. Edelleen laskettiin muodostuvan biokaasun tilavuus vuodessa lypsytilalla ja mädätyslaitoksella, kun tiedettiin biokaasua muodostuvan 375 m³/t VS (Kahiluoto ja Kuisma (toim.) 2010, 100). Lisäksi oletettiin biokaasun koostumuksen olevan seuraava: CH₄ 60 % ja CO₂ 40 %. Näiden perusteella laskettiin metaanin ja hiilidioksidin tilavuudet, ja edelleen kaasujen massat saatiin yhtälön 1 mukaisesti. (Liite 3, Taulukko 2.)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

m = kaasun massa	[kg]
V = kaasun tilavuus NTP-oloissa	[m ³ n]
ρ = kaasun tiheys NTP-oloissa	[kg/m ³ n]

CH₄:n ja CO₂:n tiheyksille käytettiin kirjallisuudesta löytyviä arvoja: 0,72 kg/m³n ja 1,97 kg/m³n (Seppänen *et al.* 2006, 78). Tällöin saadaan esimerkiksi CH₄:n tilavuuden ollessa 8 910 m³n sen massaksi vuodessa (Yhtälö 1)

$$m_{\text{CH}_4} = 0,72 \text{ kg/m}^3\text{n} \cdot 8\,910 \text{ m}^3\text{n} = 6,415 \text{ t.}$$

Mädätysjäännöksen massan laskenta suoritettiin yhtälön 2 mukaan.

$$m_{\text{mj}} = m_{\text{syöte}} - m_{\text{bk}} \quad (2)$$

m_{bk} = biokaasun massa	[t/a]
m_{mj} = mädätysjäännöksen massa	[t/a]
$m_{\text{syöte}}$ = mädätykseen syötettävän aineksen massa	[t/a]

Lypsytilalla biokaasua muodostuu yhteensä 18,12 t, jolloin mädätysjäännöstä jää (Yhtälö 2)

$$m_{\text{mj}} = 825,0 \text{ t} - 18,12 \text{ t} = 806,9 \text{ t/a.}$$

Mädätysjäännöksen massan laskentaan liittyvät lukuarvot näkyvät kokonaisuudessaan liitteen 3 taulukosta 2. Kuivafraktion massalle on olemassa yhtälö 3.

$$m_{\text{kf}} = \frac{E_s \cdot m_{\text{TS,mj}}}{\text{TS}_{\text{kf}}} \quad (3)$$

E_s = aineen separointitehokkuus	[-]
m_{kf} = kuivafraktion massa	[t/a]
$m_{TS,mj}$ = kuiva-aineen massa mädätysjäännöksessä	[t/a]
TS_{kf} = kuivafraktion TS-pitoisuus	[-]

Mädätysjäännöksen kuiva-aineen massa saatiin yhtälöstä 4.

$$m_{TS,mj} = m_{mj} \cdot TS_{mj} \quad (4)$$

$$TS_{mj} = \text{mädätysjäännöksen TS-pitoisuus} \quad [-]$$

TS-pitoisuus mädätysjäännökselle ennen separointia on 3,740 % (Møller *et al.* 2002, 192). Lypsytilan tapauksessa kuiva-ainetta mädätysjäännöksessä on siten (Yhtälö 4)

$$m_{TS,mj} = 806,9 \text{ t} \cdot 0,03740 = 30,18 \text{ t/a.}$$

Kuiva-aineen separointitehokkuus kuivafraktioon on linkouksessa 53,50 % ja kuivafraktion TS-pitoisuus on 20,19 % (Møller *et al.* 2002, 193, 195), joten kuivafraktion massaksi saadaan (Yhtälö 3)

$$m_{kf} = \frac{0,5350 \cdot 30,18 \text{ t/a}}{0,2019} = 79,97 \text{ t/a.}$$

Nestefraktion massa saatiin vähentämällä mädätysjäännöksen massasta kuivafraktion massa yhtälön 5 mukaisesti.

$$m_{nf} = m_{mj} - m_{kf} \quad (5)$$

$$m_{nf} = \text{nestefraktion massa} \quad [\text{t/a}]$$

Nestefraktiota jää siis lypsytilalla (Yhtälö 5)

$$m_{nf} = (806,9 - 79,97) \text{ t/a} = 726,9 \text{ t/a.}$$

Kuiva- ja nestefraktioiden massojen laskentaan liittyvät lukuarvot ovat kummankin tapauksen osalta nähtävillä liitteen 3 taulukossa 3. Raa'an lietelannan sisältämät kok-N:n ja P:n määrät laskettiin yhtälöstä 6.

$$m_{\text{ravinne, syöte}} = m_{\text{syöte}} \cdot c_{\text{syöte}} \quad (6)$$

$$c_{\text{syöte}} = \text{ravinnepitoisuus syötteessä tuoreainetta kohden} \quad [\text{kg/t}]$$

$$m_{\text{ravinne, syöte}} = \text{ravinteen massa syötetyssä raakalannassa} \quad [\text{kg/a}]$$

Nyt esimerkiksi lypsytilan raakalanta sisältää P:tä (Yhtälö 6)

$$m_{P, \text{syöte}} = 825,0 \text{ t} \cdot 0,2660 \text{ kg/t} = 219,5 \text{ kg/a.}$$

Mädätysjäännöksen kok-N:n ja P:n massat oletettiin olevan yhtä suuret kuin raakalannassa, sillä ravinteiden kokonaismäärät säilyvät mädätyksessä. Kuivafraktiossa olevat kok-N:n ja P:n määrät saatiin yhtälöstä 7.

$$m_{\text{ravinne, kf}} = E_{s, \text{ravinne}} \cdot m_{\text{ravinne, mj}} \quad (7)$$

$$E_{s, \text{ravinne}} = \text{ravinteen separointitehokkuus} \quad [-]$$

$$m_{\text{ravinne, kf}} = \text{ravinteen massa kuivafraktiossa} \quad [\text{kg/a}]$$

$$m_{\text{ravinne, mj}} = \text{ravinteen massa mädätysjäännöksessä} \quad [\text{kg/a}]$$

Møllerin *et al.* (2002, 195) artikkelista saadaan separointitehokkuudet linkouksessa kok-N:lle, 23,69 %, ja P:lle, 52,35 %, ja $m_{\text{kok-N,mj}} = 2\,727$ kg/a, joten esimerkiksi lypsytilan tapauksessa kuivafraktio sisältää kok-N:ää (Yhtälö 7)

$$m_{\text{kok-N,kf}} = 0,2369 \cdot 2\,727 \text{ kg/a} = 646,0 \text{ kg/a.}$$

Jakeiden liuk-N:n massojen laskennassa käytettiin taulukon 2 keskiarvoja liuk-N/kok-N:lle. Sitten lietelannalle käytettiin arvoa 49,9 %, kun taas mädätysjäännöksen ja kuivafraktion kohdalla käytettiin arvoa 56,4 % (Taulukko 2). Näin saadaan esimerkiksi lypsytilan mädätysjäännöksen liuk-N:n massaksi

$$m_{\text{liuk-N,mj}} = 0,564 \cdot 2\,727 \text{ kg/a} = 1\,538 \text{ kg/a.}$$

