LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

BIOJÄTTEIDEN ERILLISKERÄYKSEN RAVINNEHYÖDYT

Nutrient benefits of separate collected biowaste

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

Lappeenrannassa 14.5.2021

Sonja Töyrylä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Sonja Töyrylä

Biojätteiden erilliskeräyksen ravinnehyödyt

Kandidaatintyö

2021

49 sivua, 5 kuvaa ja 3 taulukkoa

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tutkijaopettaja, TkT Jouni Havukainen

Hakusanat: kandidaatintyö, biojäte, kompostointi, mädätys, ravinne
Keywords: bachelor's thesis, bio waste, composting, decomposition, nutrient

Työssä selvitetään erilliskerätystä biojätteestä saatavia ravinnehyötyjä sekä erilaisia tekniikoita, joilla ravinteita saadaan talteen ja uudelleen kiertoon. Kandidaatintyö on tehty kirjallisuuskatsauksena artikkelien, kirjojen, verkkodokumenttien, -julkaisujen ja -sivujen pohjalta. Työn tavoitteena on selvittää saatavia ravinnehyötyjä, kun biojätteet erilliskerätään ja käsitellään erilaisilla teknologioilla ravinnekierrätys huomioiden. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää biojätteessä olevat ravinteet, niiden määrät ja hyödynnettävyys eri teknologiakäsittelyiden jälkeen. Työ painottuu biojätteen käsittelyyn kompostoinnissa ja mädätyksessä. Lisäksi tarkastellaan ravinteiden kiertoa ja tarkemmin perehdytään typen ja fosforin kiertoon. Työssä huomataan, että tärkein asia ravinteiden kierrätyksessä on syntypaikkalajittelu. Biojätettä erilliskerättäessä saadaan kompostoimalla tai mädättämällä biojätteen ravinteet talteen, jolloin kompostoinnin ja mädätyksen lopputuotteita voidaan käyttää maanparannukseen, viherrakentamiseen ja lannoitukseen. Tärkein lopputuotteiden sijoituskohde on maataloudessa. Lopputuotteita hyödynnettäessä ravinteet saadaan takaisin luonnon kiertokulkuun.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO 4
1 JOHDANTO 5
2 BIOJÄTE 7
2.1 Koostumus 8
2.2 Keräys 11
2.3 Käsittely 13
2.3.1 Kompostointi yleisesti 13
2.3.2 Tunnelikompostointi 14
2.3.3 Rumpukompostointi 15
2.3.4 Aumakompostointi 15
2.3.5 Mädätys 16
2.3.6 Poltto sekajätteen mukana 17
3 RAVINTEET 18
3.1 Ravinteiden kierto 18
3.1.1 Typen kierto 19
3.1.2 Fosforin kierto 20
3.2 Ravinteet jätteissä 22
3.3 Ravinnehyödyt 22
3.3.1 Biojätteestä saatavissa olevat ravinteet 24
4 RAVINTEIDEN KIERRÄTTÄMINEN JÄTTEIDENKÄSITTELYSSÄ 26
4.1 Jätteiden kierrätysteknologiat ravinteiden käsittelyssä 26
4.1.1 Komposti 27
4.1.2 Mädätyksen lopputuotteet 28
4.2 Lopputuotteiden ominaisuuksia 31
4.3 Ympäristövaikutus ja ravinnejalanjälki 32
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO 36
LÄHTEET 38

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

C	Hiili
C/N	Hiilen ja typen suhde
EKJH	Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
K	Kalium
Luke	Luonnonvarakeskus
$MgNH_4PO_4$	Magnesiumammoniumfosfaatti
N	Typpi
P	Fosfori
tot	kokonais-
TS	Kuiva-ainepitoisuus (total solids)
vl	vesiliukoinen
VS	Orgaanisen aineksen pitoisuus (volatile solids)

1 JOHDANTO

Vuonna 2019 yhdyskuntajätettä kerättiin Suomessa runsas 3 miljoonaa tonnia, josta vajaa 1,5 miljoonaa tonnia oli sekajätettä ja noin 460 000 tonnia erilliskerättyä biojätettä (SVT 2020). Globaalisti on arvioitu, että yhdyskuntajätettä syntyy noin 2,01 miljardia tonnia vuodessa ja määrän oletetaan vain nousevan. Yhdyskuntajätteen arvioitiin tuottavan noin 1,6 miljardia tonnia kasvihuonekaasupäästöjä vuonna 2016, joka oli noin 5 prosenttia koko maailman päästöistä. (Kaza et al. 2018, 3, 5.)

