Pro gradu -tutkielma

Lannoitevalmisteiden tuottaminen biojätteistä, puhdistamolietteistä, rejektivesistä sekä lentotuhkista – esimerkkinä Jyväskylän seutu

Johanna Kehus

Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

3.6.2012

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

Kehus Johanna: Lannoitevalmisteiden tuottaminen biojätteistä, puhdistamolietteistä, rejektivesistä sekä lentotuhkista – esimerkkinä Jyväskylän seutu
Pro gradu -tutkielma: 55 s., 5 liitettä (5 s.)
Työn ohjaajat: Professori Jukka Rintala
Tarkastajat: Professori Jukka Rintala, dosentti Riitta Kettunen
Kesäkuu 2012

Hakusanat: lannoitevalmiste, puhdistamoliete, biojäte, lanta, rejektivesi, lentotuhka

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Jyväskylän seudulla muodostuvista jätevedenpuhdistamoiden lietteistä ja rejektivesistä sekä biojätteistä, lannoista ja lentotuhkista tuotettavissa olevia lannoitevalmisteita. Tiedot raaka-aineiden määristä ja ominaisuuksista koottiin pääosin alueellisesta jätteenkäsittely-yhtiöstä, jätevedenkäsittely-yhtiöstä sekä energiayhtiöstä. Osa raaka-aineiden ominaisuuksista arvioitiin kirjallisuusarvojen perusteella tai määritettiin laskennallisesti. Jätevedenpuhdistamoiden lietteiden sekä biojätteiden ja lantojen tuotteistamismenetelmiksi valittiin anaerobinen hajotus sekä kompostointi ja terminen kuivaus. Rejektivesien ammoniumtypen talteenotossa vertailtiin strippausta sekä struviittisaostusta, ja lentotuhkien käsittelymenetelmäksi valittiin rakeistus. Lannoitevalmisteisiin liittyvän lainsäädännön rajoissa lannoitevalmisteille tarkasteltiin vaihtoehtoisia käyttökohteita.

Anaerobisen hajotuksen hygieeninen käsittelyjäännös voidaan tuotteistaa sekä maanparannuskompostiksi että -rakeeksi. Maanparannuskompostia muodostuu 9424 t/a ja se riittää 6055 ha/a. Vaihtoehtoisesti maanparannusraetta muodostuu 6701 t/a ja se riittää 6727 ha/a. Maanparannuskompostia ja -raetta voidaan hyödyntää pelto- ja puutarhakäytössä sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa. Maanparannuskompostia voidaan käyttää myös mullan valmistuksessa. Sekä maanparannuskompostille että -rakeelle on riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella, sillä pelloista 39400 ha/a soveltuu lannoituskäyttöön. Eloperäisistä raaka-aineista talteen saatavan energian määrä kaksinkertaistuu, jos ne kaikki hajotetaan tulevaisuudessa anaerobisesti.

Keljonlahden voimalaitoksen lentotuhkasta muodostuu 46358 t/a tuhkaraetta ja se riittää 455880 ha/60 a. Tuhkarae soveltuu metsälannoitteeksi runsastyppisille suometsille. Keski-Suomen alueella on ihanteellisia tuhkalannoituskohteita 265434 ha eli ei riittävästi kaikelle tuotettavissa olevalle tuhkarakeelle. Tuhka voidaan tuotteistaa myös tuhka-mädäterakeeksi, jolloin rakeeseen saadaan typpeä mädätteestä. Tämänhetkisen lainsäädännön mukaisesti tuhka-mädäterae soveltuu vain viherrakentamis- tai maisemointikäyttöön. Rejektivesien strippauskäsittelystä saadaan talteen 1281 t/a ammoniumnitraattia tai struviittisaostuksesta 2197 t/a struviittia. Epäorgaanisille typpilannoitteille on riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella. Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu käsittelyvaihtoehtojen taloudellisuutta tai ympäristövaikutuksia.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty in Science
Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

Kehus Johanna: Production of fertilizers from biowaste, sewage sludge, reject water and fly ash – case Jyväskylä
Master of Science Thesis: 55 p., 5 appendices (5 p.)
Supervisors: Professor Jukka Rintala
Inspectors: Professor Jukka Rintala, docent Riitta Kettunen
June 2012

Key words: fertilizer, sewage sludge, biowaste, manure, reject water, fly ash

ABSTRACT

The aim of this study was to explore possible fertilizers made of sewage sludge, reject water, biowaste, manure and fly ash produced in the area of Jyväskylä. The data concerning the amounts and properties of raw materials was collected from the local waste treatment plant, waste water treatment plant and power plant. Some of the missing data was estimated with literature or calculated. Anaerobic digestion, composting and thermal drying were chosen as treatment methods for sewage sludge, biowaste and manure. The treatment methods for reject water were ammonia stripping and the struvite crystallisation (MAP-process). Granulation was chosen to be the treatment method for fly ashes. The legislation concerning fertilizers restricts the use of fertilizers.

It is possible to produce soil enrichment compost or granules from the digestate. The amount of compost is 9424 t/a (6055 ha/a) and the amount of granules is 6701 t/a (6727 ha/a). Compost and granules can be utilised in agriculture or landscaping. Compost can also be used to produce mull. There are enough objects for the use of compost or granules in the area of Central Finland because there are 39400 ha/a suitable fields in Central Finland. The amount of energy harvested from organic raw materials will be doubled in the future.

The amount of Keljonlahti fly ash granules is 46358 t/a (455880 ha/60 a). These ash granules are suitable fertilizers for peatland forests with high nitrogen content. There are only 265434 ha peatland forests in the area of Central Finland and it isn't enough. It is also possible to produce fly ash/digestate-granules from fly ash and digestate. Fly ash/digestate-granules contain also some amount of nitrogen because of digestate. Limits of legislation the fly ash/digestate-granules can only be used in landscaping. The nitrogen of reject water is possible to recover with stripping or struvite crystallisation in inorganic form. 1281 t/a ammoniumnitrate or 2197 t/a struvite is produced. There are enough objects for the use of inorganic nitrogen fertilizers in the area of Central Finland. Economy and environmental aspects were not examined.

ESIPUHE

Tämä tutkimus liittyy *Jyväskylän kestävät materiaalikierrot* -hankkeeseen, jossa tutkittiin mahdollisuuksia tuottaa erilaisia lannoitevalmisteita Jyväskylän seudulla muodostuvista biojätteistä, lannasta, puhdistamolietteistä, rejektivesistä sekä lentotuhkista. Taustalla oli ajatus jalostaa raaka-aineet edelleen tuotteiksi ja kehittää käyttökohteita, jotta materiaalit saadaan korvaamaan uusiutumattomia luonnonvaroja ja siten edistetään kestävää kehitystä. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen, Jyväskylän Energia Oy:n, Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n ja Mustankorkea Oy:n kanssa. Hankkeen rahoittajia olivat Keski-Suomen liitto, Jyväskylän Energia Oy, Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy sekä Mustankorkea Oy.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO 1

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA 3
2.1 Biojätteiden ja lietteiden biologiset käsittelymenetelmät 3
2.1.1 Biokaasuteknologia 3
2.1.2 Kompostointi 4
2.2 Anaerobisesti käsitellyn materiaalin fysikaaliset käsittelymenetelmät 6
2.2.1 Terminen kuivaus ja rakeistus 7
2.2.2 Ammoniumtypen poisto rejektivesistä 7
2.3 Puun ja turpeen polton tuhkien tuotteistaminen 8
2.3.1 Tuhkien stabilointi 8
2.3.2 Tuhka-lieterakeen tuotto 9
2.4 Lannoitevalmisteita koskeva lainsäädäntö 10
2.4.1 EU-lainsäädäntö 10
2.4.2 Kansallinen lainsäädäntö 11

3 AINEISTO JA MENETELMÄT 14
3.1 Kohdealue ja -materiaalit 14
3.3 Aineistolähteet sekä laskentamenetelmät ja -oletukset 15

4 TULOKSET 18
4.1 Raaka-aineiden määrät ja ominaisuudet 18
4.1.1 Biojäte ja lanta 18
4.1.2 Jätevesi, puhdistamoliete sekä sako- ja pullokaivolietteet 21
4.1.3 Rejektivedet 25
4.1.4 Lentotuhka 25
4.1.5 Pohjoinen Keski-Suomi ja sen lähikunnat 26
4.2 Raaka-aineiden tuotteistaminen tulevaisuudessa 28
4.2.1 Mädätys 28
4.5.2 Mädätteen tuotteistaminen 31
4.5.3 Lentotuhkan tuotteistaminen 34
4.5.4 Linkojen rejektiveden käsittely 38
4.3 Käyttökohteet 40

4 TULOSTEN TARKASTELU 42
4.1 Mädätys 42
4.2 Mädätteen tuotteistaminen 42
4.3 Lentotuhkan tuotteistaminen 45
4.4 Linkojen rejektiveden käsittely 47
4.5 Käyttökohteet 48

5 JOHTOPÄÄTÖKSET 48

KIITOKSET 50

KIRJALLISUUS 50

LIITTEET 56

LYHENNELUETTELO

Al	alumiini
As	arseeni
Ba	barium
Ca	kalsium
$CaCO_3$	kalsiumkarbonaatti
CaO	kalsiumoksidi
$Ca(OH)_2$	kalsiumhydroksidi
Cd	kadmium
$CH_3CO_2^-$	asetaatti
CH_4	metaani
CHP	Combined Heat and Power = yhdistetty lämmön ja sähkön tuotto
Co	koboltti
CO_2	hiilidioksidi
Cr	kromi
Cu	kupari
Fe	rauta
H_2	vetykaasu
H_2O	vesi
Hg	elohopea
K	kalium
K_{tot}	kokonaiskalium
Mg	magnesium
$MgNH_4PO_4$	magnesiumammoniumfosfaatti eli struviitti
Mn	mangaani
Mo	molybdeeni
N	typpi
N_2	typpikaasu
Na	natrium
N_{tot}	kokonaistyppi
NH_3	ammoniakki
NH_4^+	ammoniumioni
NH_4-N	ammoniumtyppi
NH_4-N_{liuk}	liukoinen ammoniumtyppi
Ni	nikkeli
OH^-	hydroksidi-ioni
P	fosfori
Pb	lyijy
P_{tot}	kokonaisfosfori
S	rikki
Sb	antimoni
Se	seleeni
Si	pii
SS	Suspended Solids = kiintoaine
Ti	titaani
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen = Kjeldahl-typpi
TS	Total Solids = kuiva-aine
V	vanadiini
VS	Volatile Solids = orgaaninen kuiva-aine, hehkutushäviö
WW	Wet Weight = märkäpaino
Zn	sinkki

1 JOHDANTO

Maataloudessa, teollisuudessa sekä yhdyskuntien toiminnoissa muodostuu käsittelyä vaativia eloperäisiä jätteitä ja sivutuotteita, kuten puhdistamolietteitä ja biojätteitä. Niiden käsittelyn ja hyödyntämisen kehittäminen on tarpeen niiden sisältämien ravinteiden ja energian hyödyntämiseksi sekä ympäristöhaittojen vähentämiseksi. Eloperäisten materiaalien hiili voidaan käyttää energiantuotannossa sekä orgaanisena aineksena maaperään lisättynä. Ravinteet, kuten typpi, fosfori ja kalium, voidaan hyödyntää kasvintuotannossa. Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen ja tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ohjaavat eloperäisten materiaalien käsittelyä kohti uusiutuvan energian tuotantoa sekä ravinteiden kierrättämistä (Maa- ja metsätalousministeriön työryhmä 2008).

Eloperäisten jätteiden ja sivutuotteiden hyödyntäminen on toteutettava niin, ettei se aiheuta haittaa ihmisten terveydelle tai ympäristölle. EU:n- ja kansallisen tason lainsäädäntö säätävät eloperäisten jätteiden ja sivutuotteiden käyttöä. Erityisesti eloperäisten materiaalien sisältämät taudinaiheuttajat, haitalliset aineet, kuten raskasmetallit, sekä epäpuhtaudet, kuten roskat tai rikkakasvinsiemenet, rajoittavat niiden hyödyntämistä. Ravinteista yleensä fosfori säätelee lannoitevalmisteiden käyttöä (Mavi 2009, MMMa 24/11).

Myös kiinnostus epäorgaanisten jätejakeiden ja sivutuotteiden hyötykäyttöä kohtaan on lisääntynyt viime vuosina, kun niiden kaatopaikkasijoitusta on pyritty vähentämään. Niissä on myös ravinteita, joita voidaan kierrättää. Esimerkiksi puun, turpeen ja peltobiomassan poltossa muodostuvia lento- ja pohjatuhkia voidaan osittain hyödyntää metsälannoitteena. Myös niiden käyttöä säätelevät EU- ja kansallisen tason lainsäädäntö. Tuhkien lannoitekäyttöä rajoittavat pääasiassa niiden sisältämät raskasmetallit (Maa- ja metsätalousministeriön työryhmä 2008).

Tämän tutkimuksen tavoite oli arvioida ja kehittää käyttökohteita Jyväskylän seudulla muodostuville jätevedenpuhdistamoiden lietteille ja rejektivesille sekä biojätteille, lannoille ja lentotuhkille. Aluksi jokaisen raaka-aineen määrät ja ominaisuudet selvitettiin. Tämän jälkeen arvioitiin raaka-aineiden tuotteistamisen käsittelyteknologioita sekä raaka-aineiden käsittelyyn ja hyötykäyttöön liittyvää lainsäädäntöä. Näiden reunaehtojen rajoissa

raaka-aineille suunniteltiin erilaisia käsittelyvaihtoehtoja. Lopuksi arvioitiin tuotettavien lopputuotteiden määrät ja ominaisuudet sekä niiden mahdolliset pelto- ja metsäkäyttökohteet ja käyttökohteiden riittävyys.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA

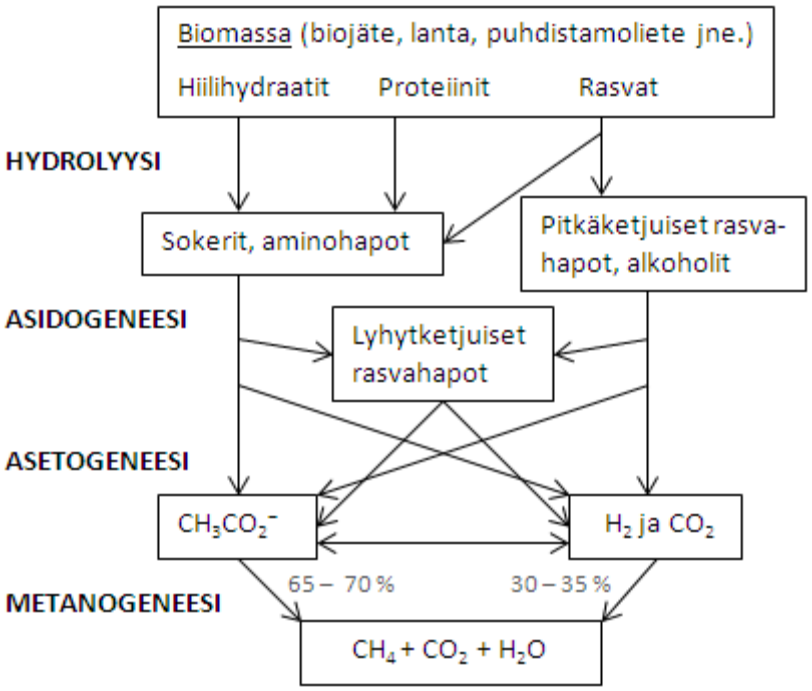
2.1 Biojätteiden ja lietteiden biologiset käsittelymenetelmät

2.1.1 Biokaasuteknologia

Anaerobinen hajoaminen (mädätys) on mikrobiologinen prosessi, jossa anaerobiset mikro-organismit hajottavat orgaanisen aineksen hapettomissa olosuhteissa biokaasuksi, eli metaaniksi (50 – 70 %) ja hiilidioksidiksi (30 – 50 %), sekä käsittelyjäännökseksi. Biokaasun metaani voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön tuotannossa tai liikennepolttoaineena. Käsittelyjäännös, joka sisältää raaka-aineiden ravinteet ja hivenaineet, voidaan käyttää suoraan tai tuotteistaa orgaaniseksi lannoitevalmisteeksi. Biokaasuteknologiaa käytetään eloperäisten jätteiden ja sivutuotteiden, kuten biojätteen, puhdistamolietteen ja lannan käsittelyssä (Mata-Alvarez 2003).

Anaerobiprosessi on yleensä mesofiilinen noin 35 °C tai termofiilinen noin 55 °C ja sen pH on 7 – 8. Käsiteltävistä biomassoista riippuen mädätys voidaan toteuttaa panos- tai jatkuvatoimisena ja lisäksi kuiva- (TS < 15 %) tai märkäprosessina (TS > 20 %) (Mata-Alvarez 2003, McInerney 1999). Isoa palakokoa olevat syöttömateriaalit, kuten biojäte, esikäsitellään murskaamalla ennen mädätystä pumppujen ja putkien tukkeutumisen estämiseksi (Hobson & Wheatley 1993). Murskauksen lisäksi esikäsittelyyn kuuluu yleensä seulonta ja metallinerotus esimerkiksi muovi- ja metallikappaleiden poistamiseksi (Braber 1995).

Anaerobinen hajotus voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi (kuva 1). Hydrolyysissa haponmuodostajabakteerien erittämät entsyymit pilkkovat biopolymeerit yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi. Asidogeneesissa eli happokäymisessä haponmuodostajabakteerit hajottavat yksinkertaiset yhdisteet edelleen lyhytketjuisiksi rasvahapoiksi. Asetogeeniset mikrobit muuttavat lyhytketjuiset rasvahapot asetaatiksi ja vedyksi asetogeneesissa. Metanogeneesissa eli metaanintuottovaiheessa asetoklastiset metanogeenit tuottavat metaanin asetaatista (65 %) ja hydrogenotrofiset metanogeenit vedystä ja hiilidioksidista (35 %) (Dohányos & Zábranská 2001).



Kuva 1. Anaerobisen hajoamisen vaiheet (mukaillen Dohányos & Zábranská 2001).

Biomassan orgaanisesta aineksesta n. 40 – 80 % hajoaa anaerobikäsittelyssä (taulukko 1). Myös orgaaninen typpi hajoaa osin epäorgaaniseksi, liukoiseksi ammoniumtypeksi. Eri biomassojen metaanintuottopotentiaali vaihtelee materiaalin koostumuksen mukaan.

Taulukko 1. Biomassan orgaanisen aineksen vähenemä ja orgaanisen typen hajoaminen anaerobikäsittelyssä sekä eri biomassojen metaanintuottopotentiaalit.

Biomassa	VS:n vähenemä (%)	Ntot → NH_4-N	Metaanintuottopotentiaali (m^3CH_4/tVS)
Biojäte	69 – 74[1]	24 – 36[3]	300 – 600[5,6]
Biojäte + lanta	50 – 60[1]	-	-
Lanta	-	n. 16[4]	100 – 300[6,7]
Puhdistamoliete	45,8[2]	-	160 – 350[5,7]

[1]Hartmann & Ahring 2005
[2]Tiehm ym. 1997
[3]Gallert & Winter 1997
[4]Bonmati & Flotats 2003
[5]Angelidaki & Ellegaard 2003
[6]Schnürer & Jarvis 2010
[7]Ahring ym. 1992

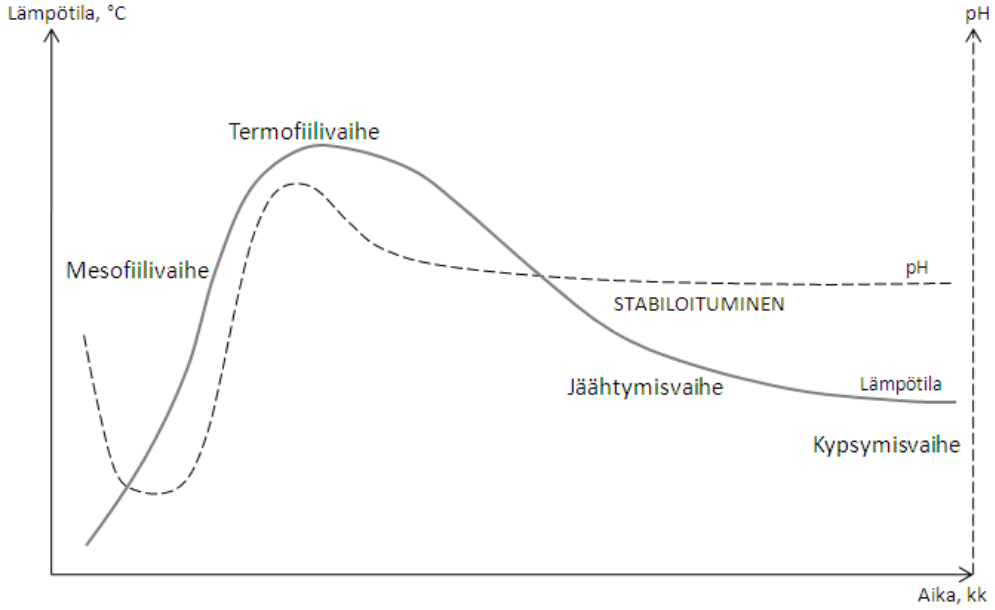
2.1.2 Kompostointi

Kompostoituminen on aerobinen prosessi, jossa mikro-organismit hajottavat orgaanisen aineksen hiilidioksidiksi, vedeksi ja lämmöksi sekä humusmaiseksi kompostiksi. Kompostointi on tekninen prosessi, jossa hyödynnetään kompostoitumista eloperäisten jätteiden, kuten biojätteen, lannan tai puhdistamolietteen käsittelyssä. Se voidaan suorittaa

myös jälkikompostointina/-kypsytyksenä esimerkiksi anaerobiprosessin jälkeen käsittelyjäännöksen stabiloimiseksi. Stabiilia ja kypsää kompostia voidaan hyödyntää mullan raaka-aineena tai maanparannusaineena levittämällä maahan. Maaperään levitettynä ravinteita ja orgaanista ainesta sisältävä komposti parantaa maaperän rakennetta ja edistää kasvien kasvua (Epstein 1997, Haug 1993).

Kompostoimisessa mikrobien hajotustoiminnassa muodostuvan lämmön seurauksena kompostimassan lämpötila nousee noin 50 – 60 °C:een, joka voidaan ylläpitää prosessin kontrolloinnilla. Optimaalinen kosteuspitoisuus kompostoitumisessa on noin 50 – 60 %. Kosteuden hallitsemiseksi sekä riittävän kaasujen vaihdon takaamiseksi kompostiin lisätään usein tukiainetta, kuten haketta. Prosessin toimivuuden kannalta myös syötettävän orgaanisen aineksen homogeenisuus sekä tasapainoinen ravinnekoostumus (yleensä hiili:typpi -suhde 25 – 30:1) ovat tärkeitä ominaisuuksia. Käytännössä kompostointi toteutetaan joko aumassa tai suljetuissa kompostoreissa, kuten jatkuvatoimisessa rumpukompostorissa tai panostyyppisessä tunnelikompostorissa (Epstein 1997, Haug 1993).

Kompostoituminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen (kuva 2). Prosessi alkaa mesofiili- eli lämpenemisvaiheella, jossa kompostimassan lämpötila kohoaa. Samanaikaisesti pH laskee, kun mm. orgaanisia happoja muodostuu helposti hajoavan orgaanisen aineksen hajotessa. Termofiilisessa vaiheessa lämpötila kohoaa yli 45 °C:een ja pH nousee mikrobien hajottaessa mm. proteiineja ammoniakiksi. Mikrobien toiminta hidastuu vähitellen jäähtymisvaiheessa, kun ne ovat hyödyntäneet helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen, ja sekä lämpötila että pH laskevat. Kompostimassa stabiloituu, kun sen hajoamisnopeus on vakiintunut alhaiselle tasolle. Lopuksi humusmaiset aineet muodostuvat useita kuukausia kestävässä kypsymisvaiheessa eli jälkikypsytyksessä, kun hitaasti hajoava orgaaninen aines hajoaa vähitellen (Epstein 1997, Haug 1993).



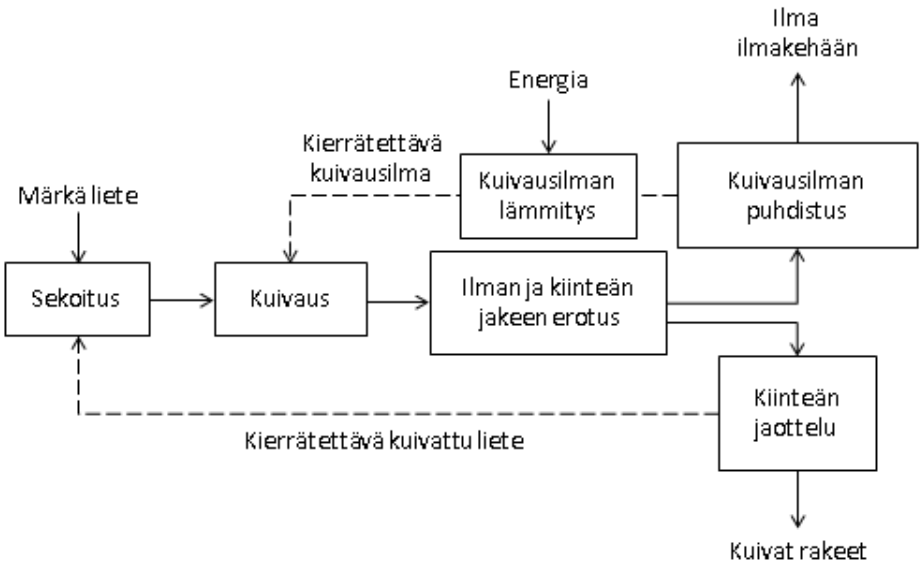
Kuva 2. Lämpötilan ja pH:n vaihtelu kompostoitumisprosessin edetessä (mukaillen Epstein 1997).

2.2 Anaerobisesti käsitellyn materiaalin fysikaaliset käsittelymenetelmät

Anaerobisesti käsitelty materiaali voidaan käsitellä mekaanisesti esimerkiksi lingolla, jolloin muodostuu kiinteä ja nestemäinen jae (rejektivesi). Kiinteä jae voidaan kompostoida tai esimerkiksi termisesti kuivata ja rakeistaa. Tällöin kiinteän jakeen ravinteet ovat lopputuotteessa, mutta ne saadaan konsentroitua, kun suurin osa vedestä poistetaan. Rejektivedessä on suurin osa anaerobisesti käsitellyn materiaalin ammoniumtypestä. Se voidaan ottaa talteen esimerkiksi strippauksella tai struviittisaostuksella, jolloin talteenotettu typpi on epäorgaanisessa muodossa. Seuraavassa osiossa tarkastellaan termistä kuivausta ja rakeistusta, jotka valittiin kiinteän jakeen toiseksi tuotteistamismenetelmäksi kompostoinnin ohella. Lisäksi käsitellään strippausta ja struviittisaostusta, jotka valittiin menetelmiksi ammoniumtypen poistamiseksi rejektivedestä.

2.2.1 Terminen kuivaus ja rakeistus

Mekaanisesti vedetöity käsittelyjäännös/liete (TS 32 %) voidaan kuivata termisesti 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Termisessä kuivauksessa lietteeseen johdetaan joko suoraan tai epäsuorasti esimerkiksi kuumaa ilmaa tai höyryä, jotka haihduttavat lietteessä olevan veden pois (kuva 3). Jos kuuma ilma johdetaan suoraan kosketukseen lietteen kanssa, muodostuu prosessissa huomattavasti enemmän puhdistusta vaativaa kuivausilmaa kuin epäsuorassa kuivauksessa, jossa kuuman ilman lämpö johdetaan käsiteltävään materiaaliin lämmönvaihtimien kautta. Käytännössä kuivaus voidaan toteuttaa jatkuvalla ilmastuksella esimerkiksi rummussa tai hihnalla. Kuivausilmaa kierrätetään energiakustannusten vähentämiseksi ja useissa kuivaimissa jo kuivattua lietettä kierrätetään prosessin alkuun, jossa se sekoitetaan vedetöityyn lietteeseen, jolloin prosessiin syötettävä lieteseos on valmiiksi kuivempaa kuin TS 32 %. Käsittelyjäännös voidaan rakeistaa kuivauksen yhteydessä lopputuotteen käsiteltävyyden parantamiseksi. Termisen kuivauksen etu on käsiteltävän materiaalin tilavuuden huomattava väheneminen veden poistuessa (Weemaes & Verstraete 2001).



Kuva 3. Terminen kuivaus- ja rakeistusprosessi (mukaillen Weemaes & Verstraete 2001).

2.2.2 Ammoniumtypen poisto rejektivesistä

Rejektivesillä tarkoitetaan käsittelyjäännöksen/lietteen tiivistyksessä ja vedetöinnissä lietteestä–erotettuja vesiä. Anaerobisesti käsitellyn lietteen rejektivesille on tyypillistä korkea ammoniumtyppipitoisuus. Yleensä rejektivedet ohjataan jätevedenpuhdistamon

alkuun, jolloin muodostuu ns. sisäinen kierto. Tämä kuitenkin kuormittaa jätevedenpuhdistamoa, ja puhdistamolta lähtevän veden typpipitoisuus voi nousta. Menetelmiä rejektivesien puhdistukselle ovat esimerkiksi ammoniumtypen strippaus ja struviittisaostus (Arnold ym. 2000, Hellinga ym. 1998, Janus & van der Roest 1997).

Strippauksessa rejektiveden ammoniumtyppi pyritään ottamaan talteen muuttamalla se ensin ammoniakkimuotoon ja strippaamalla sitten ilma-/höyryvirran mukaan. Ammoniakki reagoi veden kanssa reaktioyhtälön 1 mukaisesti.

$$NH_3 + H_2O \Leftrightarrow NH_4^+ + OH^- \tag{1}$$

Kun veden pH nostetaan 10 tai 11, pyrkii reaktio vasemmalle, jolloin ammoniakin konsentraatio kasvaa ja se siirtyy helpommin vesifaasista kaasufaasiin. Strippaus suoritetaan strippaustornissa, jossa rejektivesi syötetään tornin yläosasta alaspäin ja ilma-/höyryvirta puhalletaan vastavirtaan pohjasta ylöspäin. Ammoniakkikaasu strippautuu rejektivedestä ilma-/höyryvirran mukaan. Strippausta voidaan tehostaa kasvattamalla vesi- ja kaasufaasin välistä kosketuspinta-alaa täyttämällä torni täytekappaleilla (Sincero & Sincero 2003). Ammoniakkipitoinen ilma/höyry johdetaan pesuriin, jossa se pestään joko vedellä tai happoliuoksella, kuten typpi-, rikki- tai fosforihapolla. Tuotteena saadaan käytetystä pesuliuoksesta riippuen ammoniumvettä, ammoniumnitraattia, -sulfaattia tai -fosfaattia, joita voidaan käyttää typpilannoitteina (Rulkens ym. 1998).

Struviittisaostus perustuu liukenemattoman struviitin eli magnesiumammoniumfosfaatin muodostamiseen. Rejektiveden liukoinen ammoniumtyppi saostetaan lisäämällä magnesiumia ja fosfaattia sekä nostamalla pH 8,5 – 10. Muodostuneet struviittikiteet erotetaan laskeuttamalla. Menetelmällä on saavutettu yli 90 % puhdistusteho pH:ssa > 9,5. Optimi moolisuhde N:P:Mg on 1:1:1,1 (Janus & van der Roest 1997).

2.3 Puun ja turpeen polton tuhkien tuotteistaminen

2.3.1 Tuhkien stabilointi

Puun ja turpeen lentotuhkalla tarkoitetaan puun ja turpeen poltossa savukaasuista erotettua tuhkaa ja pohjatuhkalla tulipesän pohjalle jäävää tuhkaa. Typpeä lukuun ottamatta puussa ja turpeessa olleet ravinteet, kuten fosfori, kalium ja kalsium, ovat emäksisessä (pH 10 – 13) lento- tai pohjatuhkassa. Palauttamalla tuhka takaisin metsään, saadaan ravinteet

hyödynnettyä ja metsämaan pH:ta nostettua. Tuhka stabiloidaan ennen levitystä ravinteiden liukoisuuden ja tuhkan pölyämisen vähentämiseksi. Stabiloinnissa tuhkaan lisätään vettä, ja seoksesta tuotetaan isompia partikkeleita, joiden annetaan kovettua. Stabilointi voidaan suorittaa esimerkiksi itsekovetuksen, rakeistuksen tai pelletöinnin avulla. Lisättävän veden määrä on tuhkan koostumuksesta ja stabilointitekniikasta riippuen noin 10 – 40 % (Korpilahti 2003, Makkonen 2008, Steenari & Lindqvist 1997).

Tuhkan kalsiumoksidi reagoi veden kanssa muodostaen hydroksidin (reaktioyhtälö 2), joka reagoi edelleen ilman hiilidioksidin kanssa tuottaen kiteisen karbonaatin (reaktioyhtälö 3). Tuhkan kovettuminen tapahtuu karbonaatin muodostuksen yhteydessä, ja samalla vapautuu vesihöyryä ja lämpöä (Steenari & Lindqvist 1997).

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \tag{2}$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \tag{3}$$

Itsekovetuksessa kostutettu tuhka puristetaan kasaan kovettumaan. Sen sijaan rakeistuksessa ja pelletöinnissä kostutettu tuhka muotoillaan rakeeksi tai pelletiksi ennen kuivausta. Kaikissa menetelmissä tuhkan kovettuminen tapahtuu noin 30 minuutissa. Itsekovetetun tuhkan lopullinen kosteuspitoisuus on noin 25 %, rakeiden noin 12 % ja pellettien 3 – 5 %. Tuotettua tuhkaraetta voidaan käyttää lannoitteena runsaasti typpeä sisältävissä suometsissä (Korpilahti 2003, Lindh ym. 2001, Makkonen 2008).

2.3.2 Tuhka-lieterakeen tuotto

Tuhkan kostutukseen voidaan käyttää veden sijasta myös jätevedenpuhdistamoilla muodostuvaa puhdistamolietettä, jolloin rakeisiin saadaan typpeä. Tuhka ja liete sekoitetaan lietemassaa rikkoen, jolloin tuhka kuorruttaa lieteainesta ja rakeiden muodostuminen paranee. Lietteessä oleva vesi reagoi tuhkan kalsiumin kanssa, ja rakeiden pinta kovettuu sisuksen jäädessä kosteaksi. Esimerkiksi betonimyllyllä voidaan tuottaa toisistaan irrallaan olevia, kiinteitä, tuhkalla kuorrutettuja rakeita. Rakeistus onnistuu tuhkan ja lietteen seossuhteella 1:2, kun sekoitetaan 1/3 tuhkaa ja 2/3 kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 17 % lietettä (Lindh ym. 2001).

2.4 Lannoitevalmisteita koskeva lainsäädäntö

Orgaanisia lannoitevalmisteita säädellään Suomessa osittain EU:n sivutuoteasetuksella, mutta pääosin kansallisesti. Epäorgaanisista lannoitteista vain osasta säädetään EU-lainsäädännössä.

2.4.1 EU-lainsäädäntö

EU:ssa säädetään lannoitevalmisteista mm. lannoiteasetuksella, sivutuoteasetuksella ja nitraattidirektiivillä. Sivutuoteasetuksella tarkoitetaan Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EY) N:o 1069/2009 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta. Asetuksen lähtökohtana on, että eläimistä saatavat sivutuotteet ja niistä johdetut tuotteet aiheuttavat mahdollisia riskejä ihmisten ja eläinten terveydelle. Nämä riskit pyritään torjumaan ja minimoimaan. Eläimistä saatavat sivutuotteet on luokiteltu asetuksessa kolmeen luokkaan (luokat 1 – 3) niiden ihmisten ja eläinten terveydelle aiheuttaman riskin vakavuuden mukaan. Luokan 1 sivutuotteet aiheuttavat suuremman riskin kuin luokkien 2 ja 3 sivutuotteet. Esimerkiksi lanta ja ruuansulatuskanavan sisältö kuuluvat luokkaan 2 ja muu kuin kansainvälisesti toimivista liikennevälineistä peräisin oleva ruokajäte kuuluu luokkaan 3. Luokkaan 2 ja 3 kuuluvat ainekset voidaan kompostoida tai muuntaa biokaasuksi. Laitoksen, jossa harjoitetaan orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistamista tai eläimistä saatavien sivutuotteiden ja/tai niistä johdettujen tuotteiden muuntamista biokaasuksi tai kompostiksi, on oltava toimivaltaisten viranomaisten (Suomessa Evira) hyväksymä. Asetuksen mukaan kompostia ja biokaasutuksen käsittelyjäännöstä saa saattaa markkinoille ja käyttää orgaanisina lannoitteina ja maanparannusaineina.

Komission asetuksessa 2011/142/EU vahvistetaan sivutuoteasetuksen täytäntöönpanotoimenpiteet. Asetuksessa on esitetty eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden biokaasuksi muuntamista tai kompostointia koskevat vaatimukset. Oleellisimmat vaatimukset ovat muuntamista koskevat vakioparametrit, jotka ovat vähimmäisvaatimukset luokkaan 2 ja 3 kuuluvalle ainekselle, jota käytetään raaka-aineena pastörointi-/hygienisointiyksiköllä varustetussa biokaasulaitoksessa tai kompostointilaitoksessa. Luokkaan 2 tai 3 kuuluvan aineksen vähimmäislämpötila

yksikössä on 70 °C ja keskeyttämätön vähimmäisaika 60 minuuttia. Lisäksi luokkaan 3 kuuluvan aineksen enimmäispartikkelikoko ennen yksikköön siirtymistä on 12 mm.

Nitraattidirektiivin (91/676/ETY) tavoitteena on vähentää ja estää maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamaa vesien pilaantumista. Sen mukaan vuosittain pelloille levitettävä karjanlanta saa sisältää enintään 170 kg N/ha. Neuvoston asetus EY N:o 1698/2005 Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahaston (maaseuturahaston) tuesta maaseudun kehittämiseen luo pohjan kansalliselle ympäristötukijärjestelmälle, jossa määritellään vuosittain käytettävien typpi- ja fosforilannoitteiden määrät. Puhdistamolietedirektiivi (86/278/ETY) säätelee puhdistamolietteen käyttöä maanviljelyssä. Puhdistamolietteen haitalliset vaikutukset maaperään, kasvillisuuteen, eläimiin ja ihmisiin pyritään estämään niin, että samalla kuitenkin edistetään lietteen asianmukaista käyttöä. Neuvoston asetuksessa 2007/834/EY ja komission asetuksessa 2008/889/EY säädetään luonnonmukaisesta tuotannosta. Komission asetuksen (2008/889/EY) liitteessä I on listattuna lannoitteet ja maanparannusaineet, joita saa ainoastaan käyttää luonnonmukaisessa tuotannossa. Lannoiteasetuksessa (2003/2003/EY) säädetään ”EY-lannoite” -merkinnällä varustettujen lannoitteiden valmistamisesta, markkinoille saattamisesta ja laadunvalvonnasta. Maisemoinnissa, viherrakentamisessa tai metsässä käytettävistä lannoitevalmisteista ei säädetä EU-lainsäädännössä (Maa- ja metsätalousministeriön työryhmä 2008).

2.4.2 Kansallinen lainsäädäntö

Kansallisen lainsäädännön laeilla, asetuksilla ja päätöksillä säädetään EU:n säädösten täytäntöönpanosta. Lannoitevalmistelailla (539/2006) pyritään edistämään hyvälaatuisten, turvallisten ja kasvintuotantoon sopivien lannoitevalmisteiden tarjontaa, sellaisiksi soveltuvien sivutuotteiden hyötykäyttöä sekä riittävien tietojen antamista lannoitevalmisteista niiden ostajille ja käyttäjille, jotta pystytään turvaamaan kasvintuotanto sekä elintarvikkeiden ja ympäristön laatu. Lain mukaan *lannoitevalmisteella* tarkoitetaan lannoitteita, kalkitusaineita, maanparannusaineita, kasvualustoja, mikrobivalmisteita sekä lannoitevalmisteena sellaisenaan käytettäviä sivutuotteita (taulukko 2).

Taulukko 2. Lannoitevalmistelain mukaiset määritelmät lannoitteelle, maanparannusaineelle, kasvualustalle ja sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävälle sivutuotteelle.

Lannoitevalmiste	Määritelmä
Lannoite	Aine tai valmiste, joka on tarkoitettu edistämään kasvien kasvua tai parantamaan sadon laatua ja jonka vaikutus perustuu kasvinravinteisiin tai muihin kasveille, ihmisille tai eläimille hyödyllisiin aineisiin.
Maanparannusaine	Aine, jota lisätään maahan sen fysikaalisten ominaisuuksien ylläpitämiseksi ja parantamiseksi tai lisäämään maan biologista toimintaa.
Kasvualusta	Kasvien kasvatukseen tarkoitettu, teknisesti käsitelty kiinteä tai nestemäinen aine, johon on tai voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita.
Sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävä sivutuote	Lannoitevalmisteena käytettävä teollisuus-, poltto- tai tuotantolaitosten, biokaasu- tai kompostointilaitosten tai muiden laitosten sekä jätevedenpuhdistamojen tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä syntyvä tuote.

Maa- ja metsätalousministeriön asetukset lannoitevalmisteista (24/11) ja lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (13/07) on annettu lannoitevalmistelain nojalla. Asetuksessa 24/11 säädetään niistä vaatimuksista, jotka lannoitevalmisteiden tulee täyttää, jotta ne voidaan tuoda maahan ja saattaa Suomessa markkinoille. Asetuksen liitteessä I on luettelo kansallisista lannoitevalmisteiden tyypeistä (1 – 5) ja tyyppinimiryhmistä sekä niitä koskevista vaatimuksista. Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö on poissuljettu. Asetuksessa on esitettynä myös vaatimukset haitallisista aineista, eliöistä ja epäpuhtauksista, kuten haitallisista metalleista (taulukko 3).

Taulukko 3. Kaikkia lannoitevalmisteita koskevat haitallisten metallien enimmäispitoisuudet (MMMa 24/11).

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg TS	Metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa enimmäispitoisuus mg/kg TS
As	25	40
Hg	1,0	1,0
Cd	1,5	25
Cr	300	300
Cu	600	700
Pb	100	150
Ni	100	150
Zn	1500	4500

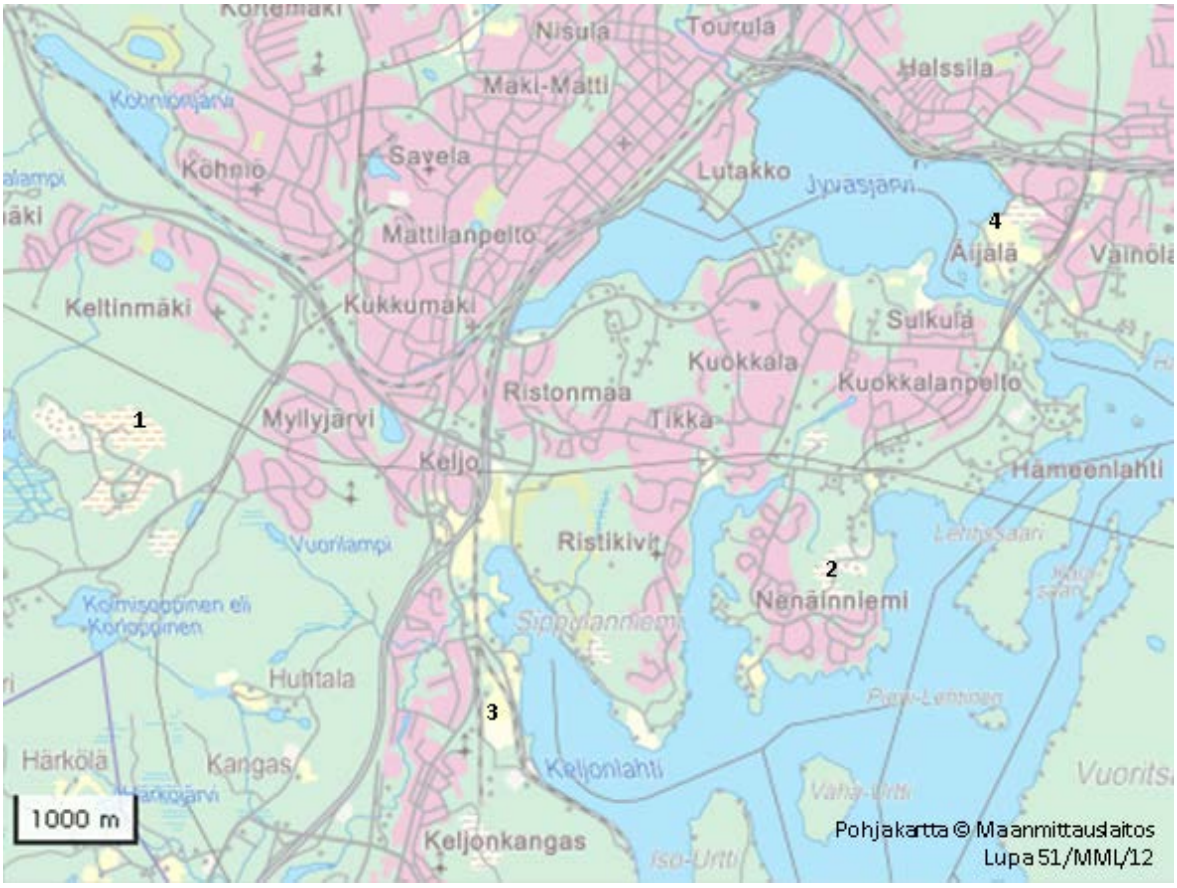
Nitraattidirektiivi on toimeenpantu valtioneuvoston asetuksella maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta (VNa 931/2000). Asetuksessa mm. säädetään ohjeet typpilannoitteiden levittämisen ajankohdista, alueista sekä määristä. Laki luonnonhaittakorvauksesta, maatalouden ympäristötuesta sekä eräistä muista ympäristön ja maaseudun tilan parantamiseen liittyvistä tuista (1440/2006), valtioneuvoston asetus

luonnonhaittakorvauksista ja maatalouden ympäristötuista vuosina 2007 – 2013 (VNa 366/2007) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista (MMMa 503/2007) säätävät ympäristötuen ehdoista, jotka Maaseutuvirasto on koonnut oppaaksi: Opas ympäristötuen ehtojen mukaiseen lannoitukseen 2007 – 2013. Siinä on tarkemmat ohjeet typpi- ja fosforilannoitteiden levittämisen määristä. Puhdistamolietedirektiivi on toimeenpantu valtioneuvoston päätöksellä puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä (VNp 282/1994). Siinä säädetään mm. lietteen käsittelystä, metallipitoisuuksista, käyttökohteista ja -määristä. Luonnonmukaisesta tuotannosta, luonnonmukaisten tuotteiden merkinnöistä ja valvonnasta säädetään maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 846/2008, jolla on toimeenpantu neuvoston ja komission asetukset 834/2007 ja 889/2008.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kohdealue ja -materiaalit

Tutkimuksen kohteena oli Jyväskylän seutu eli yhdeksän kunnan alue, joka käsittää Jyväskylän, Muuramen, Laukaan, Hankasalmen, Petäjäveden, Toivakan, Uuraisen, Kangasniemen ja Jämsän kunnat. Tutkimuksessa tarkasteltiin Jyväskylän Energia Oy:n Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitoksissa muodostuvia lentotuhkia, alueellisissa jätevedenpuhdistamoissa muodostuvia puhdistamolietteitä sekä Jyväskylän seudulla muodostuvia erilliskerättäviä biojätteitä ja lantaa.