Nestefraktion sisältämät ravinnemäärät saatiin yhtälöstä 8.

$$m_{\text{ravinne,nf}} = m_{\text{ravinne,mj}} - m_{\text{ravinne,kf}} \quad (8)$$

$$m_{\text{ravinne,nf}} = \text{ravinteen massa nestefraktiossa} \quad [\text{kg/a}]$$

Esimerkiksi liuk-N:ää jää tällöin nestefraktioon lypsytilalla, kun nyt $m_{\text{liuk-N,kf}} = 364,3$ kg/a (Yhtälö 8)

$$m_{\text{liuk-N,nf}} = (1\,538 - 364,3) \text{ kg/a} = 1\,174 \text{ kg/a.}$$

Jakeiden massat ja ravinteiden massat eri jakeissa ovat nähtävillä taulukossa 4. Seuraavaksi laskettiin jakeiden levityspinta-alat ja ravinteiden määrät maaperässä levittämisen jälkeen. Jakeiden enimmäislevitysmäärät vuodessa ravinteille asetettujen rajojen mukaan saatiin yhtälöstä 9.

$$m_{A,\max,\text{jae}} = \frac{m_{A,\max,\text{ravinne}}}{c} \quad (9)$$

$$m_{A,\max,\text{jae}} = \text{jakeen enimmäislevitysmäärä} \quad [\text{t/ha/a}]$$

$$m_{A,\max,\text{ravinne}} = \text{ravinteiden enimmäiskäyttömäärä} \quad [\text{kg/ha/a}]$$

Esimerkiksi, kun naudon raaka lietalanta sisältää 0,2660 kg-P/t tuoreainetta ja fosforin enimmäiskäyttömäärä lannoituksessa on 14 kg/ha vuodessa (Liite 3, Taulukko 1), saadaan lietalantaa levittää fosforin rajan mukaan (Yhtälö 9)

$$m_{A,\max,\text{lietalanta}} = \frac{14 \frac{\text{kg}}{\text{ha/a}}}{0,2660 \text{ kg/t}} = 52,63 \text{ t/ha/a.}$$

Kaikkien jakeiden enimmäislevitysmäärät ovat taulukoituina liitteen 3 taulukossa 1. Levityspinta-ala saatiin yhtälöstä 10, kun valittiin jakeen enimmäislevitysmäärä $m_{A,\max,\text{jae}}$ rajoittavan ravinteiden mukaan (Liite 3, taulukko 1).

$$A_{\text{jae}} = \frac{m_{\text{jae}}}{m_{A,\max,\text{jae}}} \quad (10)$$

$$A_{\text{jae}} = \text{jakeen levityspinta-ala} \quad [\text{ha/a/a}]$$

Nyt liitteen 3 taulukon 1 mukaan rajoittava ravinne esimerkiksi raan lietalannan kohdalla on liuk-N, joten raaka lietalanta levittyy (Yhtälö 10)

$$A_{\text{jae}} = \frac{825,0 \frac{\text{t}}{\text{a}}}{50,51 \frac{\text{t}}{\text{ha/a}}} = 16,33 \text{ ha: lle/a.}$$

Kaikki lasketut arvot jakeiden massoille, ravinnemäärille ja pinta-aloille ovat koottuina taulukossa 4. Lopuksi laskettiin vielä ravinteiden määrät maaperässä pinta-alaa kohden vuodessa yhtälön 11 mukaisesti.

$$m_{A,\text{ravinne,mp}} = \frac{m_{\text{jae}} \cdot c}{A_{\text{jae}}} \quad (11)$$

$$m_{A,\text{ravinne,mp}} = \text{ravinteen määrä maaperässä} \quad [\text{kg/ha/a}]$$

Nyt saadaan esimerkiksi liuk-N:n määräksi maaperässä lannoitettaessa raaja lietalannalla (Yhtälö 11)

$$m_{A,\text{liuk-N,mp}} = \frac{825,0 \text{ t/a} \cdot 1,782 \text{ kg/t}}{16,34 \text{ ha/a}} = 89,97 \frac{\text{kg}}{\text{ha/a}}$$

Rajoittavana ravinteena oli siis liuk-N ja tulos vastaakin sen enimmäiskäyttörajaa. Kaikkien jakeiden perusteella lasketut ravinteiden määrät maaperässä ovat nähtävillä taulukossa 5.

Taulukko 4. Lypsytilalla ja mädätyslaitoksella muodostuvien mädätettyjen jakeiden massat m_{jae} :t, ravinnemäärät m_{ravinne} :t ja levityspinta-alat A_{jae} :t pyöristettynä lopulliseen tarkkuuteen.

Jae	m_{jae} [t/a]	$m_{\text{kok-N}}$ [kg/a]	$m_{\text{liuk-N}}$ [kg/a]	m_{P} [kg/a]	A_{jae} [ha/a]
Lypsytila					
raaka lietalanta	830	2 700	1 400	220	16
mädätysjäännös	810	2 700	1 500	220	20
kuivafraktio	80	650	360	110	2,0
nestefraktio	730	2 100	1 200	100	18
Mädätyslaitos					
raaka lietalanta	10 000	33 000	16 000	2 700	200
mädätysjäännös	9 800	33 000	19 000	2 700	240
kuivafraktio	970	7 800	4 400	1 400	24
nestefraktio	8 800	25 000	14 000	1 300	220

Taulukosta 4 nähdään, kuinka mädätyksessä lietelannan massa vähentyi noin 2,2 %. Nestefraktion osuus oli noin 90 % koko mädätysjäännöksen massasta. Separoinnissa nestefraktoon jäi kokonaistypestä suurin osa, noin 76 %. Lisäksi mädätysjäännös sisälsi hieman enemmän liuk-N:ää kuin raakalanta. Määrä kasvoi noin 13 %. Nestefraktoon jäi liukoista typpeä noin 76 %. Nestefraktio sisälsi jakeista vähiten fosforia. Liuk-N/P:n likimääräiset arvot olivat raakalannalle 6,2, mädätysjäännökselle 7,0, kuivafraktiolle 3,2 ja nestefraktiolle 11. Mädätetyistä jakeista kuivafraktio oli suhteellisesti fosforipitoisin. (Taulukko 4.) Lisäksi taulukon 4 perusteella mädätysjäännöksellä oli noin 22 % suurempi ja nestefraktiolla noin 10 % suurempi levityspinta-ala kuin raakalannalla. Kaikkein suppeimmalle alueelle levittyi kuivafraktio, jonka levityspinta-alan osuus oli vain noin 9,9 % mädätysjäännöksen vastaavasta arvosta (Taulukko 4).