Yhdyskuntajätteitä voidaan käsitellä eri tavoilla. Energia- ja materiaalihyödynnys, kompostointi ja mädätys sekä kaatopaikkasijoitus ovat yleisimmät tavat käsitellä yhdyskuntajätettä Suomessa. Yhdyskuntajätteiden käsittely painottuu energiahyödyntämiseen. Kaatopaikkasijoitus on jo melkein loppunut kokonaan vuonna 2016 tulleen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon takia. (SVT 2018.) Vuonna 2019 erilliskerättyä biojätettä kompostoitiin ja mädätettiin reilu 410 000 tonnia ja energiahyödynnettiin vajaa 27 000 tonnia sekä muuten materiaalihyödynnettiin noin 24 000 tonnia. Kaatopaikalle biojätettä loppusijoitettiin vain 740 tonnia. (SVT 2020.)

Kasveille tärkeimpiä ravinteita, typpeä ja fosforia, saadaan talteen ja takaisin kiertoon mädättämällä ja kompostoimalla biojätettä (Berninger 2018, 9; Pirkkamaa 2014, 29). Biojätteen poltolla sekajätteen mukana hukataan biojätteessä olevat ravinteet, sillä poltossa syntyvän tuhkan oletetaan olevan ravinnehyötykäyttöön sopimatonta (Kemppi et al. 2020, 26).

Suomessa tehtävissä elinkaarimallinnustutkimuksissa energiahyödyntäminen eli poltto on ilmastonmuutosta kiihdyttävien ympäristövaikutusten kannalta parempi vaihtoehto kuin mädätys. Eurooppalaisissa tutkimuksissa mädätys on energiahyödyntämistä parempi vaihtoehto energiajärjestelmien erojen takia. Ympäristön kannalta kestävin tapa biojätteiden käsittelyyn on biojätteen energiapotentiaalin sekä ravinteiden hyödyntäminen. (Dahlbo ja Myllymaa 2012, 18.)

Tässä kandidaatintyössä perehdytään biojätteiden erilliskeräyksessä saataviin ravinnehyötyihin. Tavoitteena on selvittää olemassa olevan kirjallisuusaineiston avulla, millaisia

ravinnehyötyjä on saatavilla ja miten ne voidaan määritellä, kun biojätteet erilliskerätään ja käsitellään erilaisilla teknologioilla ravinnekierrätys huomioon ottaen. Työssä selvitetään myös, mitä ravinteita biojätteestä on saatavissa ja miten niitä voidaan kierrättää. Työssä lisäksi tutkitaan, kuinka paljon ravinteita biojätteestä on saatavissa ja kuinka hyvin ne saadaan hyödynnettyä erilaisilla käsittelyteknologioilla. Työn tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta. Työ rajataan erilliskerättyyn biojätteeseen. Jätevedenkäsittelylietteet ja lanta jätetään käsittelemättä, vaikka niistä tulee osuuksia biojätteenkäsittelylaitoksille.

2 BIOJÄTE

Biojäte on orgaanista, eloperäistä ainetta. Erilliskerätty biojäte on orgaanista ruoka- ja muuta keittiöjätettä sekä puutarha- ja puistojätettä (HSY 2015, 5). Biojätteeseen kuuluu muun muassa ruuantähteet, pilaantunut ruoka, hedelmien, kananmunien ja vihannesten kuoret sekä suodatinpaperit (Silver 2020). Suomessa kaikesta syntyvästä biojätteestä noin puolet on kotitalouksien biojätettä ja puolet elinkeinoelämän (Ympäristöministeriö 2020, 14).

Jätejakeet, joita biojätteeseen saa laittaa, vaihtelevat Suomessa jätehuoltoyhtiöiden ja toiminta-alueiden mukaan. Biojätteiden keräyksessä on tärkeää, että ne lajitellaan annettujen ohjeiden mukaisesti. Esimerkiksi pienen määrän multaa saa laittaa biojätteen sekaan Kiertokaaren ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) alueella mutta ei Lounais-Suomen jätehuollon eikä Kiertokapulan alueella. Samoin osassa jätehuoltoyhtymissä saa biojätteen pakata muovipussiin, kun taas osassa muovi ei kuulu missään muodossa biojätteen joukkoon. Biojätteen keräysastiaan kuuluvat asiat riippuvat siitä, miten biojäte jatkokäsitellään keräyksen jälkeen. (EKJH; HSY a; Kiertokaari Oy 2017; Kiertokapula Oy a; Lounais-Suomen Jätehuolto Oy.)

Biojätteen keräyksessä ja käsittelyssä syntyy ympäristövaikutuksia sekä suorina että epäsuorina päästöjä. Suorina päästöinä ympäristövaikutuksia syntyy keräyksessä, kuljetuksessa, mädätyksessä, kompostoinnissa ja poltossa. Epäsuorina päästöinä ympäristövaikutuksia syntyy polttoaineen, eri prosesseissa tarvittavan energian ja kemikaalien valmistuksessa sekä päästöhyvityksinä. Päästöhyvityksiä biojätteestä saadaan, koska sitä hyödyntämällä voidaan olla käyttämättä teollisia lannoitteita, turvetta ja fossiilisia polttoaineita. (Niskanen ja Kemppi 2019, 9.)

