



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 31/2018

Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi

Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja
tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa

Ari-Matti Seppänen, Johanna Laakso ja Sari Luostarinen

Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi

Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja
tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa

Ari-Matti Seppänen, Johanna Laakso ja Sari Luostarinen



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Tämä raportti on osa Biokaasulaitoksesta ravinteita, energiaa ja elinkeinotoimintaa maaseudulle (BioRaEE) -hanketta (2017–2019). Hanketta rahoittaa Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2017–2019 431 995 eurolla.



Seppänen, A-M., Laakso, J. ja Luostarinen, S. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi : Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 49 s.

ISBN 978-952-326-589-9 (Painettu)

ISBN 978-952-326-590-5 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-590-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Ari-Matti Seppänen, Johanna Laakso ja Sari Luostarinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Ari-Matti Seppänen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Ari-Matti Seppänen, Johanna Laakso ja Sari Luostarinen

Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2, 31600 Jokioinen

Tämä raportti selvittää biokaasutoimijoiden (laitosten operoijat) ja viljelijöiden näkemysten yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia mädätysjäännöksen hyödyntämisestä lannoitteena. Molemmilta kysyttiin jäännöksen laadun ja käytön nykytilasta sekä sen jatkojalostamisen tarpeista. Kirjallisuudesta selvitettiin myös eurooppalaisia laitos- sekä pilotmittakaavan ratkaisuja erilaisista jalostusteknologioista. Esitettyjen tietojen pohjalta annetaan suosituksia mädätysjäännöksen jalostamisen ja kierrätyslannoitteiden valmistuksen käyttöönottoon sekä kierrätysravinteiden markkinoiden kehittämiseen.

Biokaasutuotanto edistää asianmukaisesti toteutettuna sekä uusiutuvan energian tuotantoa että ravinteiden ja orgaanisen aineen kiertoa erilaisista ravinnerikkaista jäte- ja sivuvirroista. Biokaasulaitoksiin ja niiden tuottamiin kierrätyslannoitteisiin suhtaudutaan Suomessa pääasiassa positiivisesti. Maanviljelijät näkevät kierrätyslannoitteet hyvänä lisänä väkilannoitukselle, potentiaalisena tienä luomuun siirtymiselle ja väkilannoitteita parempana vaihtoehtona maan kasvukunnon parantamiseksi. Suurimmat kynnyskysymykset kierrätyslannoitteiden käytölle ovat hinta, ravinnesuhteet, olomuoto, varastoitavuus ja levitettävyyys. Biokaasutoimijat näkevät mädätysjäännöksen väkilannoitteille kilpailukykyisenä tuotteena, jolla on hyvä maine asiakkaiden keskuudessa.

Mädätysjäännöksen jatkojalostusta toteutetaan Suomessa toistaiseksi vain vähän, eikä markkinoilla ole montaa viljelijöiden tarpeisiin optimoitua kierrätyslannoitetuotetta. Kuitenkin enemmistö laitoistoimijoista oli kiinnostunut jalostustekniikoista, kuten ammoniakkin strippauksesta, struviitin kiteytyksestä, pyrolysoinnista ja kalvosuodatuksesta. Kierrätyslannoitteiden kehitystyö on tarpeen, jotta ne sopisivat paremmin loppukäyttäjien tarpeisiin.

Tällä hetkellä suurimpia haasteita mädätysjäännöksestä jalostettujen kierrätyslannoitteiden tuotannon laajemmalle käyttöönotolle ovat kierrätyslannoitemarkkinoiden kehittymättömyys ja kilpailu väkilannoitteiden kanssa, vaaditut investoinnit uusiin teknologioihin, teknologioiden kehitystarpeet sekä näistä kaikista seuraavat kannattavuuden haasteet. Nykyisiä puhdistamolietetepohjaisia tuotteita rasittaa viljanostajien asettamat käyttökiellot sekä yleinen epäluottamus niiden maatalouskäytön turvallisuudesta. Myös viljelijöiden haluttomuus investoida kierrätyslannoitteiden levityskalustoon tai varastointiin hidastaa kehitystä.

Raportin suosituksissa ehdotetaan mm. kierrätyslannoitteiden väkevöintiä väkilannoitteilla sekä modulaarisia jalostuksen ratkaisuja. Laitosinvestointien suunnitteluun tulisi sisällyttää levityksen ja varastoinnin ratkaisut. Myös valtion tukea ravinteiden kierrätykselle tarvitaan edelleen. Valmistajien ja viljelijöiden välistä yhteistyötä on tarpeen vahvistaa ja lisätä koulutusta myös maatalousneuvojille kierrätyslannoituksen omaksumiseksi viljelysuunnitelmiin. Laitostoimijoiden kierrätyslannoitusosaamista tulisi vahvistaa ja panostaa kuluttajaviestintään luomaan kysyntää kierrätysravinteilla tuotetuille tuotteille.

Asiasanat: biokaasu, jalostus, kierrätys, lannoite, lannoitus, markkinat, maanviljelijät, prosessointi, ravinteet, valmistajat

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Rajaukset ja menetelmät	10
3. Mädätysjäännöksen jalostuksen tilanne ja tarpeet Suomessa	11
3.1. Laitostoimijoiden näkemykset	13
3.1.1. Vastaajien taustaprofiili	13
3.1.2. Jatkojalostus, markkinat ja lainsäädäntö	15
3.1.3. Tulevaisuus.....	19
3.2. Viljelijöiden tarpeet	20
3.3. Pullonkaulat ja ristiriidat	25
4. Esimerkkejä Euroopasta.....	29
4.1. Pilotit.....	29
4.2. Laitoskoon esimerkit.....	31
4.3. Innovatiiviset teknologiat	34
5. Tulevaisuus	36
6. Suositukset.....	37
Viitteet	38
Liite 1.....	40

1. Johdanto

Ravinteiden kierrätys on noussut keskiöön suomalaisessa maatalous- ja ympäristöpolitiikassa. Suomen hallitus sitoutui 10.2.2010 tehostettuihin toimiin Saaristomeren hyvän tilan saavuttamiseksi vuoteen 2020 mennessä. Samassa yhteydessä sitouduttiin tekemään Suomesta ravinteiden kierrättämisen esimerkkialue (MMM, 2011). Myös pääministeri Sipilän hallitusohjelmassa asetettiin tavoite, että vesiensuojelun kannalta herkillä alueilla vähintään 50 prosenttia lannasta ja yhdyskuntajätevesilietteestä saadaan kehittyneen prosessoinnin piiriin vuoteen 2025 mennessä (Marttinen ym. 2017). EU-tasolla Euroopan komissio hyväksyi 2.12.2015 kunnianhimoisen kiertotalouspaketin, jolla luodaan edellytyksiä uudelle liiketoiminnalle mm. uusiorka-aineiden hyödyntämisessä, kierrätyslannoitteiden valmistamisessa ja ruokahävikin vähentämisessä (Euroopan komissio, 2017).

Maatalous on Suomessa suurin ihmistoiminnasta aiheutuvan typen ja fosforin kuormituslähde ympäristöön (Tattari ym., 2015). Jotta maatalouden ravinnekuormitusta saadaan lievennettyä, tarvitaan nykykäytäntöjen rinnalle vaihtoehtoisia menetelmiä maaperän kasvukunnon ja rakenteen parantamiseksi sekä lannoituksen tarkentamiseksi. Helppokäyttöisten, turvallisten ja toimivien kierrätyslannoitteiden, eli ravinnerikkaista jäte- ja sivuvirroista jalostettujen lannoitevalmisteiden, kehittäminen on yksi keskeisistä tutkimustarpeista (MMM, 2011). Monet kierrätyslannoitteet sisältävä kasveille tärkeiden ravinteiden lisäksi maaperälle tärkeää orgaanista (eloperäistä) ainesta, joka parantaa maan vedenläpäisy-, vedenpidätys- sekä ravinteidenpidätyskykyä ja hillitsee pintavaluntaa, pellon tiivistymistä ja ravinteiden huuhtoutumista. Kierrätyslannoitteiden käytön lisääminen voi vähentää riippuvuutta väkilannoitteista. Samalla vähennetään väkilannoitteiden tuotantoon liittyviä negatiivisia vaikutuksia fosforin saatavuudessa ja laadussa sekä typen sitomisen energiaintensiivisyydessä ja päästöissä. Kierrätyslannoitteita tuotettaessa on teknologiasta riippuen mahdollista ottaa talteen myös raaka-aineiden energiasisältö uusiutuvana energiana.

Biokaasutuotanto edistää asianmukaisesti toteutettuna sekä uusiutuvan energian tuotantoa että ravinteiden ja orgaanisen aineen kiertoa erilaisista ravinnerikkaista jäte- ja sivuvirroista. Biokaasutuotannosta jäljelle jäävä mädätysjäännös on itsessään orgaaninen lannoite. Raaka-aineista ja laitostamakaavasta riippuen se voidaan hyödyntää lannoitteena joko lannan lannoitekäytön lainsäädäntöä noudattaen tai lannoitevalmistelain mukaisten tyyppinimien vaateiden mukaan. Mädätysjäännöksen lannoitekäytön kiinnostavuutta on kuitenkin hidastanut nk. märkäprosessien (prosessoitavan massan kuiva-ainepitoisuus alle 15 %) tuottaman jäännöksen laimeus. Lietemäisen jäännöksen levittämiskustannukset ovat korkeat eikä kuljettaminen ole kannattavaa lähialuetta kauemmaksi. Ongelma korostuu erityisesti suurissa keskitetyissä laitoksissa, joilla jäännöstä muodostuu suuria määriä. Lisäksi puhdistamolietettä sisältävien jäännösten kysyntä on laskenut viljanostajien käyttökieltojen ja niiden maatalouskäytön turvallisuuteen ja ympäristövaikutuksiin liitettyjen riskien vuoksi.

Mädätysjäännöksen sisältämien ravinteiden ja orgaanisen aineen jalostamiseksi uudellaisiksi lannoitetuotteiksi on kehitteillä monia teknologioita. Niiden käyttö ei kuitenkaan ole toistaiseksi yleistynyt Suomessa. Vain muutamissa biokaasulaitoksissa esimerkiksi erotetaan tyyppiä väkevämiksi nestemäisiksi lannoitteiksi. Ravinteiden jatkojalostus on vielä uusi toimiala, mutta jalostusteknologioiden käyttöönoton lisääntyminen on jo nähtävissä biokaasutoimijoiden keskuudessa.

Tässä selvityksessä paneudutaan mädätysjäännöksen jalostuksen nykytilaan ja mahdollisuuksiin Suomessa. Nykytilaa ja sen pullonkauloja selvitettiin syksyllä 2017 viljelijöille ja talvella 2017 kierrätyslannoitteiden valmistajille suunnattujen kyselyiden avulla. Näitä tuloksia verrattiin EU:n Maaseudun innovaatioryhmän toteuttaman markkinaselvityksen (EIP-Agri, 2017) tuloksiin. Lisäksi kirjallisuuden avulla selvitettiin pilot- ja laitostokoluokan esimerkkejä muualta Euroopasta. Koottujen aineistojen pohjalta esitetään suosituksia viljelijöiden tarpeiden sekä laitostojen intressien yhdistämiseksi. Raportti on osa Biokaasulaitoksesta ravinteita, energiaa ja elinkeinotoimintaa maaseudulle – hanketta (BioRaEE), jossa kehitetään yhdessä viljelijöiden kanssa heidän tarpeidensa mukaisia, turvallisia ja tehokkaita kierrätyslannoitteita maatalouden ja muiden sektoreiden orgaanisista jätteistä ja sivutuotteista.

Biokaasuprosessi

Biokaasutuotanto perustuu hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaan mikrobiologiseen orgaanisen aineksen hajotukseen, eli mädätykseen. Biokaasuprosessissa muodostuvaa kaasuseosta (biokaasu = 50–70 % metaania, 30–50% hiilidioksidia ja vähäiset määrät muita kaasuja) voidaan käyttää lämmön- ja/tai sähköntuotannossa, jatkojalostettuna liikennepolttoaineena tai muuna maakaasun korvaajana. Biokaasuprosessit jakautuvat syöttötavan mukaan jatkuva- ja panostoimisiin prosesseihin sekä käsiteltävän massan kuiva-ainepitoisuuden mukaan märkä- ja kuivaprosesseihin.

Mädätysjäännös

Biokaasuprosessista jäljelle jäävä mädätysjäännös on sellaisenaan kierrätyslannoite ja erinomainen raaka-aine jatkojalostukseen väkevämmiksi lannoitteiksi. Se sisältää kaikki syötemateriaaleissa olleet kasvien pää- ja hivenravinteet. Mädätysjäännös sisältää myös hajoamatonta orgaanista ainesta, jolla on positiivinen maanparannusvaikutus. Jäännöksen ominaisuuksiin vaikuttaa koko prosessiketju prosessoitavista syötteistä laitoksen tekniseen ratkaisuun ja operointiin. Tasalaatuisen mädätysjäännöksen tuottamiseksi prosessin kuormituksen, viipymän ja olosuhteiden tulee olla vakaat sekä laitostekniikalle ja prosessoitavalle massalle soveltuvat. Mädätysjäännöstä voidaan jatkojalostaa erilaisilla tekniikoilla (Taulukko 1, Liite 1).

Biokaasutuotannon raaka-aineet

Keskeisin ominaisuus hyvälle biokaasutuotannon raaka-aineelle on biohajoavuus ja sitä kautta metaanintuottopotentiaali. Kuitenkin suurin paikallisesti määrittävä tekijä on syötteen saatavuus ja laitoksen kapasiteetti (tilakohtainen, keskikokoinen, suuri). Myös lainsäädännön asettamat vaateet vaikuttavat laitoksittain valittavaan raaka-ainepohjaan.

Biokaasutuotantoon soveltuvia maatalouden sivuvirtoja on lukuisia. Keskeisimpiä ovat kotieläintuotannon lanta, kasvin- ja eläintuotannon jätteet (ml. olki) sekä hävikkirehut ja nykyisellään paljolti hyödyntämättömät nurmimassat esim. suojavyöhykkeiltä. Kasvibiomassaa voidaan myös tuottaa suoraan biokaasutuotantoon (energiakasvit). Energiakasvien viljelyä pyritään yleensä rajoittamaan, koska se kilpailee maa-alasta ruuantuotannon kanssa. Näin ollen pääpaino maatalouden biokaasutuotannossa on erilaisilla sivuvirroilla.

Lanta on itsessään hyvä perusraaka-aine syötteenä, sillä sitä syntyy tasaisesti ja sillä on hyvä puskurikyky ylläpitämään mikrobitoiminnalle suotuisaa pH:ta. Lannan metaanintuottopotentiaali ei välttämättä ole korkea, sillä suurin osa rehun helposti hajoavasta orgaanisesta aineesta tulee hyödynnettyä eläinten ruuansulatuksessa. Tämä suhde vaihtelee tuotantoeläimittäin; märehitijöiden ruuansulatus on tehokkaampi kuin yksimahaisten.

Kasvibiomassoista biokaasutuotantoon potentiaalisimpia ovat nurmi ja olki niiden suurten hyödyntämättömien volyymien vuoksi. Myös niiden metaanintuottopotentiaali on suurempi kuin lantojen. Muita kasvituotannon potentiaalisia sivuvirtoja ovat mm. rypsinpuristusjäte sekä vihannestuotannon naatit ja muut markkinoille kelpaamattomat osat.

Myös teollisuus ja yhdyskunnat tuottavat biokaasutuotantoon sopeutuvia sivuvirtoja. Yhdyskuntien biojätteet sisältävät paljon ravinteita ja orgaanista ainesta, mutta vaativat esikäsittelyä syötteen hygienisoimiseksi sekä homogenisoimiseksi. Jätevedenpuhdistamoiden lietteitä on perinteisesti mädätetty osana puhdistamon omaa lietteenkäsittelyä sekä viime vuosina myös erillisissä suurissa biokaasulaitoksissa yhteiskäsittelyssä muiden biomassojen kanssa. Myös teollisuudesta syntyy monia biokaasuntuotantoon soveltuvia orgaanisia materiaaleja, joita voidaan lisätä syötteseokseen parantamaan biokaasuntuottoa ja hajoamista. Lisätietoa erilaisten raaka-aineiden käytöstä biokaasutuotannosta ks. esim. Kymäläinen & Ronkainen, 2015.

Taulukko 1. Mädätysjäännöksen yleisimmät jalostusteknologiat.

Teknologia	Kuvaus	Soveltuvuus		Teknologian kypsyyden ja mittakaava
		Edut	Rajoitukset	
Märkämädätys	Biokaasun tuotantoprosessi, jossa biomassasäilytyksen kuiva-ainepitoisuus (TS) <15 %	Hallittu, varmatoiminen teknologia. Syötetyn biomassan ravinteet jäävät mädätteen kuiva-ainepitoisuutta kasvaa.	Matala kuiva-ainepitoisuus syötteessä ja mädätteen Ammoniumityypin hävikkiä hallittava mädätteen varastoinnissa ja hyödyntämisessä typen liukoistumisen ja pH:n nousun myötä.	Yleinen eri kokoluokissa.
Kuivamädätys	Biokaasun tuotantoprosessi, jossa biomassasäilytyksen TS 20–60 %.	Pienempi tilantarve ja korkeampi biokaasun tuotto reaktoritilavuuteen nähden verrattuna märkämädättykseen.	Sekoitus haastavaa, mikä voi aiheuttaa epäsuora hajoamista prosessissa ja edelleen epäsuoraa salauksista mädätettä sekä mahdollisesti bio-kaasuhävikkiä mädätteen poiston yhteydessä. Ammoniumityypin hävikkiä hallittava mädätteen varastoinnissa ja hyödyntämisessä typen liukoistumisen ja pH:n nousun myötä.	Kehitteillä oleva teknologia, yleistävä laitosmittakaavassa.
Mädätteen kiinteän ja nestejakeen erotus				
Ruuvipuristin	Ruuvi puristaa mädätettä sylinterimäistä seulaa vasten, jolloin nestejake erottuu seulan läpi.	Yksinkertainen, erotustehoa voidaan säätää seulan silmäkokoja ja puristusvoimaa muuttamalla. Matala investointikustannus, matala energiankulutus (0,4-0,5 kWh/m ³).	Pienet partikkelit (halk. 0,5–1 mm) päätyvät nestejakeeseen ² , mikä heikentää fosforin erottumista.	Yleinen.
Dekanterisentrifugi (linkous)	Perustuu nesteeseen ja kiintoaineeseen tiheuseroon ja partikkelien sedimentoitumiseen pyörivän roottorin ulkoreunalle. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa.	Erottaa pienetkin partikkelit ja koloidit. Suuri erotuskyky fosforille, joka jää kiinteään fraktioon.	Polymeerien käyttö lisää kustannusta ja niiden vaikutuksista maatalousmaassa on vähän tutkimustietoa. Nestemäisen polymeerin käyttö lisää nestejakeen määrää. Melko suuri energiankulutus (3–5 kWh/m ³).	Yleinen.
Hihnasuodattimet suotonauha imusuodatus	Neste puristetaan viirojen läpi tai neste erotetaan imulla viiran läpi. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa.	Parempi fosforin erotuskyky kuin ruuvipuristimella. Pienempi energiantarve (1,5-2 kWh/m ³) kuin dekanterisentrifugilla.	Saostus- tai flokkausaineen lisääminen tarpeellista erotuskyvyn parantamiseksi, mikä lisää kustannuksia. Kemikaalitarve 2-3 kertaa suurempi kuin dekanterisentrifugilla. Erotuskykyä säädetään myös suotimen silmäkokoilla.	Yleinen.

Mädätteestä erotetun kiinteän jakeen tai kiinteän mädätteen prosessointi (kiintoainepitoisuus noin 20–30 %)				
Kompostointi	Aerobinen mikrobiologinen prosessi, jossa orgaaninen aines hajoaa ja stabiloituu.	Yksinkertainen prosessi, jolla oikein toteutettuna myös hygienisoiva vaikutus. Toteutettavissa aumakompostointina tai erilaisissa laitoksissa. Valmis komposti käytettävissä lannoitteena ja maanparannusaineena tai mullan valmistuksessa.	Vaatii yleensä seosainetta aerobisten olosuhteiden säilyttämiseksi. Lisää typpihävikkiä, jollei prosessin osana ole typen talteenottoa (toteutettavissa vain laitoskompostoinnissa).	Yleinen.
Terminen kuivaus (myös ilman kuiva- ja nestejakeen erotusta)	Hihna- tai rumpukuivaus, jossa lämmön syöttö. Leijukeroskattilatekniikkaa käyttävä kuivaus.	Kuivaaminen stabiloimädätteen kiinteää jaetta/kuivaa mädätettä, pienentää kokonaismassaa ja väkevöi ravinteita. Mahdollisen CHP-yksikön hukkaämpöä voidaan hyödyntää kuivauksessa.	Haihtuville yhdisteille talteenotto, jolla voidaan vähentää myös typen hävikkiä.	Yleinen.
Alipainekuivaus (alipainetislau)	Kiehumispisteen alentaminen painetta alentamalla.	Lopputuotteen kiintoainepitoisuus noin 60 %. Typen sitoutuminen kiinteään fraktioon saavutetaan pH:n laskulla. Kondensaatissa (neste-fraktio) vain 2,5 % kokonaistypestä ³ .	Arvioitu energiankulutus täyden mittakaavan laitoksessa 5-8 kWh/m ³ mädätettä ³ .	Pilottimittakaavassa.
Rakeistus (pelletointi)	Termistä kuivausta seuraava rakeen muodostaminen puristamalla tai rummussa. Voidaan käyttää seosaineita parantamaan rakeen rakennetta, lisäämään ravinteita (N, K) tai muuttamaan niiden liukoisuutta.	Voi parantaa mädätteen arvoa lannoitteena, koska ravinnepitoisuus kasvaa ja käsiteltävyys paranee. Hygienisoiva vaikutus.	Pölyhaittojen ehkäisy, kuumenemisen hallinta. Typen hävikkien hallinta.	Yleinen.
Pyrolyysi	Mädätteen termien hajottaminen/hiiltäminen anaerobisissa olosuhteissa.	Kokonaismassan väheneminen, hiilen stabiloituminen, fosforin väkevöityminen. Pyrolyysi hygienisoij ja hajottaa orgaanisia haitta-aineita.	Typen hävikit. Fosforin pitkäaikainen käyttökel- poisuus epäselvä. Muodostuvalle nestejakeelle käsittely- ja/tai hyödyntämisratkaisut vasta kehitteillä.	Pilottimittakaavassa.
Poltto	Mädätteen termien poltto kuivauksen jälkeen.	Syötteen kuiva-ainepitoisuus >70 %. Suuri massan vähenemä, vain tuhka- aines jää jäljelle, johon fosfori on sitoutuneena.	Typen menettäminen. Tuhkan fosfori melko niukasti kasveille käyttökelteisessä muodossa.	Laitosmittakaavassa.