Taulukko 5. Esimerkkilaskelman tulokset ravinteiden määrille maaperässä levityksen jälkeen. Lannoittamista rajoittava ravinne on merkitty värillisellä fontilla.

Jae	Ravinteen määrä maaperässä $m_{A,ravinne,mp}$ [kg/ha/a]		
	kok-N	liuk-N	P
raaka lietelanta ¹	170	90	13
mädätysjäännös ¹	140	90	10
kuivafraktio ²	33	90	5,3
nestefraktio ²	110	90	4,8

¹ Wang *et al.* 2010, 2624, ² Møller *et al.* 2002, 195: erotustehokkuudet kok-N:lle 23,69 % ja P:lle 52,35 %, oletetaan, että liuk-N:ää on fraktioissa yhtä paljon kuin mädätysjäännöksessä

Taulukon 5 ja liitteen 3 taulukon 1 mukaan rajoittava ravinne kaikkien jakeiden kohdalla oli liuk-N. Taulukon 5 perusteella mädätys laski kokonaistypen ja fosforin määriä maaperässä liukoisen typen määrän pysyessä samana. Liuk-N/kok-N:n arvot olivat maaperässä likimäärin raakalannalle 0,54, mädätysjäännökselle 0,65, kuivafraktiolle 2,7 ja nestefraktiolle 0,85. Likimääräiset liuk-N/P-arvot olivat eri jakeiden kohdalla raakalannalle 6,7, mädätysjäännökselle 8,9, kuivafraktiolle 17 ja nestefraktiolle 19. (Taulukko 5.)

Laskelmassa tarkasteltiin vain lypsylehmien tuottamaa lietelantaa, joten siitä ei voi vetää suoria johtopäätöksiä koskemaan eri tuotantoeläinten lantoihin tai eri lantajakeisiin kohdistuvia mädätyksen vaikutuksia. Mädätysjäännöksen massan laskennassa oletettiin biokaasun koostuvan vain metaanista ja hiilidioksidista, kun todellisuudessa se sisältää pieniä määriä muitakin kaasuja. Lisäksi separoitujen jakeiden massojen laskennassa käytetyt arvot olivat Møllerin *et al.* (2002) tutkimuksesta, jossa mädätetty seos sisälsi lantaa ja 25 % muuta orgaanista jätettä, mikä on otettava huomioon vertailtaessa fraktioiden arvoja raan lietelannan ja mädätysjäännöksen arvoihin. On huomioitava myös laskennan eri kohdissa käytettyjen lähteiden erot toisiinsa nähden. Liitteen 3 taulukon 1 jakeiden ravinnepitoisuuksissa käytettiin Wangin *et al.* (2010) artikkelin pitoisuuksia raakalannalle ja mädätysjäännökselle, mutta kuivafraktion ja nestefraktion kohdalla hyödynnettiin separointitehokkuuksien osalta Møllerin *et al.* (2002) artikkelia. Jakeiden massojen laskennassa käytettiin taas eri lähdettä (Kahiluoto ja Kuisma (toim.) 2010). Näiden eri tietolähteiden yhdistely saattoi tuottaa virhettä lopputulokseen. Laskussa ei myöskään huomioitu mahdollista ravinteiden huuhtoutumista, pidättymistä ja typen haihtumista NH_3 :na.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

7.1 Johtopäätökset

Aiemmista tutkimuksista nousivat esille mädätyksen aiheuttama liukoisen typen pitoisuuden kasvu ja kuiva-ainepitoisuuden lasku. Liuk-N:n määrä ei toisaalta ollut suoraan verrannollinen sen käyttökelpoisuuteen, vaan tutkimuksissa painotettiin sijoituksen merkitystä levitysmenetelmänä pintalevityksen sijaan sijoituksen vähentäessä mädätetyn lannan aiheuttamia runsaampia NH_3 -päästöjä. Vähemmän kuiva-ainetta sisältävän materiaalin levitys vähensi myös ammoniakin haihtumista. Toisaalta sijoitus lisäsi denitrifikaatiota ja haitallisen dityppioksidin muodostumista. Muutokset kokonaistypen pitoisuuksissa olivat huomattavampia mädätettäessä lannan seassa muuta orgaanista materiaalia.

Joissain tutkimuksissa myös liukoisen käyttökelpoisen fosforin osuus kasvoi. Lisäksi kuivafraktion havaittiin sisältävän enemmän fosforia kuin nestefraktio. Nestefraktio puolestaan sisälsi runsaammin liuk-N:ää. Tämän perusteella ylimääräfosforin markkinointi eteenpäin kuivajakeena voisi olla taloudellisesti maatiloja hyödyttävää. Separoinnin avulla voidaan myös saavuttaa kasville tasapainoisempi ja täsmällisempi ravinteensaanti, kun ravinteet ovat konsentroituneina omiin jakeisiinsa. Erillisten fraktioiden käsittelykin on helpompaa.

Orgaanisesta lannoitteesta, kuten raakalannasta, peräisin olevan fosforin todettiin mineralisoituvan paremmin runsaasti orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä. Lannoitteen sisältämän orgaanisen aineksen todettiin myös ehkäisevän P:n pidättymistä. Toisaalta hiekkapitoisemmassa maassa P:n pidättymistä ei tapahdu helposti ja sitä tulisi antaa epäorgaanisessa vesiliukoisessa muodossa esimerkiksi epäorgaanisen lannoitteen tai mädätysjäännöksen mukana. Toisaalta epäorgaaninen vesiliukoinen muoto voi altistaa runsaammalle huuhtoumalle. Fosforin huuhtoutumisen vähentämiseksi voidaan tutkimusten perusteella valita fosforipitoisuudeltaan matalampi eläimen ruokavalio ja levitystavaksi sijoitusmenetelmä.

Mädätyksen kyseenalaiset vaikutukset liittyvät ravinteiden todelliseen käyttäytymiseen maaperässä: kuinka paljon ravinteita jää todellisuudessa kasvin käyttöön, kun huomioidaan pidättäminen sekä ravinnehäviöt huuhtoutumisen ja haihtumisen myötä. Selkeämpien tulosten saavuttamiseksi tulisi tehdä enemmän tutkimusta mädätyksen vaikutuksista lannan ravinteiden käyttäytymiseen maaperässä. Suotavaa olisi vertailla erilaisia mädätystuotteita ja suorittaa tutkimukset pitkällä tarkkailuvälillä pelto- sekä ruukkuviljelyssä. Lannoitusvaikutusten lisäksi on huomioitava mädätyksessä tuotettu biokaasu, jonka avulla esimerkiksi maanviljelijät voivat lisätä energiaomavaraisuusastettaan.