Luonnonvarakeskuksen (Luke) organisoiman Biomassa-atlaksen mukaan Suomessa erilliskerättyä yhdyskuntien biojätettä syntyy 77 kilogrammaa yhtä asukasta kohden vuodessa. Biomassa-atlaksessa yhdyskuntien biojätteeksi luetaan keittiö-, ruokala- sekä puutarha- ja puistojäte. Muuta biohajoavaa yhdyskuntajätettä syntyy 288 kilogrammaa asukasta kohden vuodessa. Muuhun biohajoavaan yhdyskuntajätteeseen luetaan esimerkiksi erilliskerätyt

biohajoavat jätejakeet kuten paperi- ja pahvijätteet sekä sekalaisen yhdyskuntajätteen joukossa oleva biohajoava aines. (Luonnonvarakeskus 2018.)

2.1 Koostumus

Jätelaitosyhdistys ry on koostanut koostumustietopankin biojätteen koostumuksesta, mikä pohjautuu 2000-luvulla toteutettuihin kotitalouksien biojätteiden koostumustutkimusten tuloksiin. Tietopankissa käytetään HSY:n tekemää selvitystä pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumuksesta vuonna 2015. (Jätehuoltoyhdistys ry a.) Työssä tarkastellaan erikseen kotitalouksien, palvelualojen sekä teollisuuden ja kaupan biojätteitä. Biojätteen koostumus ja määrä vaihtelevat sen mukaan, mistä ja mihin vuodenaikaan biojätettä tulee. (Kontturi 2016.) Tässä kandidaatintyössä käytetään kotitalouksien, palvelualojen sekä teollisuuden ja kaupan biojätteen koostumuksen pohjana HSY:n tekemää selvitystä pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumuksesta vuonna 2015.

Kotitalouksien erilliskerätty biojäte on koostumukseltaan melko homogeenistä (Kontturi 2016, 19). Vuonna 2017 erilliskerättyä biojätettä kertyi noin 40 kilogrammaa asukasta kohden. Luku perustuu Suomen Kiertovoima ry:n teettämään kyselyyn vuoden 2017 jätemaksutiedoista. Kyselyssä kerättiin jätelaitosten maksutietoja, kotitalouksien eri jätelajien erilliskeräysten määriä sekä tietoja kuljetuksista. Vuoden 2017 kyselyyn vastasi 33 Suomen jätelaitoksesta 12. Tiedonkeruu jätelajien keräyksen osalta perustuu vertailukiinteistöihin kussakin osallistuneessa kunnassa. Erilliskerätyn biojätteen määrä 40 kilogrammaa asukasta kohden on siis näiden 12 jätelaitoksen vertailukiinteistöjen keskiarvo. Asuinkiinteistöntyyppi ei juuri vaikuta erilliskerätyn biojätteen kertymään. (Suomen Kiertovoima 2018.) Erilliskerätystä biojätteestä lähes puolet koostuu ruoan valmistuksen jätteistä. Biojätettä erilliskerätystä biojätteestä on noin 83 %. Tämä käsittää ruoan valmistuksen jätteet, ruokajätteen ja puutarhajätteen. Erilliskerätystä biojätteestä biojätteen jälkeen suurin osa on kompostoituvaa paperia ja pahvia. Tämä käsittää muun muassa pehmopaperit. Erilliskerätystä biojätteestä löytyy myös muovia sekä biohajoavaa että ei-biohajoavaa. Yhteensä muovia löytyy biojäteastiasta noin 4 %, josta suurin osa on biohajoavaa, esimerkiksi biojätepusseja. Biohajoavan muovin osuus erilliskerätystä biojätteestä on noin 2 %. Kotitalouksien biojäte sisältää myös epäpuhtauksia noin 3 % koko biojätejakeesta. Epäpuhtauksiin kuuluu muun

muassa lasia, vaippoja, siteitä ja rintaliivin suojia, pinnoitettua paperia ja pahvia sekä ei-biohajoavaa muovia, jolla on suurin prosentuaalinen osuus epäpuhtauksista. Kuvassa 1 esitetään kotitalouksien erilliskerätyn biojätteen koostumus. (Kontturi 2016, 19, 45–49.)

Kuva 1. Kotitalouksien erilliskerätyn biojätteen koostumus (muokattu lähteestä Kontturi 2016, 48).