Kuva 4. Jyväskylässä sijaitsevat Mustankorkea Oy:n jätteenkäsittely-yhtiö (1), Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamo (2) sekä Jyväskylän Energia Oy:n Keljonlahden (3) ja Rauhalahden (4) voimalaitokset.

Jyväskylässä, Laukaassa, Muuramessa ja Uuraisilla muodostuvat jätevedet johdetaan Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamolle (kuva 4) käsiteltäväksi ja Korpilahdella muodostuvat jätevedet yhtiön Korpilahden jätevedenpuhdistamolle.

Korpilahden puhdistamolla muodostuva puhdistamoliete kuljetetaan käsittelemättömänä (TS 3,6 %) Nenäinniemen puhdistamolle jatkokäsittelyyn (Tuominen & Tolmunen 2011). Nenäinniemen puhdistamolla muodostuva puhdistamoliete mädätetään ja kuivataan (Veijola 2011; liite 1). Jyväskylän seudulla muodostuu puhdistamolietteitä myös pienemmillä jätevedenpuhdistamoilla. Nenäinniemen mädätetty ja kuivattu sekä muiden puhdistamoiden kuivatut puhdistamolietteet kuljetetaan Jyväskylässä sijaitsevan Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön (kuva 4) kompostointilaitokselle, jossa ne kompostoidaan maanparannusaineeksi ja käytetään osittain mullan valmistuksessa. Tuotetusta kompostista runsas 70 % myydään mullan raaka-aineeksi tai viherrakentamis- sekä lannoituskäyttöön ja vajaat 30 % käytetään omassa toiminnassa (Burman 2011, Mustankorkea Oy 2011; liite 3).

Jyväskylän seudulla muodostuvat ja erilliskerättävät biojätteet käsitellään Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön kompostointilaitoksella. Biojätteen kanssa samassa kompostissa kompostoidaan Jyväskylän seudulla muodostuvaa suoli- ja karjanlantaa. Biojätteistä ja lannasta tuotetaan maanparannusainetta, joka joko myydään tai käytetään omassa toiminnassa (Burman 2011; liite 3).

Jyväskylän Energia Oy:n Keljonlahden voimalaitoksella pääasiassa puun ja turpeen poltossa muodostuva lentotuhka kuljetetaan FA Forest Oy:lle Viitasaarelle, jossa siitä tuotetaan muiden tuhkien kanssa metsälannoitetta. Rauhalahden voimalaitoksella muodostuva lentotuhka kuljetetaan Laukaan Lievestuoreenjärven Laajalahteen kunnostustoimia varten ainakin vuoden 2012 loppuun saakka. Lentotuhkaa voidaan viedä myös alueelliseen jätteenkäsittelykeskukseen loppusijoitukseen mahdollisen häiriötilanteen tapahtuessa. Voimalaitoksilla muodostuvat pohjatuhkat menevät maanrakennuskäyttöön (FA Forest Oy 2011, Jyväskylän Energia Oy 2011a, 2011b; liite 3).

3.3 Aineistolähteet sekä laskentamenetelmät ja -oletukset

Tiedot kohdealueen eri materiaalien määristä ja ominaisuuksista saatiin pääosin alueellisesta jätteenkäsittely-yhtiöstä, jätevedenpuhdistamolta sekä energiayhtiöstä (taulukko 4). Osa materiaalien ominaisuuksista arvioitiin kirjallisuusarvojen perusteella tai määritettiin laskennallisesti.

Taulukko 4. Tiedot raaka-aineiden määristä ja ominaisuuksista sekä niiden aineistolähteet.

Selvitetty tieto	Lähde
$WW_{Biojäte}$ = 13000 t/a, WW_{Lanta} = 1100 t/a, $WW_{Puhdistamoliete}$ = 11000 t/a ja $WW_{Muut\ lietteet}$ = 4500 t/a	Arvioitu vuosien 2008 – 2010 määrien perusteella: Burman 2009, 2010, 2011
$TS_{Biojäte}$ = 30,6 % ja $VS_{Biojäte}$ = 25,1 %	Analysoitu erilliskerätyn kotitalouksien biojätteen näytteestä (9.11.2011): SFS3008 1990
$N_{tot,\ biojäte}$ = 2,29 % TS:sta	Laskettu vuosien 2007 ja 2008 analyysituloksista keskiarvona: Martikainen ym. 2011
$P_{tot,\ biojäte}$ = 0,70 % TS:sta	Sans ym. 1995, MTT/VALORGAS
TS_{Lanta} = 11,5 %, VS_{Lanta} = 8,5 % ja $N_{tot,\ lanta}$ = 4,0 % TS:sta	Hartmann & Ahring 2005
$P_{tot,\ lanta}$ = 1,42 % TS:sta	Griffin ym. 2003
$V_{Jätevesi}$ = 34083 m^3/d	Tuominen & Tolmunen 2011, Veijola 2011
$SS_{Jätevesi}$, $SS_{Käsitelty\ jätevesi}$, $N_{tot,\ jätevesi}$, $N_{tot,\ käsitelty\ jätevesi}$, $P_{tot,\ jätevesi}$ ja $P_{tot,\ käsitelty\ jätevesi}$ (taulukko 9)	Tuominen & Tolmunen 2011, Veijola 2011
$TS_{Puhdistamoliete}$ = 32 %, $VS_{Puhdistamoliete}$ = 54 % TS:sta, $N_{tot,\ puhdistamoliete}$ = 3,1 % TS:sta ja $P_{tot,\ puhdistamoliete}$ = 3,1 % TS:sta	Veijola 2011
$TS_{Muut\ lietteet}$ = 15,7 % ja $VS_{Muut\ lietteet}$ = 67,5 %	Martikainen ym. 2011
$N_{tot,\ muut\ lietteet}$ = 2,48 % TS:sta ja $P_{tot,\ muut\ lietteet}$ = 1,24 % TS:sta	Oletettu samoiksi kuin puhdistamolietteen laskennalliset vastaavat arvot.
Sako- ja pullokaivolietteiden määrät ja ominaisuudet (taulukko 10)	EPA 1994, Tuominen & Tolmunen 2011
Rejektivesien määrät ja ominaisuudet (taulukko 12)	Tuominen & Tolmunen 2011
Tuhkien määrät ja ominaisuudet (taulukko 13)	Jyväskylän Energia Oy 2011a
Pohjoisen Keski-Suomen ja lähikuntien raaka-aineiden määrät ja ominaisuudet (luku 4.1.5 ja taulukko 11)	Selvitetty lähteistä ja puuttuvat tiedot oletettu samoiksi kuin Jyväskylässä muodostuvien vastaavien raaka-aineiden vastaavat ominaisuudet: Tuppurainen 2011
KotiBio 87 % ja KauppaBio 13 % biojätteestä	Martikainen ym. 2011

Kompostoinnin vaikutus materiaalitaseisiin arvioitiin nykytilanteen mukaisesti (laskennallisesti) ja muiden käsittelyprosessien vaikutusta materiaalitaseisiin arvioitiin pääasiassa kirjallisuudesta löydettyjen tietojen perusteella (taulukko 5). Jos kirjallisuudesta löytyi useampia arvoja, käytettiin laskuissa pääsääntöisesti keskiarvoja.

Taulukko 5. Tiedot raaka-aineiden tuotteistamiseen ja käsittelyyn liittyen sekä niiden aineistolähteet.

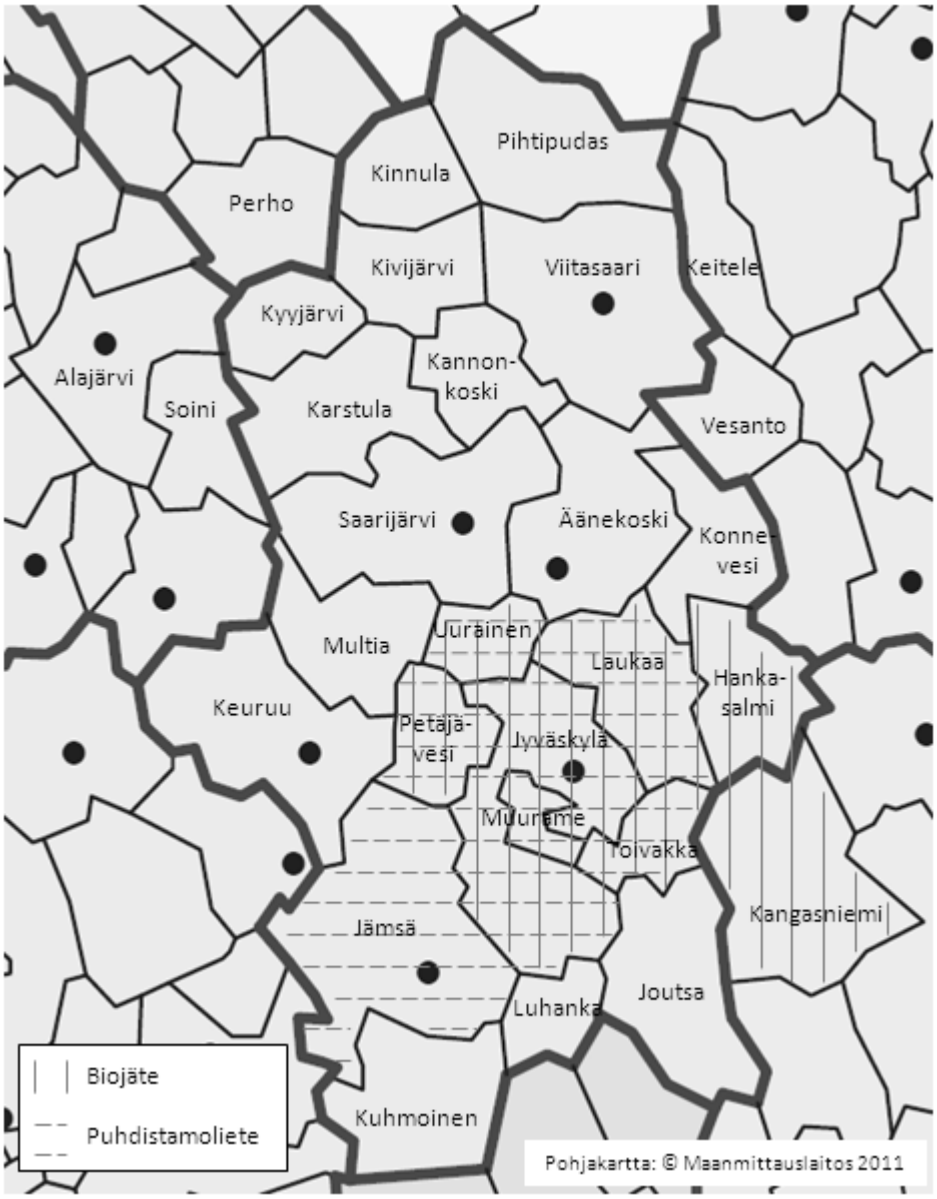
Selvitetty tieto		Lähde
Anaerobinen hajotus	Metaanintuottopotentiaali$_{Biojäte}$ 430 m^3CH_4/tVS	Angelidaki & Ellegaard 2003, Schnürer & Jarvis 2010
	Metaanintuottopotentiaali$_{Lanta}$ 225 m^3CH_4/tVS	Ahring ym. 1992, Schnürer & Jarvis 2010
	Metaanintuottopotentiaali$_{Puhdistamoliete}$ 302 m^3CH_4/tVS	Laskettu kaasumäärän ja sen tuottamiseen kuluneen VS:n määrän avulla: Tuominen & Tolmunen 2011
	VS:n hajoaminen anaerobisessa hajotuksessa 60 %	Hartmann & Ahring 2005, Tiehm ym. 1997
	$N_{tot} \rightarrow NH_4$-N anaerobisessa hajotuksessa 50 %	Bonmatí & Flotats 2003, Gallert & Winter 1997
Kompostointi	Biojäte-lantaseos kompostointiin ja puhdistamolieteseos kompostointiin, määrät ja ominaisuudet (taulukot 7 ja 10)	Laskettu painotettuna keskiarvona raaka-aineiden määristä ja ominaisuuksista.
	Tuotettu biokomposti ja lietekomposti, määrät ja ominaisuudet (taulukot 7 ja 10)	Burman 2009, 2010, 2011 ja Martikainen ym. 2011
	Vähenemät kompostoinnissa: WW −50 %, TS −15 %, VS −5 %, N −20 % ja P −10 %	Laskettu nykytilanteen mukaan ja oletettu samoiksi tulevaisuudessa
	Maanparannuskompostien (bio ja liete) tilavuuspainot 700 kg/m^3	Martikainen ym. 2011
Terminen kuivaus ja rakeistus	Vähenemät termisessä kuivauksessa ja rakeistuksessa: WW −65 %, TS −0 %, VS −0 %, N −10 % ja P −0 %	Arvio
	Maanparannusrakeiden tilavuuspainot 900 kg/m^3	Käytännön maamies 2011, Lakeuden Etappi Oy 2011
Tuhkien käsittely	Itsekovetetun tuhkan TS 75 %, tuhkarakeen TS 88 % ja tuhkapelletin 96 %	Korpilahti 2003
	Tuhkatuotteiden (rae) tilavuuspainot 1 t/m^3	Korpilahti 2003
	Tuhka-mädäterakeen laskennallinen TS ok vrt. kirjallisuus, ja tilavuuspaino 1 t/m^3	Lindh ym. 2001
NH_4-N poisto rejektivedestä	Strippauksen ja struviittisaostuksen puhdistusteho 90 %	Bonmatí & Flotats 2003, Janus & van der Roest 1997
Käyttökohteet	Maatalous (taulukko 27)	Tike 2011
	Metsätalous (taulukko 27)	Metsäntutkimuslaitos 2010, Kauppinen & Nikkola 2012

4 TULOKSET

4.1 Raaka-aineiden määrät ja ominaisuudet

4.1.1 Biojäte ja lanta

Jyväskylän seudulla muodostui kotitalouksien ja julkisen sektorin (10899 t) sekä kaupan ja teollisuuden (1651 t) erilliskerättyä biojätettä vuoden 2010 aikana yhteensä 12550 tonnia. Suurin osa, noin 80 %, muodostui Jyväskylässä ja loput ympäröivien kuntien (Laukaa, Muurame, Hankasalmi, Petäjävesi, Toivakka, Uurainen ja Kangasniemi) alueella (kuva 5). Biojäte käsiteltiin Mustankorkean kompostointilaitoksella ja sen kanssa samassa kompostissa prosessoitiin lisäksi lantaa yhteensä 1127 t vuonna 2010. Lanta koostui pääosin suolilannasta (90 %), mutta myös karjanlannasta (10 %). Erilliskerätyn biojätteen määrä on kasvanut vähitellen vuosien 2003 – 2010 aikana (taulukko 6), mutta lietteen määrä vaihtelee vuosittain.



Kuva 5. Kunnat, joissa muodostuvat biojätteet ja puhdistamolietteet kuljetetaan käsiteltäväksi Jyväskylään (mukaillen Burman 2011).

Taulukko 6. Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön vastaanottamat biojätteen ja lannan sekä puhdistamolietteen määrät vuosina 2003 – 2010 (Burman 2011).

	Jätemäärät vuosittain (t)							
Jätelaji	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Biojäte ja lanta	11818	12266	12541	12435	12600	13206	13070	13677
Liete	15630	16219	15785	18046	16214	18964	16406	15285
Yhteensä	27448	28485	28326	30481	28814	32170	29476	28962

Vuosittain muodostuvan biojätteen määräksi arvioitiin viime vuosien perusteella 13000 t/a ja lannan 1100 t/a (taulukko 7; liite 3). Biojätteen TS on 30,6 % ja VS 25,1 %. Kokonaistyppipitoisuuden oletettiin olevan 2,3 % TS:sta ja fosforipitoisuuden 0,7 % TS:sta. Lannan ominaisuuksien oletettiin vastaavan karjanlannan ominaisuuksia, vaikka

suurin osa lannasta onkin suolilantaa. Lannan TS:ksi oletettiin 11,5 %, VS:ksi 8,5 %, N_{tot}:ksi 4,0 % TS:sta ja P_{tot}:ksi 1,4 % TS:sta. Biojätteen metaanintuottopotentiaaliksi arvioitiin kirjallisuusarvojen perusteella 430 m^3CH_4/tVS ja lannan metaanintuottopotentiaaliksi 225 m^3CH_4/tVS.

Taulukko 7. Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön kompostointilaitoksella käsiteltävän biojätteen mitatut ja lannan arvioidut sekä niiden seoksen ja tuotetun biokompostin laskennalliset ominaisuudet (suluissa olevat arvot biokompostin tuoteselosteen mukaiset).

Ominaisuus	Biojäte	Lanta	Biojäte-lantaseos	Biokomposti
WW (t/a)	13000	1100	14100	6500
TS (%)	30,6	11,5[3]	29,1	50,7 (45)
TS (t/a)	3978	127	4105	3296
VS (% TS:sta)	82,0	73,9	81,8	61,3 (60)
VS (%)	25,1	8,5[3]	23,8	31,1
VS (t/a)	3263	94	3357	2020
N_{tot} (% TS:sta)	2,3	4,0[3]	2,3	2,9 (3,0)
N (t/a)	91	5,1	96	95
P_{tot} (% TS:sta)	0,7[1]	1,4[4]	0,7	0,8 (1,1)
P (t/a)	28	1,8	30	27
K (% TS:sta)	-	-	-	1,9 (2,0)
K (t/a)	-	-	-	62
NPK-luku	-	-	-	3-1-2
m^3CH_4/tVS	430[2]	225[5]	-	-

[1]Sans ym. 1995, MTT/VALORGAS
[2]Angelidaki & Ellegaard 2003, Schnürer & Jarvis 2010
[3]Hartmann & Ahring 2005
[4] Griffin ym. 2003
[5]Ahring ym. 1992, Schnürer & Jarvis 2010

Kompostointiin syötettävän biojätteen ja lannan seoksen kuiva-ainepitoisuudeksi arvioitiin 29,1 %, typpipitoisuudeksi 2,3 % TS:sta ja fosforipitoisuudeksi 0,7 % TS:sta (taulukko 7). Biojäte-lantaseoksen märkämassa keskimäärin puolittuu kompostoinnissa. TS:n vähenemä on noin 20 % ja VS:n noin 40 %. Myös typpeä ja fosforia kuluu hieman. TS:n, VS:n, N_{tot}:n sekä P_{tot}:n prosentuaaliset osuudet kokonaismassasta kuitenkin nousevat kompostoinnissa veden haihtuessa kompostimassasta. Tuotetun biokompostilopputuotteen TS on 50,7 % ja VS 61,3 % TS:sta (taulukko 7; liite 3). N_{tot} on 2,9 % TS:sta, P_{tot} 0,8 % TS:sta ja K_{tot} 1,9 % TS:sta, jolloin maanparannuskompostin NPK-luku on noin 3-1-2. Vuonna 2010 alueellisen jätteenkäsittely-yhtiön kompostointilaitoksella tuotettiin 6839 t biokompostia. Kahtena aiempana vuonna biokompostia tuotettiin noin 6500 t/a. Tuotetun biokompostin haitallisten

metallien pitoisuudet eivät ylitä lannoitevalmisteasetuksen mukaisia kaikille lannoitevalmisteille asetettuja haitallisten metallien enimmäispitoisuuksia (taulukko 8).

Taulukko 8. Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön kompostointilaitoksella tuotettujen biokompostin ja lietekompostin haitallisten metallien pitoisuudet (Martikainen ym. 2011) sekä MMMa:n 24/11 mukaiset haitallisten metallien enimmäispitoisuudet kaikille lannoitevalmisteille.

Metalli	Biokomposti ka. (mg/kg ka)	Lietekomposti ka. (mg/kg ka)	Enimmäispitoisuus (mg/kg ka)
As	2,3	10	25
Hg	0,04	0,25	1,0
Cd	0,2	0,5	1,5
Cr	53	50	300
Cu	48	150	600
Pb	12	50	100
Ni	20	20	100
Zn	155	400	1500

4.1.2 Jätevesi, puhdistamoliete sekä sako- ja pullokaivolietteet

Alueelliselle jätevedenkäsittelylaitokselle johdettiin 34083 m^3/d jätevettä vuoden 2010 aikana (taulukko 9). Sen kokonaistyppipitoisuus oli 73 mg/l ja kokonaisfosforipitoisuus 10,0 mg/l. Jätevedenkäsittelylaitokselle Päijänteestä pumpattu tekninen vesi, jolla huuhdellaan laitteistoja, kasvatti poistuvaa virtaamaa. Käsitellyn jäteveden N_{tot} oli 59 mg/l ja P_{tot} 0,36 mg/l. Vuonna 2010 jätevedenkäsittelylaitokselle tuli jäteveden mukana 908 t typpeä ja 124 t fosforia, kun samanaikaisesti sieltä poistui käsitellyn jäteveden mukana typpeä 770 t ja fosforia 5 t (liite 1).

Taulukko 9. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamolle tulevan jäteveden ja sieltä poistuvan käsitellyn jäteveden määrät ja ominaisuudet vuonna 2010 (Veijola 2011).