Suoritettu esimerkkilaskelma vahvisti aiempaa tulosta siitä, että separoinnissa fosfori jää suurimmaksi osaksi kuivafraktioon ja typpi nestefraktioon. Mädätys myös oletetusti kasvatti lannan liukoisen typen pitoisuutta, jolloin kasvoivat myös liuk-N/kok-N kaikissa jakeissa ja liuk-N/P nestefraktion ja mädätysjäännöksen osalta. Liuk-N/P oli nestefraktiolle noin 81 % suurempi kuin raakalannalle, kun taas kuivafraktiolle se oli noin 49 % pienempi kuin raakalannalle. Teoriassa tämä liukoisen typen osuuden kasvu suhteessa fosforiin mahdollistaa paremman typensaannin kasville, mutta käytännössä kaikki liukoinen typpi ei ole aikaisempien tutkimusten perusteella kasville käyttökelpoista. Lisäksi lypsylehmän lietelantaa voidaan levittää hieman enemmän samalle alueelle mädätysjäännöksen tai nestefraktion muodossa. Runsaan fosforipitoisuutensa vuoksi kuivafraktio levittyy vertailussa kuitenkin raakalantaakin pienemmälle alueelle. Nestefraktion käyttö lannoituksessa voisi olla sen korkean liuk-N/P:n vuoksi perusteltua.

7.2 Yhteenveto

Kasvava väestö ja ilmastonmuutos luovat paineita kestävämpään maataloustuotantoon. Ravinteiden käyttäytyminen maaperässä vaikuttaa satomääriin, mutta myös huuhtoutumisen ja ilmaan haihtumisen kautta rehevöitymiseen ja edelleen ekosysteemien muuttumiseen. Tieto tehokkaammasta ravinteiden kierrätyksestä on kallisarvoista kestävä kehityksen edesauttamista.

Mädätyksen tarjoama ratkaisu energiantuotannon ja mädätystuotteiden lannoituskäytön yhdistelmänä on siten tutkimuksen arvoinen.

Tässä työssä selvitettiin, kuinka mädätysprosessi vaikuttaa raakalannan lannoitusominaisuuksiin arvioimalla typen ja fosforin käyttökelpoisuuden muutoksia. Aiempien tutkimusten perusteella koottiin taulukot ravinnekoostumusten muutoksista. Esimerkkilaskelmassa vertailtiin mädättämättömän ja mädätetyn lypsylehmän lietelannan, kuivafraktion ja nestefraktion massoja, ravinnepitoisuuksia, levityspinta-aloja ja niiden perusteella saatuja ravinnepitoisuuksia maaperässä. Laskelma vahvisti aiempien tutkimusten esilletuomia huomioita mädätyksen hyödyistä. Pitkän aikavälin katsauksien avulla saataisiin toisaalta selville yksiselitteisempiä tuloksia ravinteiden käyttäytymiselle maaperässä. Mädätyksen valintaa lannan käsittelymenetelmäksi puoltavat kuitenkin työn tulosten perusteella mädätyksen aiheuttamat liuk-N/kok-N:n kasvu, TS-pitoisuuden lasku, liuk-N/P:n kasvu, separoitujen jakeiden helpompi käsittely, nestefraktion hyödyntäminen typpilannoitteena ja kuivafraktion mahdollinen myynti eteenpäin. Lisäksi uusiutuvan energian tuotantomuotona mädätys säästää rajallisia luonnonvarojamme vähentäen fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

LÄHTEET

1991/676/EY. Neuvoston direktiivi 12.12.1991 vesien suojelemisesta maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta. Virallinen lehti nro L 375, 31.12.1991.

A 13.10.2003/2003/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 2003/2003 lannoitteista. Muutos: A 24.11.2014/1257/EU. Komission asetus (EU) N:o 1257/2014 lannoitteista annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 2003/2003 muuttamisesta sen liitteiden I ja IV mukauttamiseksi.

A 4.3.2011/1069/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveystäätöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus).

Bernhard, Anne. 2010. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education knowledge. [viitattu 25.7.2015]. Saatavissa <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-nitrogen-cycle-processes-players-and-human-15644632>.

California Foundation for Agriculture in the Classroom. 2014. Plant Nutrients – Nitrogen. Natural Resources Fact Sheet. Western Plant Health Association. [viitattu 13.7.2015]. Saatavissa <http://www.cfaitc.org/factsheets/pdf/Nitrogen.pdf>.

Chen, Ye. Cheng, Jay J.. Creamer, Kurt S.. 2007. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* 99 (2008). ss. 4044–4064.

Ebeling, Angela M.. Cooperband, Leslie R.. Bundy, Larry G.. 2003. Phosphorus Availability to Wheat from Manures, Biosolids, and an Inorganic Fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* vol. 34. 9 & 10. ss. 1347–1365.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Lannoitevalmisteet. [Eviran www-sivuilla]. [päivitetty 7.3.2014]. [viitattu 3.6.2015]. Saatavissa <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/>.

Energiateollisuus. Happamoituminen. [Energiateollisuuden www-sivuilla]. [viitattu 29.7.2015]. Saatavissa <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/happamoituminen>.

Euroopan komissio. Ympäristö: Miten EU:n ympäristölainsäädäntö toimii. [Euroopan komission www-sivuilla]. [päivitetty 5.2.2015]. [viitattu 26.6.2015]. Saatavissa http://ec.europa.eu/environment/basics/benefits-law/eu-environment-law/index_fi.htm.

Euroopan yhteisöt. 2009. Suolaantuminen ja natriumin lisääntyminen. Tietolomake nro 4. Kestävä maatalous ja maaperän säilyttäminen, Maaperän huonontuminen. [viitattu 27.7.2015]. Saatavissa <http://agriflife.jrc.ec.europa.eu/documents/FIFactSheet-04.pdf>.

Frost, Peter. Gilkinson, Stephen. 2011. 27 months performance summary for anaerobic digestion of dairy cow slurry at AFBI Hillsborough. Interim Technical Report. AFBI Hillsborough. 13 s.

Garnett, Tara. Godfray, Charles. 2012. Sustainable Intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities. A report on a workshop. Food Climate Research Network FCRN and the Oxford Martin Programme on the Future of Food. United Kingdom: University of Oxford. 51 s.

Hagström, Markku. Vartiainen, Eero. Vanhanen, Juha. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Loppuraportti. Gaia Group Oy. 77 s.

Happonen, Päivi *et al.* 2012. BIOS 3: Ympäristöekologia. 1.–5.painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 184 s. ISBN 978-951-0-27631-0.

Helsingin yliopisto. 2004. Lannoitus. Kansatiede. [Helsingin yliopiston www-sivuilla]. [viitattu 3.6.2015]. Saatavissa <http://www.helsinki.fi/kansatiede/histmaatalous/peltoviljely/lannoitus.htm#lannan>.

Helsingin yliopisto. 2006. Kasvinviljely- ja kotieläintilojen välinen yhteistyö ja tuotannon kestävä kehittäminen (Keste). [Helsingin yliopiston www-sivuilla]. [viitattu 3.6.2015]. Saatavissa <http://www.helsinki.fi/maataloustieteet/tutkimus/agatek/proj/keste/keste.html>.