HSY kerää myös muiden asiakkaiden kuin kotitalouksien biojätteitä. Tässä työssä HSY:n muiden asiakkaiden biojätteitä kutsutaan palvelualojen biojätteiksi, koska muihin asiakkaisiin kuuluvat esimerkiksi koulut, sairaalat, terveyskeskukset, vanhainkodit, päiväkodit, toimistot, myymälät, kirkot ja asuntolat. Kuvassa 2 esitetään palvelualojen biojätteen koostumus. Palvelualojen erilliskerätystä biojätteestä hieman yli puolet on ruokajätettä ja ruoan valmistuksen jätteitä on vain reilu neljäsosa. Puutarhajätettä on biojätteestä huomattavasti pienempi osuus kuin kotitalouksilla, vain 1 % biojätteen painosta. Ruoka- ja ruoan valmistuksen jätettä on kokonaisuudessaan erilliskerätystä biojätteestä noin 80 %. Kompostoituvaa paperia erilliskerätystä biojätteestä on noin 11 %, joka on prosentuaalisesti saman verran kuin kotitalouksilla syntyvän kompostoituvan paperin määrä erilliskerätyssä biojätteessä. Kerätystä jätteestä löytyy myös muovia noin 7 % koko biojätteen painosta, mistä suurin osan on biohajoavaa muovia. Palvelualojen erilliskerätystä biojätteestä noin kaksi prosenttia on epäpuhtauksia, joka sisältää ei-biohajoavaa muovia, muuta maatumatonta tai haittaava ainesta, pinnoitettua paperia ja pahvia, metallia ja lasia. (Kontturi 2016, 49–51.)

Kuva 2. Palvelualojen erilliskerätyn biojätteen koostumus (muokattu lähteestä Kontturi 2016, 49).

Teollisuuden ja kaupan biojätteestä ⅔ koostuu kauppojen kuormista. Se voi olla erittäin heterogeenistä ja sisältää pakattua biojätettä. Yksi kaupan biojätekuorma voi sisältää esimerkiksi pelkästään lihaa. Kauppojen suuren osuuden takia teollisuuden ja kaupan biojäte sisältää pääasiassa ruokajätettä, joka on noin 62 % kaikesta tutkimuksessa erilliskerätystä biojätteestä. Ruoan valmistuksen jätteen osuus on 22 % erilliskerätyn biojätteen painosta. Teollisuusbiojätteestä löytyy myös kompostoituvaa paperia ja pahvia. Tämä on vain 6 % erilliskerätyn biojätteen painosta eli vähemmän kuin kotitalouksilla ja palvelualoilla. Epäpuhtauksia löytyy noin 5 % ja se sisältää ei-biohajoavan muovin, jonka osuus on ¾ kaikesta epäpuhtaudesta. Muita epäpuhtauksia teollisuuden ja kaupan biojätteessä ovat pinnoitettu paperi ja pahvi, muu maatumaton tai haittaava aines, lasi, metalli sekä kiviaines ja keramiikka. Kuvassa 3 on erilliskerätyn teollisuuden ja kaupan biojätteen koostumus. (Kontturi 2016, 19, 50–51.)

Kuva 3. Erilliskerätyn teollisuuden ja kaupan biojätteen koostumus (muokattu lähteestä Kontturi 2016, 50–51).

2.2 Keräys

Biojätettä voi kotikompostoida tai erilliskerätä. Tässä työssä keskitytään biojätteen erilliskeräykseen. Jätelain (646/2011) 6 §:ssä kohdassa 10 a) määritellään jätteiden erilliskeräys. Jätelain (646/2011) mukaan erilliskeräys tarkoittaa jätteiden keräystä siten, että lajiltaan ja laadultaan erilaiset jätteet pidetään toisistaan erillään uudelleenkäytön valmistelun, kierrätyksen, muun hyödyntämisen taikka muun erityisen käsittelyn helpottamiseksi.

Biojätettä voidaan erilliskerätä joko monilokero-, yksilokero- tai korttelikeräyksenä. Monilokerokeräyksessä vähintään kahta eri jätelajia kerätään samaan astiaan eri lokeroihin ja jäteauto kerää vähintään kahta eri jätelajia samaan autoon eri lokeroihin. (Kemppi et al. 2020, 7–8, 31–32.) Monilokerokeräyksessä voi olla useampi eri kokoinen lokero eri jätelajeille. Esimerkiksi HSY:n toteuttamassa kokeilussa monilokerokeräyksessä yhteen astiaan kerätään sekajätettä, muovipakkauksia, biojätettä ja metallia. Sekajätteelle ja muovipakkauksille on astiassa kaksi isompaa lokeroa ja kaksi pienempää lokeroa on biojätteelle ja metallille. (HSY b.) Myös Lassila & Tikanoja tarjoaa monilokerokeräystä kaksi- tai nelilokeropalveluna. Esimerkiksi Kokkolaan on mahdollista saada kaksilokerokeräys, jossa kerätään biojätettä sekä energiajaetta. Biojätelokeron tilavuus on 100 litraa, mikä on hieman pienempi kuin energiajaelokeron tilavuus, sillä se on 160 litraa. (Lassila & Tikanoja 2021.) Tällöin jätelajien tyhjennysrytmi on samanlainen. Tyypillisesti, jos biojätettä kerätään monilokerokeräyksenä kaksilokerokeräyksenä, sitä kerätään yhdessä sekajätteen kanssa. Yksilokerokeräyksessä saman lajin jätteet kerätään astiaan, johon ei kerätä muita jätelajeja. Se tyhjennetään jäteautolla, jossa on vain yksi lokero yhtä jätelajia varten. Korttelikeräyksessä asuinalueen asukkaat keräävät jätteensä yhteiseen jätteenkeräyspisteeseen, josta jäteauto hakee jätteet eteenpäin (Molok Oy 2021). (Kemppi et al. 2020, 7–8, 31–32.)