Prosessit ravinteiden talteenottoon			
Ammoniumtypen strippaus ja talteenotto	Ammoniumtypen talteenotto nestejakeesta kaasufaasiin, josta pesu esim. rikkihappoliuokseen. Reaktiotasapainoa siirretään vapaan ammoniakkin suuntaan lämpötilaa ja pH:ta nostamalla.	Prosessi tuottaa puhdasta, epäorgaanista typpilannoitetta. Lisäämällä tuotetta muihin mädäntefraktioihin voidaan typpipitoisuutta säätää haluttuun suuntaan ja lisätä markkinoitavuutta.	Edellytyksenä hyvä kiintoaineen erotus. Kolonnit tukkeutuvat helposti. Kemikaalien kulutus. Laimealle sivuvirralle oltava omat ratkaisut. Yleinen.
Struviitin saostus	Magnesiumammoniumfosfaatin (MAP, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) kiteytys nestejakeesta.	Korkea ravinnepitoisuus (N, P, Mg) painoyksikköä kohden ja siten edullista kulljattaa. Tehokkaat, hitaasti vapautuvat ravinteet lannoitteena.	Reagenssit kalliita ja nostavat lopputuotteen hintaa. Sivuvirtojen hallinta. Laitosmittakaavassa.
Ravinteiden väkevöinti			
Membraanimen- telmät (mikro-, ultra- ja nano- suodatut, käänteisosmoosi)	Nestejakeesta huokoisen membraanin tai diffuusioikalvon läpi erottuva aines. Monivaiheinen prosessi, joka vaatii esikäsittelyä tehostetun kiintoaineen poiston esim. dekantterisentrifugilla.	Suuri erotuskyky aina liukoisiin molekyyleihin asti. Hyvänä tai huonona puolena voidaan pitää useiden eri fraktioiden erottumisen, joilla on korkea ravinnepitoisuus. Puhdistettu neste voidaan mahdollisesti purkaa ympäristöön tai hyödyntää esim. laitoksen laimennus- tai pesuvedenä.	Membraanien tukkeutumisen hallinta. Kallis ja vaatii suhteellisen paljon energiaa. Korkea konsentraatin ravinnepitoisuus voi asettaa haasteita suoralle lannoitekäytölle. Vaatii levityslaitteiston, joka solveltuu levittämään pieniä määriä tasaisesti. Laitosmittakaavassa.
Haihdutus	Nestejakeen tai sen väkevöinnissä muodostuneiden sivuvirtojen haihdutus. Mahdollinen prosessi, jos lämmönlähde saatavilla esim. CHP-yksiköstä. pH:n säätö 4,5:een ja CO_2 :n poisto, jolla estetään typpihävikki haihtuvana ammoniakkinä.	Voidaan päästä 50 % vähenemään tilavuudessa.	Suuri energiankulutus. Yleisesti veden haihdutus vaatii 300–350 kWh/t. Lopputuotteen happamuus voi rajoittaa käyttöä. pH:n säätökemikaalien tarve. Muutamia laitosmittakaavassa.

Tämä taulukko on tiivistetty liitteistä (LIITE 1) löytyvästä teknologiakoostannista.

¹ Fuchs, W. & Drosch, B. 2010. Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten, Eigenverlag der Universität für Bodenkultur Wien; ISBN: 978-3-900962-86-9.

² Weiland, P. 2008. Gärrestauffbereitung. 17. Symposium Bioenergie, 20.-21.11.2008, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.

³ Chiumentti, A., Da Borso, F., Chiumentti, R., Teri, F., & Segantini, P. 2013. Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation: tests for process optimization and environmental sustainability. Waste management, 33, 1339-1344.

2. Rajaukset ja menetelmät

Tässä selvityksessä keskityttiin mädätysjäätteen jatkojalostuksen nykytilaan ja mahdollisuuksiin Suomessa. Pääpainona selvityksessä oli tarkastella viljelijöiden sekä mädätysjäätteen jalostettujen lannoitevalmisteiden valmistajien näkemyksiä eroineen ja yhtäläisyyksineen sekä pyrkiä löytämään ratkaisumahdollisuuksia havaittuihin pullonkauloihin.

Menetelminä käytettiin internet-kyselyjä ja kirjallisuuskatsausta. Luonnonvarakeskuksen kierrätyslannoiteisiin liittyvien hankkeiden yhteistyönä toteutetulla webropol-kyselyllä ”Kysely kierrätyslannoitevalmisteiden valmistajille” selvitettiin laitostoimijoiden näkemyksiä alan haasteista ja mahdollisuuksista. Näitä tuloksia verrattiin BioRaEE-hankkeessa toteutetun viljelijäkyselyn (Myllyviita & Rintamäki, 2018) tuloksiin. Kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin esittelemään kansainvälisiä kokemuksia pilot- sekä täydenmittakaavan laitoksista, jotka jalostavat mädätysjäätteen lannoitetuotteita. Tulosten perusteella arvioitiin tulevaisuuden mahdollisuuksia ja uhkia sekä tehtiin suosituksia mädätysjäätteen jalostuksen edistämiseksi Suomessa.



Kuva 1. Näyte kalvosuodatuksella valmistetusta konsentraatista, Biokymppi Kitee. Kuva: Ari-Matti Seppänen

3. Mädätysjäännöksen jalostuksen tilanne ja tarpeet Suomessa

Suomessa biokaasua ja mädätysjäännöstä tuotettiin kirjoitushetkellä 60 laitoksessa, joista 19 oli jätevedenpuhdistamon yhteydessä, 17 maatilakohtaisia, 5 teollisuuden biokaasulaitoksia sekä 19 kiinteän yhdyskuntajätteen prosessointilaitoksia (Suomen Biokaasuyhdistys ry, 2018). Mädätysjäännöksen jalostusteknologiat ovat usein tarpeen isoilla laitoksilla, jotta jäännös saadaan kuljetettua laajemmalle alueelle hyödynnettäväksi. Pienet, etenkin maatilamittakaavan laitokset voivat usein hyödyntää mädätysjäännöksen sellaisenaan.

Suomessa toistaiseksi käytettävät mädätysjäännöksen jalostusteknologiat keskittyvät pääasiassa kiinteän ja nestejakeen erotukseen sekä lopputuotteen hygienisointiin. Vuonna 2016 puhdistamoliettä sisältävistä mädätysjäännöksistä 53 % jatkokäsiteltiin separoimalla ja kompostoimalla kiinteä jae, 5 % kuivattiin termisesti, 1 % hygienisoitiin kemiallisesti ja 40 % hyödynnettiin sellaisenaan (Vilpanen ja Toivikko, 2017). Näistä mädätysjäännöksistä 40 % käytettiin maataloudessa, 50 % viherrakennuksessa ja 10 % maisemoinnissa tai varastoinnissa (Pirkkamaa, 2017). Puhdistamolietepohjaisesta mädätysjäännöksestä separoitua nestejakeita ei ole sallittua käyttää maatalouskäytössä. Tämä reakti ohjataankin yleensä takaisin jätevedenpuhdistamolle.

Koko Suomen mittakaavassa Eviralle ilmoitettiin vuonna 2015 tyyppinimellä mädätysjäännös yhteensä 425 000 tonnia maanparannusainetta, josta 94 % käytettiin maatalouskäytössä ja 6 % jatkojalostettiin (Marttinen ym. 2017). Tämä lukema ei kuitenkaan sisällä kaikkia mädätysjäännöksiä, sillä prosessiketjusta riippuen mädätteestä jalostetut lopputuotteet voivat kuulua eri lannoitetyyppien alle kuin mädätysjäännös. Tällöin jatkojalostettujen, etenkin kompostoitujen puhdistamoliette- ja yhdyskuntien biojätepohjaisten mädätysjäännösten käyttö jää esitetyn määrän ulkopuolelle.

Yleisesti Suomessa käytössä olevia jatkojalostusteknologioita ovat separointi linkoamalla, ruuvi-puristimella tai suotonauhalla ja terminen kuivaus. Edistyneemmistä ravinteiden talteenottotekniikoista Suomessa on käytössä ammoniakkin strippaus ja haihdutus. Suomessa on myös vireillä koetointia mädätysjäännöksen jalostamiseksi ja jalosteiden käytön testaamiseksi (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Suomessa meneillään olevia mädätysjäännöksen kehityshankkeita

Kehityskohde	Toimija	Kierrätyslannoite	Työvaihe 2018
Puhdistamolietepohjaisen mädätysjäännöksen pyrolysointi	HSY, Helsinki	Biohiili	Pilottia valmistellaan
Biojättepohjaisen mädätysjäännöksen ruuvipuristetun rejektiveden kalvosuodatus	Biokymppi, Kitee	Ravinnekonentraatti	Lannoituskokeet 2018-2019, BioRaEE ja BioRaki-hankkeet
Ruuvipuristetun mädätysjäännöksen kuivajakeen struviittikiteytys ja rakeistus	Biokymppi, Kitee	Struviittirae	Suunnitteilla
Puhdistamolietepohjaisen mädätysjäännöksen lingotun rejektiveden kalvosuodatus	Jahotec, Liminka	Ravinnekonentraatti	Kokeiluvaiheessa
Puhdistamolietepohjaisen mädätysjäännöksen rejektiveden haihdutus ja strip-paus sekä kuivajakeen pyrolysointi pilotti	Gasum, Turku	Ammoniakkivesi & fosforikonentraatti, Biohiili	Käyttöönotto kesällä 2018
Lietelantapohjaisen mädätysjäännöksen separointi ja suodatus maidonjalostusteollisuudesta sovelletulla teknologialla	Valio Biotehdas, Nivala	Typikkonentraatti & fosforipitoinen kuivajae	Laitos käyttöön vuonna 2019
Nestemäisten kierrätyslannoitteiden levityskalusto ja lannoituskokeet	Luke – Nesteravinne-hanke, Piikkiö	Ammoniumsulfaatti, typpivesi, haihdutuskonentraatti & perunan soluneste	Lannoituskokeet 2018-2020
Täsmäviljelykalusto kierrätyslannoitteille	Luke - Circwaste-hanke, Vihti	Ammoniumsulfaatti & perunan soluneste	Demonstraatiot 2017-2018
Lämpökemiallisten käsittelyiden vaikutus puhdistamoliete fosforin käyttökelpoisuuteen	Luke – PProduct-hanke, Jokioinen	Pyrolysoitu ja HTC-käsitelty liete. Kalkkistabiloitu liete.	Hanke päättynyt 31.3.2018. Loppuraportti Luken sarjassa valmistumassa.
Lietemäisen mädätysjäännöksen kuivaus, rakeistus ja tuotteistus.	SFTec Oy, Rakeistus Oy & Luke - Demotehdas-hanke, Oulu	Lannoiterae	Kasvatuskokeet keväällä 2019

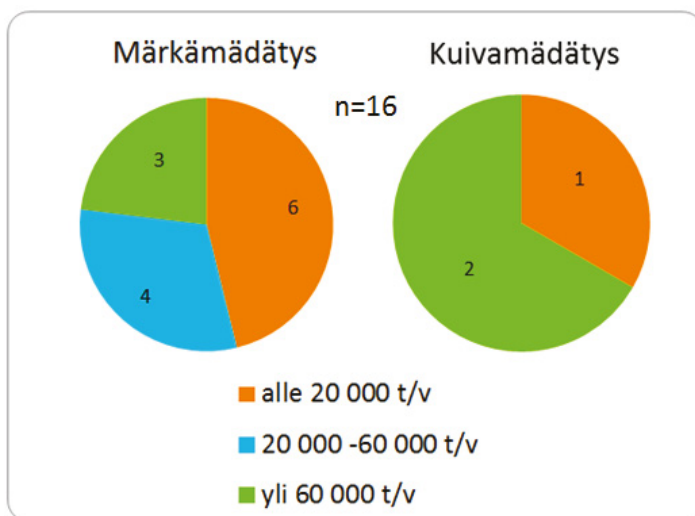
3.1. Laitostoimijoiden näkemykset

Luonnonvarakeskus toteutti BioRaEE- ja Maaseudun ravinteet hyötykäyttöön (Marahyöty II) -hankkeiden yhteistyönä kyselyn kierrätyslannoitteiden valmistajille marras-joulukuussa 2017 (Tampio ym., 2018). Kysely lähetettiin Lannoitevalmistelain (539/2006) mukaiseen Eviran rekisteriin merkityille toimijoille, joilla on laitoshyväksyntä kierrätyslannoitteiden valmistajina. Kyselyyn vastasi 26 kierrätyslannoitteiden valmistajaa, joista 16 käytti prosessiketjussaan biokaasutuotantoa. Vastauksia kyselyyn tuli monipuolisesti ympäri Suomen sekä juuri toimintansa aloittaneilta laitoksilta että pidempään toiminnassa olleilta laitoksilta. Tässä tarkastellaan biokaasutuotantoa hyödyntäneiden laitosten vastauksia.

3.1.1. Vastaajien taustaprofiili

Biokaasulaitosten vastauksia saatiin 16 laitokselta, mikä vastaa noin kolmasosaa kaikista Suomessa toiminnassa olevista biokaasulaitoksista laskentatavasta riippuen. Näistä seitsemän oli kapasiteetiltaan pieniä (alle 20 000 t/v), neljä keskisuuria (20 000–60 000 t/v) ja viisi suuria (yli 60 000 t/v). Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia ei kyselyyn vastannut, sillä vain harva näistä myy mädätysjäännöstä ulkopuolisille ja on näin ollen Eviran valvoma kierrätyslannoitevalmisteen valmistaja.

Vastaajista 13 oli märkä- ja kolme kuivamädätyslaitoksia (Kuva 2). Kaikki käyttivät syötteenään kotimaista alkuperää olevaa biomassaa. 75 % vastaajista käytti syötteenään puhdistamolietettä ja noin puolelle se oli pääsyöte. Muita keskeisiä syötteitä olivat erilliskerätyt biojätteet, ruokapalveluiden rasvakaivolietteen sekä kauppojen biojätteet. Vain yksi vastaajista käytti pääsyötteenään kotieläinten lantaa.

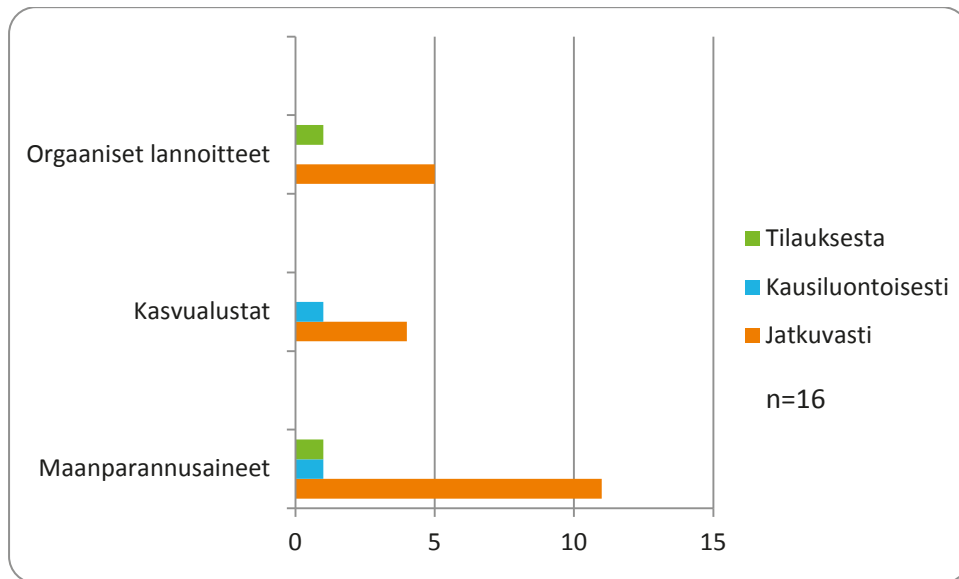


Kuva 2. Kyselyyn vastannneiden biokaasulaitosten vuosittainen laitospakapasiteetti ja kuhunkin kapasiteettiin kuuluvien laitosten määrä vastanneissa laitoksissa.

Märkämädätyslaitokset käyttivät syötteenään pääasiassa teollisuuden jätevesiä, rasvakaivolietettä, kotieläinten lantoja, elintarviketeollisuuden sekä metsäteollisuuden sivuvirtoja. Kuivamädätyslaitokset käyttivät näiden lisäksi myös vesistökuunnostuksen kasvibiomassoja ja peltobiomassoja. Eläinten lannoista märkämädätyslaitokset käyttivät pääosin naudan ja sian lietalantaa sekä pienissä määrin siipikarjan ja turkiseläinten lantaa. Kuivamädätyslaitokset käyttivät lannoista vain hevosenlantaa.

Vastaajista 82 % valmisti maanparannusaineita ja 85 %:lla näistä oli jatkuva saatavuus, ts. tuotetta oli jatkuvasti tarjolla loppukäyttäjälle. Loppuja markkinoitiin kausiluontoisesti tai tilauksesta (Kuva 3). Vastaajien lopputuotteina oli myös kasvualustoja ja orgaanisia lannoitteita. Yksikään vastaajista ei sekoittanut väkilannoitteita lopputuotteisiinsa täydentämään ravinnepitoisuuksia. Vain kaksi vastaa-

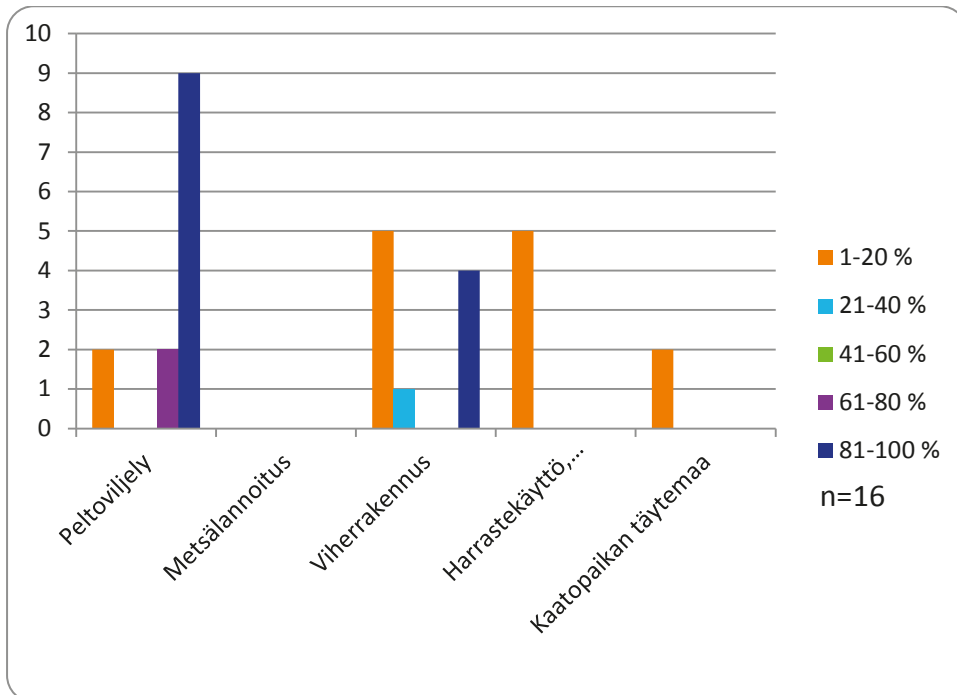
jista tarjosivat tuotteitaan väkilannoitteiden levityskalustolle sopivassa muodossa, toinen rakeena ja toinen pellettinä. Toiset kaksi tarjosivat vain nestemäistä lopputuotetta, jolla oletettavasti on tarkoitettu lietemäistä lopputuotetta. Vastaajista 50 % tarjosi tuotteitaan kuivalantamaisessa muodossa, ja jäljelle jäävät 25 % tarjosivat sekä lietemäisiä että kuivalantamaisia lannoitevalmisteita. Vain yksi vastaaja tarjosi tuotettaan pakattuna suursäkkiin ja yksi pakattuna pieneen säkkiin, kaikki muut vain irtotavarana. Myöskään urakointipalveluita ei tarjonnut kuin yksi vastaajista lietteen levityksen muodossa.



Kuva 3. Vastanneiden biokaasulaitosten lopputuotteet ja niiden saatavuus.

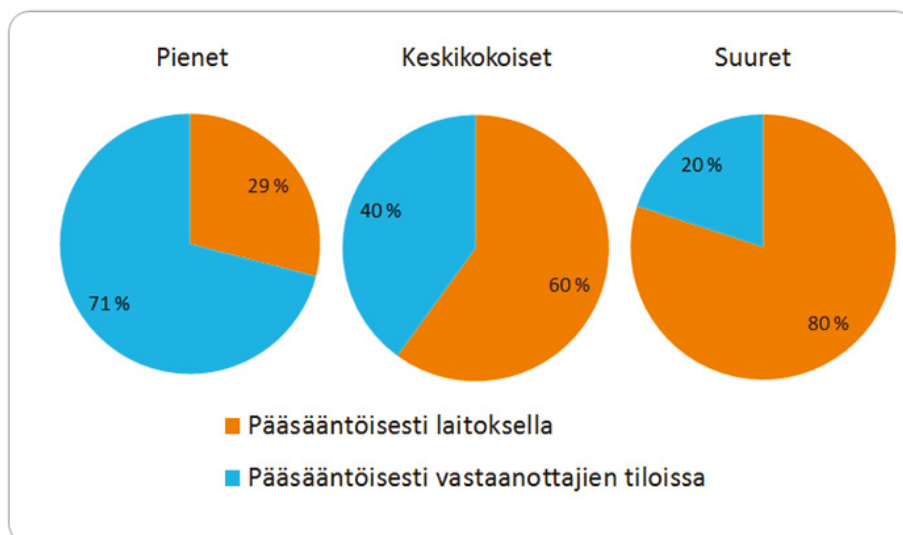
Puhdistamolietettä käsittelevistä laitoksista viidellä oli erilliset prosessointilinjat puhdistamolietteelle ja muille raaka-aineille. Näillä kaikilla oli tuotannossa myös luomuun soveltuvia lannoitevalmisteita. Luomuun soveltuvia tuotteita tarjosi myös kaksi muuta vastaajaa, jotka eivät käytä puhdistamolietettä raaka-aineenaan.

Vastaajien valmistamia lannoitetuotteita käytettiin pääosin peltoviljelyssä tai viherrakentamisessa (Kuva 4). Osa lopputuotteista hyödynnettiin myös kotipuutarhoilla ja kaatopaikkojen maisemoinnissa. Metsälannoitukseen vastaajien lopputuotteita ei käytetty. Vastaajista 56 %, joista yksi on kuivamädätyslaitos, tarjosi sekä lopputuotteitaan että kuljetuspalvelua ilmaiseksi asiakkailleen. Sopivaksi kuljetusmatkaksi vastaajat näkivät alle 100 km. Vain yksi vastaaja toimitti tuotteitaan tätä kauemmas.