Huttunen, Markku. Kuittinen, Ville. 2014. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. Tiedot vuodelta 2013. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences. University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences. Joensuu: Grano Oy. 53 s. ISBN 978-952-61-1566-5 (printed), ISSN 1798-5684, ISSN L 1798-5684, ISBN 978-952-61-1567-2 (PDF), ISSN 1798-5692.

Ilmatieteen laitos. Kasvihuonekaasut. [Ilmatieteen laitoksen www-sivuilla]. [päivitetty 10.3.2014]. [viitattu 30.6.2015]. Saatavissa <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus>.

Ilmatieteen laitos. Ilmakehä-ABC. [Ilmatieteen laitoksen www-sivuilla]. [päivitetty 3.7.2015]. [viitattu 25.7.2015]. Saatavissa <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc>.

Junnola, Netta. Peltonen, Sari. 2013. Kasvien ravinteiden otto, sadon ravinteet ja sadon määrän arviointi. ProAgria. [luentokalvot].

Kahiluoto, Helena. Kuisma, Miia (toim.). 2010. Elintarvikeketjun jätteet ja sivuvirrat energiaksi ja lannoitteiksi. JaloJäte-tutkimushankkeen synteisiraportti. MTT Kasvu 12. MTT Jokioinen.

Tampereen Yliopistopaino Juvenes Print Oy. 118 s. ISBN 978-952-487-298-0 (painettu), ISBN 978-952-487-304-8 (verkkojulkaisu, 3. korjattu versio), ISSN 1798-1816 (painettu), ISSN 1798-1832 (verkkojulkaisu).

Kahiluoto, H. *et al.* 2015. Phosphorus in Manure and Sewage Sludge More Recyclable than in Soluble Inorganic Fertilizer. *Environmental Science & Technology* 49. American Chemical Society. ss. 2115-2122.

Kapuinen, Petri. Perälä, Paula. Regina, Kristiina. 2008a. Mädätyksen vaikutus naudon lietalannan lannoitusominaisuuksiin nurmella. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. 7 s.

Kapuinen, Petri. Perälä, Paula. Regina, Kristiina. 2008b. Mädätyksen vaikutus sian lietalannan lannoitusominaisuuksiin ohralla. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. 7 s.

Kukkonen, Sanna *et al.* 2004. Maan laadun arviointi tiloilla - kirjallisuuskatsaus. Maa- ja elintarviketalous 63. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 86 s. ISBN 951-729-926-5 (painettu), ISBN 951-729-927-3 (verkkojulkaisu), ISSN 1458-5073 (painettu), ISSN 1458-5081 (verkkojulkaisu).

L 1.2.2006/539. Lannoitevalmistelaki.

L 1.5.2012/646. Jätelaki.

Latvala, Markus. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT), Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. *Suomen ympäristö 24/2009*. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Oy. 114 s. ISBN 978-952-11-4397-5 (nidottu), ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF), ISSN 1238-7312 (painettu), ISSN 1796-1637 (verkkojulkaisu).

Luonnonvarakeskus. 2015. Nautojen lukumäärä 1.5.2015 (sisältää lukumäärät kunnittain ja karjakokoluokittain). [päivitetty 17.6.2015]. [viitattu 15.9.2015]. Saatavissa http://stat.luke.fi/nautojen-lukum%C3%A4%C3%A4r%C3%A4-152015-sis%C3%A4lt%C3%A4-lukum%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t-kunnittain-ja-karjakokoluokittain_fi.

Luostarinen, Sari *et al.* 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman loppuraportti. MTT Raportti 21. Jokioinen: MTT. 164 s. ISBN 978-952-487-322-2 (verkojulkaisu), ISBN 978-952-487-321-5 (painettu julkaisu), ISSN 1798-6419.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Lannoitevalmisteet. [Maa- ja metsätalousministeriön [www-sivuilla](http://www.sivuilla.fi)]. [päivitetty 5.3.2014]. [viitattu 25.6.2015]. Saatavissa <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/maatalous/maataloustuotanto/siemenettaimaineistotlannoitevalmisteetjakasvinsojelu/lannoitevalmisteet.html>.

Maaseutuvirasto. 2014. Maataloustuet uudistuvat vuonna 2015 – mikä muuttuu? [verkojulkaisu]. Seinäjoki. [viitattu 2.7.2015]. Saatavissa http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/vipu/Documents/Maataloustuet-muuttuvat-2015_web.pdf.

Maaseutuvirasto. Oppaat ja lomakkeet. [Maaseutuviraston [www-sivuilla](http://www.sivuilla.fi)]. [viitattu 29.7.2015]. Saatavissa <http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/Sivut/default.aspx>.

Marttinen, Sanna *et al.* 2013. Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina. MTT raportti 82. MTT Jokioinen. 70 s. ISBN 978-952-487-431-1 (painettu), ISBN 978-952-487-432-8 (verkojulkaisu), ISSN 1798-6419.

Massé, D.I., Croteau, F., Masse, L. 2007. The fate of crop nutrients during digestion of swine manure in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors. *Bioresource Technology* 98. ss. 2819–2823.

Maunuksela, Liisa. Herranen, Mirkka. Torniainen, Merja. 2012. Quality Assessment of Biogas Plant End Products by Plant Bioassays. *International Journal of Environmental Science and Development*, Volume 3, No. 3. ss. 305–310.

Metla. MetINFO – Metsien terveys. [Luonnonvarakeskuksen www-sivuilla]. [päivitetty 16.10.2013]. [viitattu 1.7.2013]. Saatavissa www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-typpi.htm.

Mikkola, Hannu *et al.* 2002. Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. Suomen ympäristö 564. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Ab. 166 s. ISBN 952-11-1178-X (nid.), ISBN 952-11-1179-8 (PDF), ISSN 1238-7312.

MMMä 30.4.2007/503. Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista.

MMMä 13.9.2011/24. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Muutos: MMMä 15.4.2013/7. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta.

Mokry, M. *et al.* 2008. Fertilization of arable crops with digestates of agricultural biogas plants. Center for Agricultural Technology Augustenberg, LTZ.

Møller, H.. Sommer, S.. Ahring, B.. 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology* 85. ss. 189–196.

Möller, Kurt. Müller, Torsten. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, Volume 12, Issue 3. ss. 242–257.

Niemi, Jyrki. Ahlstedt, Jaana (toim.). 2015. Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2015. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2015. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 99 s. ISBN 978-952-326-026-9 (verkkójulkaisu), ISBN 978-952-326-027-6 (painettu), ISSN 2342-7647 (verkkójulkaisu), ISSN 2342-7639 (painettu).

Paavola, Teija. 2010. Ajankohtaista mädätteiden käytöstä: Orgaanisen jätteen hyödyntämisen vaihtoehdot materiaana ja energiana, Biolaitosyhdistyksen seminaari. [luentokalvot]. MTT Jokioinen.