Biojätettä kuljetetaan keräyspisteiltä yleensä suoraan käsittelylaitoksiin. Biojätettä voidaan myös kuljettaa ensin siirtokuormausasemille, joista se siirtokuormataan isompina lasteina käsittelyyn. Tyypillisesti siirtokuljetusmatkat ovat lyhyitä, koska laitoksia biojätteiden käsittelyyn on paljon. Isossa osassa keräyksistä siirtokuljetusmatkoja ei edes tarvita. (Kemppi et al. 2020, 26.)

Biojätteelle on määritelty suurin sallittu tyhjennysväli jätehuoltomääräyksissä (Kemppi et al. 2020; Kiertokapula Oy b). Se voi vaihdella kuntien mukaan mutta suurimmassa osassa kunnista suurin sallittu tyhjennysväli kesällä on yksi viikko ja talvella kaksi viikkoa (Kemppi et al. 2020). Biojäteastiaa pitää tyhjentää tarpeeksi usein, jotta saadaan ehkäistyä haju- ja haittaeläinongelmia (Kainuun jätehuollon kuntayhtymä).

Biojätettä erilliskerätään eri velvoiterajoilla eri jätelaitosten toimialueilla Suomessa. Velvoiteraja tarkoittaa kiinteistön kokorajaa eli huoneistojen tai kiinteistöjen määrää, jonka perusteella kiinteistön täytyy osallistua erilliskeräykseen. Kun kiinteistössä on vähintään velvoiterajan verran asuntoja, sen tulee osallistua biojätteen erilliskeräykseen. Biojätteen osalta erilliskeräysvelvoitteesta voi vapautua kompostoinnilla oman kiinteistönsä alueella. Osa jätelaitoksista ei ole määritellyt biojätteelle erilliskeräyksen velvoiterajaa. Jätelaitoksilla, jotka ovat velvoiterajan määritelleet biojätteelle, se vaihtelee yhden ja kymmenen kiinteistön välillä. (Kemppi et al. 2020, 8, 84; Kainuun jätehuollon kuntayhtymä.) Esimerkiksi syyskuussa 2019 velvoiteraja erilliskerättävälle biojätteelle oli yksi EKJH:n alueella ja 10 Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:n alueella (EKJH 2018; Lounais-Suomen jätehuoltolautakunta 2017). Kainuun jätehuollon kuntayhtymän alueella velvoiteraja biojätteen keräykselle on 1 ja biojätteen tyhjennysväli vaihtelee yhdestä viikosta neljään viikkoon sen mukaan, kuinka monta huoneistoa keräykseen osallistuu, millaiseen astiaan biojätettä kerätään ja mikä vuodenaika on kyseessä (Kainuun jätehuollon kuntayhtymä).

Biojätteen erilliskeräyksen toteuttamisesta huolimatta sekajätteestä noin kolmannes on biojätettä ja sekajätteen sekaan joutuu noin neljännes kaikesta Suomessa syntyvästä biojätteestä (Berninger 2018, 49; SVT 2020; Suomen kiertovoima). Mekaanisesti eroteltua biojätettä sekajätteestä ei voida sellaisenaan käyttää raaka-aineena lannoitteiden valmistukseen kompostointi- ja biokaasulaitoksissa. Tällöin biojätteen sisältämät ravinteet jäävät hyödyntämättä. Sekajätteen seassa oleva biojäte myös likaa muita hyödynnettävissä olevia materiaaleja, esimerkiksi muovia ja kartonkia. (Berninger 2018, 49.)

2.3 Käsittely

Biojätettä voidaan käsitellä eri tavoilla. Yleisimmin käytössä olevia käsittelyvaihtoehtoja ovat kompostointi ja mädätys. (Kahiluoto ja Kuisma (toim.) 2010, 15.) Suomessa asumisen, palvelualojen ja teollisuuden biojätteet sekä jätevedenpuhdistamon lietteet käsitellään biologisesti edellä mainituilla menetelmillä (Jätehuoltoyhdistys ry b). Vuonna 2011 Suomessa erilliskerätystä biojätteestä mädätettiin noin 20 % ja kompostoitiin laitoksessa tai kotikompostoinnissa noin 75 % (Ypyä et al. 2015). Biojätteen mädättämisen määrä on lisääntynyt selvästi ja vuonna 2019 Suomessa erilliskerätystä biojätteestä mädätettiin jo noin 40 % ja kompostoitiin laitoksessa tai kotikompostoinnissa noin 55 % (SVT 2020; Espo 2021). Lisäksi erilliskerättyä biojätettä energiahyödynnetään sekä biojätettä palaa sekajätteen mukana (SVT 2020).