Kuva 4. Vastanneiden biokaasulaitosten lopputuotteiden käyttökohteet ja osuudet kokonaismäärästä.

Vastaajista noin puolet edellyttää asiakkailtaan lannoitevalmisteen varastointia asiakkaan omilla tiloissaan (Kuva 5). Erityisesti pienet laitostoimijat (kapasiteetti <20 000t/v) edellyttävät varastointia vastaanottajien tiloissa. Suurille toimijoille (>60 000t/v) varastointi ei näyttäytynyt suurena ongelmana.



Kuva 5. Varastoinnin mahdollisuudet lopputuotteille vastanneilla biokaasulaitoksilla.

3.1.2. Jatkojalostus, markkinat ja lainsäädäntö

Alle 20 % vastanneista laitostoimijoista huomioi kasvien tarvitsemat ravinnesuhteet lannoitevalmisteen tuotannossa. Mainittuja keinoja kasvien tarvitsemien ravinnesuhteiden huomioimiseen olivat kalsiumin lisääminen ja typen saannin tehostaminen sekoittamalla kalkkia lopputuotteeseen.

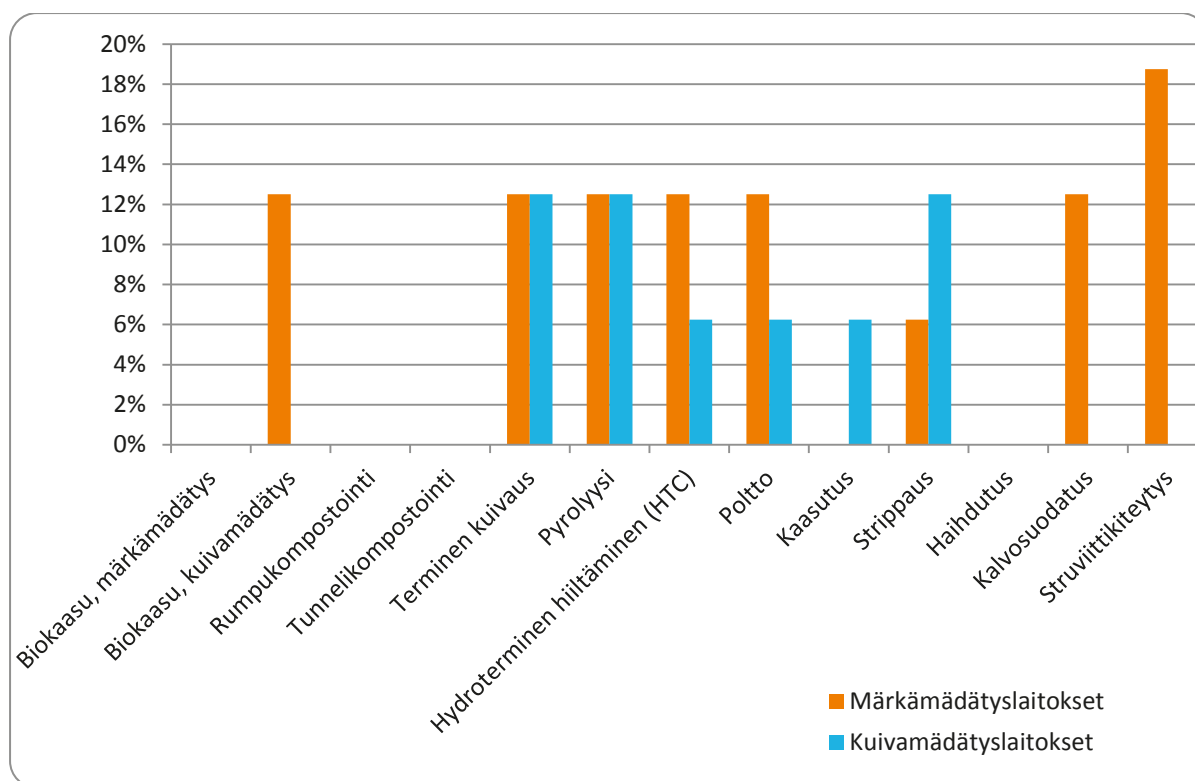
Vastaajien laitoksilla käytössä olleita jatkojalostusteknologioita olivat hygienisointi, separointi, seosten valmistus sekä kuivaus. Käytetyin tekniikka oli hygienisointi. Vain yksi vastannut laitos ei käyttänyt hygienisointia. Vastaajista 56 % hygienisoi mädätysjäätännöksen biokaasuprosessin jälkeen ja

38 % toteutti sen esikäsitteilynä. Kaikki vastauksissa olleet puhdistamolietettä sisältävät mädätysjäännökset hygienisoitiin, 33 % termisesti kuivaamalla ja 67 % kompostoimalla. Kiinteän jakeen kompostoinnin mahdollistamiseksi käytössä oli erilaisia separointiteknologioita. Myös mädätysjäännöksestä separoidun nestejakeen kalvosuodatus ja ammoniumtypen strippaus olivat käytössä yksittäisillä suurilla ja keskisuurilla laitoksilla.

Vaikka mädätteen jalostusaste oli vastanneilla laitoksilla toistaiseksi suhteellisen alhainen, 56 % vastaajista ilmoitti olevansa kiinnostunut tuotteiden jatkojalostuksesta paremmin asiakkaiden tarpeita vastaavaksi. Vähiten kiinnostusta oli pienillä märkämädätyslaitoksilla (alle 20 000 t/v), kun taas suurista (yli 60 000 t/v) kaikki vastanneet olivat kiinnostuneita jatkojalostuksesta. Myös vastaajista ainoa, joka ei vastaushetkellä mitenkään jatkojalostanut mädätettä, osoitti kiinnostusta sen käyttöönottoon.

Vastauksista erottui erityistä kiinnostusta tiettyjä teknologioita kohtaan (Kuva 6). Pienet toimijat olivat kiinnostuneempia poltto- ja kuivausteknologioista, kun taas suuremmat toimijat myös edistyneemmistä ravinteiden erotteluteknologioista, kuten strippauksesta, kalvosuodatuksesta ja struviittikiteytystä. Eniten kiinnostusta märkämädätyslaitoksissa herätti struviittikiteytys. Kuivamädätyslaitoksissa kiinnostus kohdistui erityisesti ammoniakkin strippaukseen.

Yli puolet vastaajista harjoitti omaa tutkimus- ja kehitystoimintaa, pilotointeja ja kenttäkokeita. Heillä oli meneillään kehittämishankkeita, joissa keskityttiin mädätysjäännöksen ravinteiden väkevöintiin ja erotteluun erilaisiksi tuotteiksi, jätevesilietteiden pyrolyysiin sekä syötteiden vaikutukseen mädätysjäännöksen ravinnesuhteisissa.

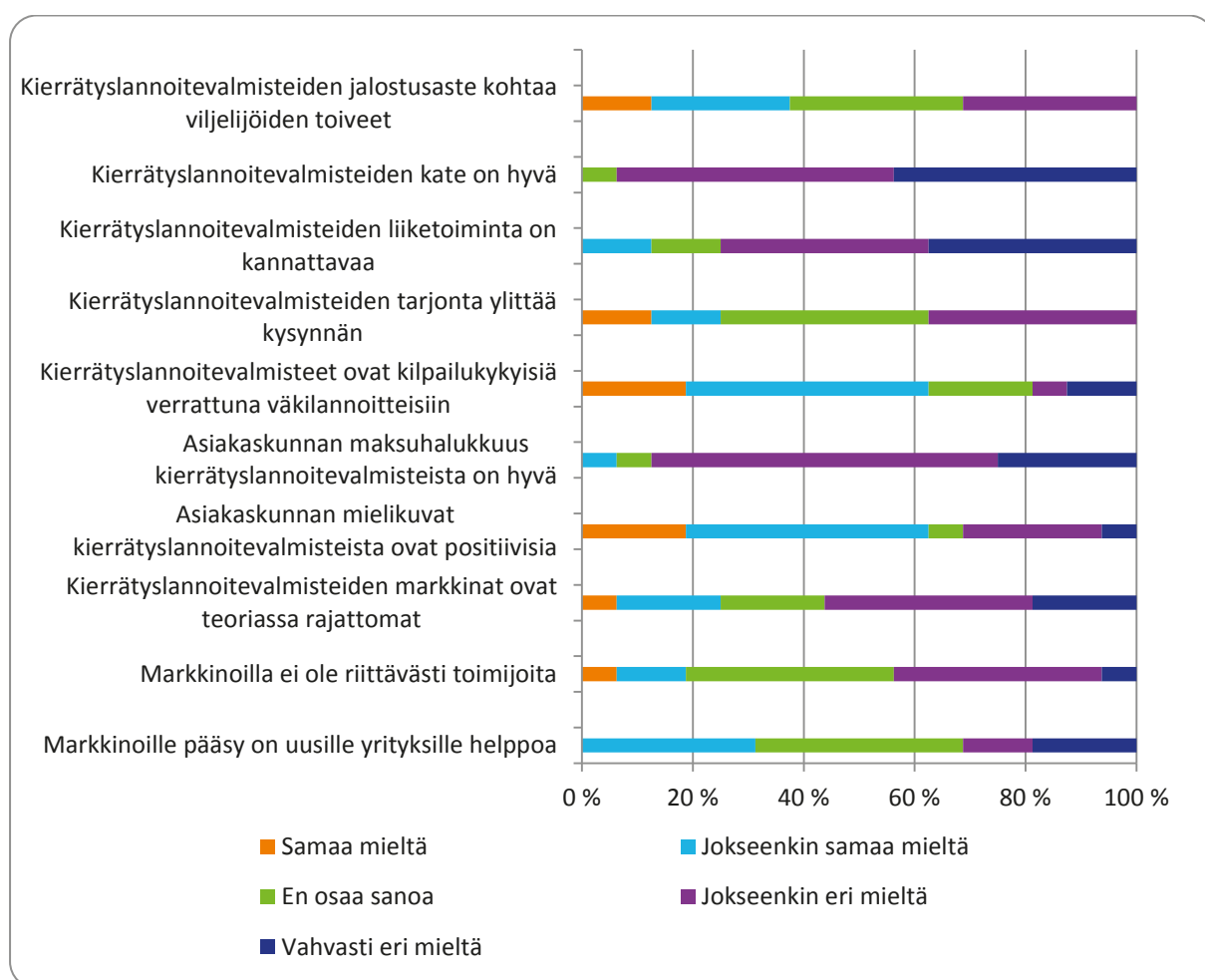


Kuva 6. Vastanneiden laitostoimijoiden kiinnostus jatkojalostusteknologioihin (%-osuus vastanneista biokaasulaitoksista).

Vastaajat näkivät kierrätyslannoitealan markkinoissa kehittämisen varaa (Kuva 7), vaikka yli 60 % heistä kokee, että kierrätyslannoitevalmisteet ovat jo nyt kilpailukykyisiä verrattuna väkilannoitteisiin ja että asiakkailta on valmisteista positiivinen mielikuva. Kuitenkin tuotteista saadussa katteessa, asiakkaiden maksuhalukkuudessa ja liiketoiminnan kannattavuudessa oli heidän mielestään parantamisen varaa. Haasteista huolimatta näkemykset siitä, kuinka hyvin nykyiset lopputuotteet vastaa-

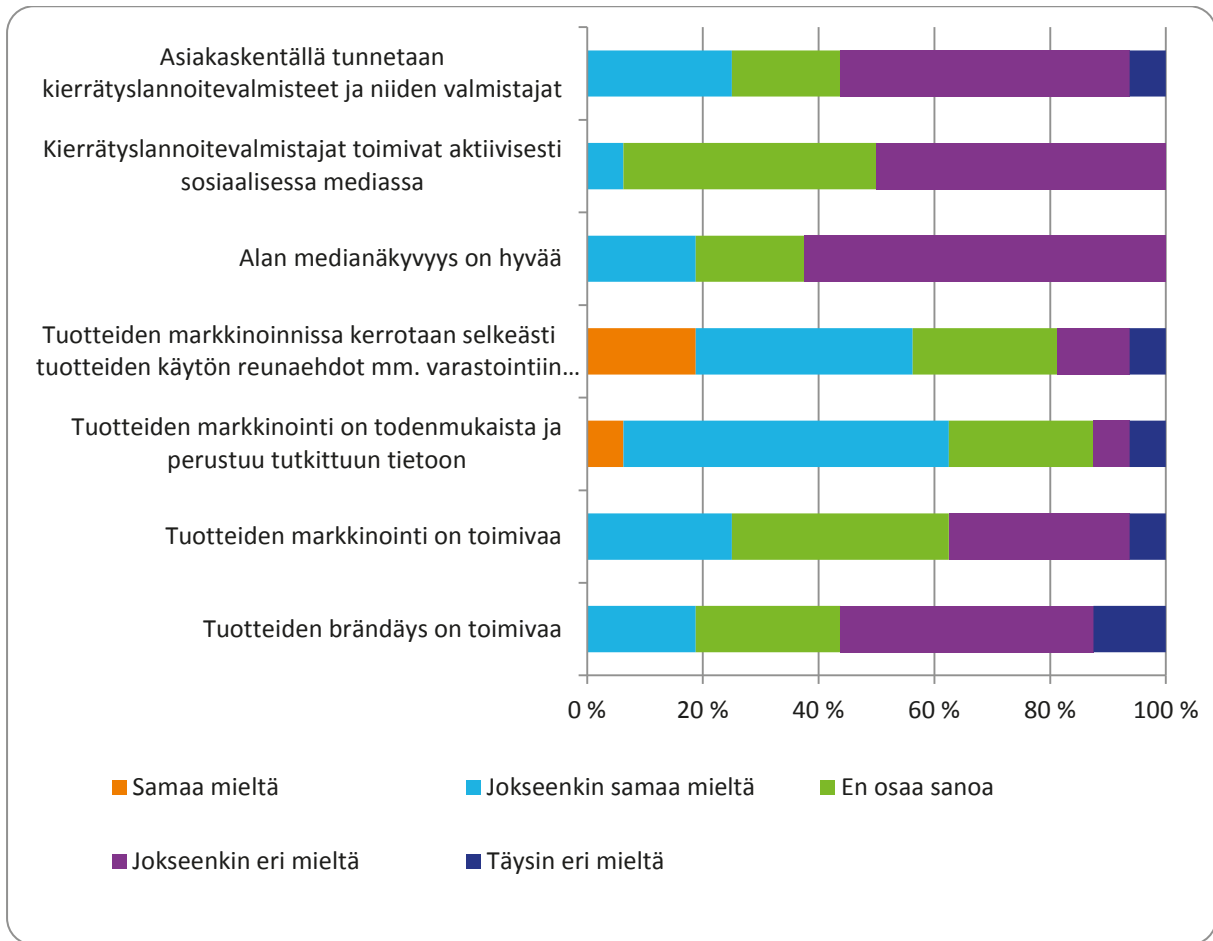
vat viljelijöiden toiveita, olivat eriäviä ja vain kolmannes laitostoimijoista näkee parannettavaa viljelijöiden toiveiden kohtaamisessa.

Myös vastaajien mielipiteet markkinoiden tyydyttyneisyydestä olivat eriäviä. Vastaajista 19 % koki, ettei toimijoita ole riittävästi, ja 38 %, ettei tarjonta tyydytä kysyntää. Toisaalta 44 % oli sitä mieltä, että markkinoilla oli riittävästi toimijoita, ja 25 %, että tarjonta ylitti kysynnän. Huomiota herättävää oli myös kohtuullisen isot vastausprosentit vaihtoehtoon ”en osaa sanoa”. Kolmannes vastaajista ei osannut sanoa kierrätyslannoitteiden markkinoiden tyydyttyneisyydestä tai siitä kuinka helppoa markkinoille pääsy oli. Pienet toimijat (laitoskoko <20 000 t) kokivat markkinoille pääsyn haastavaksi, kun taas isompien toimijoiden näkemyksen mukaan se ei ollut vaikeaa. Toimijoiden välinen sekä toimijoiden ja asiakkaiden välinen yhteistyö nähtiin toimivana, mutta se voisi olla tiiviimpää. Toisaalta kilpailuasetelman toimijoiden välillä nähtiin vaikeuttavan yhteistyötä. Yli puolet vastaajista ei osannut sanoa, onko alalla tarpeeksi toimivia verkostoja.



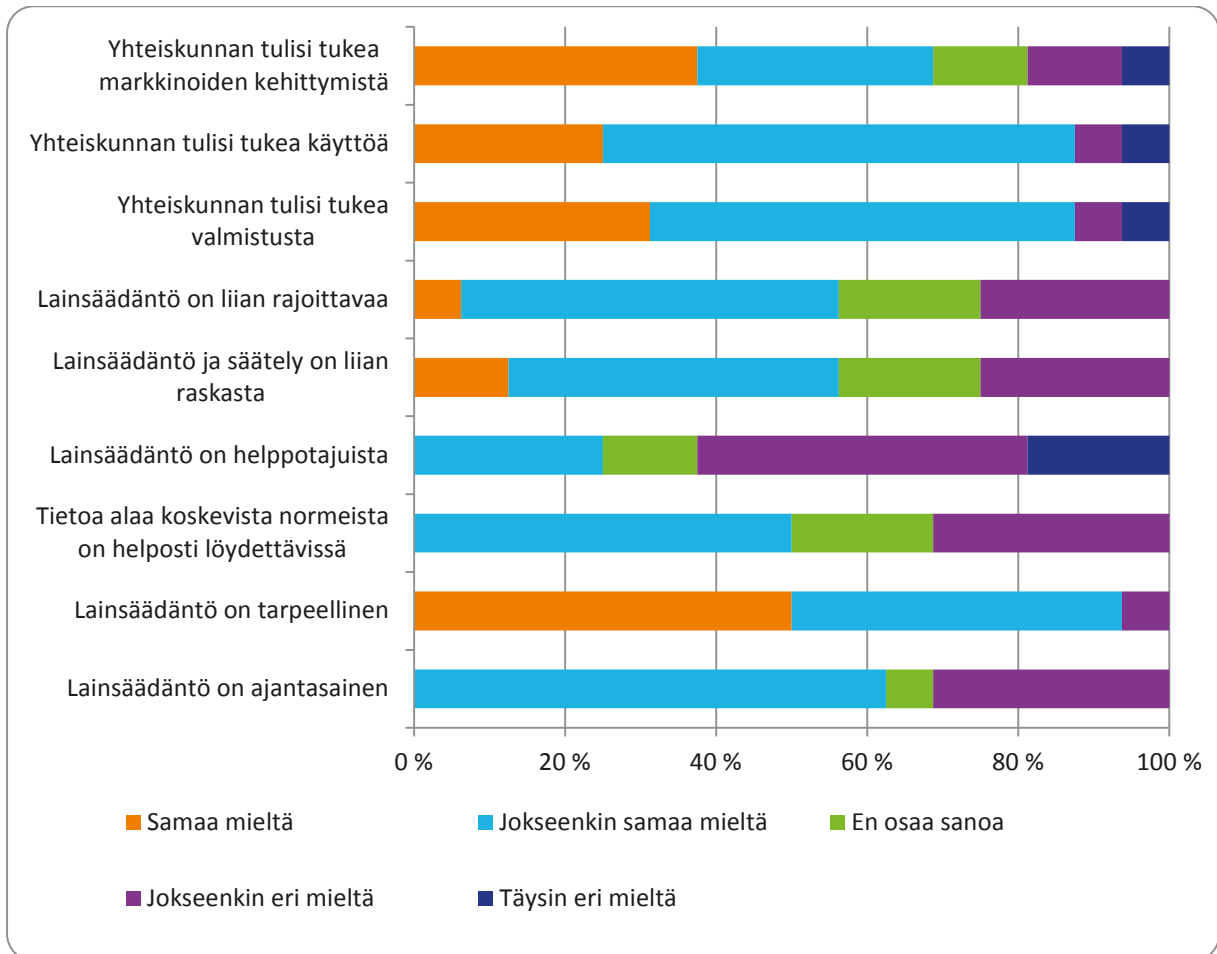
Kuva 7. Vastanneiden biokaasulaitostoimijoiden näkemykset mädätysjäätännöksen ja siitä jalostettujen tuotteiden markkinoista.

Kierrätyslannoitteiden julkisuuskuvaa kysyttäessä valmistajat pitivät alan markkinointia selkeänä ja todenmukaisena (Kuva 8). Yli 60 % vastaajista oli jokseenkin eri mieltä väitteestä ”alan medianäkyvyys on hyvää”. Vain 25 % koki, että asiakaskentällä tunnettiin kierrätyslannoitteet ja niiden valmistajat. Yli puolet vastaajista näki alan brändäyksessä ja sosiaalisen median aktiivisuudessa parantamisen varaa.



Kuva 8. Kierrätyslannoitteiden julkisuuskuva vastanneiden laitostoimijoiden mielestä.

Lainsäädännön suurimmat haasteet nähtiin vastanneiden joukossa sen vaikeatajuisuudessa sekä sääntelyn raskaudessa ja rajoittavuudessa (Kuva 9). Yleinen näkemys vastaajien piirissä oli, että yhteiskunnan tulisi tukea kierrätyslannoitevalmisteiden valmistusta, käyttöä ja markkinoiden kehittymistä. Lupaprosessit nähtiin hyväksi ja tarpeelliseksi, vaikkakin monimutkaisiksi. Lupaviranomaisten toimintaan ja asiantuntijuuteen oltiin kuitenkin yleisesti tyytyväisiä.