Penn State College of Agricultural Sciences. 2002. Managing Phosphorus for Crop Production. Agronomy Facts 13. The Pennsylvania State University. [Penn State:n www-sivuilla]. [viitattu 27.7.2015]. Saatavissa <http://extension.psu.edu/plants/nutrient-management/educational/soil-fertility/managing-phosphorus-for-crop-production>.

Pognani, Michele *et al.* 2009. Substituting energy crops with organic fraction of municipal solid waste for biogas production at farm level: A full-scale plant study. *Process Biochemistry* 44. ss. 817–821.

Porter, J.R. *et al.* 2014. Food Security and Food Production Systems. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. New York, NY, USA. ss. 485–533.

ProAgria. 2014. Viherlannoituksen ympäristövaikutukset. [viitattu 13.7.2015]. Saatavissa http://proagria.fi/sites/default/files/attachment/viherlannoitus_ymparistovaikutukset_vihkotulostus_rtf.pdf.

Rajala, Jukka (toim.). 2006. Luonnonmukainen maatalous. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus. Julkaisuja 80. Mikkeli. ISSN 0786-8367. [päivitetty 9.11.2010]. [viitattu 29.6.2015]. Saatavissa <http://luomu.fi/tietoverkko/luonnonmukainen-maatalous-oppikirjanetissa/>.

Rasi, Saija *et al.* 2012. From Waste to Traffic Fuel –projects. Final report. Finnish case regions. MTT Report 50. 73 s. ISBN 978-952-487-375-8 (printed), ISBN 978-952-487-376-5 (electronic version), ISSN 1798-6419.

Reed, Sasha C. *et al.* 2007. Phosphorus fertilization stimulates nitrogen fixation and increases inorganic nitrogen concentrations in a restored prairie. Short communication. *Applied Soil Ecology* 36. ss. 238–242.

Regina, Kristiina. Kapuinen, Petri. Perälä, Paula. 2007. Biokaasuteknologia maataloudessa – energiantuotanto, prosessiteknologia, hygienia- ja ympäristövaikutukset. Osahanke: Mädätysjäänteen käyttö lannoitteena ja siitä aiheutuvat kaasupäästöt. Loppuraportti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus: Kasvuntuotannon tutkimus. Jokioinen. 33 s.

Seppänen *et al.* 2006. MAOL taulukot. MAOL ry. ja Kustannusosakeyhtiö Otava. Helsinki. 167 s. ISBN-13 978-951-1-20607-1, ISBN-10 951-1-20607-9.

Schäfer, Winfried. Lehto, Marja. Teye, Frederick. 2006. Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm – a feasibility study. *Agrifood Research Reports*, No 77. MTT Agrifood Research Finland. Nordic Association of Agricultural Scientists. 98 s. ISBN 952-487-006-1 (tulostettu), ISBN 952-487-007-X (sähköinen), ISSN 1458-5073 (tulostettu), ISSN 1458-5081 (sähköinen).

Sharpley, Andrew. Moyer, Barton. 2000. Phosphorus Forms in Manure and Compost and Their Release during Simulated Rainfall. *Journal of Environmental Quality* Volume 29. ss. 1462–1469.

Suomalainen, Marcella. 2007. Naudan lietalannan käsittelymenetelmien taloudellinen vertailu. [diplomityö]. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. 152 s.

Taavitsainen, Toni. Kapuinen, Petri. Survo, Kyösti. 2002. MaLLa-hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu. 139 s.

Tuomisto, Hanna. 2005. Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset. Helsinki. 41 s.

Uusi-Kämpä, Jaana *et al.* 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimaillo – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. MTT Raportti 74. Happamien sulfaattimaiden ympäristöriskien vähentäminen – sopeutumiskeinoja ilmastonmuutokseen (CATERMASS)-hanke. MTT Jokioinen. 24 s. ISBN 978-952-487-421-2 (painettu), ISBN 978-952-487-422-9 (verkkojulkaisu), ISSN 1798-6419.

Uusitalo, Risto. Salo, Riitta (toim.). 2002. Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta –juhlaseminaari, Jokioinen, 24.9.2002. MTT Jokioinen. 61 s. ISBN 951-729-694-0 (painettu), ISBN 951-729-695-9 (verkkojulkaisu), ISSN 1458-5073 (painettu), ISSN 1458-5081 (verkkojulkaisu).

Vaneckhaute C. *et al.* 2013. Closing the nutrient cycle by using bio-digestion waste derivatives as synthetic fertilizer substitutes: A field experiment. *Biomass and Bioenergy* 55. ss. 175–189.

Viljavuuspalvelu. 2008. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. [opas]. Mikkeli.

Viljavuuspalvelu. Lantatilastot vuosilta 2000–2004 ja 2005–2009.

VNa 1.4.2015/1250. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta.

Wang, Liang *et al.* 2010. Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella* sp. *Bioresource Technology* 101. ss. 2623–2628.

Ylivainio, Kari. Esala, Martti. Turtola, Eila. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. *Maa- ja elintarviketalous* 12. MTT: Jokioinen. 74 s. ISBN 951-729-692-4 (painettu), ISBN 951-729-693-2 (verkkojulkaisu), ISSN 1458-5073 (painettu), ISSN 1458-5081 (verkkojulkaisu).

Ympäristöministeriö. 2014. Ympäristöministeriöltä rahaa lantahankkeille – ravinteet kiertoon, ei Itämereen. [Ympäristöhallinnon [www-sivuilla](http://www.ymparisto.fi)]. [viitattu 27.7.2015]. Saatavissa [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Ymparistoministeriolta_rahaa_lantahankke\(28710\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Ymparistoministeriolta_rahaa_lantahankke(28710)).

Ørtenblad, Henrik. The use of digested slurry within agriculture. Herning Municipal Utilities, Denmark.

Taulukko 1. Typen enimmäiskäyttömäärät nitraattiasetuksen ja ympäristötuen ehtojen mukaan erälle viljakasveille maalajityypeittäin. Kok-N = kokonaistyyppi ja liuk-N = liukoinen tyyppi. (MMM 30.4.2007/503; VN 1.4.2015/1250.)