2.3.1 Kompostointi yleisesti

Kompostointi on aerobinen eli hapellinen jätteidenkäsittelymenetelmä, jossa mikrobien avulla hapellisissa olosuhteissa biohajoavista raaka-aineista muodostuu vettä, lämpöä, hiilidioksidia, haihtuvia yhdisteitä ja humuksen kaltaista massaa eli kompostin lopputuotetta (Albers et al. 2003, 12). Kompostointi sopii niin biohajoavalle jätteelle kuin jätevedenkäsittelylietteille (Myllymaa et al. 2008a, 24). Biohajoavien raaka-aineiden hajoaminen tapahtuu mikrobien tuottamien entsyymien avulla. Hajoaminen koostuu useista eri vaiheista, joiden tavoitteena on tuottaa energiaa ja rakennusaineita mikrobeille. (Albers et al. 2003, 12.) Orgaanisen aineksen pitoisuudesta (volatile solids) vain noin 20–30 % hajoaa kompostoinnin aikana hiilidioksidiksi ja vedeksi (Metcalf ja Eddy 2003, 1546).

Kompostoituminen koostuu neljästä eri vaiheesta: mesofiilisesta eli lämpenemisvaiheesta, termofiilisesta eli kuumavaiheesta, jäähtymisvaiheesta ja kypsymisvaiheesta. Mesofiilisvaiheessa kompostin lämpötila nousee nopeasti 30–50 ºC:een ja helposti hajoava orgaaninen aine hajoaa nopeasti. Vaihe kestää vain muutamia päiviä. Kompostiin muodostuu happoja eli pH-arvo laskee välille 4–5. (Itävaara et al. 2006, 7; Tontti ja Mäkelä-Kontto 1999, 16; Ikonen 2014, 25; Albers et al. 2003, 13.)

Termofiili- eli kuumavaiheessa kompostin lämpötila voi nousta jopa 85 ºC:een. Kompostiin tulee kuumiin olosuhteisiin erikoistuneita bakteereita ja sädesieniä. Bakteereiden ja sädesienien ravintoa ovat kompostin helpoimmin hajoavat ravintoaineet, esimerkiksi sokerit ja rasvat. Proteiinit alkavat hajota ja kompostista voi vapautua ammoniakkia lämpöhuipun aikana. Myös kompostin pH-arvo nousee välille 7–8,5 mikrobien lisääntyessä ja proteiinien hajotessa. Mikrobit hyödyntävät aikaisemmassa vaiheessa syntyneitä happoja aineenvaihdunnassaan. Vaikka kuumavaiheessa lämpötila voi nousta korkeaksi, nopeinta hajoaminen on 35–50 ºC:ssa. Vaihe kestää enintään muutaman viikon. (Itävaara et al. 2006, 7–8; Ikonen 2014, 25; Albers et al. 2003, 12–13.)

Jäähtymisvaiheessa lämpötila laskee 20–35 ºC:een helposti hajoavan ravinnon loppumisen ja mikrobien aktiivisuuden vähenemisen seurauksena. Vaikeasti hajoavat komponentit, kuten ligniini ja selluloosa, alkavat hajota vasta kompostoinnin loppuvaiheessa. Kypsymisvaiheessa lämpötila laskee ympäristön lämpötilan tasolle, pH tasoittuu välille 7–8 ja humusta alkaa muodostua. (Albers et al. 2013, 12–13; Ikonen 2014, 25; Itävaara et al. 2006, 7–8.)

2.3.2 Tunnelikompostointi

Tunnelikompostointi on kompostointiprosessi, jossa lämpöeristetyssä ja suljetussa tunnelissa ilmaa puhalletaan tunnelissa olevaan jätemassaan lattiassa olevien reikien kautta. Samalla kompostissa syntyviä kaasuja imetään tunnelin yläosasta pois. Tunnelikompostin prosessilämpötila on noin 55–60 ºC. Näiden prosessilämpötilojen takia haitalliset mikrobit ja rikkakasvien siemenet kuolevat eli komposti hygienisoituu. (Albers et al. 2003, 13–14.) Biojäte prosessoi laitoksessa noin 3–5 viikkoa (Pöyry Environment Oy 2007, 16).

Tunnelikompostointilaitos voi käsitellä suuria määriä biojätettä eikä sen toimintaan vaikuta jätejakeen suuruus tai koostumus. Tunnelikompostissa voidaan käsitellä esimerkiksi suuria oksia. Laitoksen huonoja puolia ovat ulkoisen lämpöenergian tarve sekä se, että laitosta ei voi ajaa jatkuvatoimisesti. (Illikainen 2009, 32.) Tunnelikompostointi on yleisin Suomessa käytössä oleva kompostointilaitos. Se soveltuu hyvin Suomen olosuhteisiin, koska laitos on suljettu, jolloin siellä pystytään huomioimaan talviolosuhteet sekä käsittelemään hajuja. Laitoksesta voi aiheutua hajuhaittoja ulkoilmaan jälkikypsytyksen aikana, jos jäte ei ole

prosessoitunut laitoksessa riittävän hyvin aktiivisen tunnelikompostoinnin aikana. (Pöyry Environment Oy 2007, 48.)