Ominaisuus	Jätevesi	Käsitelty jätevesi
V (m^3/d)	34083	35733
SS (mg/l)	434	10,3
N_{tot} (mg/l)	73	59
N (t/a)	908	770
P_{tot} (mg/l)	10,0	0,36
P (t/a)	124	5

Jyväskylän seudulla muodostui jätevedenkäsittelylaitosten puhdistamolietteitä vuoden 2010 aikana yhteensä 15285 t (taulukko 6) ja sako- ja pullokaivolietteitä 20660 t

(Tuominen & Tolmunen 2011). Puhdistamolietteistä noin 70 % oli Nenäinniemen puhdistamolla muodostunutta mädätettyä ja kuivattua puhdistamolietettä ja loput 30 % Jämsän, Jämsän Hallin, Petäjäveden, Toivakan sekä Lievestuoreen alueilla muodostunutta kuivattua puhdistamolietettä (myöhemmin muut lietteet) (kuva 4). Puhdistamolietteet käsiteltiin alueellisen jätteenkäsittely-yhtiön kompostointilaitoksella erillään biojätteestä ja lannasta (liite 3).

Nenäinniemen puhdistamolla muodostuvan mädätetyn ja kuivatun puhdistamolietteen määräksi arvioitiin viime vuosien perusteella 11000 t/a (taulukko 10; liitteet 1 & 3). Kuiva-ainepitoisuus oli 32 %, VS 54 % TS:sta, N_{tot} 3,1 % TS:sta ja P_{tot} 3,1 % TS:sta vuonna 2010. Muiden lietteiden määräksi arvioitiin 4500 t/a. Muiden lietteiden TS on ollut keskimäärin 15,7 % ja VS 65 – 70 % TS:sta. Typen ja fosforin pitoisuudet oletettiin samoiksi kuin Nenäinniemen puhdistamon lietteen vastaavat laskennalliset arvot ennen mädätystä (N_{tot} 2,5 % TS:sta ja P_{tot} 1,2 % TS:sta). Sako- ja pullokaivolietteiden tilavuuspainoiksi oletettiin 1,1 t/m^3. Sakokaivolietteen TS:n oletettiin olevan 3,1 %, VS:n 2,1 %, TKN:n 1,7 % TS:sta ja P_{tot}:n 0,6 % TS:sta. Pullokaivolietteen oletettiin olevan ominaisuuksiensa osalta sakokaivolietteen kaltainen. Puhdistamolietteen metaanintuottopotentiaaliksi arvioitiin 302 m^3CH_4/tVS, joka vastaa kirjallisuusarvoja 160 – 350 m^3CH_4/tVS (Schnürer & Jarvis 2010) ja 250 – 350 m^3CH_4/tVS (Angelidaki & Ellegaard 2003).

Taulukko 10. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamon puhdistamolietteen, alueen muiden lietteiden ja alueella muodostuvien sako- ja pullokaivolietteiden sekä lieteseoksen ja tuotetun lietekompostin määrät ja ominaisuudet. Suluissa olevat arvot lietekompostin tuoteselosteen mukaiset ja vastaavat ei-suluissa olevat arvot laskennallisia.

Ominaisuus	Mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete	Muut lietteet	Sako- ja pullokaivoliete	Lieteseos	Lietekomposti
WW (t/a)	11000	4500	20660	15500	7400
TS (%)	32[1]	15,7[2]	3,1	27,3	53,1 (45)
TS (mg/l)	-	-	34106[4]	-	-
TS (t/a)	3520	707	641	4227	3929
VS (% TS:sta)	54[1]	67,5[2]	67,7	56,3	60,3 (60)
VS (%)	17,28	10,6	2,1	15,4	32,0
VS (mg/l)	-	-	23100[4]	-	-
VS (t/a)	1901	477	434	2378	2369
N_{tot} (% TS:sta)	3,1[1]	2,5[3]	-	3,0	2,3 (2,45)
TKN (mg/l)	-	-	588[4]	-	-
N (t/a)	109	18	-	127	92
TKN (t/a)	-	-	11,0	-	-
P_{tot} (% TS:sta)	3,1[1]	1,2[3]	0,6	2,8	2,6 (3,0)
P_{tot} (mg/l)	-	-	210[4]	-	-
P (t/a)	109	9	3,9	118	102
K_{tot} (% TS:sta)	0,11			-	0,5 (0,54)
K (t/a)	4			-	18
NPK-luku					2-3-1

[1]Veijola 2011
[2]Martikainen ym. 2011
[3]Arvio
[4]EPA 1994

Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon mädätetyn ja kuivatun puhdistamolietteen raskasmetallipitoisuudet alittavat VNp:n 282/1994 mukaiset, lietteelle asetetut suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet (taulukko 11). Myöskään muiden lietteiden raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä kyseisiä raja-arvoja (Martikainen ym. 2011). Puhdistamolietteiden peltokäyttöä rajoittaa niiden sisältämä fosfori, jota saa levittää mm. viljeltävästä kasvista ja maan fosforin viljavuusluokasta riippuen keskimäärin 22 kg/ha/a (vaihteluväli 0 – 63 kgP/ha/a). Suurin sallittu lietteen käytöstä aiheutuva keskimääräinen vuotuinen raskasmetallikuormitus tulee vastaan, jos puhdistamolietettä levitetään

hehtaarille määrä, joka sisältää 66 kgP/a. Tällöin lietteen kadmiumpitoisuus saavuttaa raja-arvon.

Taulukko 11. Maanviljelyksessä käytettävän lietteen suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet, Nenäinniemen puhdistamolla muodostuvan mädätetyn ja kuivatun puhdistamolietteen raskasmetallipitoisuudet, suurin sallittu lietteen käytöstä aiheutuva keskimääräinen vuotuinen raskasmetallikuormitus sekä raskasmetallikuormitus, jos puhdistamolietettä levitetään määrä, joka sisältää joko 22 kg tai 66 kg fosforia.

Ominaisuus		Lietteen enimmäispitoisuus (mg/kg ka)*	Mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete (mg/kg ka)	Suurin kuormitus (g/ha/a)*	Kuormitus (g/ha/a), jos puhdistamolietettä levitetään	
					22 kg P	66 kg P
WW (t/a)		-	-	-	2,2	6,7
Raskasmetalli	Cd	1,5	0,7	1,5	0,5	1,499
	Cr	300	68	300	48	146
	Cu	600	208	600	148	446
	Hg	1,0	0,34	1,0	0,2	0,7
	Ni	100	27	100	19	58
	Pb	100	20	100	14	43
	Zn	1500	493	1500	350	1056

*VNp 282/1994

Kompostoitavan lieteseoksen kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin laskennallisesti 27,3 %, kokonaistyppipitoisuudeksi 3,0 % TS:sta ja kokonaisfosforipitoisuudeksi 2,8 % TS:sta (taulukko 10). Orgaaninen aines ei hajoa enää merkittävästi lieteseoksen kompostoinnissa, koska pääosa siitä on mädätettyä lietettä, joka on jo hajonnut mädätyksessä. Siksi lietekompostissa on lähes yhtä paljon orgaanista kuiva-ainetta kuin kompostiin syötettävässä lieteseoksessa. Veden poistuessa kompostoinnissa TS:n, VS:n, N_{tot}:n ja P_{tot}:n suhteelliset pitoisuudet kasvavat, ja lietteen märkämassa keskimäärin puolittuu. Lietteestä tuotetun kompostin kuiva-ainepitoisuus on 53,1 %, VS 60,3 % TS:sta, N_{tot} 2,3 % TS:sta, P_{tot} 2,6 % TS:sta ja K_{tot} 0,5 % TS:sta (taulukko 10). Kompostin NPK-luku on tällöin noin 2-3-1. Lietekompostia tuotettiin 12228 t vuonna 2010 ja noin 8000 t kahtena aiempana vuonna. Vuosittain tuotettavan lietekompostin määräksi oletettiin noin 7400 t. Tämä on vähäinen määrä verrattuna vuosien 2008 – 2010 lietekompostimääräarvioihin, mutta jotta kompostiin syötettävät ja sieltä poistuvat ravinnemäärät saatiin täsmäämään, täytyi tuotettavan lietekompostimäärän olla melko alhainen. Haitallisten metallien pitoisuudet tuotetussa lietekompostissa eivät ylitä lannoitevalmisteasetuksen mukaisia kaikille lannoitevalmisteille asetettuja haitallisten metallien enimmäispitoisuuksia (taulukko 8).

Biokaasua tuotettiin vuoden 2010 aikana yhteensä 2,2 Mm^3 (Tuominen & Tolmunen 2011). Metaanin osuus oli keskimäärin 62 – 65 % (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2011) eli 1,4 Mm^3. Energiasisällöltään metaani vastasi noin 14 GWh. Biokaasu hyödynnettiin Nenäinniemen puhdistamon CHP-voimalassa sähkö- ja lämpöenergian tuotannossa (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2011).

4.1.3 Rejektivedet

Nenäinniemen puhdistamolla muodostuu yhteensä noin 1740 m^3 rejektivesiä vuorokaudessa. Rejektivesistä 1100 m^3/d muodostuu esiselkeytyksestä tulevan lietteen gravitaatiotiivistyksessä, 160 m^3/d saman lietteen rumputiivistyksessä ja 480 m^3/d (20 m^3/h) mädätyksestä tulevan lietteen mekaanisessa (lingot) kuivauksessa (liite 1). Linkojen rejektiveden kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuudet ovat suurimmillaan kymmenkertaiset tiivistämöiden rejektivesien vastaaviin pitoisuuksiin verrattaessa (taulukko 12). Vuoden aikana linkojen rejektivesissä kiertää noin 164 t typpeä. Fosforipitoisuudet vaihtelevat ollen keskimäärin 13,5 mg/l linkojen, 8,4 mg/l gravitaatiotiivistämöiden ja 21 mg/l rumputiivistimen rejektivesissä.

Taulukko 12. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamolla muodostuvien linkojen, gravitaatiotiivistämöiden sekä rumputiivistimen rejektivesien ominaisuudet (Tuominen & Tolmunen 2011).

Ominaisuus	Linkojen rejekti	Gravitaatiotiivistämöiden rejekti	Rumputiivistimen rejekti
V (m^3/d)	480	1100	160
TS (g/l)	1	1	1
TS (t/a)	175	402	58
N_{tot} (mg/l)	935	74	130
NH_4^+-N (mg/l)	830	64	95
NH_4^+-N_{liuk} (mg/l)	765	-	-
N (t/a)	164	30	7,6
P_{tot} (mg/l)	13,5	8,4	21
P (t/a)	2,4	3,4	1,2

4.1.4 Lentotuhka

Alueellisilla voimalaitoksilla muodostuu vuosittain yhteensä noin 58000 t lentotuhkaa ja noin 16000 t pohjatuhkaa (liite 3). Lentotuhkasta 41000 t muodostuu Keljonlahden voimalaitoksella ja 17000 t Rauhalahden voimalaitoksella. Keljonlahdessa muodostuvan lentotuhkan TS on 99,5 % ja Rauhalahdessa muodostuvan 87,5 %. Keljonlahden

lentotuhkan fosforipitoisuus on 0,75 % TS:sta, kaliumpitoisuus 1,74 % TS:sta ja kalsiumpitoisuus 12,20 % TS:sta (taulukko 13). Vastaavat Rauhalahden lentotuhkan pitoisuudet ovat P 0,88 % TS:sta, K 2,31 % TS:sta ja Ca 7,38 % TS:sta. Verrattaessa tuhkien haitallisten metallien pitoisuuksia lannoitevalmisteasetuksen mukaisiin metsätaloudessa käytettävien tuhkalannoitteiden sallittuihin haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin, ainoastaan Rauhalahden lentotuhkan arseeni ylittää raja-arvon. Oletettiin, että lentotuhkissa ei ole lainkaan typpeä (Jyväskylän Energia Oy 2011a).

Taulukko 13. Jyväskylän Energia Oy:n Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitoksissa muodostuneiden lentotuhkien ominaisuuksia (Jyväskylän Energia Oy 2011a) sekä MMMa:n 24/11 mukaiset haitallisten metallien enimmäispitoisuudet epäorgaanisille lannoitteille.

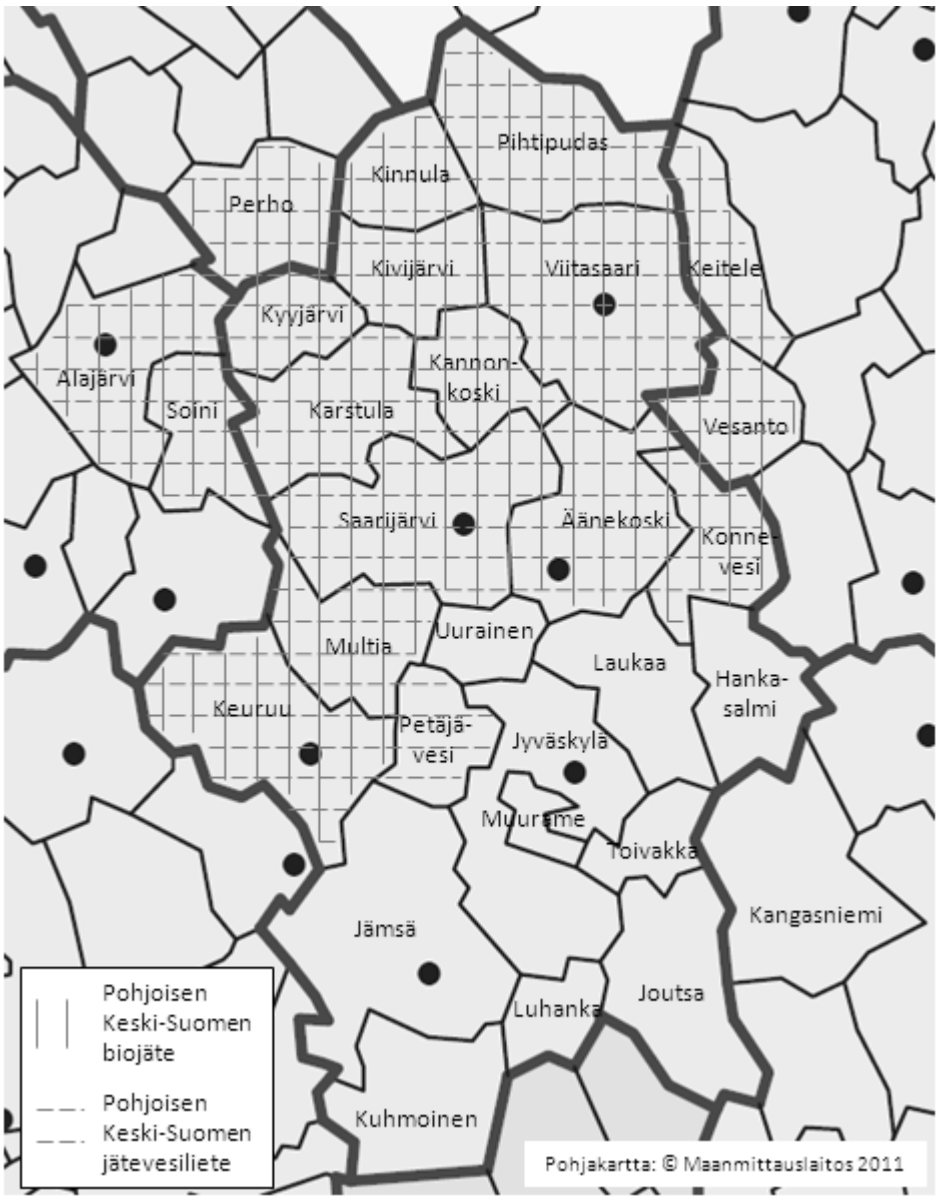
	Keljonlahti			Rauhalahti			Raja-arvot	
	mg/kg TS	% TS:sta	t/a	mg/kg TS	% TS:sta	t/a	mg/kg TS[1]	mg/kg TS[2]
Al	66900	6,69	2729,2	70300	7,03	1045,7	-	-
Ca	**122000**	**12,20**	**4977,0**	**73800**	**7,38**	**1097,8**	-	-
Fe	55600	5,56	2268,2	59300	5,93	882,1	-	-
Mg	11200	1,12	456,9	12300	1,23	183,0	-	-
P	**7450**	**0,75**	**303,9**	**8830**	**0,88**	**131,3**	-	-
K	**17400**	**1,74**	**709,8**	**23100**	**2,31**	**343,6**	-	-
Si	241000	24,10	9831,6	267000	2,67	3971,6	-	-
Na	11800	1,18	481,4	13600	1,36	202,3	-	-
Ti	2260	0,23	92,2	2680	0,27	39,9	-	-
S	12300	1,23	501,8	2530	0,25	37,6	-	-
Mn	1410	0,14	57,5	2220	0,22	33,0	-	-
As	**37**	**< 0,01**	**1,5**	**41**	**< 0,01**	**0,6**	**25**	**40**
Ba	680	0,07	27,7	810	0,08	12,0	-	-
Cd	**2,1**	**< 0,01**	**0,1**	**2,7**	**< 0,01**	**0,04**	**1,5**	**25**
Co	12	< 0,01	0,5	14	< 0,01	0,2	-	-
Cr	50	< 0,01	2,0	47	< 0,01	0,7	300	300
Cu	78	< 0,01	3,2	90	< 0,01	1,3	600	700
Mo	12	< 0,01	0,5	10	< 0,01	0,1	-	-
Ni	35	< 0,01	1,4	39	< 0,01	0,6	100	150
Pb	31	< 0,01	1,3	55	< 0,01	0,8	100	150
Sb	1	< 0,01	0,04	1,8	< 0,01	0,03	-	-
Se	4,6	< 0,01	0,2	5,1	< 0,01	0,1	-	-
V	98	< 0,01	4,0	95	< 0,01	1,4	-	-
Zn	220	0,02	9,0	370	0,04	5,5	1500	4500
Hg	0,17	< 0,01	0,007	0,59	< 0,01	0,009	1,0	1,0

[1]Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta (MMMa 24/11)
[2]Metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta (MMMa 24/11)

4.1.5 Pohjoinen Keski-Suomi ja sen lähikunnat

Pohjoisessa Keski-Suomessa ja sen lähikunnissa (Saarijärvi, Karstula, Kannonkoski, Kivijärvi, Kinnula, Pihtipudas, Viitasaari, Äänekoski, Multia, Keuruu, Petäjävesi, Kyyjärvi, Soini, Alajärvi, Perho, Keitele, Vesanto ja Konnevesi; kuva 6) muodostuu 2803 t biojätettä ja 14221 t jätevesilietteitä, joita ei käsitellä Jyväskylässä (taulukko 14; Tuppurainen 2011). Nämä raaka-ainevirrat voidaan tulevaisuudessa kuljettaa käsiteltäväksi

Jyväskylään, jolloin Jyväskylässä käsiteltävän biojätteen kuiva-ainemäärä kasvaisi noin 20 % ja jätevesilietteen noin 50 %. Biojätteen sisältämän typen määrä kasvaisi noin 20 t/a ja fosforin noin 6 t/a. Puhdistamolietteen typen määrä kasvaisi noin 62 t/a ja fosforin noin 28 t/a.



Kuva 6. Pohjoisen Keski-Suomen sekä sen lähialueen kunnat, joissa muodostuu biojätettä ja jätevesilietettä (mukaillen Tuppurainen 2011).

Taulukko 14. Pohjoisen Keski-Suomen sekä sen lähikuntien alueella muodostuvien biojätteiden ja jätevesilietteiden määrät ja ominaisuudet.

Ominaisuus	P K-S Biojäte	P K-S Jätevesiliete
WW (t/a)	2803	14221[1]
TS (%)	30,6*	17,6[1]
TS (t/a)	858	2510
VS (% TS:sta)	82,0*	67,5*
VS (%)	25,1	10,6
VS (t/a)	704	1507
N_{tot} (% TS:sta)	2,3*	2,5*
N (t/a)	20	62
P_{tot} (% TS:sta)	0,7*	1,2*
P (t/a)	6	28

*Oletus
[1]Tuppurainen 2011

4.2 Raaka-aineiden tuotteistaminen tulevaisuudessa

4.2.1 Mädätys

Nenäinniemen puhdistamolla muodostuvan puhdistamolietteen lisäksi myös erilliskerättävä biojäte ja lanta sekä Jyväskylän seudulla muodostuvat muut lietteet voidaan mädättää Nenäinniemen puhdistamon bioreaktoreissa (liitteet 4 & 5). Reaktorit on saneerattava tätä ennen kapasiteetin kasvattamiseksi. Mädätys voidaan suorittaa joko erillis- tai yhteismädätyksenä. Erillismädätyksessä kotitalouksien biojäte ja lanta (myöhemmin KotiBioLanta) mädätetään erillään puhdistamolietteistä ja julkisen sektorin, kaupan ja teollisuuden biojätteestä (myöhemmin KauppaBioLiete), jolloin kotitalouksien biojätteestä ja lannasta tuotetusta KotiBioLanta-mädätteestä edelleen valmistettua lannoitevalmistetta voisi käyttää luonnonmukaisessa tuotannossa (taulukko 15). Yhteismädätyksessä sekä biojäte ja lanta että kaikki puhdistamolietteet (myöhemmin BioLantaLiete) mädätetään yhdessä. Tällöin saadaan tuotettua vain yhdenlaista mädätettä.

Taulukko 15. Raaka-aineiden tuotteistaminen ja siihen liittyvä lainsäädäntö.