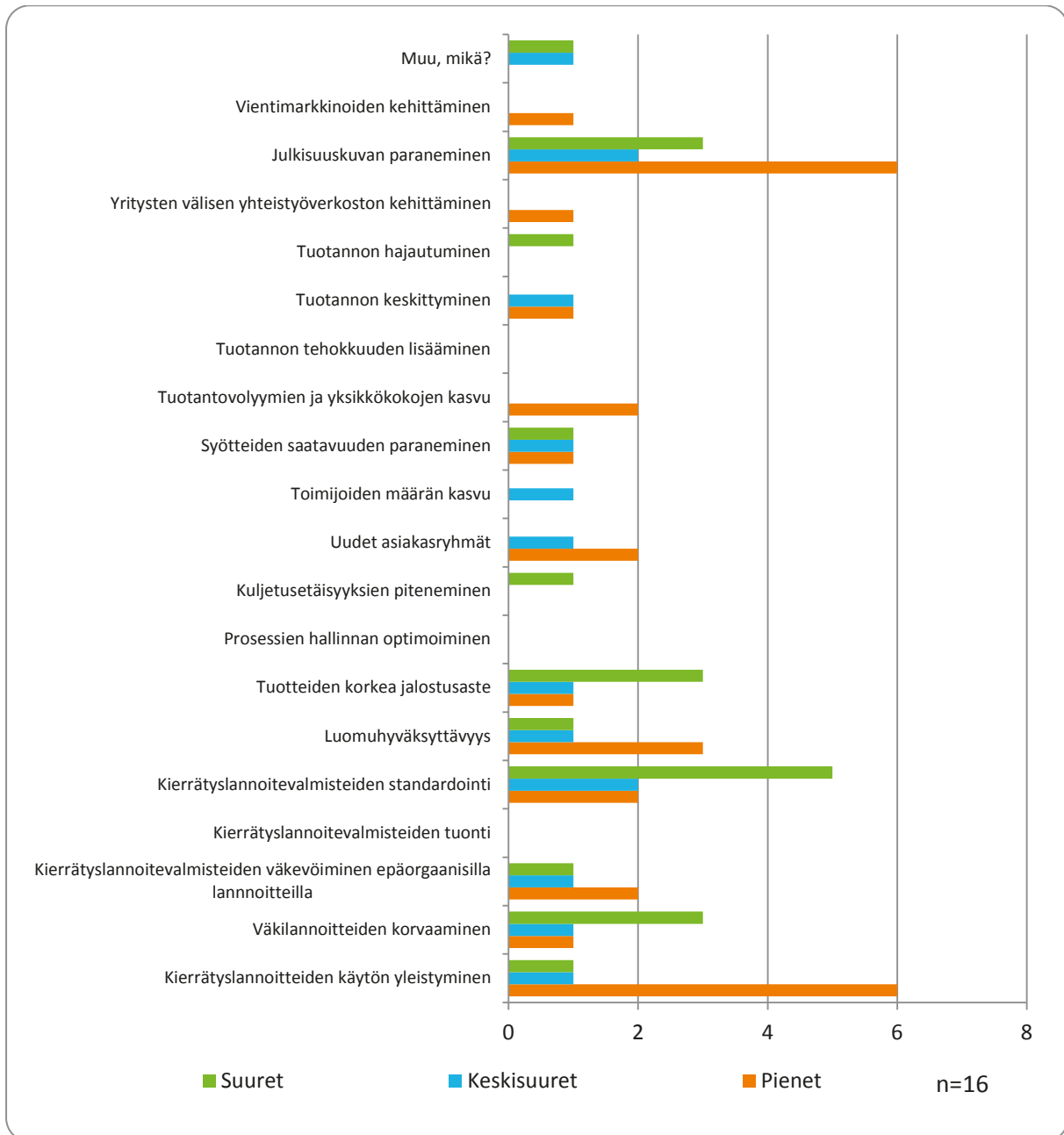
Kuva 9. Kierrätyslannoitteiden lainsäädäntö vastanneiden biokaasulaitostoimijoiden mielestä.

3.1.3. Tulevaisuus

Kyselyyn vastanneet biokaasulaitostoimijat näkivät toiminnan kannattavuuden, lopputuotteiden markkinoiden epävakauden, toimintaa säätelevän lainsäädännön ja kierrätyslannoitetuotteiden hyväksyttävyyden suurimpina toimialan kasvua hidastavina tekijöinä. Etenkin puhdistamolietepohjaisen mädätysjäännöksen maatalouskäytön yllä oleva epävarmuus ja viljanostajien asettamat kiellot rajoittavat investointeja mädätysjäännöksen jalostamiseen. Muina haasteina nähtiin korkeat prosessikustannukset, epäonnistuminen haluttujen ravinnesuhteiden aikaansaamisessa ja logistiikan toimivuus. Etenkin pienille toimijoille lopputuotteiden varastointi on keskeinen haaste tuotannolle.

Kyselyn vastaajat olivat kuitenkin toiveikkaita alan tulevaisuudesta. Keskeisimmiksi alan tulevaisuuden näkymiksi nousi kyselyn perusteella kierrätyslannoitteiden käytön yleistymisen ja standardointi sekä julkisuuskuvan paraneminen (Kuva 10). Myös korkea jalostusaste, luomuhyväksyttävyyden ja väkilannoitteiden korvaaminen nähtiin mahdollisuuksina. Mielenkiintoinen huomio on, ettei yksikään suuren kapasiteetin laitosten vastaajista nähnyt uusia asiakasryhmiä tulevaisuuden mahdollisuutena, eikä yksikään vastaajista valinnut kohtaa "tuotannon tehokkuuden lisääminen" tulevaisuuden mahdollisuudeksi.

Keinoiksi toiminnan edistämiseksi vastaajat ehdottivat toimijoiden yhtenäistä mediapolitiikkaa ja aktiivisempaa tutkimustiedon tuomista julkisuuteen. Lainsäätäjiltä toivottiin selkeitä linjauksia etenkin puhdistamolietepohjaisten kierrätyslannoitteiden valmistamisen ja käytön hyväksyttävyydelle. Tutkimukselle suurimmat toiveet olivat uusien teknologioiden kehittäminen, kierrätyslannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksen tutkimukset sekä koulutus- ja seminaarituloisuus.

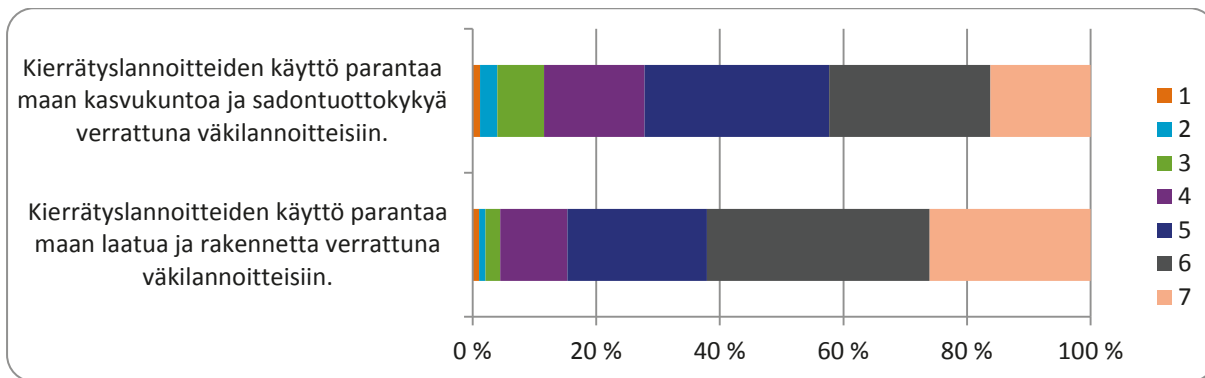


Kuva 10. Keskeisimmät tulevaisuuden mahdollisuudet kierrätyslannoitteiden valmistuksessa vastanneiden bio-kaasulaitostoimijoiden mielestä.

3.2. Viljelijöiden tarpeet

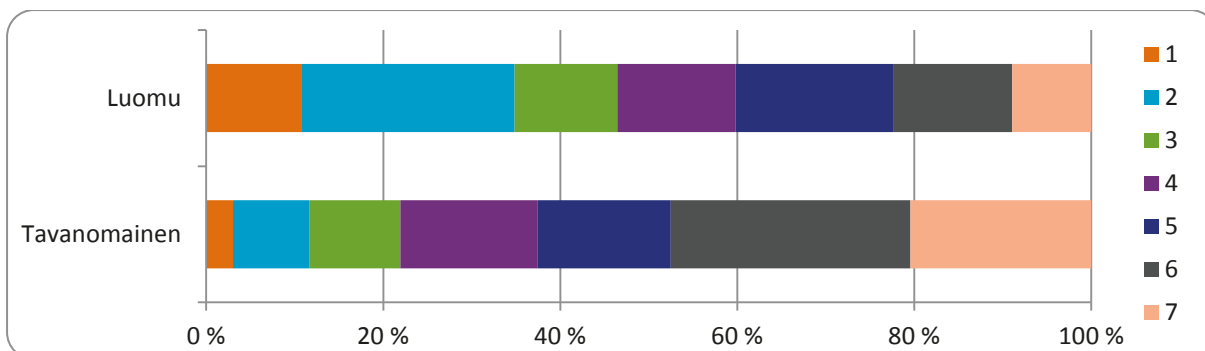
BioRaEE -hankkeessa Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen yhteistyönä toteutetussa kyselyssä (Myllyviita & Rintamäki, 2017) selvitettiin viljelijöiden kokemuksia ja tarpeita kierrätyslannoitteille tavanomaisessa ja luonnonmukaisessa tuotantosuunnassa. Kyselyyn vastasi yhteensä 644 viljelijää ympäri Suomen. Pääpaino vastaajien tuotantosuunnassa oli selkeästi viljanviljely, mutta myös pienemmät tuotantoalat, kuten puutarhaviljely, olivat edustettuina. Vastaajista 127 oli luomutiloja.

Kyselyn keskeisimpiä löydöksiä oli, että yli 70 % viljelijöistä näki kierrätyslannoitteet hyvänä lisänä väkilannoituksen tueksi. Niiden nähtiin parantavan pellon maaperän laatua ja kasvukykyä (Kuva 11). Kierrätyslannoitteiden käytöllä odotettiin myös positiivista vaikutusta maan sadontuottokykyyn.

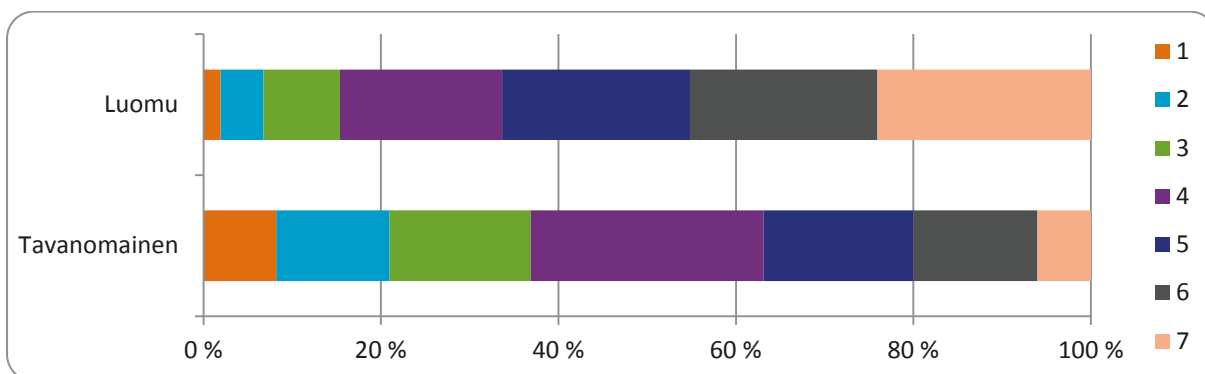


Kuva 11. Viljelijäkyselyn vastaukset väittämiin kierrätyslannoitteiden vaikutuksesta maaperään ja satoon. 1= vahvasti eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = jokseenkin eri mieltä, 4 = en osaa sanoa, 5 = jokseenkin samaa mieltä, 6 = samaa mieltä ja 7 = vahvasti samaa mieltä.

Verrattaessa vastauksia luomutuotannon ja tavanomaisen viljelyn välillä keskeisimpänä erona nousi luomuviljelijöiden positiivisempi suhtautuminen väkilannoitteiden korvaamiseen kierrätyslannoitteilla (Kuva 12). Tavanomaisessa viljelyssä kierrätyslannoitteet koettiin hyvänä lisänä väkilannoitteille, mutta yli 60 % koki, etteivät kierrätyslannoitteet yksin riitä halutun lannoitetason saavuttamiseksi. Yli 65 % luomuviljelijöistä näki kierrätyslannoitteet parempina kuin väkilannoitteet (Kuva 13). Tavanomaisessa viljelyssä samaa mieltä oli vain 37 %.

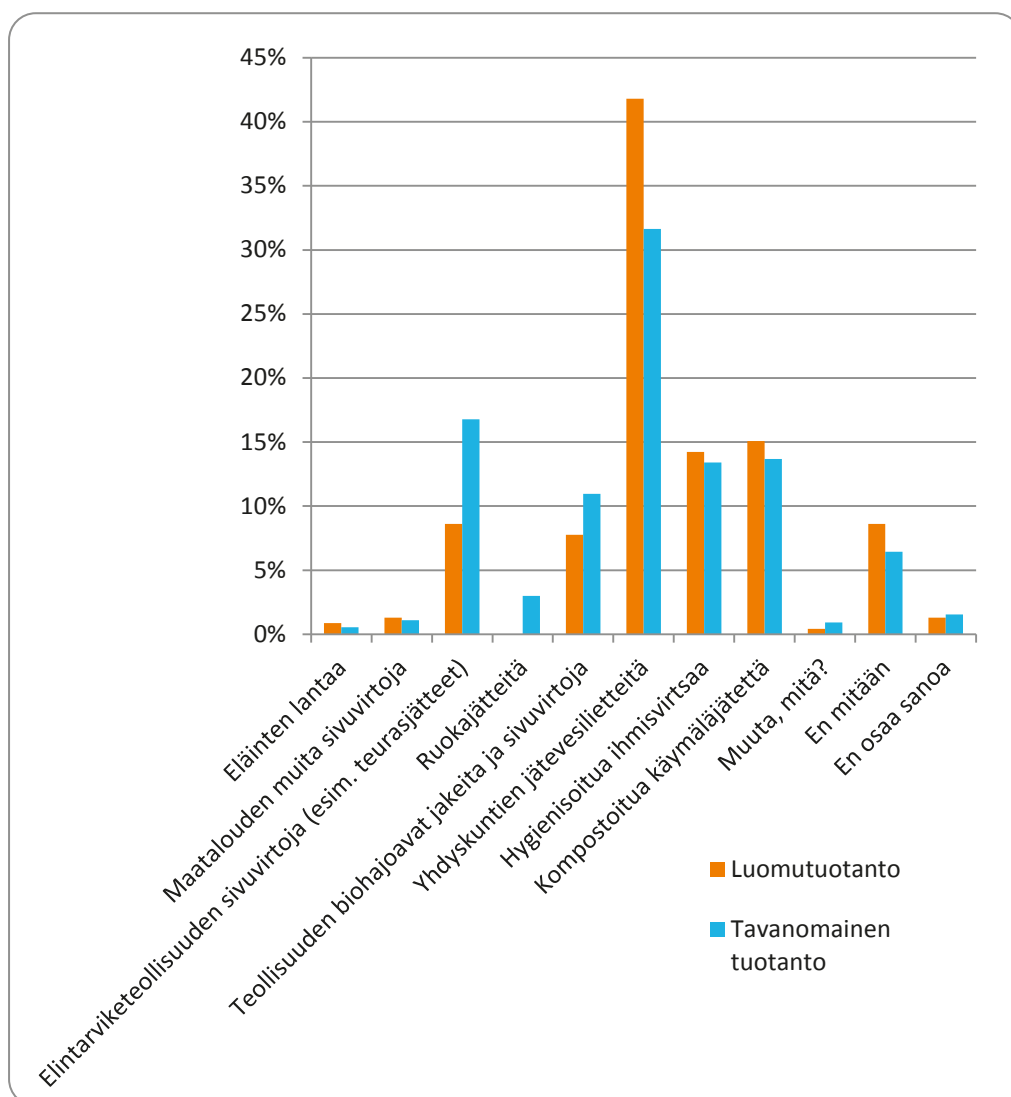


Kuva 12. Luomu- ja tavanomaisten viljelijöiden vastaukset väittämään: **Kierrätyslannoitteet eivät yksin riitä takaamaan haluttua lannoitetasoa.** 1 = vahvasti eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = jokseenkin eri mieltä, 4 = en osaa sanoa, 5 = jokseenkin samaa mieltä, 6 = samaa mieltä ja 7 = vahvasti samaa mieltä.

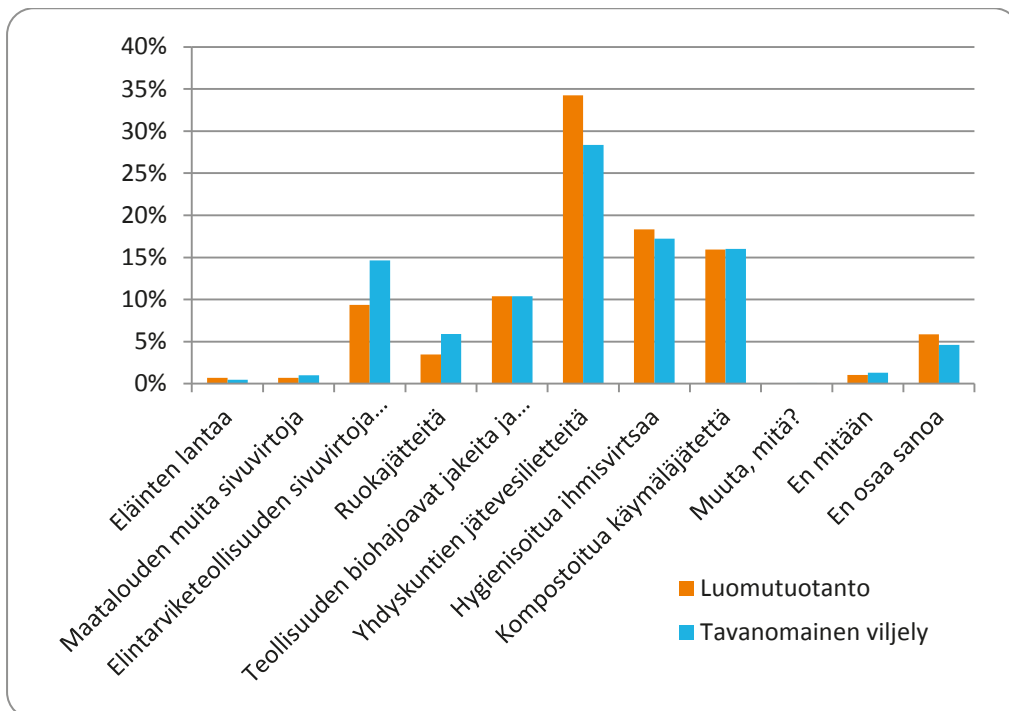


Kuva 13. Luomu- ja tavanomaisten tuottajien vastaukset väittämään: **Kierrätyslannoitteet ovat parempia lannoitteita kuin väkilannoitteet.** 1= vahvasti eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = jokseenkin eri mieltä, 4 = en osaa sanoa, 5 = jokseenkin samaa mieltä, 6 = samaa mieltä ja 7 = vahvasti samaa mieltä.

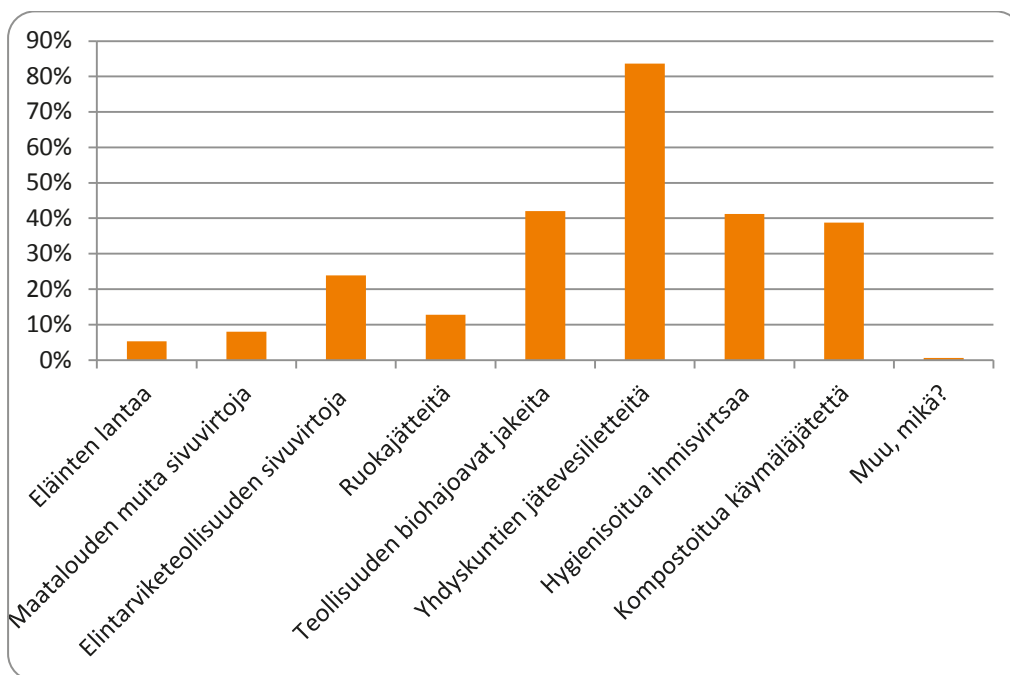
Kyselyn vastauksissa korostui viljelijöiden epäilevä suhtautuminen erityisesti ihmisperäisistä jätemassoista valmistettuja, mutta myös teollisuuden jätemassoista valmistettuja kierrätyslannoitteita kohtaan (Kuva 14). Vastaajista 70 % vierasti yhdyskuntien jätevesilietteitä sisältäviä lannoitetuotteita. Luomutuotannossa vierastettiin yhdyskuntien jätevesilietteitä vielä enemmän kuin tavanomaisessa tuotannossa. Toisaalta luomuviljelijät suhtautuvat suopeammin elintarviketeollisuuden sivuvirtoihin. Kysyttäessä viljelijöiden näkemystä omien asiakkaidensa (esim. viljanostajat) vierastamiin kierrätyslannoitteiden raaka-aineisiin esiin nousivat yhtä lailla etenkin ihmisperäiset raaka-aineet (Kuva 15). Vastaajista 84 % koki yhdyskuntien jätevesilietteisiin liittyvän turvallisuusriskejä esim. raskasmetallien, lääkejäämien tai mikrobiologisten tekijöiden takia (Kuva 16). Esiin nousi myös huoli huumausaine- ja hormonijäämistä.



Kuva 14. Vastanneiden viljelijöiden vierastamat kierrätyslannoitteiden raaka-aineet (% vastanneista).

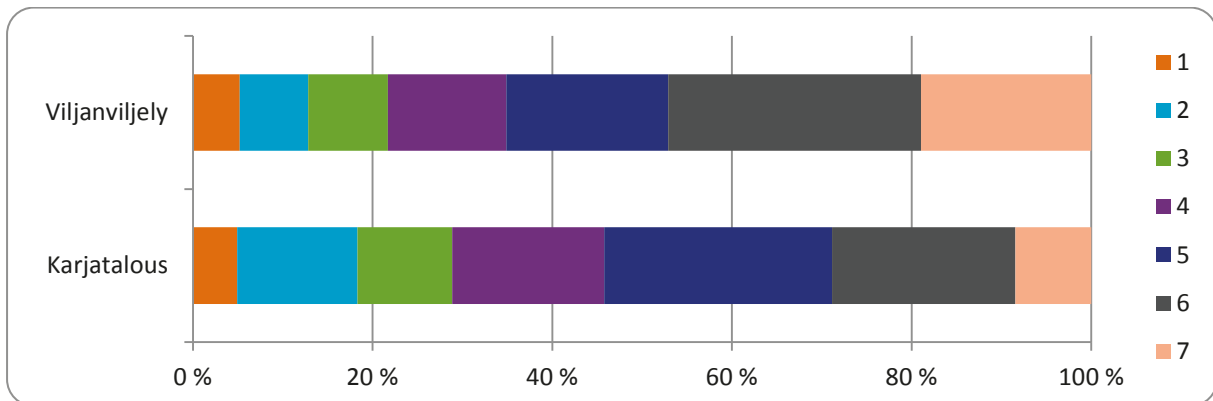


Kuva 15. Maatilojen asiakkaiden vierastamat kierrätyslannoitteiden raaka-aineet vastanneiden viljelijöiden arvon mukaan (% vastanneista).