2.3.3 Rumpukompostointi

Rumpukompostointilaitoksissa jäte pyörii lämpöeristetyissä teräslieriöissä pituusakselinsa ympäri (Albers et al. 2003, 14). Laitoksen prosessilämpötila on noin 48–57 ºC. Määrät, joita laitoksessa käsitellään ovat noin 1 000–5 000 t/a jätettä. (Pöyry Environment Oy 2007, 16.) Yli 10 000 t/a jätettä on rumpukompostoinnissa teknisesti haastava määrä, koska tällöin rumpuja tulisi olla vähintään 5 (Illikainen 2009, 32). Suomen rumpukompostointilaitoksissa rumpuja on yleensä 2–3 (Ruuskanen 2013, 40). Se on toiseksi käytetyin kompostointilaitosten muoto Suomessa (Pöyry Environment Oy 2007, 48).

Rumpuun syötetään murskattua jätettä ja tukiainetta suhteella 1:1 (Ruuskanen 2013, 40). Massa pyörii rummussa ja sen kompostoitumista tehostetaan ilman puhaltamisella pyörivään massaan tai tyhjään tilaan rummussa (Albers et al. 2003, 14).

Rumpuihin syötettävä jäte täytyy murskata huolellisesti. Liian suuret palat eivät sovi rumpukompostointiin. (Illikainen 2009, 32.) Jätemassaan jääneet roskat voivat aiheuttaa mekaanisia ongelmia rumpuihin (Pöyry Environment Oy 2007, 48). Jätteen murskaamisella saadaan sen pinta-alaa suuremmaksi, jolloin bakteerikasvu on tehokkaampaa. Rumpukompostointilaitosta voidaan ajaa jatkuvatoimisesti. (Illikainen 2009, 32.) Se myös soveltuu hyvin Suomen talviolosuhteisiin suljetun laitoksen takia eikä hajuhaittojakaan synny paljoa (Pöyry Environment Oy 2007, 48).

2.3.4 Aumakompostointi

Aumakompostoinnissa orgaaninen materiaali kasataan kasaksi tai aumaan kovan alustan päälle. Aumakompostointi sopii esimerkiksi jätevedenpuhdistamojen lietteille ja yhdyskuntajätteelle. Materiaali voidaan esikäsitellä ja sekoittaa ennen kasausta. Kasat tehdään muodoltaan pyöristetyiksi kartioiksi ja aumat ovat pidempiä kasoja. Tavallisesti auman korkeus on 1,5–2,5 metriä ja pituus 3–7 metriä. Oikein kasatussa aumassa luonnollinen ilmanvaihto

toimii mutta aumoja tulee myös käännellä, jotta kompostin hapensaanti ja hajujen poisto tehostuvat. (Paatero et al. 1984, 84, 86, 88.)

Aumakompostointi on edullisin ja vanhin tapa hajottaa biomassaa ulkona. Sen heikkouksina ovat pitkä käsittelyaika, noin yksi vuosi, ja suuri tilantarve, prosessin epätasaisuus, tuotteen vaihteleva laatu sekä hajuhaitat. Aumakompostointia käytetään enimmäkseen vain vähintään kuusi kuukautta kestävässä jälkikypsytyksessä ja laitoksen ollessa huollossa tai tilan puutteellisuuden takia. Aumakompostoinnissa on myös havaittu melko isoja kasvihuonekaasupäästöjä. Edellä mainittujen heikkouksien sekä tautien leviämisen pelko avokäsittelyssä on aiheuttamassa laskua aumakompostoinnin suosioon. (Pirkkamaa 2014, 14.)

2.3.5 Mädätys

Mädätys on orgaanisen aineen hajoamista hapettomissa olosuhteissa betonista tai teräksestä valmistetussa pystysäiliössä. Mikrobit hajottavat biohajoavaa jätettä hiilidioksidiksi ja metaaniksi. Mädätysprosesseja on kahdenlaisia riippuen prosessilämpötilasta. Prosessit ovat mesofiilinen, jonka prosessilämpötila on 30–40 ºC ja termofiilinen, jonka prosessilämpötila on 50–60 ºC. Lämpötilan mukaan prosessissa toimii erilaisia mikrobeja prosessin vaiheen mukaan. (Latvala 2009, 29; Myllymaa et al. 2008a, 22.)