Raaka-aine ja tuotteistamistapa	Lainsäädäntö	Lainsäädännön kanta	Eviran tulkinta
Biojätteen ja lannan mädätys ja kompostointi tai terminen kuivaus ja rakeistus	MMMa 24/11	Lopputuote orgaaninen maanparannusaine. Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö poissuljettu.	Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö ei sallittua.
	EY 1774/2002	Biojäte ja lanta voidaan käsitellä biokaasu- tai kompostointilaitoksella. Biojätteen käsittelyvaatimukset: enimmäispartikkelikoko 12 mm, vähimmäislämpötila 70 °C ja vähimmäisaika 60 min.	-
	EY 889/2008	Asetuksen liitteessä I on lueteltu lannoitteet ja maanparannusaineet, joita saa käyttää luonnonmukaisessa tuotannossa. Näitä ovat esimerkiksi muualta kuin teollisesta eläinten kasvatuksesta tuleva lanta/kompostoitu lanta sekä kompostoitu tai fermentoitu kotitalousjäte.	-
Puhdistamolietteen mädätys ja kompostointi tai terminen kuivaus ja rakeistus	MMMa 24/11	Lopputuote orgaaninen maanparannusaine. Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö poissuljettu.	Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö ei sallittua.
	VNp 282/1994	Puhdistamoliete käsiteltävä esim. mädättämällä ennen maanviljelyskäyttöä. Käyttökohteet rajattu: vain viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta, öljykasveja tai sellaisia kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi. Nurmelle vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla liete huolellisesti. Huomioitava raskasmetallikuormitusrajoitukset.	-
Linkojen rejektiveden ammoniumtypen strippaus	MMMa 24/11	Lopputuote on joko epäorgaaninen yksi- tai moniravinteinen pääravinnelannoite.	-
Linkojen rejektiveden ammoniumtypen struviittisaostus	MMMa 24/11	Lopputuote on epäorgaaninen moniravinteinen pääravinnelannoite.	-
Linkojen rejektiveden käyttäminen sellaisenaan	MMMa 24/11	Asetuksen mukaisesti maanparannusaineena sellaisenaan käytettävä sivutuote.	-
Tuhkan rakeistus	MMMa 24/11	Lopputuote tuhkalannoite. Asetus sallii puun ja turpeen tuhkan käytön tuhkalannoitteena tai sen raaka-aineena, kun tuhka käsitellään niin, että sen pölyäminen on mahdollisimman vähäistä. Käyttöä rajoittavat tuhkan sisältämät haitalliset metallit, joiden pitoisuudet eivät saa ylittää asetuksen raja-arvoja.	-
Tuhkan ja mädätteen rakeistus	MMMa 24/11	Tuhkan osalta sama kuin edellisessä käsittelyssä. Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö poissuljettu.	Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö ei sallittua.
	VNp 282/1994	Puhdistamoliete käsiteltävä esim. mädättämällä ennen maanviljelyskäyttöä. Käyttökohteet rajattu: vain viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta, öljykasveja tai sellaisia kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi. Nurmelle vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla liete huolellisesti. Huomioitava raskasmetallikuormitusrajoitukset.	-

Biojätteelle on suoritettava esikäsittely eli murskaus, seulonta ja metallinerotus sekä tarvittaessa myös lietteistäminen ennen mädätystä. Metallinerotuksessa biojätteen seassa mahdollisesti olevat metalliesineet poistetaan magneettierottimella, murskauksessa biojäte pilkotaan sivutuoteasetuksen edellyttämään 12 mm palakokoon sopivalla murskaimella

(taulukko 15) ja seulonnassa murskatusta biojätteestä poistetaan isokokoiset epäpuhtaudet, kuten muovinpalat. Biojätteen esikäsittelyä varten on olemassa erilaisia murskaimen, seulan sekä metallinerottimen yhdistäviä laitteistoja, mutta laitteet voidaan hankkia myös erillisinä. Tarvittaessa biojätemassaan voidaan lisätä vettä pumpattavuuden parantamiseksi. Esikäsittelyt suoritetaan Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiössä, koska niitä ei voida tilanpuutteen ja hajuhaittojen vuoksi toteuttaa Nenäinniemen puhdistamon alueella. Esikäsittelyn jälkeen biojäte kuljetetaan Nenäinniemen puhdistamon vastaanottoasemalle, johon kuljetetaan myös muut lietteet ja lanta, joita ei tarvitse käsitellä ennen mädätystä. Vastaanottoasemalta raaka-aineet johdetaan edelleen homogenoijaan, jossa ne sekoitetaan tasalaatuiseksi seokseksi, jonka lopullista mädätyssakeutta säädetään tarvittaessa.

Ennen mädättämöön johtamista raaka-aineseokselle suoritetaan sivutuoteasetuksen mukainen hygienisointi (1 h, 70 °C) erillisessä täyssekoitteisessa, lämmönvaihtimilla varustetussa hygienisointisäiliössä (taulukko 15), jossa automaattinen valvomojärjestelmä kerää tiedot hygienisoinnin lämpötiloista. Hygienisointi voidaan suorittaa vaihtoehtoisesti myös mädätyksen jälkeen. Ensisijaisesti hygienisointiyksikkö sijoitetaan jätevedenkäsittelylaitokselle, mutta tarvittaessa se voidaan rakentaa myös jätteenkäsittely-yhtiön alueelle. Bioreaktoreiden kapasiteettia saadaan kasvatettua saneeraamalla ne. Mädätyksen käsittelyjäännökset kuivataan lingoilla samalla tavalla kuin nykyäänkin, mutta erillismädätyksessä käsittelyjäännökset kuivataan toisistaan erillään. Mädätettävän aineen määrän kasvaessa uusi linko joudutaankin todennäköisesti hankkimaan.

Kuivattua mädätettä (TS 32 %) muodostuu yhteismädätyksestä 18847 t/a (taulukko 16) nykyään muodostuvan 11000 t/a mädätetyn ja kuivatun puhdistamolietteen sijaan. KotiBioLanta-mädätteen osuus on noin 30 % ja KauppaBioLiete-mädätteen noin 70 % märkäpainosta.

Taulukko 16. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamolla muodostuvan kuivatun mädätteen määrät ja ominaisuudet yhteis- ja erillismädätysvaihtoehdoissa, jos Nenäinniemen puhdistamolla mädätetään siellä muodostuvan puhdistamolietteen lisäksi kaikki biojätteet, lanta sekä muut lietteet.

		Kuivattu mädäte	
Ominaisuus	BioLantaLiete	KotiBioLanta	KauppaBioLiete
WW (t/a)	18847	5712	13135
TS (%)	32	32	32
TS (t/a)	6031	1828	4203
VS (%)	18,2	20,5	17,2
VS (t/a)	3434	1172	2262
N (% TS:sta)	2,75	2,33	2,93
N (t/a)	166	43	123
P (% TS:sta)	2,45	1,42	2,90
P (t/a)	148	26	122

Mädätettävän biomassan määrän kasvun myötä myös biokaasuntuotto kasvaa. Metaania muodostuu 3,0 Mm^3/a, joka vastaa energiasisällöltään noin 30 GWh. Metaani hyödynnetään edelleen Nenäinniemen puhdistamon omassa CHP-voimalassa sähkön ja lämmön tuotannossa.

4.5.2 Mädätteen tuotteistaminen

Mädäte voidaan jälkikompostoida maanparannuskompostiksi samalla tavalla kuin nykyäänkin. Ensin mädätteen joukkoon sekoitetaan tukiaine (turve, risuhake, puunmurske), minkä jälkeen seos syötetään tunnelikompostiin 1 – 2 viikoksi. Tunnelikompostointikäsittelyn jälkeen kompostimassa siirretään 1 – 2 viikoksi kypsytyshalliin, minkä jälkeen se siirretään ulos asfalttikentälle, jossa toteutetaan muutaman kuukauden kestävä jälkikypsytys aumoissa. Erillismädätysvaihtoehdossa eri mädätteet tulee kompostoida erillisissä tunnelikompostilinjoissa.

Maanparannuskompostia muodostuu kaikesta mädätteestä yhteensä 9424 t/a (taulukko 17). Sen NPK-luku on 2,6-2,6-1,5. Erillismädätysvaihtoehdossa KotiBioLanta- ja KauppaBioLiete-maanparannuskomposteja muodostuu suhteessa 3:7. KotiBioLanta-maanparannuskompostin NPK-luku on 2,2-1,5-2,0 ja KauppaBioLiete-maanparannuskompostin 2,8-3,1-0,5. Kaikki maanparannuskomposti riittäisi yhteensä 6055 ha/a, jos sitä levitettäisiin maaperään määrä, joka sisältää 22 kg fosforia. 22 kg:n fosforilevitysmäärä on ympäristötuen ehtojen mukaisen lannoitusoppaan fosforilannoitustason keskiarvo. Kaikkien tässä tutkimuksessa tarkasteltavien

lannoitevalmisteiden fosforista otettiin huomioon 100 %, koska lähtötiedoissa ei ollut kaikkien raaka-aineiden osalta eritelty liukoista ja kiintoaineksessa olevaa fosforia. Jos levitysperusteena on fosfori, niin myöskään lietteen raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä VNp:n 282/1994 mukaisia raja-arvoja tai vuotuisia raskasmetallikuormituksia. Lannoitusoppaan typpilannoitustason keskiarvo on 70 kgN/ha/a (vaihteluväli 20 – 120 kgN/ha/a). Lannoitettaessa typen perusteella fosforin määrä sekä raskasmetallipitoisuudet kuitenkin ylittävät ehdot.

Taulukko 17. Mustankorkea Oy:n jätteenkäsittely-yhtiössä tulevaisuudessa tuotettavan maanparannuskompostin laskennalliset määrät ja ominaisuudet yhteis- ja erillismädätysvaihtoehdoissa.

	Maanparannuskomposti		
Ominaisuus	BioLantaLiete	KotiBioLanta	KauppaBioLiete
WW (t/a)	9424	2856	6568
TS (%)	54,4	54,4	54,4
TS (t/a)	5126	1554	3573
VS (% TS:sta)	63,6	71,6	60,1
VS (t/a)	3262	1113	2149
N_{tot} (% TS:sta)	2,59	2,19	2,75
N (t/a)	133	34	98
P_{tot} (% TS:sta)	2,60	1,51	3,07
P (t/a)	133	23	110
A_{P22kg} (ha/a)*	6055	1064	4991
A_{N70kg} (ha/a)**	1897	486	1406
NPK-luku	2,6-2,6-1,5	2,2-1,5-2,0	2,8-3,1-0,5

*Pinta-ala, jolle komposti riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 22 kg fosforia.
**Pinta-ala, jolle komposti riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 70 kg typpeä.

Käytetyistä raaka-aineista riippuen 1,3 – 2,7 t eli 1,9 – 3,8 m^3 maanparannuskompostia sisältää noin 22 kg fosforia (taulukko 18). Typpeä kyseinen kompostimäärä sisältää käytetyistä raaka-aineista riippuen 20 – 32 kg.

Taulukko 18. Fosforin (22 kg) ja typen (70 kg) perusteella hehtaarille vuoden aikana levitettävän maanparannuskompostin määrät ja ominaisuudet.

Ominaisuus	Maanparannuskomposti$_{P22kg}$			Maanparannuskomposti$_{N70kg}$		
	BioLanta Liete	KotiBio Lanta	KauppaBio Liete	BioLanta Liete	KotiBio Lanta	KauppaBio Liete
WW (t/ha/a)	1,6	2,7	1,3	5,0	5,2	4,9
tilavuuspaino (t/m^3)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
V (m^3/ha/a)	2,2	3,8	1,9	7,1	7,4	7,0
h (cm/ha/a)	0,02	0,04	0,02	0,07	0,07	0,07
P (kg/ha/a)	22	22	22	70	48	79
N (kg/ha/a)	22	32	20	70	70	70

Mädäte voidaan myös rakeistaa maanparannusrakeeksi (kuivarae). Ensin mädätteelle suoritetaan terminen kuivaus, jossa mädätteen kuiva-ainepitoisuus nostetaan 32 %:sta 90 %:iin. Kuivauksen jälkeen massa rakeistetaan. Valmista maanparannusraetta, jonka NPK-luku on 2,5-2,5-1,5, muodostuu kaikesta mädätteestä yhteensä 6701 t/a (taulukko 19). KotiBioLanta-maanparannusraetta ja KauppaBioLiete-maanparannusraetta muodostuu erillismädätysvaihtoehdossa suhteessa 3:7. KotiBioLanta-maanparannusrakeen NPK-luku on 2,1-1,4-2,0 ja KauppaBioLiete-maanparannusrakeen 2,6-2,9-0,5. Jos maanparannusraetta levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 22 kg fosforia, riittää kaikki maanparannusrae yhteensä 6727 hehtaarille.

Taulukko 19. Mustankorkea Oy:n jätteenkäsittely-yhtiössä tulevaisuudessa tuotettavan maanparannusrakeen laskennalliset määrät ja ominaisuudet yhteis- ja erillismädätysvaihtoehdoissa.

Ominaisuus	Maanparannusrae		
	BioLantaLiete	KotiBioLanta	KauppaBioLiete
WW (t/a)	6701	2031	4670
TS (%)	90	90	90
TS (t/a)	6031	1828	4203
VS (% TS:sta)	56,9	64,1	53,8
VS (t/a)	3434	1172	2262
N_{tot} (% TS:sta)	2,48	2,09	2,63
N (t/a)	149	38	111
P_{tot} (% TS:sta)	2,45	1,42	2,90
P (t/a)	148	26	122
A_{P22kg} (ha/a)*	6727	1182	5545
A_{N70kg} (ha/a)**	2134	546	1581
NPK-luku	2,5-2,5-1,5	2,1-1,4-2,0	2,6-2,9-0,5

*Pinta-ala, jolle komposti riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 22 kg fosforia.
**Pinta-ala, jolle komposti riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 70 kg typpeä.

Käytetyistä raaka-aineista riippuen 0,8 – 1,7 t eli 0,9 – 1,9 m^3 maanparannusraetta sisältää noin 22 kg fosforia (taulukko 20). Kyseinen maanparannusraemäärä sisältää käytetyistä raaka-aineista riippuen 20 – 32 kg typpeä.

Taulukko 20. Fosforin (22 kg) ja typen (70 kg) perusteella hehtaarille vuoden aikana levitettävän maanparannusrakeen määrät ja ominaisuudet.

Ominaisuus	$Maanparannusrae_{P22kg}$			$Maanparannusrae_{N70kg}$		
	BioLanta Liete	KotiBio Lanta	KauppaBio Liete	BioLanta Liete	KotiBio Lanta	KauppaBio Liete
WW (t/ha/a)	1,0	1,7	0,8	3,1	3,7	3,0
tilavuuspaino (t/m^3)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
V (m^3/ha/a)	1,1	1,9	0,9	3,5	4,1	3,3
h (cm/ha/a)	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03
P (kg/ha/a)	22	22	22	69	48	77
N (kg/ha/a)	22	32	20	70	70	70

Sekä maanparannuskompostien että -rakeiden tyyppinimiryhmä on orgaaninen maanparannusaine. Ne soveltuvat ravinteikkaiksi maanparannusaineiksi pelto- ja puutarhakäyttöön, viherrakentamiseen sekä maisemointiin. Maanparannuskomposteja voidaan käyttää myös eroosion estoon ja seosaineena mullan valmistuksessa. KotiBioLanta-maanparannuskomposti soveltuu lisäksi käytettäväksi maanparannusaineena luonnonmukaisessa tuotannossa (taulukko 15).

Mädätteen ja lentotuhkan tuotteistamista tuhka-mädäterakeeksi on käsitelty tarkemmin luvussa 4.5.3 (lentotuhkan tuotteistaminen).

4.5.3 Lentotuhkan tuotteistaminen

Lannoitevalmisteasetuksen mukaan tuhkalannoitteena tai sen raaka-aineena voidaan käyttää puun, turpeen tai peltobiomassan poltossa muodostuvaa tuhkaa, kun tuhka käsitellään niin, että sen pölyäminen saadaan minimoitua (taulukko 15). Asetuksessa säädetään myös haitallisten metallien enimmäispitoisuuksista kaikille lannoitevalmisteille ja erikseen metsätaloudessa käytettäville lannoitevalmisteille (taulukko 1). Keljonlahden voimalaitoksella puuperäisten polttoaineiden sekä turpeen poltossa muodostuva lentotuhka alittaa metsätaloudessa käytettäville lannoitevalmisteille asetetut haitallisten metallien raja-arvot, joten se voitaisiin tuotteistaa metsässä käytettäväksi tuhkalannoitteeksi. Rauhalahden voimalaitoksen lentotuhkan arseenipitoisuus sen sijaan ylittää sallitun metsätaloudessa käytettäville lannoitevalmisteille asetetun arseenipitoisuuden.

Keljonlahden voimalaitoksella muodostuva lentotuhka voidaan prosessoida tuhkatuotteeksi esimerkiksi itsekovetuksella, rakeistamalla tai pelletöimällä (liitteet 4 & 5). Tuhkan kostutukseen käytetään vettä siten, että veden osuus on noin 30 % tuhka-vesiseoksen kokonaismassasta. Rakeistuksessa ja pelletöinnissä riittää todennäköisesti vähäisempi vesimäärä. Tuotteistaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi Mustankorkea Oy jätteenkäsittely-yhtiön alueella tarkoitukseen soveltuvalla laitteistolla. Valmiiden tuhkarakeiden varastointi ja myynti voidaan sijoittaa myös jätteenkäsittely-yhtiön alueelle.

Keljonlahden lentotuhkaan sekoitetaan 17571 t/a vettä, joka haihtuu osittain pois tuhkan kovettuessa ja kuivuessa (taulukko 21). Itsekovetettua tuhkaa (TS 75 %) muodostuu 54393 t/a tai vaihtoehtoisesti tuhkaraetta (TS 88 %) 46358 t/a tai tuhkapellettiä (TS 96 %) 42495 t/a. Kaikkien tuhkatuotteiden alkuainepitoisuudet kuiva-aineessa ovat samat kuin käytetyssä lentotuhkassa eli NPK-luku on 0-0,7-1,7. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion (Makkonen 2008) tuhkalannoitusoppaan mukaan tuhkalannoituksella tavoitellaan 40 – 50 kg fosfori- ja 80 – 100 kg kaliumlisäystä hehtaarille. Tämä tarkoittaa yleensä 4000 – 5000 kg tuhkamäärää. Levitettäessä Keljonlahden lentotuhkasta valmistettua tuhkatuotetta siten, että hehtaarille levitettävä määrä sisältää 40 kg fosforia, riittää tuhkalannoite yhteensä 7598 ha/a. Koska tuhkalannoitus parantaa metsän ravinnetilaa ja kasvua vähintään 20 ja yleensä vielä 40 – 60 vuoden ajan lannoituksen jälkeenkin, riittäisi tuhkalannoitetta 60 vuoden aikana 455880 hehtaarille (Motiva 2009, Makkonen 2008).

Taulukko 21. Jyväskylän Energia Oy:n Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitosten lentotuhkista tuotettavissa olevien tuhkatuotteiden määrät ja ominaisuudet.

	Tuhkarae								
	Keljonlahti			Rauhalahti			Yhteensä		
Ominaisuus	**Rae**	**Pelletti**	**Itsek.**	Rae	Pelletti	Itsek.	Rae	Pelletti	Itsek.
$WW_{Lentotuhka, in}$ (t/a)		**41000**			17000			58000	
$TS_{Lentotuhka}$ (%)		**99,5**			87,5			96	
TS (t/a)		**40795**			14875			55670	
$Vesi_{in}$ (t/a)*		**17571**			7286			24857	
$WW_{Tuhkatuote, out}$ (t/a)	**46358**	42495	54393	16903	15495	19833	65909	60417	77333
$TS_{Tuhkatuote}$ (%)	**88**	**96**	75	88	96	75	88	96	75
N (% TS:sta)		**0**			0			0	
N (t/a)		**0**			0			0	
P (% TS:sta)		**0,745**			0,883			0,782	
P (t/a)		**304**			131			435	
K (% TS:sta)		**1,74**			2,31			1,89	
K (t/a)		**710**			344			1053	
Ca (% TS:sta)		**12,20**			7,38			10,91	
Ca (t/a)		**4977**			1098			6075	
A_{P40kg} (ha/a)**		**455880**			197040			652920	
NPK-luku		**0-0,7-1,7**			0-0,9-2,3			0-0,8-1,9	

*Veden lisäys 30 %

**Pinta-ala, jolle tuhkatuote riittää, kun sitä levitetään 60 vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 40 kg fosforia.

Tuotteistamismenetelmästä riippuen 5,6 – 7,2 t (tai m^3) Keljonlahden lentotuhkasta valmistettua tuhkatuotetta sisältää 40 kg fosforia (taulukko 22). Lisäksi tuhkatuote sisältää mm. 93 kg kaliumia, eikä ollenkaan typpeä.

Taulukko 22. Fosforin (40 kg) perusteella hehtaarille vuoden aikana levitettävän tuhkarakeen määrät ja ominaisuudet.

	$Tuhkarae_{P40kg}$								
	Keljonlahti			Rauhalahti			Yhteensä		
Ominaisuus	Rae	Pelletti	Itsek.	Rae	Pelletti	Itsek.	Rae	Pelletti	Itsek.
WW (t/ha/a)	6,1	5,6	7,2	5,1	4,7	6,0	6,1	5,6	7,1
tilavuuspaino (t/m^3)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V (m^3/ha/a)	6,1	5,6	7,2	5,1	4,7	6,0	6,1	5,6	7,1
h (cm/ha/a)	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
m_N (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m_P (kg)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
m_K (kg)	93	93	93	105	105	105	97	97	97

Lannoitevalmisteasetuksen mukainen tyyppinimiryhmä tuotettavalle tuhkarakeelle on tuhkalannoite (taulukko 15). Sitä voidaan käyttää metsälannoitteena runsaasti typpeä

sisältävissä suometsissä ja se soveltuu käytettäväksi myös maisemoinnissa ja viherrakentamisessa.

Keljonlahden lentotuhka voidaan tuotteistaa myös tuhka-mädäterakeeksi kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 17 % mädätteen kanssa. Rakeistus suoritetaan tarkoitukseen soveltuvalla rakeistimella, jonne syötetään 1 osa lentotuhkaa ja 2 osaa mädätettä (TS 17 %). Jos kaikki nykyään muodostuva mädäte tuotteistetaan tuhka-mädäterakeeksi, muodostuu valmista lopputuotetta 31059 t/a (taulukko 23). Sen kuiva-ainepitoisuus on noin 44,5 % ja NPK-luku 0,8-1,3-1,3. Mädätteen määrän mahdollisesti kasvaessa tulevaisuudessa, voidaan tuhka-mädäteraetta valmistaa 53214 t/a. Senkin TS on 44,5 %, ja NPK-luku 0,7-1,2-1,3. Tuhka-mädäterae riittää 4644 ha/a, jos sitä levitetään hehtaarille määrä, joka sisältää 40 kg fosforia. Tulevaisuudessa tuhka-mädäterae voi riittää 6987 ha/a fosforin perusteella levitettäessä. Koska lentotuhkaa on ylimäärin verrattuna mädätteeseen, rajoittaa mädäte tuotettavissa olevan tuhka-mädäterakeen määrää.

Taulukko 23. Nykyään ja tulevaisuudessa tuotettavissa olevan tuhka-mädäterakeen määrät ja ominaisuudet (LT_{in} = lentotuhka, M_{in} = mädäte, T-$Mrae_{out}$ = tuhka-mädäterae).

	Nykytilanne			Tulevaisuus		
Ominaisuus	LT_{in}	M_{in}	T-$Mrae_{out}$	LT_{in}	M_{in}	T-$Mrae_{out}$
WW (t/a)	10353	20706	31059	17738	35476	53214
TS (%)	99,5	17	44,5	99,5	17	44,5
TS (t/a)	10301	3520	13821	17649	6031	23680
VS (% TS:sta)	0,0	54,0	13,75	0,0	56,94	14,50
VS (t/a)	0	1901	1901	0	3434	3434
N (% TS:sta)	0,0	3,1	0,79	0,00	2,75	0,70
N (t/a)	0	109	109	0	166	166
P (% TS:sta)	0,745	3,1	1,34	0,745	2,45	1,18
P (t/a)	77	109	186	131	148	279
K (% TS:sta)	1,74	0,11	1,33	1,74	0,07	1,32
K (t/a)	179	4*	183	307	4,31*	311
A_{P40kg} (ha/a)**	-	-	4644	-	-	6987
A_{N70kg} (ha/a)***	-	-	1557	-	-	2371
NPK-luku	-	-	0,8-1,3-1,3	-	-	0,7-1,2-1,3

* Todellisuudessa enemmän, mutta pitoisuutta ei analysoitu, vaan arvio.
**Pinta-ala, jolle tuhka-mädäterae riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 40 kg fosforia.
***Pinta-ala, jolle tuhka-mädäterae riittää, kun sitä levitetään vuodessa hehtaarille määrä, joka sisältää 70 kg typpeä.