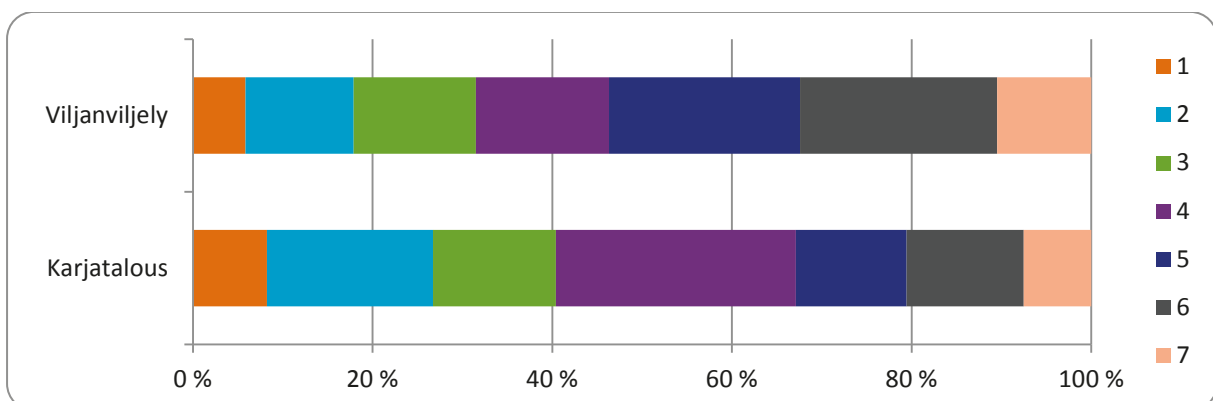
Kuva 16. Kierrätyslannoitteiden raaka-aineet, joissa on vastanneiden viljelijöiden mielestä turvallisuusriskejä (esim. raskasmetallit, lääkejäämät ja mikrobiologiset tekijät; % vastanneista).

Viljelijät odottivat kierrätyslannoitteilta etenkin kuljetettavuutta, varastoitavuutta, varmaa saataavuutta, edullisuutta ja kasvikohtaisesti optimoituja ravinnesuhteita. Vain kolmannes viljelijöistä näki mahdolliseksi varastoida kierrätyslannoitteita tilallaan muussa muodossa kuin suursäkeissä. Viljanviljelijöistä 65 % ja karjatalouden harjoittajista 55 % koki kierrätyslannoitteiden varastoinnin tilalla hankalaksi (Kuva 17).



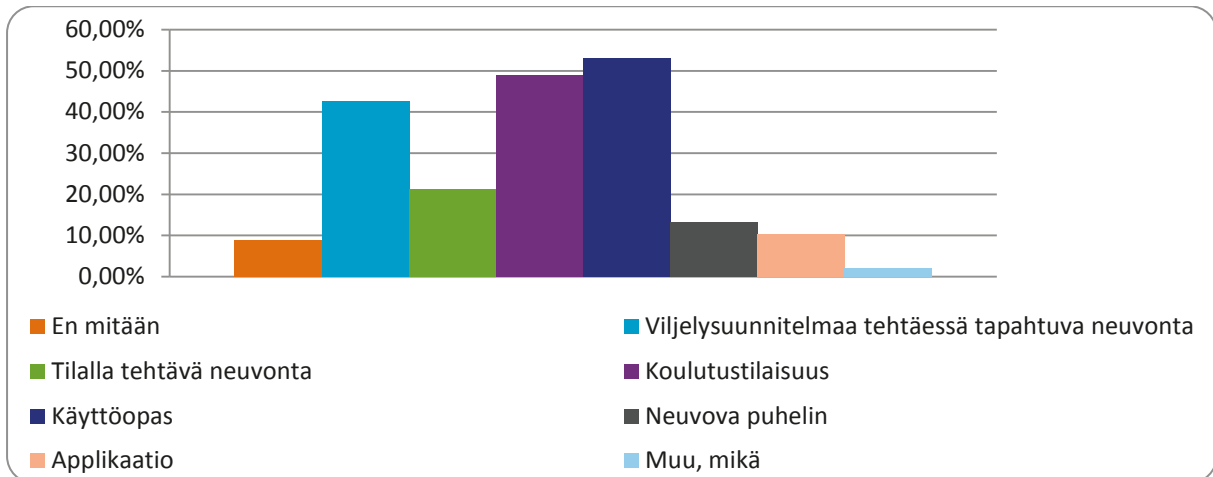
Kuva 17. Viljelijäkyselyn vastaukset väitteeseen: **Kierrätyslannoitteiden varastointi tilalla on hankalaa.** 1= vahvasti eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = jokseenkin eri mieltä, 4 = en osaa sanoa, 5 = jokseenkin samaa mieltä, 6 = samaa mieltä ja 7 = vahvasti samaa mieltä.

Viljanviljelijät kokivat kierrätyslannoitteiden levityksen hankalammaksi kuin karjatalouden harjoittajat (Kuva 18). Sopivin käyttömuoto kierrätyslannoitteille oli viljelijöiden mielestä rae. Seuraavaksi soveltuvin käyttömuoto oli kuivalantamainen tuote. Vain kolmasosa vastaajista näki nestemäisen tai pelletöidyn kierrätyslannoitteen soveltuvan tilalleen. Vastaajat eivät ehkä olleet käsittäneet pelletin ja rakeen samankaltaisuutta vastatessaan.



Kuva 18. Viljelijäkyselyn vastaukset väitteeseen: **Kierrätyslannoitteiden levittäminen on hankalaa.** 1= vahvasti eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = jokseenkin eri mieltä, 4 = en osaa sanoa, 5 = jokseenkin samaa mieltä, 6 = samaa mieltä ja 7 = vahvasti samaa mieltä.

Keskeisenä kierrätyslannoituksen edistämiskeinona nähtiin viljelijöiden ja valmistajien välinen yhteistyö. Kysyttäessä millaista tukea viljelijät tarvitsevat kierrätyslannoitteiden käyttöönottoon, yli 50 % vastaajista kaipasi käyttöoppaita ja melkein yhtä moni koulutusta (Kuva 19). Myös neuvojilta toivottiin opastusta kierrätyslannoittamiseen. Kolmannes viljelijöistä näki myös rahallisen tuen tarpeelliseksi, kun taas kuudennes koki, etteivät tukitoimet ole tarpeellisia.



Kuva 19. Vastanneiden viljelijöiden tarve kierrätyslannoitteiden käyttöopastukseen tiloilla (% vastaajista).

3.3. Pullonkaulat ja ristiriidat

Viljelijöiden ja laitostoimijoiden vastauksista kyselyihin erottui selkeitä ristiriitoja. Niistä puolestaan muodostuu pullonkauloja, jotka rajoittavat mädätysjäännösperäisten kierrätyslannoitteiden markkinoiden kehittymistä ja jäännöksen jalostamisen yleistymistä. Keskeisimpiä haasteita olivat lannoitteen olomuoto, ravinnesuhteet, varastoitavuus, raaka-aineet, hinta, tunnettavuus ja osaaminen (Taulukko 3). Molempien osapuolien vastauksissa oli havaittavissa halua pysyä nykyisissä toimissa sen sijaan, että omaa toimintaa oltaisiin valmiita kehittämään. Pullonkaulojen ratkaisemisessa olennaista kuitenkin olisi, että molemmat olisivat valmiita omia käytäntöjään muokkaamaan.

Taulukko 3. Viljelijöiden ja mädätysjäätännösperäisten lannoitetuotteiden valmistajien väliset vastausten ristiriidat ja niistä aiheutuvat pullonkaulat.

Viljelijät	Pullonkaula	Valmistajat
Toiveena tiloilla olemassa oleviin kylvölannoittimiin ja keskisäkelevittäimiin soveltuvat tuotteet; Ei kiinnostusta tilalle uudelleen levitystekniikoihin	Olomuoto, levittämiskalusto	Tyytyväisyys lopputuotteisiin nykyisellään, ts. vähäisellä jalostuksella ja ilman ravinnepitoisuuksien täydentämistä; Periaattellinen kiinnostus tuotteiden jatkojalostukseen, mutta vähäinen investointihalukkuus; Kiinnostus levitystekniikoiden kehittämiseen vähäistä
Väkilannoitteisiin verrattavat NPK-suhteet	Ravannesuhteet	
Ei investointihalua varastoida muuten kuin suursäkeissä	Varastoitavuus	Toivotaan (osin), että asiakas varastoi; Ei jalosteta suursäkeissä varastoitavaan muotoon (ei kaikilla tekniikoilla mahdollista eikä tavoiteltavaakaan)
Puhdistamolietteen vieroksuminen	Raaka-aineet	Puhdistamoliete keskeinen syöte monilla suurilla laitoksilla
Halpa maanparannusaine ja/tai väkilannoitteille kilpailukykyinen hinta verrattuna ravinne-määriin	Hinta	Lopputuotteille saatava maksuhalukkuutta, mutta jalostamiseen käyttökelpoisempaan muotoon sekä varastoinnin ja levittämisen palveluihin vähäinen investointihalukkuus
Kierrätyslannoitteilla maine pääasiassa hyvänä väkilannoitteille	Tunnettavuus	Tuotteilla huono tunnettavuus, josta seuraa tuotteen alhainen kysyntä
Tarve tukeen kierrätyslannoituksen suunnittelussa esim. käyttöoppaiden sekä koulutuksien lisäämisestä	Kierrätyslannoitusosaaminen	Osaamisen keskittyminen biokasvuteknologiaan eikä tuotteiden loppukäyttöön; Ei koettua tarvetta oppaille tai koulutustilaisuuksille

Suurin osa kirjoitushetkellä Suomessa tarjolla olevista mädätysjäätännösperäisistä kierrätyslannoitetuotteista muistuttavat kuivalantaa tai lietettä, ja niitä tarjotaan muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta vain irtotavarana. Kasvinviljelijöillä ei välttämättä ole kuiva- tai lietalantamaisen lannoitteen varastointi- tai levityskalustoa, mikä näkyi heidän suhtautumisessaan kierrätyslannoitteiden käyttöönottoon. Myös muiden maatalouden tuotantosuuntien harjoittajat näkivät hankaluuksia kierrätyslannoitteiden levitettävyydessä ja varastoitavuudessa.

Varastoitavuudessa suuri ristiriita syntyi siinä, että enemmistö molemmista vastaajaryhmistä toivoisi vastapuolen ottavan varastoinnin kontolleen. Tämän seurauksena voi olla tukoksia asiakassuhteiden luomisessa, sillä viljelijät eivät toistaiseksi ole innostuneita investoimaan kierrätyslannoitteille soveltuviin levityskalustoihin tai varastointimahdollisuuksiin. Suurilla laitoksilla varastointi yleensä onnistuu, mutta toisaalta kierrätyslannoitteet täytyy siirtää käyttökohteisiinsa tiloilla hyvissä ajoin ennen levityskautta, joten jonkinlaisia varastoinnin ratkaisuja tarvitaan myös tiloilla tai niiden läheisyydessä.

Varastointiratkaisuille olisi siis selkeä kehittämistarve, jotta tilat voisivat niitä ottaa käyttöön. Myös erilliselle urakoinnille tai varastoinnin ja levityksen palveluille laitoksen toimesta olisi tilausta. Jälkimmäinen kuitenkin edellyttää laitostoimijoidenkin puolesta kasvavaa kiinnostusta maatalouden toimiin ja lopputuotteidensa käytön kehittämiseen pelkän laitoksen teknisen operoinnin sijaan.

Viljelijät odottavat kierrätyslannoitteilta väkilannoitteiden veroista tuotetta, jonka ravinnesuhteet on optimoitu. Toisaalta he käyttävät myös väkilannoitteina erilaisia tuotteita, joita tarvittaessa täydennetään toisilla eikä päästä vain yhdellä levityskerralla. Samaa voi tehdä kierrätyslannoitteilla. Täsmälannoituksen menetelmien kehittäminen kierrätyslannoitteiden levittämisen tueksi on tarpeen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi levityslaitteita, jotka pystyvät jopa kerta-ajolla levittämään useita lannoitetuotteita yhtä aikaa, kylvön yhteydessä tai erikseen, ja optimoimaan lannoitusta viljeltävän kasvin ja peltolohkon tarpeiden mukaan. Kierrätyslannoitteiden ravinnesuhteiden täydentämistä eri tuotteita sekoittamalla olisi myös tarpeen kehittää.

Kirjoitushetkellä mädätysjäännöstä jalostetaan harvassa suomalaisessa laitoksessa, eivätkä valmistajat yleensä kiinnitä huomiota lopputuotteen ravinnekoostumukseen. Myös kiinnostus jatkojalostukseen oli kyselyssä rajallinen, vaikka periaatteessa siihen suhtauduttiin positiivisesti. Valmistajat näkivät lopputuotteensa nykyhetkessä jalostusasteessaan kilpailukykyisenä väkilannoitteille ja vain kolmannes vastanneista näki tarvetta räätälöidä tuotettaan asiakkaidensa tarpeeseen. Valmistajien vastauksista päätellen he kaipaivat lisää jalostusteknologioiden kehittämistä sekä päätöksenteosta selkeämpiä ravinnekierrätyksen tavoitteiden linjauksia ennen kuin ovat valmiita investoimaan.

Haasteeksi tästä muodostuu se, että mikäli lopputuotteet eivät vastaa käyttäjiensä tarpeita, ei niille toimivia ja kannattavia markkinoita muodostu. Tämän voisi odottaa lisäävän kiinnostusta lopputuotteiden jalostamiseen paremmin viljelijöiden tarvetta vastaavaksi. Toisaalta myös viljelijöiden tulisi olla valmiimpia muuttamaan viljelykäytäntöjään kierrätyslannoitteita suosiviksi nyt toteutettujen toimien sijaan. Kierrätyslannoituksen hyödyt maaperän rakenteelle ja sadontuottokyvylle tunnetaan viljelijöiden keskuudessa, mutta selkeää aktiivisuutta viljelytapojen muutokseen ei ole kyselyn perusteella havaittavissa. Koulutusta, ohjauskeinoja, neuvontaa ja palveluja tarvitaan lisää kuilun kiinni kuromiseksi.

Kannattavuus nousi keskeiseksi teemaksi valmistajien markkinoilla näkemissä haasteissa. Tuotteille toivottiin kilpailukykyistä hintaa. Toisaalta tuotteiden edullisuus oli yksi viljelijöiden keskeisimpiä toiveita. Kyselyn mukaan moni valmistajista tarjosi tuotteitaan viljelijöille ilmaiseksi ja siten mädätysjäännöksellä ei ollut roolia laitosten ansaintamallissa. Kierrätyslannoitemarkkinoilla on tällöin siis tilanne, jossa valmistajat kamppailevat kannattavuusongelmien kanssa eikä asiakkailta löydy maksuhalukkuutta.

Valmistajien keskuudessa oli myös näkemyseroja markkinoiden tilasta. Osa valmistajista ei vaikuttanut tiedostavan kierrätyslannoitteiden potentiaalia korvata väkilannoitteita lannoituskäytössä, eikä toisaalta sitä, miten asiakaskunnan maksuhalukkuuteen voisi mahdollisesti vaikuttaa jalostamalla lopputuotetta vastaamaan paremmin asiakkaiden toiveita. Markkinoiden avaamiseksi molemmat vastaajaryhmät näkivät yhteiskunnallisen tuen tarpeelliseksi. Valmistajat kaipaivat yhteiskunnallista tukea kierrätyslannoitteiden käyttöön jopa enemmän kuin viljelijät.

Viljelijöistä 5/6 näki puhdistamolietettä sisältävät kierrätyslannoitteet turvallisuusriskinä ja koki myös asiakaskuntansa vieroksuvan puhdistamolietteen käyttöä ruoantuotannossa. Toisaalta taas valtaosa vastanneista biokaasulaitoksista käytti puhdistamolietettä syötteenään. Valmistajat olivat huolissaan tuotteidensa menekistä ja toivoivat päätöksentekijöiltä selkeitä linjauksia, millaiset kierrätyslannoitetuotteet ovat hyväksyttäviä. Tämä linjaus olisi tarpeen sekä laitostoimijoiden että kierrätyslannoitteiden käyttäjien näkökulmasta, jotta laitoksilla tiedettäisiin, millaisiin teknologioihin investoida, jos nykyiset eivät riitä, ja toisaalta lannoitevalmisteiden käyttäjät tietäisivät todennetusti, mitkä tuotteet ovat turvallisia käyttää. Työssä tarvitaan vielä tutkimus- ja kehitystyötä sekä tiedotusta.

Valmistajat kokivat, että heidän tuotteillaan on hyvä maine asiakaskunnan parissa, muttei tarpeeksi kysyntää tai tunnettavuutta. Viljelijät taas kertoivat olevansa tietoisia kierrätyslannoitteista, niiden hyödyistä ja niihin yhdistetyistä huolista. Eri asia on, kuinka valvutuneita nämä tiedot todelli-

suudessa ovat, sillä toimialalla liikkuu paljon uskomuksia ja vastakkaisia mielipiteitä eikä kaikkia tuotteita juuri markkinoida. Tällöin niitä ei myöskään tunneta.

Viljelijöiden ja valmistajien välisissä käsityksissä tiedottamisen ja koulutuksen tarpeellisuudesta olikin ristiriitoja. Viljelijät toivoivat tutkimuksen lisäksi erityisesti kokemusperäistä tietoa ja käyttöoppaita olemassa oleville ja mahdollisesti tuleville tuotteille, kun taas valmistajat näkivät tärkeämpänä uusien teknologioiden kehittämisen. Kommunikaatiossa viljelijöiden ja valmistajien välillä on selviä aukkoja. Siitä viesti myös molempien osapuolten toive tiiviimmästä yhteistyöstä.

Kyselyistä saatua tietoa voidaan peilata myös ravinnekiertoihin pureutuneen EIP-Agri -ryhmän selvitykseen (Jensen ym., 2017). Siinä eurooppalaisille viljelijöille ja mädätysjäännöksen valmistajille tehdyissä kyselyissä nousi esiin samankaltaisia pullonkaloja kuin tässä raportoiduissa suomalaisissa kyselyissä. Mädätysjäännöksen markkinointi koetaan haastavaksi sen vaihtelevan koostumuksen ja käsittelytapojen vuoksi. On myös haastavaa myydä kaikki mädätysjäännös lähialueelle, jotta kuljetuskustannukset eivät nouse korkeiksi. Valmistajien todetaan tarvitsevan syvällisempää ymmärrystä loppukäyttäjien huolista ja tarpeista. Mädätysjäännöksen markkinoinnin parantamiseksi markkinointiin tulisi löytää ja kehittää kierrätyslannoituksen asiantuntijuutta sen sijaan, että markkinointia toteuttaa toimijat, joiden pääosaaminen on biokaasuteknologian parissa. Viljelijät arvostavat suuresti useimpien kierrätyslannoitteiden sisältämän eloperäisen aineksen lisäystä peltomaahan ja odottavat hiilituotteille edullisuutta, jopa ravinnekoostumuksen kustannuksella. Ainoa poikkeus ovat luomuviljelijät, joiden maksuhalukkuus on kierrätyslannoitteille korkeampi väkilannoitteiden käyttömahdollisuuden puuttumisen vuoksi. Kierrätyslannoitteiden käytön optimointi kasvinravinteena voi olla haastavaa, sillä niiden raaka-aineiden prosessointia ja markkinointia ajaa toistaiseksi enemmän tarve päästä eroon jätekertymästä. EIP-ryhmä ehdottaakin ajattelutavan muutosta, jossa jätettä ei nähdä kalliina ongelmana, vaan tuotteena, jolla on sekä taloudellista että ympäristöllistä arvoa.

Myös Suomessa kaivataan selkeästi lisää keskustelua laitostoimijoiden ja viljelijöiden välille sekä koulutusta molemmille osapuolille, jotta prosessit toimisivat loppukäyttäjäänsä palvellen. Tämä on välttämätön edellytys kierrätyslannoitemarkkinoiden kehitykselle.

4. Esimerkkejä Euroopasta

Hari & Riiko (2017) ovat koonneet keskeisimpiä ravinteiden kierrätykseen ja käyttöön liittyviä tilastoja ja säädöksiä EU:n tasolla. Suomi on typpitaseeltaan lähellä EU-maiden keskiarvoa ja fosforitaseeltaan ylijäämäisempi kuin EU-maiden keskiarvo. Kuten Suomessakin, EU:ssa ravinnekeskittymät vaihtelevat tuotantokeskittymien mukaan. Kotieläintalouden keskittymissä syntyy enemmän fosforia kun alueella voidaan käyttää ja toisaalta on myös alueita, joilla on puutetta fosforista. Suurimpia orgaanisten lannoitevalmisteiden tuottajamaita ovat suuruusjärjestyksessä Saksa, Italia, Ranska, Espanja ja Irlanti, joista Italia on ainoa, joka tuottaa yli oman kulutuksensa. Orgaanisten lannoitevalmisteiden vientiä harjoittavat lähinnä Hollanti, Belgia ja Italia. Tähän syynä ovat Hollannin ja Belgian suuret kotieläincentraalit lantoinen ja Italian panostaminen vientiin Kaukoidän maihin.

Vaikka vuonna 2014 95 % Euroopassa syntyneestä mädätysjäännöksestä käytettiin suoraan maatalouteen, jalostusteknologiat ovat yleistymässä Euroopassa (Savey & Eder, 2014). Drogg ym. (2015) selvittivät eri jalostusteknologioiden yleistymistä Euroopassa. Yleisimmin käytössä oleva tekniikka oli separointi joko ruuvipuristimella tai lingolla. Erotetun nestejakeen jalostamisessa yleisimmäksi tekniikaksi on noussut kalvosuodatusteknologiat, etenkin Saksassa, Sveitsissä ja Itävallassa. Saksassa myös CHP-laitosten hukkalämpö ja sen hyödyntämisestä saatavat tuet ovat tehneet mädätysjäännöksen kuivauksesta houkuttelevan vaihtoehdon. Myös Hollannissa ja Belgiassa mädätysjäännöstä väkevöidään kuivattamalla, jolloin se saadaan helpommin kotieläincentraalimien ulkopuolelle kuljetettavaan muotoon. Ruotsin mädätysjäännöksen jalostuksen tila on samankaltainen kuin Suomessa. Suurin osa Ruotsin mädätysjäännöksestä käytetään suoraan peltolevitykseen ja vain muutamilla laitoksilla on jalostustekniikoita, kuten separointia (Savey & Eder, 2014).