Säädös	VN 1.4.2015/1250, § 11 (nitraattiasetus)		MMM 30.4.2007/503, Liite 1 (ympäristötukiehdot)					
	170		170					
kok-N [kg/ha/a]	liuk-N [kg/ha/a]		liuk-N [kg/ha/a]					
Maalajityyppi	Kivennäis- maat	Eloperäi- set maat	Etelä- ja Keski-Suomi			Pohjois-Suomi		
			Savi- ja hiesumaat	Karkeat ki- vennäismaat	Eloperäiset maat	Savi- ja hiesumaat	Karkeat ki- vennäismaat	Eloperäiset maat
Viljakasvi								
ohra, kaura, seosviljat	160	120	100	90	60	90	80	60
kevätehnä	170	130	120	110	70	100	90	70
syysruis	30 ¹ /150 ²	30/120	30/100	30/90	20/40	30/60	30/60	20/40
kevätruus	160	120	90	80	50	-	-	-
syys-, ruus-, spelttivehnä	30 ¹ /170 ²	30/140	30/120	30/110	20/50	30/100	30/90	20/50
muut viljat ja peltokasvit	160	120	90	80	50	80	70	50
nurmi	250	210	200 ³ /240 ⁴	200/230	160/190	200/230	200/230	160/190
laidun	210	170	200	200	170	170	170	150
syysrypsi ja –rapsi	200	160	30 ¹ /110 ²	30/100	20/60	30/100	30/90	20/60
kevätrypsi ja –rapsi	170	130	110	100	60	100	90	60
pellava, maissi, muut öljykasvit	150	110	90	80	50	70	70	50
palkokasvit	60	40	45	45	30	45	45	30
sokerijuurikas	170	130	140	140	120			
peruna	100 ⁵ /130 ⁶ /120 ⁷	80/90/80	60-80 ⁸ /105-120 ⁹ /85-100 ⁹	60-80/105-120 /85-100	60-80/70-80 /60-70	60-80/105-120 /85-100	60-80/105-120 /85-100	60-80/70-80 /60-70

¹ syksy, ² kevät, ³ 2 satoa/a, ⁴ yli 2 satoa/a, ⁵ varhaisperuna, ⁶ tärkkelysperuna, ⁷ muut perunat, ⁸ varhaisperunalla keräilykasvin kanssa raja korkeammalla, ⁹ raja mää-
räytyy satotason mukaan 35 t:sta 40 t:in/ha

Taulukko 2. Fosforin eli P:n enimmäiskäyttömäärät ympäristötuen ehtojen mukaan eräille viljakasveille viljavuusluokittain.

Viljavuusluokka	MMMa 30.4.2007/503, Liite 1 (ympäristötukiehdot)						
	P [kg/ha/a]						
	Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea	Arveluttavan korkea
Viljakasvi							
Ruis, vehnä, öljykasvit, palkokasvit	32	24	20	12	8	-	-
Ohra	34	26	22	14	10	-	-
Kaura	28	20	16	8	4	-	-
Seosvilja	31	23	19	11	7	-	-
Kokoviljasäilörehu	40	32	24	16	12	-	-
Nurmi (monivuotinen)	40	32	24	16	8	-	-
Laidun	32	24	16	8	-	-	-
Peruna	70	70	70	55	35	20	-
Sokerijuurikas	63	63	60	43	26	14	-
Kuitupellava	32	24	20	12	8	-	-

Taulukko 1. Mädätyksen vaikutus lannan kuiva-aine eli TS-pitoisuuteen, kokonaistyypeen eli kok-N:ään sekä liukaisen ja kokonaistyyphen suhteeseen eli liuk-N/kok-N:ään. Värit luvuissa vastaavat kasvanutta (vihreä) tai laskeutunutta (ruskea) arvoa verrattuna mädättämättömään.

Materiaali	TS [%]	kok-N ¹ [kg/t]	liuk-N/kok-N [%]	Lähde
NAUTA				
raaka lietelanta	6,9	3,3	53,5	Frost ja Gilkinson 2011
mädätetty ^{2,3}	5,5	3,4	62,5	
raaka lietelanta	9,9	4,1	31,7	Mokry <i>et al.</i> 2008
mädätetty ²	7,1	4,5	42,2	
raaka lietelanta	9,7	3,3	53,9	Wang <i>et al.</i> 2010
mädätetty ²	6,6	3,5	64,6	
raaka seos ⁴	12,7	4,1	19,6	Pognani <i>et al.</i> 2009
mädätetty seos ^{2,4,5,6}	7,2	4,2	42,2	
⁷	3,5	3,7	67,5	
raaka kuivikelanta ⁸	19,3	4,5	14,9	Schäfer <i>et al.</i> 2006
mädätetty seos ^{8,9,10,11}	29,5	4,3	15,8	
raaka kuivikelanta ^{11,12}	17,4	3,5	12,9	
mädätetty seos ^{9,10,11,12}	26,7	3,7	11,9	
SIKA				
raaka lietelanta	10,0	6,7	57,9	Massé <i>et al.</i> 2007
mädätetty ^{2,13}	2,8	6,7	80,3	
raaka lietelanta	7,6	4,1	41,5	Mokry <i>et al.</i> 2008
mädätetty ²	4,9	4,5	60,0	
raaka lietelanta	10,0	8,1	69,1	Vaneckhaute <i>et al.</i> 2013
mädätetty seos ^{2,14,15}	6,2	4,7	66,0	
¹⁶	2,5	3,6	77,8	
raaka seos ¹⁷	-	6,2	50,0	Martinen <i>et al.</i> 2013
mädätetty seos ¹⁷	8,9	7,6	76,3	
¹¹	32,0	9,0	44,4	
¹⁶	3,7	7,1	81,7	
MUUT				
sian lietelanta	3,8	4,8	75,0	Ørtenblad
naudan lietelanta	7,0	4,3	60,5	
mädätetty seos ²	4,9	4,6	71,7	
¹ kg/tonnia tuoreainetta, ² märkäprosessi, ³ mesofiilinen prosessi, ⁴ sisältää lietelantaa 33,5 %, maatalousjätettä 44,8 % ja energiakasvia 1,9 %, ⁵ termofiilinen prosessi, ⁶ reaktorista tullut seos 40 vuorokauden viipymääjan (HRT) jälkeen, ⁷ jälkimädätyksestä tullut seos 50 vuorokauden viipymääjan (HRT) jälkeen, ⁸ keväällä, ⁹ mädätysseoksessa kuivikelantaa ja maatilaa ja sen ulkopuolista orgaanista jätettä, ¹⁰ kuivaprosessi, ¹¹ kuivafraktio, ¹² syksyllä, ¹³ psykoofiilinen prosessi 17 °C:ssa, ¹⁴ lietelantaa 30 %, energiamaissia 30 % ja elintarviketeollisuuden biojätettä 40 %, ¹⁵ kuiva- ja nestefraktio yhdessä, ¹⁶ nestefraktio, ¹⁷ sisältää sian lietelantaa 50 % ja elintarviketeollisuuden sivutuotteita 50 %				

Taulukko 2. Mädätyksen vaikutus lannan kuiva-aine- eli TS-pitoisuuteen ja fosforiin eli P:hen (kg/t tuoreainetta).
Vihreä väri tarkoittaa kasvanutta ja ruskea laskenutta arvoa verrattuna mädättämättömään.