Nykytilanteen mukaisesti valmistettua tuhka-mädäteraetta tarvitaan 6,7 t (tai m^3), jotta se sisältää 40 kg fosforia (taulukko 24). Kyseinen tuhka-mädäteraemäärä sisältää myös 39 kg

kaliumia ja 23 kg typpeä. Tulevaisuuden tilanteen mukaisesti valmistettua tuhka-mädäteraetta tarvitaan 7,6 t (tai m^3), jotta se sisältää 40 kg fosforia. Edellä mainittu tuhka-mädäterae sisältää myös 45 kg kaliumia ja 24 kg typpeä.

Taulukko 24. Fosforin (40 kg) ja typen (70 kg) perusteella hehtaarille vuoden aikana levitettävän tuhka-mädäterakeen määrät ja ominaisuudet.

	Tuhka-mädäterae$_{P40kg}$		Tuhka-mädäterae$_{N70kg}$	
Ominaisuus	Nykytilanne	Tulevaisuus	Nykytilanne	Tulevaisuus
WW (t/ha/a)	6,7	7,6	19,9	22,4
tilavuuspaino (t/m^3)	1	1	1	1
V (m^3/ha/a)	6,7	7,6	19,9	22,4
h (cm/ha/a)	0,07	0,08	0,20	0,22
N (kg/ha/a)	23	24	70	70
P (kg/ha/a)	40	40	119	118
K (kg/ha/a)	39	45	118	131

Tämänhetkisen lainsäädännön mukaan tuhka-mädäteraetta ei saa käyttää lannoitteena pelto- ja puutarha- tai metsäkäytössä. Tuhka-mädäterae ei kelpaa pelto- ja puutarhakäyttöön, koska rakeen sisältämän lentotuhkan arseeni- ja kadmiumpitoisuudet ylittävät niille lannoitevalmisteasetuksessa asetetut raja-arvot. Metsäkäytön estää rakeen sisältämä orgaaninen mädäte, sillä lannoitevalmisteasetus poissulkee orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäytön. Tuhka-mädäterae soveltuu siis käytettäväksi ainoastaan maisemoinnissa ja viherrakentamisessa.

4.5.4 Linkojen rejektiveden käsittely

Nenäinniemen jätevedenpuhdistamoa sisäisesti kuormittavan linkojen rejektiveden määrä ja kuormitus kasvaa tulevaisuudessa, jos myös biojätteet, lanta ja muut lietteet mädätetään. Tällöin linkojen rejektivesien mukana kiertää 281 t typpeä vuodessa (taulukko 25). Siitä johtuen myös tiivistämöiden rejektivesien sekä käsitellyn jäteveden typpikuorma saattavat kasvaa. Linkojen rejektiveden käsittely on suotavaa puhdistamolle tulevan kuormituksen vähentämiseksi. Linkojen rejektivesi voidaan puhdistaa ennen puhdistamolle palauttamista tai ohjata muualle hyötykäyttöön.

Taulukko 25. Linkojen rejektiveden ammoniumtypen strippaus talteen nykytilanteessa ja tulevaisuudessa.

Ominaisuus	Nykytilanne	Tulevaisuus
$V_{Linkojen\ rejektivesi}$ (m^3/d)	480	822
$N_{tot.\ linkojen\ rejektivesi}$ (mg/l)	935	935
$N_{Linkojen\ rejektivesi}$ (t/a)	164	281
NH_4-$N_{Linkojen\ rejektivesi}$ (mg/l)	830	830
NH_4-$N_{Linkojen\ rejektivesi}$ (t/a)	145	249
$N_{in,\ pesu}$ (t/a)	131	224
$NH_{3in,\ pesu}$ (t/a)	159	272
$HNO_{3in,\ pesu}$ (t/a)	589	1008
$NH_4NO_{3out,\ pesu}$ (t/a)	748	1281
$N_{out,\ pesu}$ (t/a)	262	448

Yksi vaihtoehto linkojen rejektiveden puhdistamiselle on ammoniumtypen poisto strippaamalla (liitteet 4 & 5). Strippausprosessia varten Nenäinniemeen rakennetaan pesuri sekä strippaustorni, jossa ammoniakkimuotoon saatettu typpi stripataan ilma-/höyryvirran mukaan. Strippaustornista ammoniakkipitoinen ilma/höyry johdetaan edelleen pesuriin esimerkiksi typpihapon kanssa. Ammoniakin ja typpihapon reagoidessa muodostuu typpipitoinen (35,0 % N) ammoniumnitraatti, joka on epäorgaaninen yksiravinteinen pääravinnelannoite. Jos oletetaan, että rejektiveden ammoniumtypestä saadaan stripattua ammoniakkina noin 90 % talteen, saadaan nykyään muodostuvista linkojen rejektivesistä tuotettua noin 748 t/a ammoniumnitraattia, ja tulevaisuudessa vastaava luku voi olla jopa 1281 t/a. Typpihapon lisäksi pesunesteenä voidaan käyttää muitakin happoliuoksia, kuten rikkihappoa tai fosforihappoa. Tällöin lopputuotteeksi saadaan vastaavasti ammoniumsulfaattia tai ammoniumfosfaattia. Linkojen rejektivesistä tuotettu ammoniumnitraatti riittäisi nykyään 3743 ha/a ja tulevaisuudessa jopa 6400 ha/a, jos ammoniumnitraattia levitettäisiin hehtaarille määrä, joka sisältää 70 kg typpeä.

Linkojen rejektiveden ammoniumtyppi voidaan poistaa myös struviittisaostuksella (liitteet 4 & 5). Siinä ammoniumtyppipitoinen rejektivesi johdetaan saostusaltaaseen, jonne lisätään riittävästi magnesiumia ja fosfaattia. pH:ta nostettaessa struviitti kiteytyy ja laskeutuu altaan pohjalle. Jos ammoniumtypen puhdistustehon oletetaan olevan 90 %, saadaan struviittia valmistettua nykyään muodostuvista linkojen rejektivesistä noin 1283 t/a ja tulevaisuudessa jopa 2197 t/a (taulukko 26). Struviitissa, joka on lannoitevalmisteasetuksen mukaisesti epäorgaaninen moniravinteinen pääravinnelannoite,

on typpeä 10,2 m-%, fosforia 22,6 m-% ja magnesiumia 17,7 m-%. Fosforin mukaan levitettynä (22 kgP/ha/a) struviitti riittäisi nykyään 13180 ha/a ja tulevaisuudessa 22569 ha/a.

Taulukko 26. Linkojen rejektiveden ammoniumtypen struviittisaostus nykytilanteessa ja tulevaisuudessa.

Ominaisuus	Nykytilanne	Tulevaisuus
$V_{\text{Linkojen rejektivesi}}$ (m^3/d)	480	822
$N_{\text{tot. linkojen rejektivesi}}$ (mg/l)	935	935
$N_{\text{Linkojen rejektivesi}}$ (t/a)	164	281
NH_4^+-$N_{\text{Linkojen rejektivesi}}$ (mg/l)	830	830
NH_4^+-$N_{\text{Linkojen rejektivesi}}$ (t/a)	145	249
$Mg_{\text{in, saostus}}$ (t/a)	227	389
$PO_4^{3-}{}_{\text{in, saostus}}$ (t/a)	887	1519
$MgNH_4PO_{4\ \text{out, saostus}}$ (t/a)	1283	2197
$N_{\text{out, saostus}}$ (t/a)	131	224

Linkojen rejektivettä voidaan käyttää myös maanparannusaineena sellaisenaan käytettävänä sivutuotteena pelto- ja puutarhakäytössä, energiakasvien viljelyssä sekä maisemoinnissa eroosion estoon, kunhan rejektivesi ei ole peräisin puhdistamolietteitä käsittelevästä laitoksesta (Latvala 2009, Mavi 2010, MMMa 24/11).

4.3 Käyttökohteet

Keski-Suomessa oli käytössä olevaa maatalousmaata noin 99200 ha vuonna 2011 (taulukko 27). Yli 70 % siitä kului viljojen sekä alle 5-vuotisten nurmien viljelyyn (Tike 2011). KotiBioLanta-maanparannuskompostia tai -maanparannusraetta voidaan käyttää kaiken maatalousmaan lannoittamiseen. Jos maanparannusaineen raaka-aineena on käytetty puhdistamolietettä, niin kuin KauppaBioLiete- ja BioLantaLiete-maanparannusaineiden valmistamisessa, saa maanparannusainetta käyttää ainoastaan viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta tai öljykasveja taikka sellaisia kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi (VNp 282/1994). Nurmelle lietettä sisältävää maanparannusainetta saa levittää vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla liete huolellisesti. Lisäksi sekä lietteen että viljelymaan raskasmetallipitoisuudet on huomioitava. Muiden viljelykasvien joukossa ovat mm. sokerijuurikas, rypsi, rapsi sekä ruokohelpi (energiakasvi), joiden viljelyyn kului yhteensä 6100 ha (Tike 2011). Näiden kasvien sekä viljan lannoittamiseen (yhteensä 39400 ha)

soveltuvat myös KauppaBioLiete- ja BioLantaLiete-maanparannuskompostit sekä -maanparannusrakeet.

Taulukko 27. Keski-Suomen alueella sijaitsevien peltojen ja metsien pinta-alat (Metsäntutkimuslaitos 2010, Tike 2011). (Vrt. tuotettavissa olevat lannoitevalmisteet: maanparannuskomposti 6055 ha/a, maanparannusrae 6727 ha/a, NH_4NO_3 6400 ha/a, struviitti 22569 ha/a, tuhkarae 455880 ha/60 a.)

Lannoituskohde		Pinta-ala* (1000 ha)	*josta lannoitus-käyttöön soveltuu
Pellot	Viljat	33,3	
	Nurmet alle 5 v.	40,5	
	Peruna	0,1	
	Muut viljelykasvit	8,2	
	Kesantoala	16,1	
	Muu käytössä oleva maatalousmaa	1,0	
Pellot yhteensä		99,2	39,4
Kankaat	Lehdot	22	
	Lehtomaiset	283	
	Tuoreet	530	
	Kuivahkot	229	
	Kuivat	20	
	Karukot	1	
	Kalliomaat, hietikot ja vesijättömaat	6	
Kankaat yhteensä		1091	207,725
Suot	Korvet	120	
	Rämeet	200	
	Avosuot	20	
Suot yhteensä		340	57,709

Keski-Suomen alueella on keskimäärin 1,4 Mha metsiä, joista noin 1,1 Mha on kankaita ja 0,3 Mha soita (Metsäntutkimuslaitos 2010). Parhaiten tuhkalannoitukseen soveltuvat tuoreet ja kuivahkot kankaat sekä rämeet (Makkonen 2008), joissa on riittävästi typpeä, mutta joissa muista ravinteista, kuten fosforista tai kaliumista, on puutetta. Tarkempi kohdekohtainen lannoitustarve voidaan määrittää esimerkiksi neulas- tai maa-analyysin avulla. Metsäkeskuksen tekemän selvityksen mukaan 57709 ha Keski-Suomen alueella sijaitsevista soista ja 207725 ha kankaista soveltuu tuhkalannoituskohteiksi (Kauppinen & Nikkola 2012). Selvityksessä on huomioitu sekä metsämaan ravinteisuus että metsien metsänhoidollinen tila.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Mädätys

Erilliskerättävästä biojätteestä, lannasta sekä muista lietteistä saadaan ravinteiden lisäksi myös energia talteen, jos ne mädätetään ennen kompostointia (Dohányos & Zábranská 2001). Tällöin metaanintuotto yli kaksinkertaistuu. Koska toiminnassa olevan CHP-voimalan kapasiteetti ei riitä prosessoimaan kaksinkertaista kaasumäärää, täytyy kaasun käsittelemiseksi esimerkiksi rakentaa uusi CHP-voimala tai jalostaa kaasu liikennepolttoaineeksi. Kaasu voidaan myös myydä ulkopuolisille. Energian määrän kasvun myötä Nenäinniemen puhdistamo voi olla tulevaisuudessa omavarainen myös sähkön suhteen.

Heterogeenisen biojätteen käsittely todennäköisesti parantuu, kun biomassa mädätetään kompostoinnin lisäksi. Tällöin biojäte ehtii hajota pidemmälle kuin nykytilanteessa, ja muodostuva massa on tasalaatuista. Uusi hygienisointiyksikkö parantaa myös tuotettavan mädätteen laatua. Kaiken eloperäisen raaka-aineen mädättäminen pienentää kompostoitavan massan määrää, joten kompostoinnin tehokkuutta voidaan parantaa tulevaisuudessa kasvattamalla laitoskompostointikäsittelyn pituutta (Dohányos & Zábranská 2001).

Puhdistamolietteiden fosforipitoisuus on suurempi ja kaliumpitoisuus pienempi kuin biojätteellä (Hansen 2001). Siksi erillismädätyksessä muodostuva mädäte, joka on prosessoitu pääosin puhdistamolietteestä, sisältää enemmän fosforia ja vähemmän kaliumia kuin biojätteestä ja lannasta valmistettu mädäte. Yhteismädätyksessä fosfori- ja kaliumpitoisuuksien erot tasaantuvat, kun kaikki raaka-aineet sekoitetaan keskenään. Yhteismädätyksessä kaikki muodostunut mädäte on samanlaista, mutta erillismädätyksessä KotiBioLanta-mädäte soveltuu käytettäväksi luonnonmukaisessa tuotannossa. Tämä ”luomustatus” tekee lopputuotteesta todennäköisesti arvokkaamman kuin kaupan biojätettä ja puhdistamolietettä sisältävä vastaava tuote on.

4.2 Mädätteen tuotteistaminen

Tulevaisuudessa tuotettava maanparannuskomposti (TS 54,4 %; VS 60,1 – 71,6 % TS:sta; N_{tot} 2,19 – 2,75 % TS:sta; P_{tot} 1,51 – 3,07 % TS:sta; K_{tot} n. 0,5 – 2,0 % TS:sta) on ominaisuuksiltaan samankaltaista kuin nykyään valmistettava maanparannuskomposti (TS

45 – 53,1 %; VS 60 – 61,3 % TS:sta; N_{tot} 2,33 – 3,0 % TS:sta; P_{tot} 0,81 – 3,0 % TS:sta; K_{tot} 0,46 – 2,0 % TS:sta). Käytetyt raaka-aineet vaikuttavat fosfori- ja kaliumpitoisuuksiin siten, että puhdistamoliete nostaa maanparannuskompostin fosforipitoisuutta ja biojäte kaliumpitoisuutta. Siksi puhdistamolietteestä valmistetun maanparannuskompostin P_{tot} on lähellä 3,07 % TS:sta ja K_{tot} 0,5 % TS:sta ja biojätteestä valmistetun maanparannuskompostin P_{tot} on lähellä 1,51 % TS:sta ja K_{tot} 2,0 % TS:sta. Markkinoilla olevien maanparannuskompostien TS on 28 – 65 %, VS 43 – 81 % TS:sta, N_{tot} 1,7 – 4,6 % TS:sta, P_{tot} 0,9 – 5,8 % TS:sta ja K_{tot} < 0,1 – 0,7 % TS:sta (FA Forest Oy 2011, Käytännön maamies 2011, Lakeuden Etappi Oy 2011). Jyväskylässä nykyään ja tulevaisuudessa tuotettavien maanparannuskompostien ominaisuudet ovat samaa suuruusluokkaa markkinoilla olevien maanparannuskompostien ominaisuuksien kanssa. Jyväskylässä tuotettavien maanparannuskompostien kaliumpitoisuus on tosin jonkin verran korkeampi kuin markkinoilla olevien kompostien. Tämä johtuu siitä, että markkinoilla olevat maanparannuskompostit valmistetaan pääasiassa puhdistamolietteistä ja Jyväskylässä kompostoidaan puhdistamolietteiden lisäksi huomattavissa määrin myös biojätettä. Erot käytetyissä raaka-aineissa aiheuttavat myös sen, että joidenkin markkinoilla olevien maanparannuskompostien typpi- ja fosforipitoisuudet ovat korkeampia kuin Jyväskylässä tuotettavien maanparannuskompostien. Markkinoilla olevien maanparannuskompostien TS:ssa ja VS:ssa on myös suurta vaihtelua.

Jyväskylässä tulevaisuudessa tuotettavan maanparannuskompostin määrä on 9424 t/a. Se riittää lannoittamaan 6055 ha peltoja tai puutarhaa. Lisäksi sitä voidaan hyödyntää maisemoinnissa, viherrakentamisessa tai mullan valmistuksessa. Keski-Suomen alueella on yhteensä 39400 ha peltoja, joita voidaan lannoittaa myös puhdistamolietettä sisältävällä maanparannusaineella. Lannoituskohteita on siis ainakin riittävästi maanparannuskompostin käyttämiseksi. Reilut 70 % maanparannuskompostista on myyty mullan raaka-aineeksi tai viherrakentamis- ja lannoituskäyttöön vuonna 2010. Suurin osa tästä 70 %:sta on käytetty mullan raaka-aineena. Koska mullan tuottaminen on valmis ja toimiva prosessiketju, kannattaa sitä jatkaa myös tulevaisuudessa.

Tulevaisuudessa tuotettavan maanparannusrakeen ominaisuudet (TS 90 %; VS 53,8 – 64,1 % TS:sta; N_{tot} 2,09 – 2,63 % TS:sta; P_{tot} 1,42 – 2,90 % TS:sta; K_{tot} n. 0,5 – 2,0 % TS:sta) ovat keskimäärin samansuuruisia kuin markkinoilla olevien kuivarakeiden ominaisuudet (TS 90 – 92 %; VS 45 – 48 % TS:sta; N_{tot} 3,3 – 3,4 % TS:sta; P_{tot} 2,5 – 3,2 % TS:sta; K_{tot}

0,21 % TS:sta) (FA Forest Oy 2011, Käytännön maamies 2011, Lakeuden Etappi Oy 2011). Maanparannusrakeiden TS on korkea termisestä kuivauksesta johtuen. Typpi- ja fosforipitoisuudet ovat jonkin verran korkeampia ja VS sekä kaliumpitoisuus hieman matalampia markkinoilla olevissa kuivarakeissa kuin Jyväskylässä tulevaisuudessa tuotettavassa maanparannusrakeessa. Tämä voi johtua esimerkiksi käytettyjen raaka-aineiden eroista. Jos maanparannusrakeesta tuotettaisiin raetta myytäväksi muutaman kilon pusseissa, olisi prosessiketju taloudellisesti kannattavampaa kuin isoissa erissä myyminen. Maanparannusrakeiden ravinnepitoisuudet ovat kuitenkin todennäköisesti liian alhaisia, jotta tällaista ”pikkupussituotetta” voitaisiin valmistaa.

Tulevaisuudessa tuotettavaa maanparannusraetta muodostuu 6701 t/a. Pelloille levitettynä se riittää 6727 ha. Sitä voidaan käyttää myös maisemoinnissa ja viherrakentamisessa. Kuten aiemmin jo todettiin, Keski-Suomessa on riittävästi peltopinta-alaa, jolle myös puhdistamolietettä sisältäviä maanparannusaineita saa levittää.

Käytetyt lähtötiedot, tehdyt oletukset ja muut laskennasta mahdollisesti aiheutuvat virheet vaikuttavat saatuihin tuloksiin tulevaisuudessa tuotettavien maanparannuskompostien ja maanparannusrakeiden määristä ja ominaisuuksista. Siksi saadut tulokset ovatkin vain suuntaa-antavia. Niitä voidaan pitää kuitenkin melko todenmukaisina, koska ne ovat oikeaa suuruusluokkaa. Jos uudenlaisia maanparannuskomposteja tai maanparannusrakeita aletaan tuottaa tulevaisuudessa, pitää niiden ominaisuudet määrittää tarkoin analyysein.

Verrattaessa maanparannuskompostia ja maanparannusraetta keskenään, huomataan, että maanparannuskompostilla on enemmän käyttökohteita kuin maanparannusrakeella. Maanparannuskompostia voidaan käyttää pelto- ja puutarhakäytön sekä viherrakentamisen ja maisemoinnin lisäksi myös mullan raaka-aineena. Mullan valmistus on jo nykyään merkittävä maanparannuskompostin käyttökohde, ja sille lienee riittävästi markkinoita myös tulevaisuudessa. Maanparannusrakeen tuottaminen olisi uusi mädätteen tuotteistamistapa, ja siksi se vaatisi suunnittelua ja testaamista ennen käyttöön ottoa. Koska kuivaraetta tuotetaan onnistuneesti useissa kohteissa Suomessa, onnistuisi sen tuottaminen myös Jyväskylässä hyvin todennäköisesti. Rae on helpompi levittää pelloille kuin komposti, koska maatiloilla on olemassa rakeiden levittämiseen soveltuvaa kalustoa. Maanparannusaineena/lannoitteena käytettäessä maanparannusrae on siis soveltuvampi kuin maanparannuskomposti. Taloudellisesta näkökulmasta maanparannusrae on todennäköisesti kannattavampi kuin maanparannuskomposti, koska siitä voidaan saada

parempi kilohinta. Jyväskylässä voidaan tuottaa tulevaisuudessa joko maanparannuskompostia, maanparannusraetta tai molempia halutuissa suhteissa käyttötarpeen mukaisesti.

Maanparannuskompostissa ja -rakeessa on suhteellisen vähän ravinteita verrattuna epäorgaanisiin lannoitteisiin (Käytännön maamies 2011). Jos lannoituskohde vaatii nopeasti paljon ravinteita, voi epäorgaanisten lannoitteiden käyttö olla ainoa vaihtoehto. Maanparannusaineet soveltuvat paremmin kohteisiin, joissa ravinteet voivat vapautua hiljalleen kasvien käyttöön. Tällöin lannoituksesta aiheutuva rehevöitymisvaikutuskin jää todennäköisesti pieneksi. Stabiili maanparannuskomposti/-rae on myös hajuton ja sen sisältämä orgaaninen aines parantaa maaperän rakennetta (Dohányos & Zábranská 2001).

4.3 Lentotuhkan tuotteistaminen

Tuhkan rakeistus on menetelmänä parempi, mutta kalliimpi kuin itsekovetus. Rakeistamalla tuotettu tuhkarae pölyää vähemmän kuin itsekovettamalla tuotettu. Siksi se on käyttäjäystävällisempi ja myös pintakasvillisuudelle parempi. Rakeistetun tuhkan loppukosteus on yleensä pienempi kuin itsekovetetun. Sillä on vaikutusta kuljetus- ja levityskustannuksiin, kun ylimääräistä vettä ei tarvitse kuljettaa (Makkonen 2008). Todennäköisin rakeistusmenetelmä Jyväskylässä muodostuvan lentotuhkan rakeistamiseksi on rumpurakeistus, koska siihen on jo olemassa oleva laitteisto valmiina. Rakeistuskokeet ovat kuitenkin tarpeen ennen laajamittaisen tuotteistamisen aloittamista.