Tässä kappaleessa esitellään edistyksellisiä mädätysjäännöksen jalostuksen esimerkkejä Euroopasta. Kappaleessa esitellään sekä pilot- että laitokseen esimerkkejä sekä muutama uusi teknologian innovaatio.

4.1. Pilotit

Digesmart, Belgia

Digesmart -hanke pilotoi mädätysjäännöspohjaisten kierrätyslannoitteiden tuottamista Ivacon sikatilalla Belgiassa. Tilan 11 000 lihasian lietelannasta tuotetaan biokaasua sähkön- ja lämmöntuotantoon (CHP) ja laitoksen mädätysjäännös jalostetaan kiinteäksi sekä nestemäiseksi lannoitteeksi. Laitokseen syötetään päivittäin seitsemän tonnia lietelantaa ja kolme tonnia yhdyskuntien biojätettä (ESPP, 2017). Mädätysjäännös lingotaan ja erotettu kiintoainekompostoidaan maanparannusaineeksi. Linkouksen nestejakeesta stripataan typpi nestemäiseksi ammoniumsulfaatiksi ja strippauksen jäännös kuivataan NPK-konsentraatiksi aurinkokuivaimella sekä CHP-laitoksen hukkalämmöllä. Digesmart-tutkimushanke uskoo prosessiketjun ja sen kolmen lannoitevalmisteen lisäävän ravinteiden kierrätystä ja tuovan positiivisia ympäristövaikutuksia. Toiminnan uskotaan myös tuovan suoria ja epäsuoria positiivisia vaikutuksia paikalliseen työllisyyteen. Viljelykokeissa on alustavasti todettu ammoniumsulfaatin soveltuvuus korvaamaan keinolannoitteet salaatinviljelyssä. Digesmart-jatkojalostusteknologian investointihinta vuotuiselle 30 000 m³ kapasiteetille on arvioitu olevan 353 000 euroa. Sen arvioidaan olevan taloudellisesti kannattavaa, jos lopputuotteiden kuljetusmatkat ovat pitkiä (De Mey & Berruto, 2016).

Lifemix, Espanja

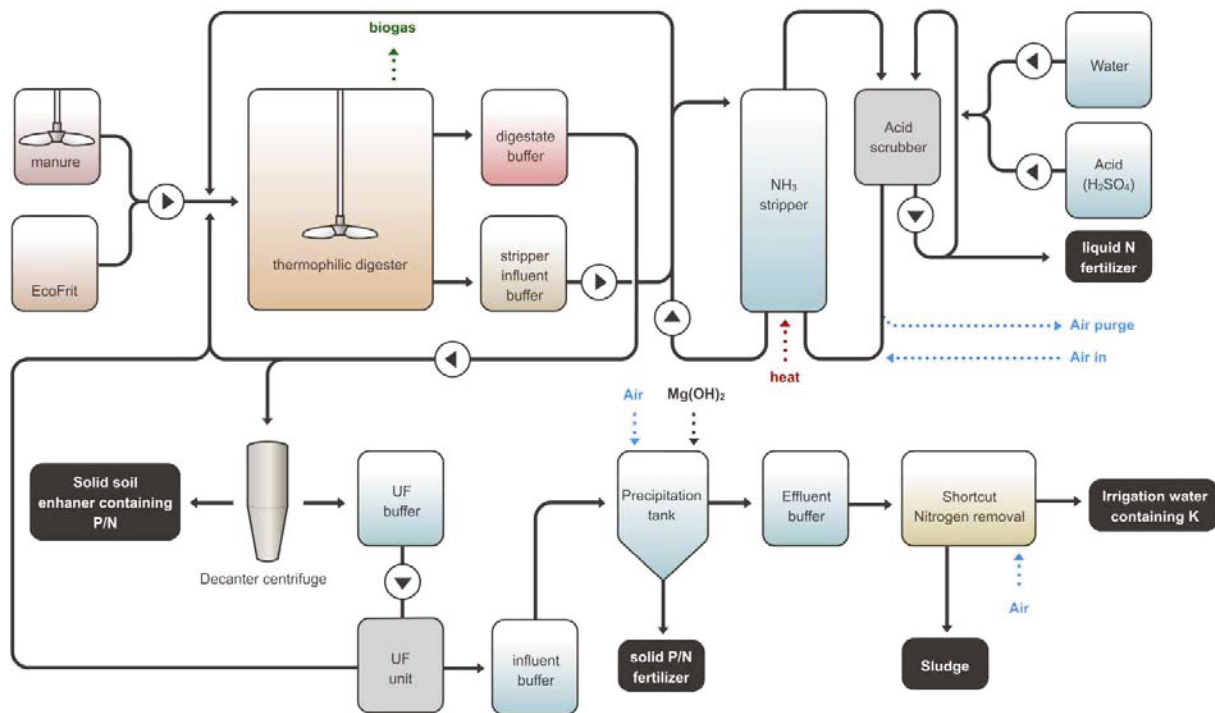
Lifemix-hanke (2013–2016, Pohjois-Espanja) demonstroi sian lietalannan jalostamista eloperäisiksi ja epäorgaanisiksi seoslannoitteiksi Digesmartia muistuttavalla prosessiketjulla. Lantapohjainen mädätysjäätös separoidaan kuiva- ja nestejakeeksi. Nestejakeen ammoniumtyppi stripataan ammoniumsulfaatiksi (Kuva 20). Kuivajakeeseen lisätään muita orgaanisia jakeita, kuten siipikarjanlantaa sekä kasvinjätteitä, minkä jälkeen se kompostoidaan. Ammoniumsulfaatti ja kompostituote sekoitetaan ja pelletöidään. Pelletin lannoitusvaikutusta testattiin ohralla sekä lähialueen tilojen toimissa. Kokeiden tuloksena oli 10 % parempi sato kuin väkilannoitteilla ja korkeampi orgaanisen aineksen pitoisuus maaperässä. Viljelijät olivat tyytyväisiä pelletin lannoitusvaikutukseen ja kertaluontoiseen levitykseen kasvukaudella. Hankkeen laskelmien mukaan prosessi on kannattavaa laitosmittakaavassa. Prosessilla on myös sosiaalisia ja ympäristövaikutuksia työllisyyden lisääntymisen ja ilmastopäästöjen vähentämisen muodossa (López, 2016.)



Kuva 20. Ammoniakinstrippausmoduuli, Lifemix (López, 2016).

ManureEcoMine, Hollanti & Espanja

ManureEcoMine -hanke (2007–2013) etsi ratkaisuja Euroopan lantojen ravinteiden kierrättämiseksi. Osana hanketta toteutettiin siirrettävä pilottilaitos, jota demonstroitettiin sekä termofiilisellä biokaasuprosessilla Hollannissa ja mesofiilisellä biokaasuprosessilla Espanjassa. Syötteenä oli sekä naudantetta sian lietalantaa sekä kauppojen biojätteitä ja maissirehua. Pilotin toiminnan tueksi tehtiin laboratorioskokeita ja lopputuotteita verrattiin väkilannoitteisiin peltokokeissa (ManureEcoMine, 2018). Pilotin lannankäsittelyn kapasiteetti on 150 l/vrk. Se perustuu seuraaviin modulaarisiin prosesseihin: (termofiilinen) biokaasutus, linkous, ammoniakin strippaus, kalvosuodatus ja struviittikiteytys (Kuva 21). Lisäksi pilotin yhteydessä testattiin typen biologista hajottamista lisätoimenpiteenä prosessiketjussa muodostuvien laimeiden nestejakeiden typpipitoisuuden vähentämiseksi (Pintucci ym., 2017).



Kuva 21. ManureEcoMine – prosessikaavio (Pintucci ym., 2017).

ManureEcoMine -pilotoinnin yhteydessä lopputuotteista tehtyjä sekoituksia testattiin kasvihuone-tuotannossa. Lopputuotteet vaikuttivat positiivisesti satoihin, mutta niiden käytöllä oli negatiivisia vaikutuksia itävyyteen. Niiden ei katsottu riittävän testatuissa olosuhteissa yksinään, vaan niitä tulee täydentää esim. kaliumsulfaatilla, jotta halutut ravannesuhteet saavutettaisiin. Tuotteiden laadun vaihtelua on vähennettävä, jotta lannoitevalmisteiden teollinen tuotanto saavuttaisi väkilannoitteille kilpailukykyisen työmäärän ja kustannukset (ManureEcoMine Deliverable, viitattu 5.3.2016).

Hankkeen keskeisimpiä löydöksiä olivat: Ammoniakin strippaus edesauttaa termofiilistä biokaasuprosessia vähentäen inhibaation riskiä, ManureEcoMine -prosessi sopeutuu erilaisiin ympäristöihin ja on siirrettävissä ja muokattavissa modulaarisuutensa avulla, struviitilla ja ammoniumsulfaatilla on lähes loputon markkinapotentiaali väkilannoitteiden korvaajina (Universiteit Gent, viitattu 19.1.2018). Jos lopputuotteista on mahdollista saada väkilannoitteisiin verrannollista hintaa (tarkastelussa struviitista 2€/kg fosforia ja ammoniumsulfaatista 0,85 €/kg typpeä), kokonaiskustannukset eivät nouse kuin hiukan tavanomaista lannankäsittelyä kalliimmaksi (Pintucci ym., 2017).

4.2. Laitoskoon esimerkit

Cooperl, Ranska

Ranskalainen 2 700 siankasvattajan osuuskunta Cooperl Luoteis-Ranskassa laajentaa kierrätyslannoitteiden tuotantoaan vuonna 2018 rakentamalla 79 000 MWh vuosituotoksen biokaasulaitoksen teurastamonsa yhteyteen. Laitos tulee prosessoimaan vuosittain 400 000 tonnia siipikarjan- ja sianlantaa sekä teurastamojätettä. Sen vuosittainen kierrätyslannoitteiden tuotantopotentiaali on 80 000 tonnia, josta 610 tonnia on fosforia ja 500 tonnia typpeä (ESPP, 2016 viitattu 10.1.2018). Laitoksen tuotantoprosessi perustuu mädätysjäätymisen termiseen kuivaukseen ja rakeistukseen. Prosessissa hyödynnetään eläintuotannon sivuvirtoja polttamalla ne, ja lopputuotteiden ravinnepitoisuudet säädetään asiakkaiden tarpeita mukailien lihaluujauholla ja muilla orgaanisilla lannoitekomponenteilla. Lopputuotteet eli orgaaniset lannoiterakeet kuljetetaan ravinnepanoksia tarvitseville seuduille, kuten viini-, auringonkukka-, rapsi- ja maissiviljelyksille (EIP final report, 2017).

Minorga, Norja

Norjassa on kehitetty mädätysjäännöksestä lannoitetuotetta, joka on ravinnesisällöltään, partikkelikooltaan ja koostumukseltaan kilpailukykyinen väkilannoitteiden kanssa (Kuva 22). Vuosien 2007–2011 koetoiminnan myötä kehitettiin lannoitetuote MINORGA[®], jonka perustana toimii Stavangerin alueen jätevedenpuhdistamon termisesti kuivattu yhdyskunta- ja biojätepohjainen mädätysjäännös. Tähän kuivattuun mädätysjäännökseen lisätään ureaa, kaliumkloridia ja lihaluujauhoa. Seos pelletoidaan ja toimitetaan käyttäjille 600 kg suursäkeissä (Pell Frischmann Consultants Ltd, 2012). MINORGA[®]-pellettejä valmistetaan kolmella eri ravinnepitoisuudella NPK 10-1-5, 5-1-9 ja 12-1-0 (Minorga -Produkter, 2018). 10 000 pelletti tonnin vuosituotoksella prosessin investointikustannus oli suuruudeltaan noin 5 miljoonaa euroa. Seuraavaksi prosessiin etsitään korvaavia lannoitteita kaliumkloridille ja urealle. Kenttäkokeiden perusteella MINORGA[®]-pellettien levitys on yhtä tasaista kuin väkilannoitteilla. Pellettien muita etuja ovat pienemmät ravinnevalumat, pidemmät kuljetusvälimatkat, maanparannusvaikutus ja pidempiaikainen lannoitusvaikutus verrattuna väkilannoitteisiin. Myös tuotteen orgaanisten haitta-aineiden jäämät vähenevät termisen kuivauksen myötä (Pell Frischmann Consultants Ltd, 2012).



Kuva 22. Minorga[®] -lannoitepellettejä. (Minorga – Produkter, 2018).

SwissFarmerPower, Sveitsi & Rota Guido, Italia

Sveitsiläinen SwissFarmerPower -biokaasulaitos Inwilissä käsittelee 80 lähialueen sikatilan lantoja ja paikallisen ruokateollisuuden eloperäisiä jätteitä. Vuositasolla syötettä käytetään yhteensä noin 61 000 tonnia. Heidän ratkaisunsa mädätysjäännökselle on neste- ja kuivajakeen erottelu, joka koostuu linkouksesta sekä nestejakeen ultrasuodatuksesta ja käänteisosmoosista (Kuva 23). Lisäksi linkouksen tuottama kuivajae (13 000 tn/v) kompostoidaan maanparannusaineeksi. Nestejake kalvosuodatetaan kaksi kertaa, jolloin lopputuotteen tilavuus pienenee jopa 75 %. Nestemäistä typpilannoitetta eli konsentraattia syntyy vuodessa noin 10 000 tonnia ja käänteisosmoosin vaatima pH:n laskeminen 6:een vähentää myös nestelannoitteen levityksen aikana syntyvää typen haihduntaa. Suurin osa konsentraatista kuljetetaan korkean ravinnetarpeen alueille, kuten maissi- ja vehnäviljelmille (Biogas in society, 2012).

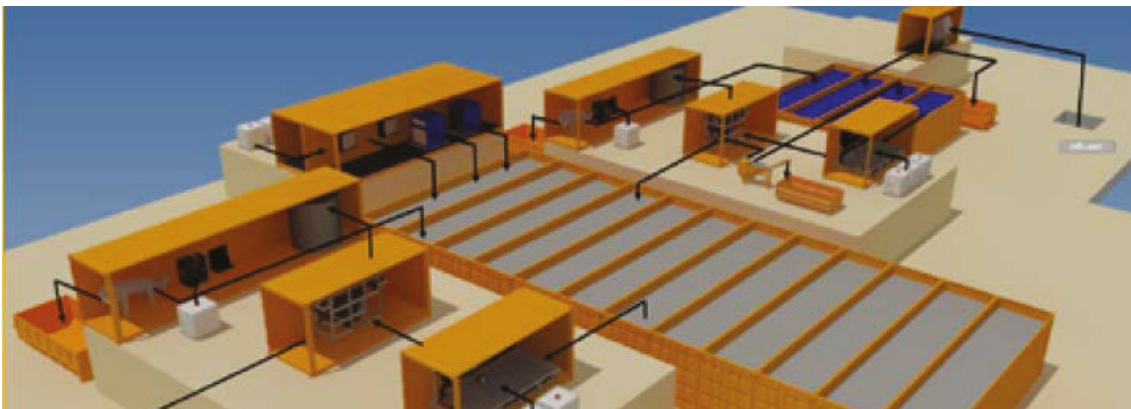


Kuva 23. Kalvosuodatuslaitteisto Inwillissä (A3 Water Solutions GmbH, 2018).

Samankaltaisen prosessiketjun on myös kehittänyt Rota Guido Italiassa. Freedom® -teknologia on kokoluokaltaan astetta pienempi ja jalostusasteeltaan korkeampi. Se on otettu käyttöön kahdella paikallisella yli 10 000 sian tilalla. Sen prosessointi kapasiteetti on 100 tn/vrk ja ammoniumsulfaatin tuotanto 100–130 kg/vrk. Prosessiketju koostuu separoinnista, linkouksesta, ultrasuoduksesta, käänteisosmoosista ja ammoniakkin strippauksesta. Ammoniakkin strippaus tehostaa entisestään prosessin lopputuotteen väkevöitymistä. Strippauksen lopputuote on ammoniumsulfaattiliuos, jonka typpipitoisuus on yli 30 %. Kalvosuodatuksen ja ammoniakkin strippauksen vahvuudeksi lasketaan se, etteivät ne tarvitse lämpöenergiaa ja kemikaalipanostukset pysyvät kohtuullisina (Bonometti, 2014).

Nijhuis Industries, Hollanti

Hollantilaisen Nijhuisin kehittämä Genius (hollanniksi Geniaal) -teknologia on täydenmittakaavan ratkaisu lannan ja mädätysjäännöksen prosessointiin kierrätyslannoitevalmisteiksi (Kuva 24). Ensimmäinen Genius -teknologiaa hyödyntävä täydenmittakaavan laitos on rakennettu hollantilaisen Groot Zevent -biokaasulaitoksen yhteyteen. Sen kapasiteetti on 100 000 tn/v ja laitos prosessoi 60–80 viljelijän sivuvirtoja. Laitos aloittaa tuotannon alkuvuodesta 2018. Laitoksen ravinteidentalteenotto perustuu prosessiketjuun, jossa mädätysjäännös tai lanta lingotaan, flotatoidaan, stripataan ja kalvosuodatetaan. Lopputuotteet ovat kuivajakeesta koostuva orgaaninen lannoite (3-6 % fosforia) sekä nestemäiset typpi- (7-8 % typpeä) ja fosforilannoitteet (7-10 % fosforia), joista fosfori soveltuu myös luomutuotantoon. Prosessissa voidaan myös käyttää kompostointia kuivajakeen hygienisoimiseksi ja haihdutusta fosforilannoitteen väkevöimiseksi (Menkveld, 2017).



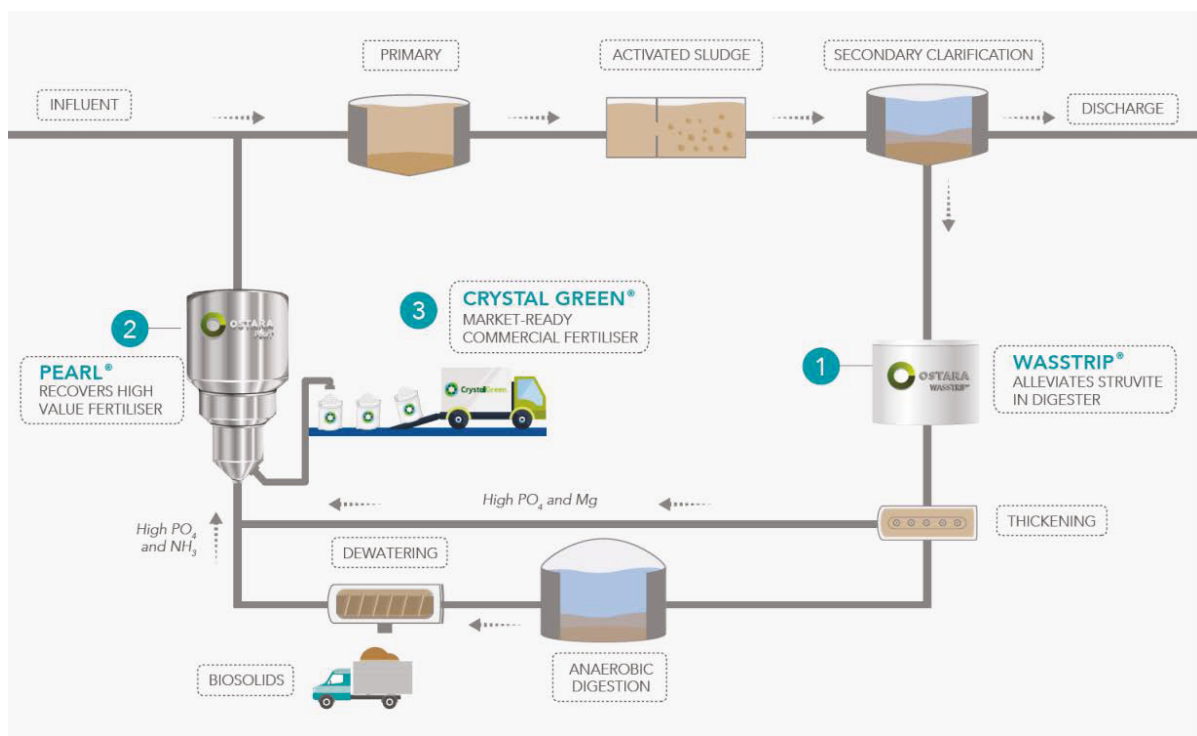
Kuva 24. Havainnekuva modulaarisesta ravinteiden talteenotosta (Nijhuis Industries, 2017).

Nijhuis on myös kehittänyt modulaarisia ratkaisuja mm. Genius -teknologian käyttöönottoon. Prosessit on sijoitettu 10, 20, 30 ja 40 jalan merikontteihin, jotka ovat myös pinottavissa. Tämä mahdollistaa teknologian siirrettävyyden, päivitettävyyden ja skaalattavuuden. Nijhuis näkee modulaarisuuden mahdollisena tulevaisuuden hajautettuna ratkaisuna ravinteiden kiertoon (Nijhuis Industries, Modulations, 2018).

4.3. Innovatiiviset teknologiat

Crystal Green®, Ostara nutrient recovery technologies inc., Kanada

Ostara on kanadalainen ravinteidentalteenoton markkinajohtaja, joka on tuotteistanut ravinteidentalteenottoa jätevedenpuhdistamoilta vuodesta 2005 lähtien. Ostaran teknologia on käytössä kaupallisessa mittakaavassa viidessätoista eri kohteessa, joista kolme sijaitsee Euroopassa; yksi Iso-Britanniassa, yksi Espanjassa ja yksi Hollannissa. Ostaran teknologian pääprosessi on struviittikiteytys, jolla puhdistamolietteestä erotetut fosfaatti, ammoniumtyppi ja magnesium rakeistetaan Crystal Green® -lannoitetuotteeksi (NPK 5-28-0, 10 % Mg). Prosessin ravinteidentalteenottoa vahvistetaan käsittelemällä puhdistamolietettä biologisesti polyfosfaatteja akkumuloivien organismien avulla (= biologinen fosforinpoisto) Wasstrip® -prosessissa, jonka jälkeen eri ravinteet erotellaan sakeutuksella ja biokaasutuksen jälkeisellä seulonnalla (Kuva 25; Ostara Nutrient management solutions, 2018).



Kuva 25. Crystal Green® -prosessi (Ostara Nutrient Recovery Technologies, 2018).