Materiaali	TS [%]	P [kg/t]	Lähde
NAUTA			
raaka lietalanta	9,7	0,3 ¹	Wang <i>et al.</i> 2010
mädätetty ²	6,6	0,2 ¹	
raaka seos ³	12,7	0,7 ⁴	Pognani <i>et al.</i> 2009
mädätetty seos ^{2, 3, 5, 6}	7,2	2,4 ⁴	
⁷	3,5	2,5 ⁴	
raaka kuivikelanta ⁸	19,3	1,1	Schäfer <i>et al.</i> 2006
mädätetty seos ^{8, 9, 10, 11}	29,5	0,8	
raaka kuivikelanta ¹²	17,4	0,7	
mädätetty seos ^{9, 10, 11, 12}	26,7	0,7	
SIKA			
raaka lietalanta	10,0	1,7	Massé <i>et al.</i> 2007
mädätetty ^{2, 13}	2,9	1,3	
raaka lietalanta	10,0	2,4	Vaneckhaute <i>et al.</i> 2013
mädätetty seos ^{2, 14, 15}	6,2	0,9	
¹⁶	2,5	0,3	
raaka seos ¹⁷	-	1,4	Marttinen <i>et al.</i> 2013
mädätetty seos ¹⁷	8,9	1,3	
¹¹	32,0	7,0	
¹⁶	3,7	0,4	
MUUT			
sian lietalanta	3,8	1,1	Ørtenblad
naudan lietalanta	7,0	0,8	
mädätetty seos ²	4,9	1,0	
¹ PO ₄ , ² märkäprosessi, ³ sisältää lietalantaa 33,5 %, maatalousjätettä 44,8 % ja energiakasvia 1,9 %, ⁴ P ₂ O ₅ , ⁵ termofiilinen prosessi, ⁶ reaktorista tullut seos 40 vuorokauden viipymääjan (HRT) jälkeen, ⁷ jälkimädätyksestä tullut seos 50 vuorokauden viipymääjan (HRT) jälkeen, ⁸ keväällä, ⁹ kuiva-prosessi, ¹⁰ mädätysseoksessa kuivikelantaa ja maatalan ja sen ulkopuolista orgaanista jätettä, ¹¹ kuivafraktio, ¹² syksyllä, ¹³ psykofiilinen prosessi 17 °C:ssa, ¹⁴ lietalantaa 30 %, energiamaissia 30 % ja elintarviketeollisuuden biojätettä 40 %, ¹⁵ kuiva- ja nestefraktio yhdessä, ¹⁶ nestefraktio, ¹⁷ sisältää sian lietalantaa 50 % ja elintarviketeollisuuden sivutuotteita 50 %			

Taulukko 1. Esimerkkilaskelmassa käytetyt arvot ravinnepitoisuuksille (kg/t tuoreainetta) ja saadut enimmäislevitysmäärät eri jakeille. Sininen fontti merkitsee laskussa käytettyä enimmäislevitysmäärää, joka tulee ensin vastaan lannoitettaessa kyseistä arvoa vastaavalla jakeella Kok-N = kokonaistyyppi, liuk-N = liukoinen tyyppi, P = fosfori ja c = ravinnepitoisuus jakeessa.

Enimmäiskäyttömäärät lannoituksessa ¹	$m_{A,max,kok-N}$ [kg/ha/a]	$m_{A,max,liuk-N}$ [kg/ha/a]	$m_{A,max,P}$ [kg/ha/a]	Jakeiden enimmäislevitysmäärä $m_{A,max,jae}$ rajojen mukaan [t/ha/a]			Lähde
	170	90	14				
Jae	c_{kok-N} [kg/t]	c_{liuk-N} [kg/t]	c_P [kg/t]	kok-N	liuk-N	P	
naudan raaka lietelanta	3,305	1,782	0,2660	51,44	50,51	52,63	²
mädätysjäännös	3,456	2,232	0,2497	49,19	40,32	56,07	²
kuivafraktio	0,8187	2,232 ³	0,1307	207,6	40,32	107,1	⁴
nestefraktio	2,637	2,232 ³	0,1190	64,46	40,32	117,7	⁴

¹ MMMa 30.4.2007/503: tyydyttävä viljavuusluokka ja karkea kivennäismaa ohralle Etelä- ja Keski-Suomessa, ² Wang *et al.* 2010, 2624, ³ oletetaan, että liuk-N:ää on fraktioissa yhtä paljon kuin mädätysjäännöksessä, ⁴ Møller *et al.* 2002, 195: erotustehokkuudet kok-N:lle 23,69 % ja P:lle 52,35 %

Taulukko 2. Mädätysjäännöksen massan laskenta. m = massa, TS = kuiva-aine, VS = orgaaninen aines, V = tilavuus, bk = biokaasu, CH₄ = metaani, CO₂ = hiilidioksidi, mj = mädätysjäännös ja m³n = kuutiometriä NTP-oloissa.

Syötteen alkuperä	$m_{syöte}$ [t/a]	TS ¹ [t/a]	VS ¹ [t/a]	V_{bk} ¹ [m ³ n/a]	V_{CH_4} ² [m ³ n/a]	V_{CO_2} ² [m ³ n/a]	m_{CH_4} ³ [t/a]	m_{CO_2} ³ [t/a]	m_{bk} [t/a]	m_{mj} [t/a]
33 lypsylehmän tila ⁴	825,0 ⁵	49,50	39,60	14 850	8 910	5 940	6,415	11,70	18,12	806,9
10 000 t/a mädätyslaitos	10 000	600,0	480,0	180 000	108 000	72 000	77,76	141,8	219,6	9 780

¹ Kahiluoto ja Kuisma (toim.) 2010, 100: TS = 6 %, VS/TS = 80 % ja biokaasua muodostuu 375 m³n/t VS ² biokaasun oletettu koostumus: 60 % CH₄:a ja 40 % CO₂:a, ³ $\rho(CH_4) = 0,72$ kg/m³n ja $\rho(CO_2) = 1,97$ kg/m³n (Seppänen *et al.* 2006, 78), ⁴ Luonnonvarakeskus 2015, ⁵ yhden lypsylehmän tuottama lietelannan määrä 25 t/a (Rasi *et al.* 2012, 12)

Taulukko 3. Kuiva- ja nestefraktioiden massojen laskenta; mj = mädätysjäännös, TS = kuiva-aine, kf = kuivafraktio ja nf = nestefraktio.

Syötteen alkuperä	m_{mj} [t/a]	TS ¹ [t/a]	Kuivafraktiosta kuiva-aineeseen ² [t/a]	m_{kf} ³ [t/a]	m_{nf} [t/a]
33 lypsylehmän tila ⁴	806,9	30,18	16,14	79,96	726,9
10 000 t/a mädätyslaitos	9 780	365,8	195,7	969,3	8 811

¹ TS = 3,740 % (Møller *et al.* 2002, 192), ² kuiva-aineen separointitehokkuus 53,50 % (Møller *et al.* 2002, 195), ³ TS = 20,19 % (Møller *et al.* 2002, 193), ⁴ Luonnonvarakeskus 2015