Keljonlahden lentotuhkasta tuotettavan tuhkarakeen ominaisuudet (P 0,745 % TS:sta; K 1,74 % TS:sta; Ca 12,20 % TS:sta) vastaavat suuruusluokaltaan markkinoilla olevien tuhkarakeiden ominaisuuksia (P 0,9 – 1,1 % TS:sta; K 2,3 % TS:sta; Ca 14 – 17 % TS:sta) (FA Forest Oy 2011, Käytännön maamies 2011). Keljonlahden lentotuhkasta valmistettua tuhkaraetta pitäisi levittää hehtaarille tuhkarakeen kosteuspitoisuudesta riippuen 5,6 – 7,2 t, kun Tapion (Makkonen 2008) tuhkalannoitusoppaassa suositellaan 4 – 5 t tuhkalevitysmäärää. Edellä mainittu Keljonlahden lentotuhkasta valmistettu tuhkaraemäärä sisältää 40 kg fosforia ja 93 kg kaliumia. Tuhkalannoitusoppaan mukaan fosforin osalta tavoitellaan 40 – 50 kg lisäystä ja kaliumin osalta 80 – 100 kg lisäystä. Keljonlahden lentotuhka soveltuu siis tuhkarakeen raaka-aineeksi. Tuhkien ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksiin vaikuttavat käytetyt polttoaineet. Jyväskylän seudulla tuhkien arseenipitoisuutta nostaa polttoaineena käytetty turve (Jyväskylän Energia Oy 2011a). Jos

turpeen polttoa vähennetään tulevaisuudessa, saattaa myös Rauhalahden lentotuhkan arseenipitoisuus laskea raja-arvon alle.

Keljonlahden lentotuhkasta valmistettu tuhkarae riittäisi 455880 ha 60 vuodessa. Koska tuhkat eivät sisällä lainkaan typpeä, tuhkalannoituskohteiksi käyvät ainoastaan runsastyppiset suometsät, joita on Keski-Suomen alueella noin 265434 ha (soita 57709 ha ja kankaita 207725 ha). Tuhkarakeelle ei siis ole riittävästi lannoituskohteita Keski-Suomen alueella. Pelkkä tuhka ei lisää karujen suometsien kasvua, mutta jos tuhkalannoitteen lisänä käytetään jotain epäorgaanista typpilannoitetta, kuten ammoniumnitraattia, saadaan metsän kasvua aikaiseksi. Käyttökohteiden määrä nousee, kun myös kuivia kankaita ja niitä vastaavia karuja turvemaita voidaan lannoittaa. Nenäinniemen puhdistamon linkojen rejektivesistä stripattu ammoniumnitraatti ei kuitenkaan riitä kuin 3743 – 6400 ha, jos levitysperusteena on 70 kgN/ha/a. Keljonlahden lentotuhkasta valmistetulle tuhkarakeelle ei siis ole tarpeeksi käyttökohteita. Oman rajoituksensa metsien tuhkalannoitukselle aiheuttavat myös metsänomistajat, joista 2/3 on yksityisiä. Kaikki eivät halua lannoittaa metsiään tuhkalla, ja se rajaa lannoituskohteiden määrää. Tuhkarakeiden lannoituskäytössä on huomioitava myös kohteen pinta-ala, jonka on oltava tarpeeksi suuri, jotta maa- tai ilmalevitys on taloudellisesti kannattavaa. Tuhkarakeet lannoittavat eri kohteissa eri ajan, joten 60 vuoden lannoitusvaikutus on vain arvio, joka voi poiketa todellisesta tilanteesta suuntaan tai toiseen (Kauppinen 2012 & Nikkola 2012). Koska käyttökohteita ei ole riittävästi kaikkea Keljonlahden lentotuhkaa varten, voidaan tuhkaraetta tuottaa vain osasta tuhkasta, ja lopputuhka voidaan kuljettaa edelleen muualle hyötykäyttöön.

Keljonlahden lentotuhkasta ja mädätteestä valmistettavan tuhka-mädäterakeen TS on 44,5 %, VS 13,8 – 14,5 % TS:sta, N 0,7 – 0,8 % TS:sta, P 1,2 – 1,3 % TS:sta ja K 1,3 % TS:sta. Fosfori- ja kaliumpitoisuudet vastaavat pelkän tuhkan fosfori- ja kaliumpitoisuuksia. Tuhka-mädäterakeessa on lisäksi orgaanista ainesta ja typpeä. Jos tuhka-mädäteraetta levitetään fosforin perusteella (40 kgP/ha/a), sisältää hehtaarille levitettävä määrä 23 – 24 kg typpeä. Typpimäärä ei ole kaikissa tilanteissa riittävän suuri täydentämään typen puutetta, mutta typpeä voidaan lisätä tuhka-mädäterakeen joukkoon esimerkiksi epäorgaanisen ammoniumnitraatin muodossa. Tuhka-mädäterae on potentiaalinen lannoitevalmiste esimerkiksi metsälannoituskäyttöön. Tämänhetkisen lainsäädännön puitteissa ainoat käyttökohteet tuhka-mädäterakeelle ovat kuitenkin vain

viherrakentaminen ja maisemointi. Lentotuhkan liian korkeat arseeni- ja kadmiumpitoisuudet estävät tuhka-mädäterakeen peltokäytön ja orgaaninen mädäte estää sen metsäkäytön (MMMa 24/11). Jos lainsäädäntö muuttuisi esimerkiksi niin, että se sallisi orgaanisten lannoitteiden metsäkäytön, voitaisiin tuhka-mädäterakeita käyttää metsälannoitteena. Tällöin tuhka-mädäterakeelle kehitettäisiin uusi tyyppinimiryhmä. Tuhka-mädäterakeen tuotteistaminen on teknologia, jota ei ole aiemmin suoritettu suurella mittakaavalla Jyväskylässä. Siksi tuhka-mädäterakeen valmistamista täytyisi suunnitella ja testata ennen teknologian valjastamista käyttöön. Tuhka-mädäterakeen ominaisuudet täytyisi myös analysoida tarkasti.

Tuhkan ja orgaanisen lannoitevalmisteen yhteiskäyttöä on tutkittu ulkomailla. Bougnom ym. (2012) totesivat, että anaerobisesta hajoamisprosessista saatavan lietteen sekä puun tuhkan yhteiskäytöllä on kaksinkertainen positiivinen vaikutus mm. kokonaissatotasoon. Tulokset täytyy kuitenkin vielä varmistaa pitempiaikaisilla kokeilla.

4.4 Linkojen rejektiveden käsittely

Linkojen rejektivedet kannattaa puhdistaa ammoniumtypestä, jotta puhdistamon kuormitusta saadaan vähennettyä. Strippauksesta saatava ammoniumnitraatti on epäorgaaninen yksiravinteinen pääravinnelannoite, jossa typpi on kasveille käyttökelpoisessa muodossa (Glass ym. 2002). Struviittisaostuksesta saadaan struviittia, jossa on typen (10,2 m-%) lisäksi myös fosforia (22,6 m-%) ja magnesiumia (17,7 m-%). Näitä epäorgaanisia lannoitteita voidaan käyttää pelto-, puutarha- ja metsäkäytössä sekä maisemoinnissa ja viherrakentamisessa (MMMa 24/11). Käytettävä lannoite valitaan lannoituskohteen ravinnetarpeen mukaan, joten jos lannoituskohteessa on puutetta ainoastaan typestä, käytetään ammoniumnitraattia, ja vaihtoehtoisesti, jos lannoituskohde tarvitsee typen lisäksi myös fosforia, voidaan käyttää struviittia. Ammoniumnitraattia voidaan käyttää myös tuhkarakeen lisänä metsänlannoituksessa, jos lannoituskohde ei ole runsastyppinen. Ammoniumnitraatille tai struviitille on riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella.

Ammoniumnitraatti sisältää kaksinkertaisesti typpeä verrattuna struviittiin, mutta struviitti sisältää typen lisäksi myös muita ravinteita. Puolet ammoniumnitraatin typestä sekä suurin osa struviitin fosfaatista ja magnesiumista lisätään tuotteistamisessa, joten ne ja muut, esimerkiksi pH:n nostoon käytettävät kemikaalit täytyy ostaa erikseen. Niistä aiheutuu

kustannuksia, jotka vaikuttavat tuotteistamisprosessien taloudelliseen kannattavuuteen. Struviitti on kiinteä lannoite, joka voidaan prosessoida rakeiseen muotoon ja levittää maatiloilla jo olemassa olevilla laitteilla. Ammoniumnitraatti on nestemäisessä muodossa (Hansen 2001). Molemmat teknologiat ovat uusia teknologioita Jyväskylään, joten niiden käyttöön ottaminen vaatisi suunnittelua ja kokeilemista. Kummankin teknologian tapauksessa alussa esiintyisi todennäköisesti vaikeuksia, mutta lopulta ne saataisiin valjastettua toimintakuntoon.

Linkojen rejektiveden käyttö maanparannusaineena sellaisenaan käytettävänä sivutuotteena ei ole järkevää. Ainoastaan biojätteen ja lannan mädätyksestä muodostuvat rejektivedet voidaan käyttää sellaisenaan maanparannusaineena (Latvala 2009, Mavi 2010, MMMa 24/11). Tällöin noin 2/3 rejektivesistä jäisi käyttämättä. Rejektiveden kuljettaminen lannoituskohteille on ongelmallista ja taloudellisesti kannattamatonta, koska ne eivät sijaitse jätevedenkäsittelylaitoksen välittömässä läheisyydessä. Lisäksi nestemäisen lannoitteen levittäminen on vaikeaa. Rejektiveden ravinnepitoisuudet ovat myös alhaiset, joten sillä ei ole kovin suurta lannoittavaakaan vaikutusta.

4.5 Käyttökohteet

Kuten aiemmin jo todettiin, orgaanisille maanparannusaineille (6055 – 6727 ha) on erittäin todennäköisesti riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella (39400 ha). Suurin osa maanparannuskompostista käytettäisiin mullan raaka-aineena ja maanparannusrae soveltuisi hyvin peltojen ja puutarhojen lannoitteeksi. Pelkälle tuhkarakeelle (455880 ha/60 a) ei ole tarpeeksi ihanteellisia käyttökohteita (265434 ha). Jos tuhkarakeen lisänä käytetään ammoniumnitraattia, kasvaa potentiaalisten käyttökohteiden määrä. Ammoniumnitraatti loppuu kuitenkin kesken 3743 – 6400 ha jälkeen, joten tuhkarakeelle ei ole tarpeeksi käyttökohteita Keski-Suomessa. Ammoniumnitraatille, epäorgaanisena lannoitteena, löytyy varmasti tarpeeksi käyttökohteita.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Biojätteet, lanta ja muut lietteet kannattaa mädättää Nenäinniemessä muodostuvien puhdistamolietteiden lisäksi, koska raaka-aineista saadaan enemmän energiaa hyödynnettyä ja muodostuvan lopputuotteen laatu paranee. Sekä maanparannuskompostin että maanparannusrakeen tuottaminen ovat mahdollisia mädätteen

tuotteistamismenetelmiä. Maanparannuskompostin tuottaminen on turvallisempi vaihtoehto kuin maanparannusrakeen tuottaminen, koska maanparannuskompostille on valmis tuotteistamisketju olemassa. Jos maanparannusrakeeseen saadaan tiivistettyä ravinteet pieneen tilavuuteen, voi se kuitenkin olla laadultaan parempaa ja myös taloudellisesti kannattavampaa tuottaa kuin maanparannuskomposti. Sekä maanparannuskompostin että -rakeen ravinnepitoisuudet riippuvat käytetyistä raaka-aineista. Kummallekin lopputuotteelle on myös riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella. Sen sijaan että tuotettaisiin vain toista lopputuotetta, voidaan osasta mädätteestä tuottaa maanparannuskompostia ja osasta maanparannusraetta.

Keljonlahden voimalaitoksen lentotuhkasta tuotettavan tuhkarakeen ominaisuudet vastaavat markkinoilla olevien vastaavien tuotteiden ominaisuuksia. Tuhkarae soveltuisikin metsälannoitteeksi runsastyppisille suometsille. Keski-Suomen alueella ei ole kuitenkaan riittävästi käyttökohteita kaikelle tuhkarakeelle. Jos tuhkarakeen lisäksi käytettäisiin esimerkiksi rejektivesistä talteenotettua epäorgaanista typpilannoitetta, lisääntyisi käyttökohteiden määrä hieman, mutta ei riittävästi. Tuhkasta ja mädätteestä voidaan tuottaa myös tuhka-mädäteraetta, jolloin rakeessa olisi myös jonkin verran typpeä. Tällaiselle tuotteelle ei ole kuitenkaan tämänhetkisen lainsäädännön puitteissa muita käyttökohteita kuin viherrakentaminen ja maisemointi.

Rejektivesien typpi voidaan ottaa talteen strippaamalla tai struviittisaostuksella, jolloin saadaan epäorgaaninen typpilannoite. Strippauksesta saadaan ammoniumnitraattia, joka sisältää ravinteista vain typpeä. Struviittisaostuksessa saostetaan struviittia, jossa on typen lisäksi myös fosforia ja magnesiumia. Molemmat menetelmät ovat osin uusia sovelluksia alalla. Epäorgaaniselle typpilannoitteelle on riittävästi käyttökohteita Keski-Suomen alueella.

KIITOKSET

Haluan kiittää Keski-Suomen liittoa, Jyväskylän Energia Oy:tä, Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:tä sekä Mustankorkea Oy:tä hankkeen rahoituksesta.

Haluan kiittää myös työni ohjaajaa ja tarkastajaa professori Jukka Rintalaa. Kauniit kiitokset yhteistyöstä myös ohjaukseen ja kommentointiin osallistuneille Esko Martikaiselle, Jani Burmanille, Petri Tuomiselle, Arto Tolmuselle sekä Risto Ryyminille. Kiitos myös työni toiselle tarkastajalle dosentti Riitta Kettuselle.

Lisäksi haluan kiittää Watrec Oy:n Kimmo Tuppuraista Pohjoisen Keski-Suomen alueeseen liittyvien tietojen välittämisestä, metsäkeskuksen Veli-Pekka Kauppista ja Ari Nikkolaa Keski-Suomen metsäpinta-aloihin ja metsälannoitukseen liittyviin kysymyksiin vastaamisesta sekä Eviran Arja Vuorista ja Lotta Immosta lainsäädäntöön liittyvien kiemuroiden selventämisestä.

Haluan kiittää myös Leena Sivulaa, Suvi Bayria ja muuta ympin henkilökuntaa tsemppauksesta ja mukavista ”kahvihetkistä”.

Suuri kiitos myös perheelle, ystäville ja Teemulle opiskeluiden ja graduprojektin aikaisesta tuesta ja kannustuksesta.

KIRJALLISUUS

Ahring, B.K., Angelidaki, I. & Johansen, K. 1992: Anaerobic treatment of manure together with industrial waste. –Wat. Sci. Tech. 25 (7): 311 – 318.

Angelidaki, I. & Ellegaard, L. 2003: Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. –Applied Biochemistry and Biotechnology 109: 95 – 105.

Arnold, E., Böhm, B. & Wilderer, P.A. 2000: Application of activated sludge and biofilm sequencing batch reactor technology to treat reject water from sludge dewatering systems: a comparison. –Wat. Sci. Tech. 41 (1): 115 – 122.

Asetus 2003/2003/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 2003/2003 lannoitteista. EUVL L304, 21.11.2003, s. 1 – 194. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003R2003:FI:HTML

Asetus 2005/1698/EY: Neuvoston asetus (EY) N:o 1698/2005 Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahaston (maaseuturahaston) tuesta maaseudun kehittämiseen. EUVL L277, 21.10.2005, s. 1 – 40. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32005R1698:FI:HTML

Asetus 2007/834/EY: Neuvoston asetus (EY) N:o 834/2007 luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinnöistä sekä asetuksen (ETY) N:o 2092/91 kumoamisesta. EUVL L189, 20.7.2007, s. 1 – 23. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:189:0001:01:FI:HTML

Asetus 2008/889/EY: Komission asetus (EY) N:o 889/2008 luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinnöistä annetun neuvoston asetuksen (EY) N:o 834/2007 soveltamista koskevista yksityiskohtaisista säännöistä luonnonmukaisen tuotannon, merkintöjen ja valvonnan osalta. EUVL L250, 18.9.2008, s. 1 – 84. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:01:FI:HTML

Asetus 2009/1069/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). EUVL L300, 14.11.2009, s. 1 – 33. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:300:0001:01:FI:HTML

Asetus 2011/142/EU: Komission asetus (EU) N:o 142/2011 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveyssäännöistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1069/2009 täytäntöönpanosta sekä neuvoston direktiivin 97/78/EY täytäntöönpanosta tiettyjen näytteiden ja tuotteiden osalta, jotka vapautetaan kyseisen direktiivin mukaisista eläinlääkärintarkastuksista rajatarkastusasemilla. EUVL L54, 26.2.2011, s. 1 – 254. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:01:FI:HTML

Bonmatí, A. & Flotats, X. 2003: Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. –Waste Management 23: 261 – 272.

Bougnom, B.P., Niederkofler, C., Knapp, B.A., Stimpfl, E. & Insam, H. 2012: Residues from renewable energy production: Their value for fertilizing pastures. –Biomass and Bioenergy 39: 290 – 295.

Braber, K. 1995: Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern disposal option on the verge of breakthrough. –Biomass and Bioenergy 9: 365 – 376.

Burman, J. 2009: Mustankorkea Oy kompostointilaitos. –Vuosiraportti 2008. 12 s. + 9 liites.

Burman, J. 2010: Mustankorkea Oy kompostointilaitos. –Vuosiraportti 2009. 13 s. + 9 liites.

Burman, J. 2011: Mustankorkea Oy kompostointilaitos. –Vuosiraportti 2010. 14 s. + 9 liites.

Direktiivi 86/278/ETY: Neuvoston direktiivi 86/278/ETY ympäristön, erityisesti maaperän, suojelusta käytettäessä puhdistamolietettä maanviljelyssä. EUVL L181, 4.7.1986, s. 6 – 12. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31986L0278:FI:HTML

Direktiivi 91/676/ETY: Neuvoston direktiivi 91/676/ETY vesien suojelemisesta maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta. EUVL L375, 31.12.1991, s. 1 – 8. Saatavilla osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:FI:HTML

Dohányos, M. & Zábranská, J. 2001: Anaerobic digestion. Teoksessa: Spinosa, L. & Vesilind, P.A. (toim.), Sludge into biosolids – Processing, disposal and utilization. 394 s. – IWA Publishing, UK.

EPA (United States Environmental Protection Agency) 1994: Guide to septage treatment and disposal.

Epstein, E. 1997: The Science of Composting. 482 s. –Technomic Publishing Company, Inc., USA.

FA Forest Oy 2011: Yrityksen www-sivut. http://www.ecolan.fi/ [Viitattu 9.11.2011]

Gallert, C. & Winter, J. 1997: Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production. –Appl. Microbiol. Biotechnol. 48: 405 – 410.

Glass, A.D.M., Britto, D.T., Kaiser, B.N., Kinghorn, J.R., Kronzucker, H.J., Kumar, A., Okamoto, M., Rawat, S., Siddiqi, M.Y., Unkles, S.E. & Vidmar, J.J. 2002: The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. –Journal of Experimental Botany 53: 855 – 864.

Griffin, T.S., Honeycutt, C.W. & He, Z. 2003: Changes in soil phosphorus from manure application. –Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 645 – 653.

Hansen, B. 2001: Other energy and resource recovery. Teoksessa: Spinosa, L. & Vesilind, P.A. (toim.), Sludge into biosolids – Processing, disposal and utilization. 394 s. –IWA Publishing, UK.

Hartmann, H. & Ahring, B.K. 2005: Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. –Water Research 39: 1543 – 1552.

Haug, R.T. 1993: The practical handbook of compost engineering. 698 s. –Lewis Publishers, USA.

Hellinga, C., Schellen, A.A.J.C., Mulder, J.W., van Loosdrecht, M.C.M. & Heijnen, J.J. 1998: The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. –Wat. Sci. Tech. 37 (9): 135 – 142.

Hobson, P.N. & Wheatley, A.D. 1993: Anaerobic digestion: modern theory and practice. 269 s. –Elsevier Science Publishers Ltd, Englanti.

Janus, H.M. & van der Roest, H.F. 1997: Don't reject the idea of treating reject water. – Wat. Sci. Tech. 35 (10): 27 – 34.

Jyväskylän Energia Oy 2011a: Henkilökohtainen tiedonanto (Ryymin, R.).

Jyväskylän Energia Oy 2011b: Yhtiön www-sivut. https://www.jenergia.fi/ [Viitattu 9.11.2011]

Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2011: Yhtiön www-sivut. http://www.js-puhdistamo.fi/ [Viitattu 9.11.2011]

Kauppinen, V. & Nikkola, A. 2012: Henkilökohtainen tiedonanto. –Metsäkeskus.

Korpilahti, A. 2003: Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. –Metsätehon raportti 143. 19 s.

Käytännön maamies 2011: Lannoitetaulukot – Orgaaniset lannoitteet, ravinnelisät ja maanparannusaineet sekä epäorgaaniset väkilannoitteet.

Lakeuden Etappi Oy 2011: Kuivarakeen tuoteseloste.

Laki luonnonhaittakorvauksesta, maatalouden ympäristötuesta sekä eräistä muista ympäristön ja maaseudun tilan parantamiseen liittyvistä tuista 29.12.2006/1440.

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Latvala, M. 2009: Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009. 115 s. –Edita Prima Oy, Helsinki.

Lindh, T., Isännäinen, S., Mursunen, H., Rantala, P.-R., Ollila, S. ja Kaunisto, S. 2001: Metsäteollisuuden tuottaman tuhkan ja biolietteen käsittely metsälannoitteeksi. –VTT Energian raportteja 10/2001. 57 s.

Maa- ja metsätalousministeriön työryhmä 2008: Lannoitevalmistesektorin tulevaisuuskatsaus vuosille 2009 – 2013. Työryhmämuistio mmm 2009:1. 46 s. –Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 13.9.2011/24.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 15.3.2007/13.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus luonnonmukaisesta tuotannosta, luonnonmukaisten tuotteiden merkinnöistä ja valvonnasta 11.12.2008/846.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista 26.4.2007/503.

Makkonen, T. (toim.) 2008: Tuhkalannoitus. 32 s. –Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsäkustannus Oy, Porvoo.

Martikainen, E., Burman, J. & Tissari, V. 2011: Henkilökohtainen tiedonanto. – Mustankorkea Oy.