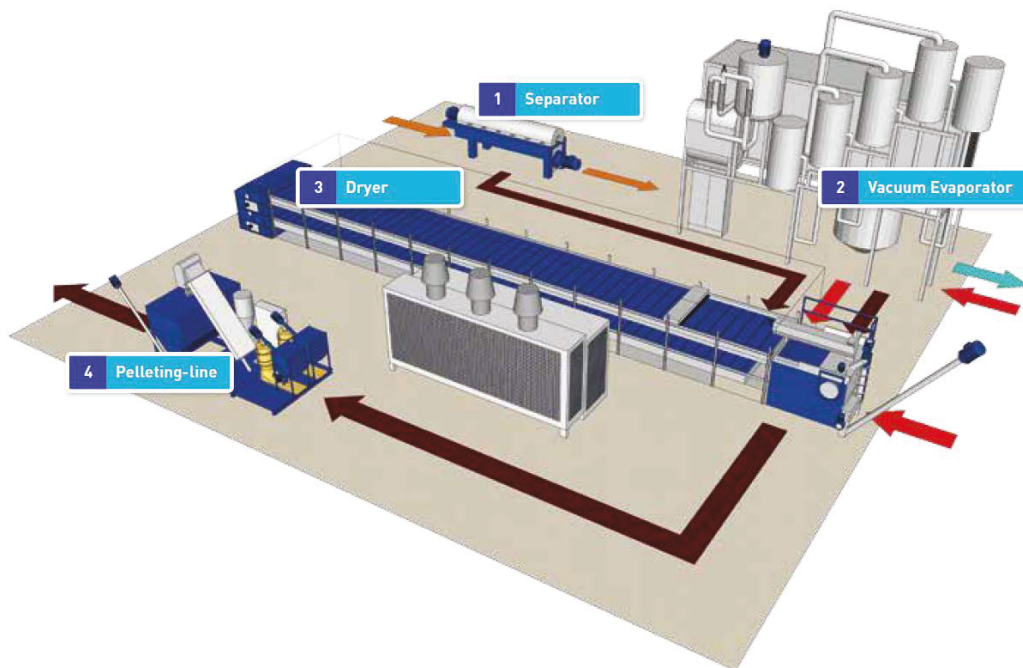
Kiteytetyn kierrätyslannoitetuotteen etuna lannoitemarkkinoilla Ostara näkee fosforin hidasliukoisuuden, joka tarjoaa koko kasvukauden mittaisen lannoitusvaikutuksen samalla vähentäen vesistö-päästöjä. Crystal Green®-lannoitetta on saatavilla neljässä eri raekoossa suursäkkeihin pakattuna, mikä edistää sen kiinnostavuutta väkilannoitteiden korvaajana. Raaka-aineiden valmistajille Crystal Green®-prosessin käyttöönotto tarjoaa myös pienemmän taloudellisen riskin, sillä Ostara ostaa kaiken tuotetun kierrätyslannoitteen (Ostara Nutrient management solutions, 2018).

Ductor®, Ductor corporation, Suomi

Suomalainen Ductor on kehittänyt teknologian, joka mahdollistaa biokaasun ja kierrätyslannoitteiden tuotannon siipikarjanlannasta. Siipikarjanlanta ei välttämättä sovellu biokaasusyötteen sellaisenaan ainoana syöttömateriaalina sen korkean typpipitoisuuden vuoksi. Ductor®-teknologiassa biokaasulaitoksen syöte esikäsitellään biologisessa fermentaatioprosessissa siten, että mikrobit muuttavat lannan typen ammoniakiksi. Ammoniakki johdetaan erilliseen strippausyksikköön, jossa se strippataan ammoniumsulfaatiksi. Jäljelle jäävä biomassa johdetaan biokaasuprosessiin ja mädätysjäätös kuivataan vaihtoehtoisesti haihduttamalla tai ruuvipuristimella. Kuivajae pelletoidaan orgaaniseksi lannoitetuotteeksi ja mahdollinen syntyvä nestejake kierrätetään takaisin prosessiin. Ductorin teknologiaa pilotoidaan Livia ammattiopistossa ja se tähtää Keski-Euroopan markkina-alueelle. Ensimmäinen laitosmittakaavan Ductor-ratkaisu aloittaa toimintansa Saksassa 2018 (Ductor, 2018).

Full Nutrient Recovery System, Dorset Green Machines, Hollanti

Full Nutrient Recovery System on modulaariperusteinen ravinnepitoisten lietteiden kuivausjärjestelmä (Kuva 26). Sen prosessiketju koostuu lietteen separoinnista, nestejakeen alipaine-kuivauksesta, kuivajakeen nauhakuivauksesta ja näiden lopputuotteiden pelletoinnista varsinaiseksi lopputuotteeksi. Se eroaa aiemmin esitellyistä ratkaisuista siinä, että se perustuu ainoastaan mekaanisiin tekniikoihin. Yrityksen mukaan se on biologisia menetelmiä luotettavampi ja käyttövarmempi (Dorset Gm, 2018).



Kuva 26. Full Nutrient Recovery System (Dorset Green Machines, 2018).

Prosessin tarvitsemat panokset ovat lämpö, sähkö sekä syöte. Sen sähkönkulutus on alhainen ja alipaine-kuivauksen ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää nauhakuivurissa. Prosessiin on mahdollista sisällyttää myös ammoniakin strippaus typen talteenotoksi, jolloin lopputuote sisältää kaikki syötteen sisältämät ravinteet helposti kuljetettavassa ja levitettävässä olomuodossa. Tuotetta voidaan myös täydentää väkilannoitteilla haluttujen kasvinravinnesuhteiden optimoimiseksi (Dorset Gm, 2018).

5. Tulevaisuus

Maailman fosfori- ja maakaasuvarannot ovat rajalliset ja hyödynnettävissä olevien varantojen väheneminen tulee nostaamaan väkilannoitteiden hintoja entisestään (Fixen, 2009). Maaperän hiilivarannot vähenevät, mikä on keskeinen tekijä yhdeksi akuuteimmista globaalien ruoantuotannon kestävyysongelmista todetussa maaperän eroosiossa (FAO and ITPS, 2015). Nämä maailmanlaajuiset trendit tulevat tähdentämään kierrätyslannoitteiden kehittämisen ja käyttöönoton välttämättömyyttä vuosi vuodelta. Tämä tulee myös näkymään kierrätyslannoitteiden markkinoilla kierrätyslannoitteiden kilpailukykyisyyden parantumisen ja kysynnän kasvuna.

Kansallisella ja kansainvälisellä tasolla ravinteiden kierrätykselle asetetaan entistä kunnianhimoisempia tavoitteita ja näiden saavuttamiseksi tulee myös korkeamman jalostusasteen teknologiat ottaa yleiseen käyttöön. Biokaasuprosessit mahdollistavat erilaisten massojen yhteiskäsittelyn ja saattamisen edelleen jalostettavaan olomuotoon. Lisäksi prosessit tuottavat jalostamisessa tarvittua energiaa. Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden roolin nähdäänkin nousevan entistä tärkeämmäksi ravinteiden kierrätyksessä.

Tällä hetkellä suurimpia haasteita mädätysjäännöksestä jalostettujen kierrätyslannoitevalmisteen tuotannon laajemmalle käyttöönotolle Suomessa ovat kierrätyslannoitemarkkinoiden kehittämättömyys ja kilpailu väkilannoitteiden kanssa, vaaditut investoinnit uusiin teknologioihin, teknologioiden kehitystarpeet sekä näistä kaikista seuraavat kannattavuuden haasteet. Laitostoimijoilta vaaditaan myös laajempaa ymmärrystä siitä, missä heidän lopputuotteitaan käytetään, jotta niiden valmistuksessa huomioidaan jatkossa asiakkaan tarpeet paremmin. Puhdistamolietepohjaisia tuotteita rasittaa viljanostajien asettamat käyttökiellot sekä yleinen epäluottamus niiden maatalouskäytön turvallisuudesta (mm. haitta-aineet, mikromuovit). Puhdistamolietepohjaisten kierrätyslannoitteiden valmistamiseen tarvitaan selkeitä suuntaviivoja hallinnolta, jotta alan toimijat pystyvät investoimaan hyväksytyihin ratkaisuihin ja loppukäyttäjät voivat turvallisesti käyttää tuotteita.

Suomalaiset viljelijät suhtautuvat kierrätyslannoitteisiin positiivisesti. Kierrätyslannoitteet nähdään hyvänä lisänä väkilannoitukselle, potentiaalisena tienä luomuun siirtymiselle ja väkilannoitteita parempana vaihtoehtona maan kasvukunnon parantamiseksi. Suurimmat kynnyskysymykset kierrätyslannoitteiden käytölle ovat hinta, ravinnesuhteet, olomuoto, varastoitavuus ja levitettävyyden, sillä ne eivät vastaa tuttuja väkilannoitteita. Tällä hetkellä suomalaiset viljelijät eivät ole valmiita investoimaan kierrätyslannoitteiden levityskalustoon tai varastointiin. Toisaalta erityisesti tuotteiden levityksen ratkaisut voivatkin olla pääasiassa urakointiin perustuvia, jolloin yksittäisen viljelijän ei tarvitsisi investoida omaan kalustoon. Erityisesti väkevien nestemäisten kierrätysravinteiden varastoinnin ja levityksen parhaat ratkaisut ovat vielä kehittymässä.

Sekä laitostoimijoiden että viljelijöiden tietoa kierrätyslannoitteista ja -lannoittamisesta tulee lisätä. Koulutuksen, käyttöohjeiden, hyvien esimerkkien ja tiedottamisen myötä uudet ratkaisut on vietävissä osaksi tilojen arkea.

Pullonkauloiksi havaittujen ristiriitojen ratkaiseminen avaisi kierrätysravinteiden markkinat, jolloin Suomella olisi mahdollista saavuttaa suljetumpia ravinnekiertoja. Suomen maatalouden ravinneomavaraisuus paranisi ja riippuvuus tuontilannoitteista vähenisi. Kierrätyslannoitteiden jalostus voi luoda uusia työpaikkoja ja parantaa samalla kotimaisen biokaasutuotannon kannattavuutta. Kierrätyslannoitteista ja niiden tuotantoon käytetyistä teknologioista on mahdollista syntyä myös vientituotteita. Ravinteita kierrättävien energia- ja ravinneomavaraisten ruuantuotantoyksikköjen kehittäminen voi tehdä Suomesta edelläkävijän, jonka asiantuntijuudelle on maailmanlaajuisista kysyntää.

6. Suositukset

Biokaasutuotantoon ja sen tuottamiin kierrätyslannoitteisiin suhtaudutaan Suomessa positiivisesti. Kehitystyötä kuitenkin tarvitaan, jotta tuotteet todella soveltuvat loppukäyttäjensä, tässä raportissa viljelijöiden, tarpeisiin. Tällöin tuotteista tulisi aidosti kilpailukykyisiä väkilannoitteiden kanssa niin hintansa, varastoinnin, levitettävyyden kuin lannoitearvonsa puolesta. Kehitystyötä tarvitaan niin prosessiteknologioissa, laitosten operoinnissa kuin niiden lopputuotteiden ravinesuhteiden säätämässä ja täydentämisessä muilla orgaanisilla lannoitteilla kuten lihaluujauholla.

Suomessa on enenevästi julkisesti tuettu ravinteiden kierrätystä. Vastaavaa tukea tarvitaan myös jatkossa, jotta laitostoimijoiden ja loppukäyttäjien tarpeet kohtaavat. Tuen edellytyksenä tulee olla yritysten, viljelijöiden ja tutkimuksen aito yhteistyö, jotta kehitystyön tulokset tuottavat tarvittuja ratkaisuja puolueettomien ja asiantuntevien menetelmin todennettuna. Tähän liittyy myös tulosten selkeä viestintä, jotta tieto siirtyy kaikille osapuolille.

Mädätysjäännöksen jatkojalostusteknologioita on useita ja niistä voidaan rakentaa erilaisia prosessiketjuja tapauskohtaisesti. Ratkaisut voivat olla eri mittakaavoissa staattisina tai modulaarisina. Jälkimmäinen mahdollistaa teknologian liikuteltavuuden. Monet teknologioista ovat edelleen kehittymässä, mutta täydenmittakaavan toimivia ratkaisujakin on jo Suomessa ja maailmalla käytössä. Investointeihin voitaisiin näin ollen siirtyä laajemminkin. Teknologioita on erilaisia ja niiden tulee soveltua käyttötarkoitukseensa. Yksinkertainen ratkaisu voi olla tapauskohtaisesti yhtä toivottu kuin useita korkean teknologian prosesseja yhdistävä ratkaisu toisaalla.

Kierrätysravinteille tarvitaan selkeät varastoinnin ja levityksen ratkaisut sekä käyttöohjeet erilaisissa olosuhteissa ja eri kasveilla. Tämän tulee olla osa jokaista laitosratkaisua eikä ilman koko toimintaketjun optimointia investointeihin tulisi ryhtyä. Kierrätysravinteiden markkinoiden parantamiseksi markkinointiin tulisi löytää ja kehittää kierrätyslannoituksen asiantuntijuutta, sillä tuotekehityksen ja uusien asiakassuhteiden luomisen onnistuminen edellyttää ymmärrystä kasvinravitsemuksesta ja maatalouden käytännöistä. Luomukelpoisuus tulee myös huomioida. Vaikka luomutiloilla on totuttu prosessoimattomien lantojen käyttöön lannoituksessa, ne ovat kasvupotentiaalinen asiakasryhmä myös muille kierrätyslannoitteille. Luomutuotannon trendi on kasvava (TNS, 2016) ja se tulee tarvitsemaan entistä monipuolisempaa lannoiterepertuaaria tuottavuuden kasvattamiseksi.

Suomella tulee olla selkeä näkemys, millaisia kierrätysravinteita ja mistä raaka-aineista Suomessa halutaan. Erityisesti puhdistamolietteen maatalouskäyttöön tarvitaan hallinnolta selkeät linjaukset, jotta toimiala voi investoida tulevaisuudessaan käyttökelpoisiin ratkaisuihin ja saada prosessoinnin lopputuotteet käyttökohteisiinsa. Erilaisten vaihtoehtojen turvallisuudesta ja käyttökelpoisuudesta maatalouskäytössä tulee tehdä lisää tutkimusta. Laitostoimijoiden ei tule tyytyä nykyiseen asiointilaan, vaan panostaa myös uusien asiakaskuntien ja käyttötapojen löytämiseen lopputuotteilleen.

Kierrätysravinteiden väkilannoitteisiin nähden tuomat hyödyt suomalaisen maatalouden paremmasta ravinneomavaraisuudesta, ympäristöystävällisyydestä ja maaperän kunnon ylläpidossa on tuotava selkeämmin esille, jotta kiinnostus käyttöönottoon niin laitostoimijoiden kuin viljelijöiden joukossa kasvaa. Viljelijöille ja maatalousneuvojille on tarpeen järjestää koulutustilaisuuksia sekä tuottaa käyttöoppaita kierrätyslannoitteiden käytöstä ja sen eduista. Myös kuluttajille on lisättävä viestintää kierrätysravinteiden käytön eduista. Heistä moni on ympäristöllisesti valveutunut ja valitsevat mieluiten kestävästi ja paikallisesti tuotettua ruokaa. Viestintää on siis edelleen lisättävä eri toimijoiden luottamuksen ja kierrätyslannoitteiden markkinoiden kasvattamiseksi.

Viitteet

- A3 water solutions GmbH, Treatment of Fermentation Residue from a Biogas Plant. http://www.a3-gmbh.com/NewsBASE/content_a3/frame_english.php?main_src_frameload=webpages_english/digestate_treatment.php Viitattu 18.1.2018.
- Biogas in society, 2012. Nutrient recovery from digestate and biogas utilisation by up-grading and grid injection. Inwil Switzerland. IEA Bioenergy Task 37.
- Bonometti, G. 2014. Freedom process, The real solution for treatment of wastewater.
- De Mey, J. & Berruto, R. 2016. The circular economy of digestate: logistics, energetic and economic aspects – The DIGESMART case –esitys 6.4.2016. http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2016/04/3_Digestate-and-Circular-economy-the-DIGESMART-project-Jonathan-De-Mey-Biogas-E.pdf Viitattu 9.10.2017.
- Dorset Gm, 2018. Full nutrient recovery. Liquid manure processing from cattle, pigs or biogasplants. https://www.dorset.nu/wp-content/uploads/2015/03/DORSET-FOLDER-NUTRIENT-6-PAG_ENG_LR.pdf Viitattu 20.2.2018.
- Drogs, B., Fuchs, W., Al seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. IEA Bioenergy.
- Ductor corporation, Ductor's technology harnesses the power of underutilized biomass with high nitrogen content. <https://www.ductor.com/ductor-technology/> Viitattu 19.2.2018.
- EIP-Agri. 2017. EIP-AGRI Focus Group Nutrient Recycling -final report. Euroopan komission.
- Euroopan komissio, 2015. Kierto kuntoon: komissio hyväksyy uuden kunnianhimoisen kiertotalouspaketin, jolla edistetään kilpailukykyä, luodaan työpaikkoja ja tuetaan kestäväää kasvua. Lehdistötiedote. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_fi.htm Viitattu 7.12.2017.
- ESPP, 2017. eNews no.13–July 2017. European Sustainable Phosphorus Platform. http://phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news/1495-eneews13#_Toc489293916 Viitattu 9.10.2017.
- ESPP, 2016. eNews no.3 – August 2016. European Sustainable Phosphorus Platform. <http://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-eNews-003-Augustus-2016.pdf> Viitattu 10.1.2018.
- FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy
- Fixen, P. 2009. World Fertilizer Nutrient Reserves – A View to the Future. Better Crops/Vol. 93 (2009, No. 3)
- Hari, L. & Riiko, K. 2016. Ravinnekierätyksen eurokiemuroita. Baltic sea action group
- Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2017. Suomen Biokaasulaitosrekisteri n:o 20. Tiedot vuodelta 2016. Itä-Suomen Yliopisto.
- Jensen, L., Thornton, C., Forrestal, P., Brandsma, J., Kylvet, A., Riiko, K. & Kabbe, C. 2017. End-user requirements for recycled and biobased fertilizer products. EIP-Agri Mini-paper.
- Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia : Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin e-julkaisuja 36/2015, HAMKin julkaisuja 17/2015, Hämeen ammattikorkeakoulu.
- López, R. 2016a. Valorization of the digestate from pig manure as new fertilizers with an organic / mineral base and gradual release. Lifemix Final report.
- López, R. 2016b. Valorization of the digestate from pig manure as new fertilizers with an organic / mineral base and gradual release. Layman's report.
- ManureEcoMine, 2016. Deliverable 5.3: ES report on fertilizer and growing media composition requirements and formulations from ES pilot and overall comparison.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahjo, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden

- kierrätyksen läpimurtoa : Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. 45/2017.
- Menkveld, I. Communications in agricultural and applied biological sciences. Special Issue: Advantaces & Trends in biogas and biorefineries: Nominee – Tolpe Award 2017, Geniaal – from Manure to green minerals and clean water. Ghent University.
- Minorga vekst, Produkter. <http://minorgavekst.no/produkter/> Viitattu 17.1.2018.
- MMM, 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Helsinki
- Müeller, Armin, 2018. Bacteria utilise chicken manure better. E&M Powernews 5.1.2018
<https://www.ductor.com/wordpress/wp-content/uploads/2018/01/EM-Belegexemplar-2018-01-05-de-en-004.pdf> Viitattu 19.2.2018
- Myllyviita, T. & Rintamäki, H. 2018. . Ruuan tuottajien näkemyksiä ja kokemuksia kierrätyslannoitteiden käytöstä ja kehitystarpeista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja XX (julkaisuprosessi kesken) vuonna 2018. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki.
- Niemeläinen, O., Hyvönen, T., Jauhiainen, L., Lötjönen, T., Virkkunen, E. & Uusi-Kämpä, J. 2014. Hoidettu viljelemätön pelto biokaasuksi : biomassan sopivuus syötteenä ja korjuun vaikutukset tukiohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseen. MAKERA: Dnro 2619/312/2009
- Nijhuis industries, Nijhuis Modulutions, Fast-track | Scalable | Upgradable | Mobile Rental Solution. Revision 3.0, September 2017.
- Ostara Nutrient Management Technologies, Nutrient management solutions.
<http://ostara.com/nutrient-management-solutions/> Viitattu 19.2.2018
- Pell Frischmann Consultants Ltd, 2012. Enhancement and treatment of digestates from anaerobic digestion: A review of enhancement techniques, processing options and novel digestate products.
- Pintucci, C., Carballa, M., Varga, S., Sarli, J., Peng, L., Bousek, J., Pedizzi, C., Prat, D., Colica, G., Picavet, M., Colsen, J., Benito, O., Balaguer, M., Puig, S. Lema, J., Colprim, J., Fuchs, W. & Vlaeminck, S. 2017 The ManureEcoMine pilot installation: advanced integration of technologies for the management of organics and nutrients in livestock waste.
- Pirkkamaa, Juha. 2017. Kasvun tekijät ja energia orgaanisista jätteistä. Biolaitosyhdistyksen jäsenyritykset kiertotalouden toteuttajina. Biolaitosyhdistys.
- Saveyn, H & Eder, P. 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate) : Technical proposals. Report EUR 26425 EN. European Commission.
- Suomen Biokaasuyhdistys. Suomen biokaasulaitokset kartalla.
https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1RJ8Zkag_PTW_T3FkLFJohBMtV7g&ll=63.28464413667767%2C25.014016000000083&z=6 Viitattu 21.3.2017
- Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E. & Rahtola, M. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Röman, E. & Riihimäki, J. 2015. Vesistöjen ravinnekuomituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 35 vuonna 2015. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki.
- TNS Gallup Elintarviketieto Oy, 2016. Luomutuotannon kehitysnäkymät.
http://mmm.fi/documents/1410837/1890227/Luomutuotannon+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2022_MMM.pdf/0a2d3c7a-2ff0-4ab6-8a30-29a0b4b12e5e/Luomutuotannon+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2022_MMM.pdf.pdf Viitattu 6.4.2017.
- Universiteit Gent, Belgium Final Report Summary - ManureEvoMine (Green fertilizer upcycling from manure: Technological, economic and environmental sustainability demonstration),
http://cordis.europa.eu/result/rcn/197196_en.html Viitattu 19.1.2018.
- Vilpanen, M & Toivikko, S. 2017. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

LIITE 1.

Mädätysjäynnöksen jalostusteknologiat -taulukko.

Teknologia	Kuvaus	Sovellettuuus		Rajoitukset	Muuta	Teknologian kypsyys ja mittakaava
		Edu	Rajoitukset			
Märkämädätys	Biokaasun tuotantoprosessi, jossa biomassasyötteen TS <15 %	Hallittu, varmatoiminen teknologia. Syötetyn biomassan ravinteet jäävät mädätteeseen ja typen liukoisuus kasvaa.	Matala kuiva-ainepitoisuus syötteenä ja mädätteenä. Ammoniumtypen hävikkiä hallittava mädätteen varastoinnissa ja hyödyntämisessä typen liukoisumisen ja pH:n nousun myötä.			Yleinen eri kokoluokissa.
Kuivämädätys	Biokaasun tuotantoprosessi, jossa biomassasyötteen TS 20–40 %.	Pienempi tilantarve ja korkeampi biokaasun tuotto reaktoriin verrattuna märkämädätyskseen.	Sekoitus haastavaa, mikä voi aiheuttaa epäta- saista hajoamista prosessissa ja edelleen epätasalaatuista mädätettä sekä mahdollisesti biokaasuhävikkiä mädätteen poiston yhteydessä. Ammoniumtypen hävikkiä hallittava mädätteen varastoinnissa ja hyödyntämisessä typen liukoisumisen ja pH:n nousun myötä.			Kehitteillä oleva teknologia, yleistyvä laitosmittakaavassa.

MÄDÄTTEEN KIINTEÄN JA NESTEJAKEEN EROTUS					
Laskeutus	Kiintoaineen painovoimainen laskeuttaminen nesteessä.	Yksinkertainen. Soveltuu mädätteelle, jolla matala TS pitoisuus.	Alhainen erotusteho.	Esimerkki erotuskyvyistä: TS 48,1 %, TN 17,0 %, PO ₄ -P 21,8 % kiinteässä fraktiossa. ³	Yleinen.
Ruuvipuristin	Ruuvi puristaa mädätettä sylinterimäistä seulaa vasten, jolloin nestefraktio erottuu seulan läpi.	Yksinkertainen, erotustehoa voidaan säätää seulan silmäkokoja ja puristusvoimaa muuttamalla. Matala investointikustannus, matala energiankulutus (0,4-0,5 kWh/m ³). ¹	Pienet partikkelit (halk. 0,5-1 mm) päätyvät nestejakeeseen, mikä heikentää fosforin erottumista. ²		
Dekanterisentrifugi (linkous)	Perustuu nesteen ja kiintoaineen tiheyseroon ja partikkelien sedimentoitumiseen pyörivän roottorin ulkoreunalle. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa.	Erottaa pienetkin partikkelit ja kolloidit. Suuri erotuskyky fosforille, joka jää kiinteään fraktioon.	Polymeerien käyttö lisää kustannusta ja niiden vaikutuksista maatalousmaassa on vähän tutkimustietoa. Nestemäisen polymeerin käyttö lisää nestejakeen määrää. Melko suuri energi-ankulutus (3-5 kWh/m ³). ¹	Kapasiteetti n. 14 m ³ /h. Esimerkki erotuskyvyistä: TS 63 %, TN 25 %, TP 72 %. ⁴	Yleinen.
Panosentrifugi		Hieman parempi kiintoaineen (ja fosforin) erotuskyky kuin dekantterisentrifugilla.	Kuten dekantterisentrifugilla. Automatisoitu laitteisto voi lisätä häiriöriskejä prosessissa.		Muutama esimerkki laitoskoossa.
Hihnasuodattimet suotonauha imusuodatus	Neste puristetaan viirojen läpi tai neste erotetaan imulla viiran läpi. Flokkausaineen (polymeerit) käyttö lisää erotustehoa.	Parempi fosforin erotuskyky kuin ruuvipuristimella. Pienempi energiantarve (1,5-2 kWh/m ³) ¹ kuin dekantterisentrifugilla.	Saostus- tai flokkausaineen lisääminen tarpeellista erotuskyvyn parantamiseksi, mikä lisää kustannuksia. Kemikaalitarve 2-3 kertaa suurempi kuin dekantterisentrifugilla. Erotuskykyä säädetään myös suotimen silmäkokoilla.		Yleinen.

Tehostettu kiintoaineen poisto nestejakeelle					
Saostus, flokkulaatio	Kemikaalin avulla saostus tai flokkulaatio ennen tai jälkeen pääerotusprosessin. Käytettyjä kemikaaleja ovat orgaaniset polymeerit (akryyliamidi), alumiinisulfaatti ($Al_2(SO_4)_3$), rautasulfaatti ($Fe_2(SO_4)_3$), rautakloridi ($FeCl_3$), kalkki ($Ca(OH)_2$).	Fosforin erotuskyky jopa 95 %.	Orgaanisten polymeerien käytöstä maatalouskäytössä on vähän tutkimustietoa. Esim. Ruotsi ja Saksa ovat rajoittaneet käyttöä peltolevityksessä. Myös fosforin saatavuus kasville laskee sen sitoutuessa kemikaaliin (esim. rautaan).	Yleinen.	Jätevedenpuhdistuksessa kaupallinen teknologia, mädätteillä ei yleisesti käytössä.
Flotaatio	Kiintoaineen tarttuminen pieniin, pohjalta syötettäviin kaa-sukupliin. Kiintoaine kerätään pinnalta.	Pienempi tilantarve kuin sedimentaatiomenetelmällä.	Flotaatiokemikaalien käyttö välttämätöntä, lisäävät kustannuksia.		
Täryseulat ja suodattimet	Nestefraktio syötetään seulalle, jossa kiintoaines ja nestejake erottuvat. Tärinä ehkäisee tukkeutumista.	Erotuskyky 100–300 µm partikkeleille. Lisäsuodattimia voidaan käyttää tehostamaan erotusta.	Tukkeutumisherkkyys.		Yleinen.

MÄDÄTTEESTÄ EROTETUN KIINTEÄN JAKEEN TAI KIINTEÄN MÄDÄTTEEN PROSESSOINTI (kiintoainepitoisuus noin 20–30 %)					
Ei käsittelyä	Varastointi, suora peltolevitys. Myös suoraan ilman kiinteän ja nestejakeen erotusta.	Sisältää runsaasti kasveille käyttökelpoista fosforia. Lyhyt ja/tai katettu varastointi vähentää typpihävikkiä ja pitää typen kasveille käyttökelpoisena.	Sisältää yhä hajoavaa ainesta, joka voi aiheuttaa typpihävikkiä ja mahdollisesti hajuhaittoja.		
Kompostointi	Aerobinen mikrobiologinen prosessi, jossa orgaaninen aines hajoaa ja stabiloituu.	Yksinkertainen prosessi, jolla oikein toteutettuna myös hygienisoiva vaikutus. Toteutettavissa aumakompostointina tai erilaisissa laitoksissa. Valmis komposti käytettävissä lannoitteena ja maanparannusaineena tai mullan valmistuksessa.	Vaatii seosainetta aerobisten olosuhteiden säilyttämiseksi. Lisää typpihävikkiä, jollei prosessin osana ole typen talteenottoa (toteutettavissa vain laitoskompostoinnissa).		Yleinen. Keskitetyt kompostointilaitokset yleisiä.
Vermikulttuuri kompostointisovellus	Maaperäeläinten, yleisimmin lierojen, lisääminen kompostiin parantamaan kompostoitumista.				
Terminen kuivaus (myös ilman kuiva- ja nestejakeen erotusta)	Hihna- tai rumpukuivaus, jossa lämmön syöttö. Leijukerroskatilatekniikkaa käyttävä kuivaus.	Kuivaaminen stabiloi mädätteen kiinteää jaetta/kuivaa mädätettä, pienentää kokonaismassaa ja väkevöi ravinteita. Mahdollisen CHP-yksikön hukkalämpöä voidaan hyödyntää kuivauksessa.	Haihtuville yhdisteille talteenotto, jolla voidaan vähentää myös typen hävikkiä.	Lopputuotteelle markkinat puutarha- ja kasvihuonesektorilla, kuten taimitarhoissa ja erikoisviljelyssä, kuten sieniviljelmillä.	Yleinen.
	Kasvihuoneessa aurinkolämmöllä tapahtuva kuivaus. Suurella pinta-alalla ja mädätteen haraus säännöllisesti tasaiseksi lopputuotteeksi.	Aurinkolämmön hyödyntäminen. Lopputuotteella jopa 85 % kuivaainepitoisuuteen. Hajut hallittavissa.	Tarvitaan aurinkoiset olosuhteet ja runsaasti pintaa.		

Alipaine kuivaus (alipainetislaus)	Kiehumispisteen alentaminen painetta alentamalla.	Loppu tuotteen kiintoainepitoisuus noin 60%. Typen sitoutumisen kiinteään fraktioon saavutetaan pH:n laskulla. Kondensaattissa (nestefraktio) vain 2,5% kokonaistyppeä.	Arvioitu energiankulutus täyden mittakaavan laitoksessa 5–8 kWh/m ³ mädätettä.	Pilottilaitteistossa kuivausolosuhteet +35 °C; 5.3 kPa.	Pilottimittakavassa. ⁵
Rakeistus (pelletointi)	Termistä kuivausta seuraava rakeen muodostaminen puristamalla tai rummussa. Voidaan käyttää seosaineita parantamaan rakeen rakennetta, lisäämään ravinteita (N, K) tai muuttamaan niiden liukoisuutta.	Voi parantaa mädätteen arvoa lannoitteena, koska ravinnepitoisuus kasvaa ja käsiteltävyys paranee. Hygienisoiva vaikutus.	Pölyhaittojen ehkäisy, kuivumisen hallinta. Typen hävikkien hallinta.	Markkinat valmiina.	Yleinen.
Pyrolyysi	Mädätteen terminen hajottaminen/hiiltäminen anaerobisissa olosuhteissa.	Kokonaismassan väheneminen, hiilen stabiilituminen, fosforin väkevöityminen. Pyrolyysi hygienisoii ja hajottaa orgaanisia haitta-aineita.	Typen hävikit. Fosforin pitkäaikainen käyttökelpoisuus epäselvä. Muodostuvalle nestejakeelle käsittely- ja/tai hyödyntämisratkaisut vasta kehitteillä.		Pilottimittakavassa. ⁶
Hydroterminen hiiltäminen (nestepyrolyysi)	Märkähiiltäminen happamassa nesteessä 180-250 °C:essä, >20 bar paineessa.	Hiilen saanto jopa 80%, nestejää 5-20%. Syötteenä voidaan käyttää suoraan matalan kuiva-ainepitoisuuden sisältävää materiaalia (<15%).	Kallis teknologia.		Panostoimisia laitteistoja laitosmittakaavassa. Jatkuvatoinen teknologia kehitteillä.
Poltto	Mädätteen terminen poltto kuivauksen jälkeen.	Syötteen kuiva-ainepitoisuus >70%. Suuri massa vähenemä, vain tuhka-aines jää jäljelle, johon fosfori on sitoutuneena.	Typen menettäminen. Tuhkan fosfori melko niukasti kasveille käyttökelpoisessa muodossa.	Fosforin talteenototeknologioita tuhkasta kehitteillä.	Laitosmittakavassa.

NESTEJAKEEN PROSESSOINTI				
Kierrätys takaisin prosessiin	Syötteeeseen laimentamaan kuiva-ainepitoisuutta.	Osittainenkin kierrätys prosessivetenä vähentää käsitteilytarvetta.	Lisää syötteen typpi- ja suolapitoisuutta, joka saattaa inhiboida biokaasuprosessia. Ammoniumtyppipitoisuuden vähentäminen suositeltavaa typpihävikin rajoittamiseksi.	
Lannoitteena ja/tai kasteluvetena pellolle, kompostin kasteluun			Korkea typpipitoisuus huomioitava ainakin peltolevitysmäärässä ja -ajankohdassa.	
Prosessit ravinteiden talteenottoon				
Ammoniumtyypen strippaus ja talteenotto	Ammoniumtyypen talteenotto nestejakeesta kaasufaasiin, josta pesu esim. rikkihappoliuokseen. Reaktiotasapainoa siirretään vapaan ammoniakkin suuntaan lämpötilaa ja pH:ta nostamalla.	Prosessi tuottaa puhdasta, epäorgaanista typpilannoitetta. Lisäämällä tuotetta muihin mädätefraktioihin voidaan typpipitoisuutta säätää haluttuun suuntaan ja lisätä markkinoitavuutta.	Edellytyksenä hyvä kiintoaineen erotus. Kolonnit tukeutuvat helposti. Kemikaalien kulutus. Laimelle sivuvirralle oltava omat ratkaisut.	Yleinen.
	Suora strippaus sekoitusreaktorissa.		Huoltovapaampi kuin kolonnistrippaus.	Esimerkkejä laitosmittakavassa. ⁷
Anammox	Anaerobinen ammoniumin hapatuus typpikaasuksi nitriitin (NO ₂) avulla.	Prosessin pieni energiantarve, myös pieni hiilen ja hapen tarve.	Mädätteen laimentamistarve korkean typpipitoisuuden vuoksi, myös korkea rikki- tai fosforipitoisuus voivat haitata prosessia.	Testattu täyden mittakaavan jätevedenpuhdistamossa. ⁸
Ioninvaihto	Ammoniumtyypen (NH ₄ ⁺ -N) poistossa ioninvaihtohartsin kylästetään esim. Na ⁺ -ioneilla, jotka vaihtuvat liuoksessa NH ₄ ⁺ -ioneihin stoikiometrisesti.	Jopa 99 % ammoniumtyypen talteenotto. ⁹ Ioninvaihtohartsia voidaan uudelleenkäyttää useita kertoja.	Puhtaalle nestefraktiolle (käytännössä vain membraanisuodatuksen jälkeen).	Marginaalisesti käytössä.

	<p>Magnesiumammoniumfosfaatin (MAP, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) kiteytys nestejakeesta.</p>	<p>Korkea ravinnepitoisuus (N, P, Mg) painoyksikköä kohden ja siten edullista kuljettaa. Tehokkaat, hitaasti vapautuvat ravinteet lannoitteena.</p>	<p>Reagenssit kalliita ja nostavat lopputuotteen hintaa. Sivuvirtojen hallinta.</p>		<p>Laitosmittakaavassa.</p>
<p>Struviitin saostus</p>	<p>Rinnakkainen saostus suoraan biokaasureaktorissa Mg^{2+} -syötön avulla.</p>		<p>Prosessin hallinta, saostumien kerrostuminen putkistoissa ongelma.</p>	<p>Rinnakkaissaostusreaktorit kokeiluasteella.¹⁰</p>	<p>Laboratoriomittakaavassa.</p>
	<p>Struviitin saostus ”epätyypillisillä” fosfori- ja magnesiumlähteillä.</p>	<p>NaCl:n erotuksessa merivedestä syntävä Mg-pitoinen sivutuote sekä luujauho fosforilähteenä prosessille. Edulliset lisäainekustannukset.</p>			<p>Laboratoriomittakaavassa.</p>
<p>Membraanimenetelmät (mikro-, ultra- ja nanosuodatus, käänteis-osmoosi)</p>	<p>Nestejakeesta huokoisen membraanin tai diffuusiokalvon läpi erottuva aines. Monivaiheinen prosessi, joka vaatii esikäsittelyä tehostetun kiintoaineksen poiston esim. dekanterisentrifugilla.</p>	<p>Suuri erotuskyky aina liukoisiin molekyyliin saakka. Hyvä tai huonona puolena voidaan pitää useiden eri fraktioiden erottumisen, joilla on korkea ravinnepitoisuus. Puhdistettu neste voidaan mahdollisesti purkaa ympäristöön tai hyödyntää esim. laitoksen laimennus- tai pesuvetenä.</p>	<p>Membraanien tukkeutumisen hallinta. Kallis ja vaatii suhteellisen paljon energiaa. Korkea konsentraatin ravinnepitoisuus voi asettaa haasteita suoralle lannoitekäytölle.</p>		<p>Laitosmittakaavassa.</p>
	<p>Suoraosmoosi, jossa puoliläpäisevä kalvo erottaa vettä syöttestä ilman ulkoista painetta.</p>	<p>Periaatteessa vähäenerginen vaihtoehto.</p>	<p>Ei sovellu yksinään, vaan yhdistettynä muuhun teknologiaan.</p>	<p>Uusi teknologia, paljon kehitystyötä käynnissä.¹² Laitosmittakaavassa teknologia on käytössä suolanpoistossa merivedestä.</p>	<p>Laboratoriomittakaavassa.</p>

Haihdutus	Nestejakeen tai sen väkevöinnissä muodostuneiden sivuvirttojen haihdutus. Mahdollinen prosessi, jos lämmönlähde saatavilla esim. CHP-yksiköstä. pH:n säätö 4,5:een ja CO ₂ :n poisto, jolla estetään typpihävikki haihtuvana ammoniakkinä.	Voidaan päästä 50 % vähemmän tilavuudessa.	Suuri energiankulutus. Yleisesti veden haihtuminen vaatii 300–350 kWh/t. Lopputuotteen happamuus voi rajoittaa käyttöä. pH:n säätöke-mikaalien tarve.	Sama teknologia käytössä yleisesti lietalan väkevänti Euroopassa ja myös jäte-vedenpuhdistamoil-la.	Muutamia lai-tosmittakaavas-a.
Fosforin tehostettu talteenotto	Tehostettu fosforin biologinen talteenotto (Enhanced biological phosphorus removal, EBPR).	Polyfosfaatteja akkumuloivien organismien käyttö (PAO). Liete sisältää 5–7 % fosforia normaaliaktiivilietteeeseen verrattuna (1–2 %). Liete voidaan levittää suoraan pel-toon tai käyttää struviitin saostuksessa.	Prosessi vaatii anaerobisten ja aerobisten olosuhteiden vaihtelua. Suuri tilantarve.	Lietteen fosfori kasveille käyttökel-poisemmassa muo-dossa verrattuna raudalla saostet-tuun. ¹³	Käytössä jäte-vedenpuhdis-tuksessa.
Mikroleväbiomassan kasvatus (phytoremediation)	Nestejakeen käyttö levien kasva-tukseen	Leväbiomassan kasvatus ra-vinteiden ja raskasmetallien poistoon. Levä ottaa biokaa-sun hiilidioksidia (CO ₂), jolloin erillistä CO ₂ poistoa ei tarvi-ta. ¹⁴	Vaatii valon ja hiilen läh-teen, myös hivenravinteita. Tilantarve riippuu kasvatus-tekniikasta. Korkea ammo-niakkipitoisuus, sameus, suolat, ym. haitta-aineet voivat haitata mikrolevien kasvua, jolloin mädätteen laimennustarve.		Yksi pilottimit-takaavan laitoksen Alankomaissa.
Ruovikkopuhdistus	Puhdistus allasmaisella ruokoken-tällä pitkän ajan kuluessa.	Ruovikko mineralisoi ravinteita, haihuttaa vettä ja hy-gienisoi.	Hidas prosessi, mädätteen käsittelykapasiteetti 20–60 kg ka./m ² /vuosi. ¹⁵		Tanskassa lai-tosmittakaavan esimerkkejä.

Taulukon viitteet

1. Fuchs, W. & Drosch, B. 2010. Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten, Eigenverlag der Universität für Bodenkultur Wien; ISBN: 978-3-900962-86-9.
2. Weiland, P. 2008. Gärrestaufbereitung. 17. Symposium Bioenergie, 20.–21.11.2008, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.
3. KTBL, 2008. Umweltgerechte, innovative Verfahren zur Abtrennung von Nährstoffen aus Gülle und Gärrückständen – Technologischer Stand, Perspektiven und Entwicklungsmöglichkeiten. Studie im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, erstellt durch das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, D, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technologie und Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, D (only in German).
4. DANETV, 2010. Verification Statement for GEA Westfalia decanter centrifuge for post-treatment of digested biomass. The Danish Centre for Verification of Climate and Environmental Technologies (DANETV). AgroTech Verification Centre. Available from: www.etv-denmark.com, 4 pp.
5. Chiumenti, A., Da Borso, F., Chiumenti, R., Teri, F., & Segantin, P. 2013. Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation: tests for process optimization and environmental sustainability. *Waste management*, 33(6), 1339–1344.
6. Rasa, K., Ylivainio, K., Rasi, S., Eskola, A., Uusitalo, R., & Tiilikkala, K. 2015. Jätevesilietteen pyrolyysi laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2015. Luonnonvarakeskus.
7. Bauermeister, U., Wild, A., Meier, T. 2009. Stickstoffabtrennung mit dem ANAstrip-Verfahren System GNS (Nitrogen removal by the ANAstrip process system GNS), Gülzower Fachgespräche, Band 30.
8. Gärrestaufbereitung für eine pflanzliche Nutzung – Stand und F&E Bedarf, pp. 78–96.
9. Magri, A, Béline F, Dabert P. 2013. Feasibility and interest of the anammox process as treatment alternative for anaerobic digester supernatants in manure processing – An overview. *J Environ Manage.* 131: 170–84.
10. Wirthensohn T, Waeger F, Jelinek L, Fuchs W. 2009. Ammonium removal from anaerobic digester effluent by ion exchange. *Water Sci Technol.* 60: 201–10.
11. Uludag-Demirer S, Demirer GN, Frear C, Chen S. 2008. Anaerobic digestion of dairy manure with enhanced ammonia removal. *J Environ Manage.* 86: 193–200.
12. Siciliano, A., & Rosa, S. D. 2014. Recovery of ammonia in digestates of calf manure through a struvite precipitation process using unconventional reagents. *Environmental technology*, 35(7), 841–850.
13. Li, H., Shi, Z., & Zhu, C. 2014. Concentration of biogas slurry with forward osmosis technology. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(24), 240-245.
14. Yuan Z, Pratt S, Batstone DJ. 2012. Phosphorus recovery from wastewater through microbial processes. *Curr Opin Biotechnol.* 23: 878–83.
15. Serejo ML, Posadas E, Boncz MA, Blanco S, García-Encina P, Muñoz R. 2015. Influence of biogas flow rate on biomass composition during the optimization of biogas upgrading in microalgal-bacterial processes. *Environ Sci Technol.* 49(5): 3228–36.

Ks. myös:

- Levine RB, Costanza-Robinson MS, Spatafora GA. 2011. *Neochloris oleoabundans* grown on anaerobically digested dairy manure for concomitant nutrient removal and biodiesel feedstock production. *Biomass Bioenergy*. 35: 40–9.
- Nielsen, S. 2005. Sludge treatment in reed bed systems and recycling of sludge and environmental impact. In 10th European Biosolids and Biowaste Conference.
- Park J, Jin H-F, Lim B-R, Park K-Y, Lee K. 2010. Ammonia removal from anaerobic digestion effluent of livestock waste using green alga *Scenedesmus* sp. *Bioresour. Technol.* 101: 8649–57.
- Wang L, Li Y, Chen P, Min M, Chen Y, Zhu J, et al. 2010. Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella* sp. *Bioresour. Technol.* 101: 2623–8.
- Yan C, Zheng Z. 2013. Performance of photoperiod and light intensity on biogas upgrade and biogas effluent nutrient reduction by the microalgae *Chlorella* sp. *Bioresour. Technol.* 139: 292–9.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000