Mata-Alvarez, J. 2003: Fundamentals of the anaerobic digestion process. Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.), Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. 323 s. –IWA Publishing, UK.

Mavi (maaseutuvirasto) 2009: Opas ympäristötuen ehtojen mukaiseen lannoitukseen 2007 – 2013. 28 s. –Verkkojulkaisu. Saatavilla osoitteesta: http://www.mavi.fi/attachments/mavi/viljelijatuet/hakuoppaatjaohjeet/ymparistotuenperusjalisatoimenpiteidenoppaat/5FSJ2pUCH/912996_lannoiteopas_LR_vii.pdf

Mavi (maaseutuvirasto) 2010: Täydentävät ehdot – Viljelytapa ja ympäristöehdot. 35 s. – Verkkojulkaisu. Saatavilla osoitteesta: http://www.mavi.fi/attachments/mavi/julkaisut/5ndBeR1Sg/taydentavat_ehdot_viljelytapa_ja_ymparistoehdot.pdf

McInerney, M.I. 1999: Anaerobic metabolism and its regulation. Teoksessa: Winter, J. (toim.), Biotechnology: Volume 11a – Environmental Processes I: Wastewater treatment. 598 s. –WILEY-VHC, Saksa.

Metsäntutkimuslaitos 2010: Metsätilastollinen vuosikirja 2010. 470 s. –Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala.

Motiva 2009: Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. 8 s. –Lönnberg Print, Helsinki.

Mustankorkea Oy 2011: Yhtiön www-sivut. http://www.mustankorkea.fi/ [Viitattu 9.11.2011]

MTT, VALORGAS (Valorisation of food waste to biogas): Compositional analysis of food waste from study sites in geographically distinct regions of Europe. –Väliraportti.

Rulkens, W.H., Klapwijk, A. & Willers, H.C. 1998: Recovery of valuable nitrogen compounds from agricultural liquid wastes: potential possibilities, bottlenecks and future technological challenges. –Environmental pollution 102: 727 – 735.

Sans, C., Mata-Alvarez, J., Cecchi, F., Pavan, P. & Bassetti, A. 1995: Volatile fatty acids production by mesophilic fermentation of mechanically-sorted urban organic wastes in a plug-flow reactor. –Bioresource Technology 51: 89 – 96.

Schnürer, A. & Jarvis, Å. 2009/2010: Microbiological handbook for biogas plants. 142 s. – Avfall Sverige AB.

SFS 3008 1990: Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määritys. –Suomen standardisoimisliitto SFS.

Sincero, A.P. & Sincero, G.A. 2003: Physical-chemical treatment of water and wastewater. 832 s. –CRC Press & IWA Publishing, USA.

Steenari, B.-M. & Lindqvist, O. 1997: Stabilisation of biofuels ashes for recycling to forest soil. –Biomass and Bioenergy 13: 39 – 50.

Tiehm, A., Nickel, K. & Neis, U. 1997: The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. –Wat. Sci. Tech. 36 (11): 121 – 128.

Tike (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus) 2011: Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2011 alueittain - ennakkotiedot 21.6.2011 (taulukko).

Tuominen, P. & Tolmunen, A. 2011: Henkilökohtainen tiedonanto. –Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy.

Tuppurainen, K. 2011: Henkilökohtainen tiedonanto. –Watrec Oy.

Valtioneuvoston asetus luonnonhaittakorvauksista ja maatalouden ympäristötuista vuosina 2007 – 2013 4.4.2007/366.

Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta 15.11.2000/931.

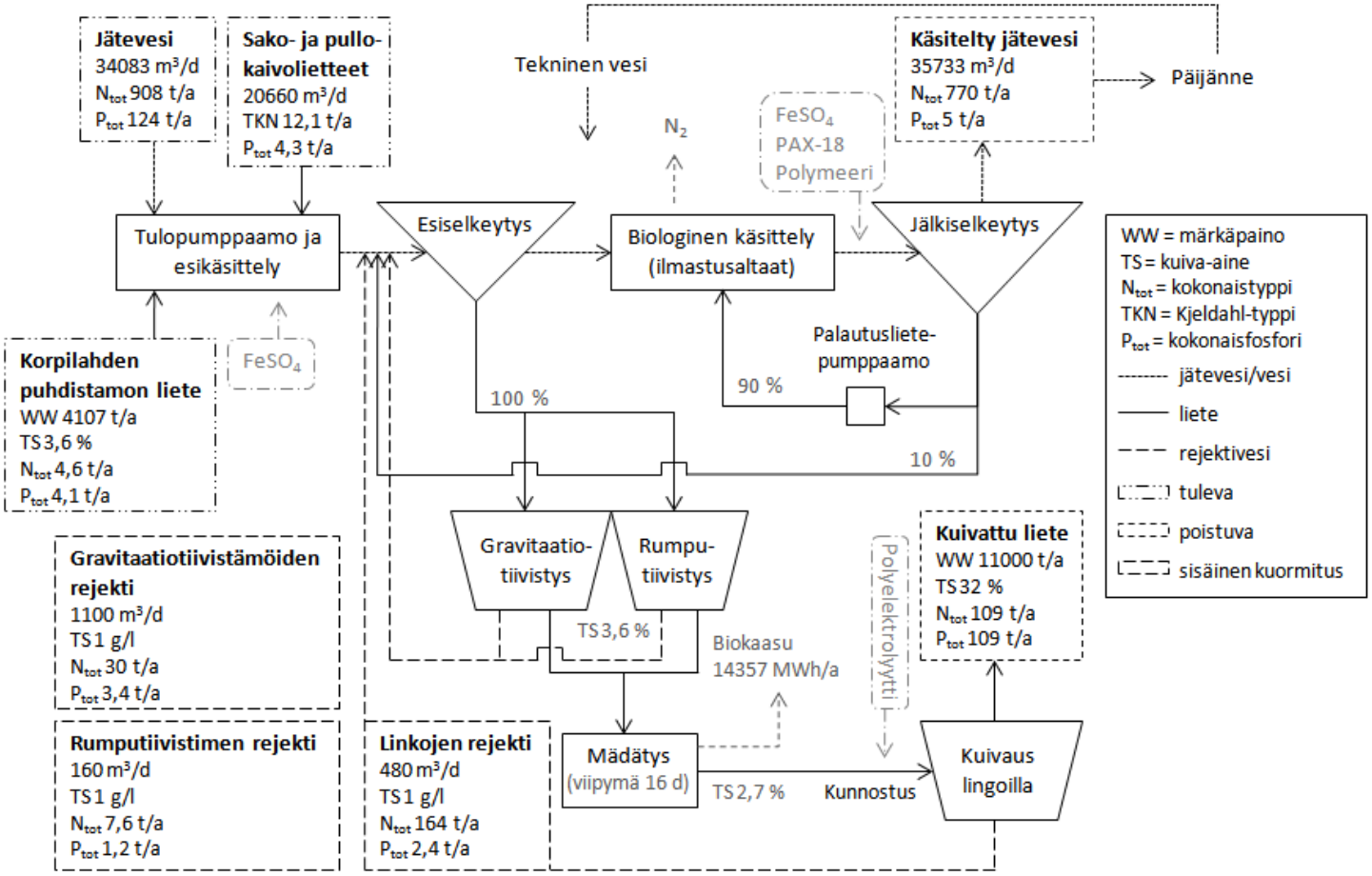
Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä 1.5.1994/282.

Veijola, H. 2011: Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy, Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun yhteenveto vuodelta 2010. – Tutkimusraportti 22/2011. 13 s. + 9 liites.

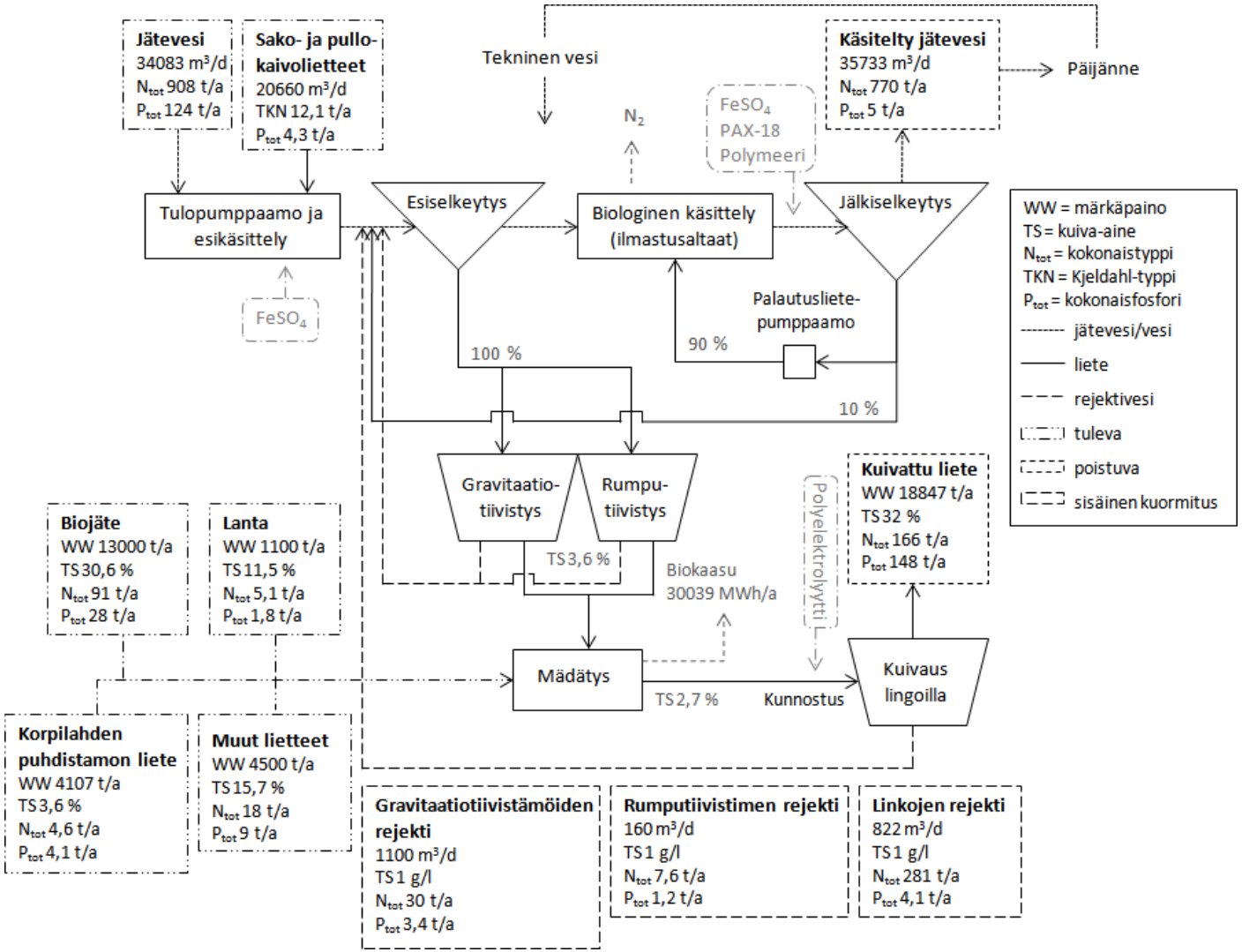
Weemaes, M. & Verstraete, W. 2001: Other treatment techniques. Teoksessa: Spinosa, L. & Vesilind, P.A. (toim.), Sludge into biosolids – Processing, disposal and utilization. 394 s. –IWA Publishing, UK.

LIITTEET

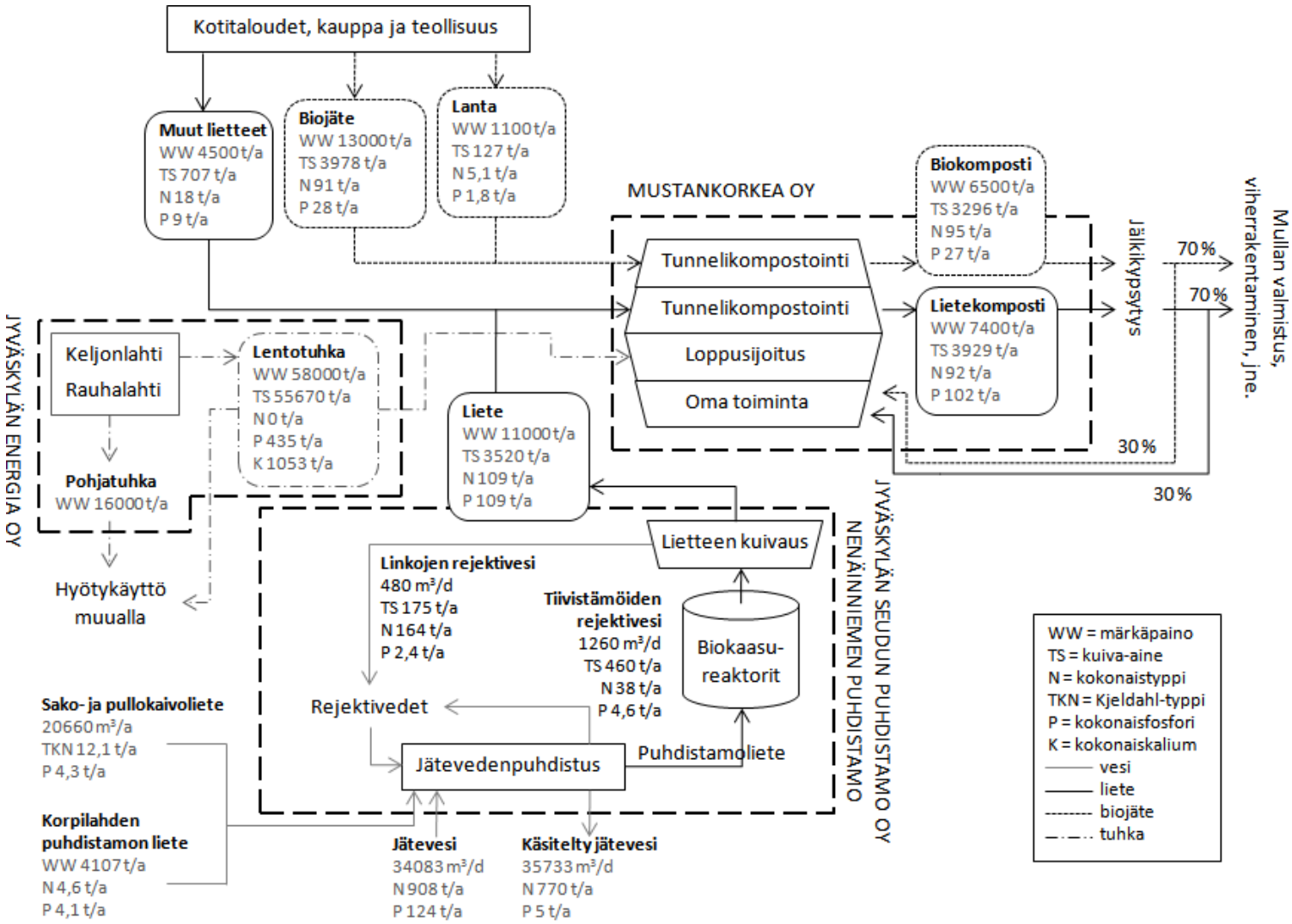
Liite 1. Kaaviokuva Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamosta ja sen toiminnasta (mukaillen Veijola 2011).



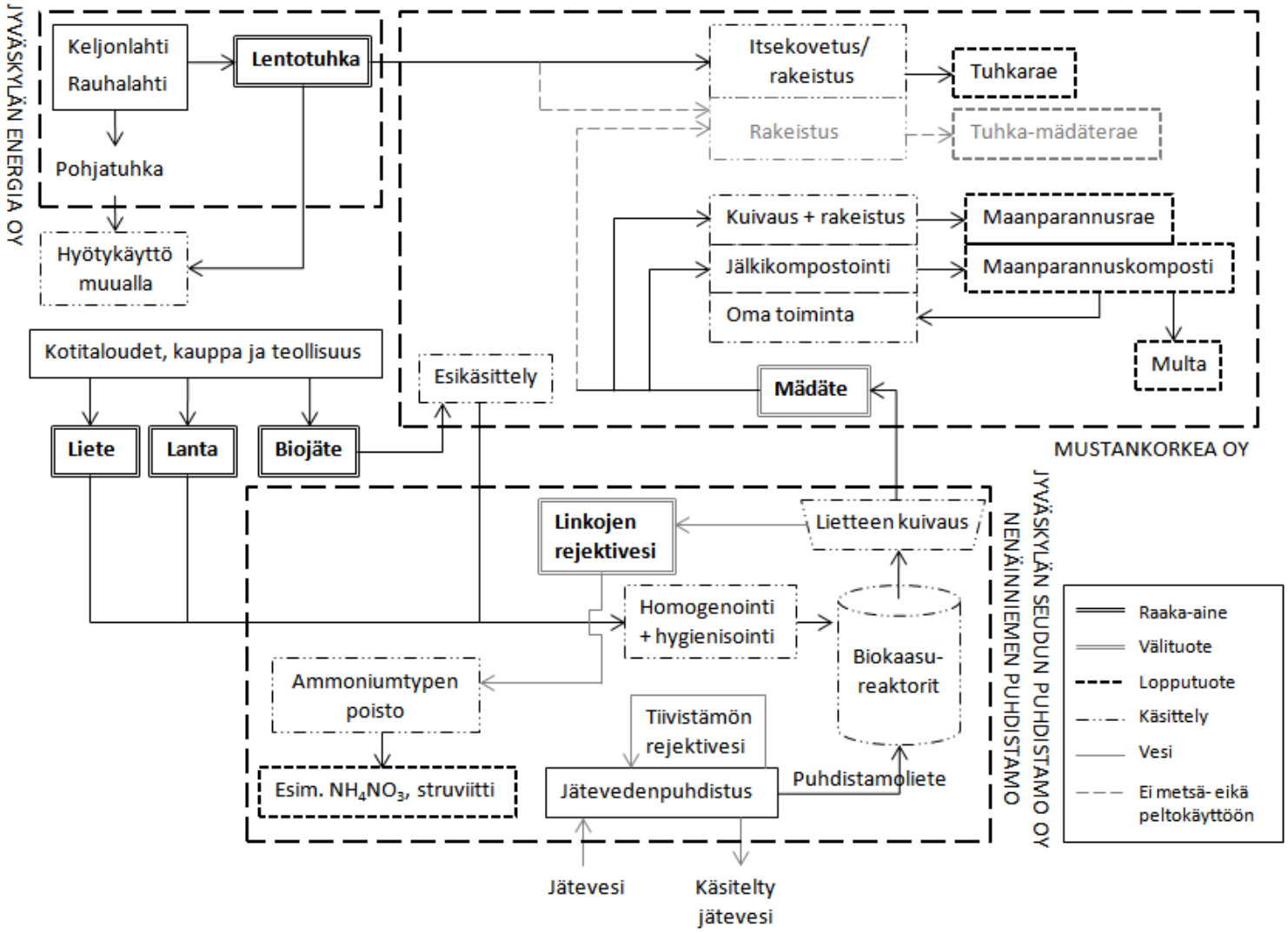
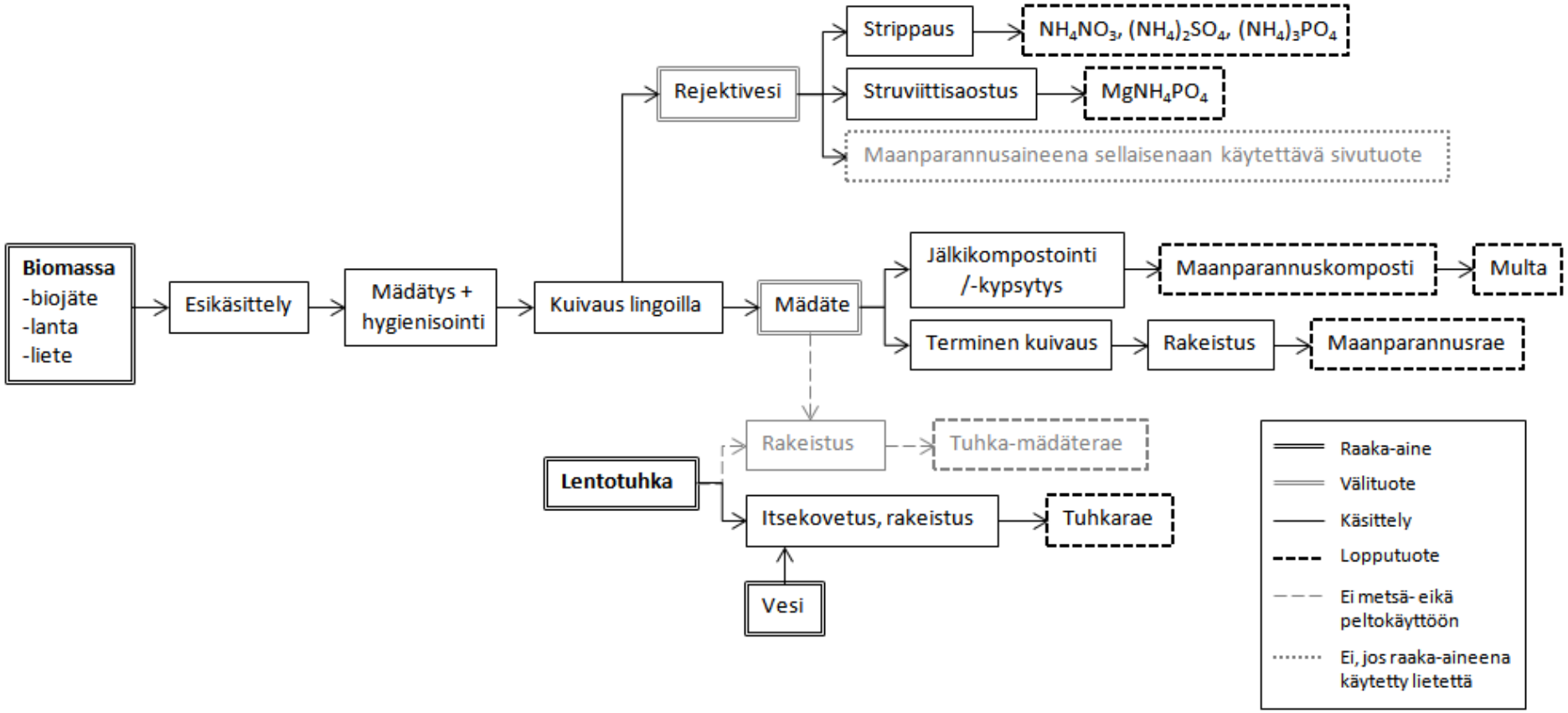
Liite 2. Kaaviokuva Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n Nenäinniemen puhdistamosta ja sen toiminnasta tulevaisuudessa.



Liite 3. Kaaviokuva nykytilanteen mukaisesta raaka-aineiden massa- ja ravinnevirroista.



Liite 4. Kaaviokuva kokonaistilanteesta tulevaisuudessa.



Liite 5. Kaaviokuva tulevaisuuden käsittelyvaihtoehdoista.