Mädätysprosessi voidaan jakaa prosessilämpötilan lisäksi syötteiden perusteella märkämädätykseen ja kuivamädätykseen (Horn et al. 2020, 11). Märkämädätyksessä biomassasyötteen kuiva-ainepitoisuus on alle TS 15 %. Kuivamädätyksen biomassasyötteen kuiva-ainepitoisuus on noin TS 20–60 %. (Seppänen et al. 2018, 7.) Erilliskerättyä biojätettä käsitellään pääasiassa kuivamädättämällä, sillä prosessissa voidaan käsitellä kuiva-ainepitoisuudeltaan suurempia biomassoja kuin märkämädätyksessä. Märkämädätykseen soveltuu myös kuivemmat massat, mutta tällöin niitä täytyy sekoittaa tai laimentaa. Märkämädätykseen soveltuu parhaiten lietemäiset syötteet, kuten lietelanta ja puhdistamoliete. (Horn et al. 2020, 11.)

Mädätyksen lopputuotteina syntyy metaanista, hiilidioksidista ja pienistä määristä muita yhdisteitä koostuvaa biokaasua sekä hydrolyysijäännöstä eli mädätettyä biomassaa. Biokaasua voidaan käyttää lämmöntuotannossa, sähköntuotannossa ja lämmön- ja

sähkönyhteistuotannossa sekä polttoaineena ja biomassaa lannoitteena tai viherrakentamisessa. (Latvala 2009, 29; Myllymaa et al. 2008a, 22; Horn et al. 2020, 11.)

Anaerobinen jätteiden käsittely vaatii riittävän määrän ravinteita, joita orgaanisessa jätteessä on yleensä tarpeeksi. Ravinteiden määrä täytyy olla oikeassa suhteessa, jotta hajoaminen olisi ihanteellista. (Kontturi 2016, 51.)

2.3.6 Poltto sekajätteen mukana

Sekajätteeseen usein jää biojätettä biojätteen erilliskeräyksestä huolimatta. Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon takia sekajätettä ei juuri viedä kaatopaikalle vaan suurin osa sekajätteestä energiahyödynnetään (SVT 2020). Biojätteen poltto sekajätteen mukana heikentää poltettavan jätemassan lämpöarvoa ja jätteestä saatavan energian määrää (Martikainen 2016, 3). Sekajätteestä tulee biojätteen suuren vesipitoisuuden takia painavampaa (Martikainen 2016, 3; Berninger 2018, 49). Tällöin se lisää kuljetuskustannuksia (Martikainen 2016, 3). Biojätteen suuri vesipitoisuus heikentää jätteenpolttolaitoksilla poltettavan jätteen lämpöarvoa (Berninger 2018, 49). Polttamalla biojätettä myös lisätään laitoksen huoltotarvetta ja kustannuksia, sillä se aiheuttaa kulumista, korroosiota ja karstaa polttokattilaan (Martikainen 2016, 3). Polttamisessa myös hukataan biojätteessä olevat ravinteet (Gasum Oy 2019). Biojäte sekajätteen mukana poltettaessa myös lisää syntyneen tuhkan suolapitoisuutta, mikä haittaa tuhkan hyötykäyttöä (Laitinen et al. 2014, 20).

3 RAVINTEET

Ravinteet ovat kasvien, eläinten ja ihmisten tarvitsemia epäorgaanisia aineita, kivennäisaineita. Kasvit ottavat ravinteita maasta veteen liuenneina ja eläimet syömällä kasveja tai muita eläimiä. Ravinteet palautuvat maahan takaisin hajottajaeläimien hajottaessa orgaanista ainesta. Tärkeimpiä ravinteita elämisen kannalta ovat typpi, fosfori ja kalium. (Happonen et al. 2013, 126, 176; Berninger 2018, 8; Ypyä et al. 2015, 8.) Ravinteita ei tule maapallolle lisää satunnaisia meteoriitteja lukuun ottamatta toisin kuin energiaa (Hanski et al. 2003, 58).

Tärkeimpien ravinteiden käyttö on lisääntynyt ihmisen toiminnan vaikutuksesta teollistumisesta alkaen. Väestön kasvua, maatalouden tehostumista ja energiankäyttömahdollisuuksia sekä energiankäytön lisääntymistä voidaan pitää pääasiallisena syynä ravinteiden lisääntyneeseen määrään. (Ypyä et al. 2015, 8.)

3.1 Ravinteiden kierto

Ravinteiden kierto on dynaaminen prosessi, jossa ravinteet liikkuvat paikasta toiseen ja muuttuvat kemiallisesti. Maapallolla ravinteet kiertävät pääasiassa seuraavalla tavalla: Kiviaines rapautuu kemiallisesti sadeveden ja kiven kemiallisen reaktion seurauksena. Vähitellen kiviainesta hajoaa ja kallioperää alkaa peittämään maakerros. Maakerroksessa tapahtuu koko ajan fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia reaktioita. Maakerroksesta ravinteet voivat liueta veteen, jossa ne kulkeutuvat toiseen paikkaan jokien ja pohjavesien virtauksien mukana. Joissa kulkee myös kiinteää ainesta. Maanviljelyn ja metsien hakkuun aiheuttaman eroosion takia ravinteita kulkeutuu vesistöihin entistä enemmän. (Hanski et al. 2003, 59.)

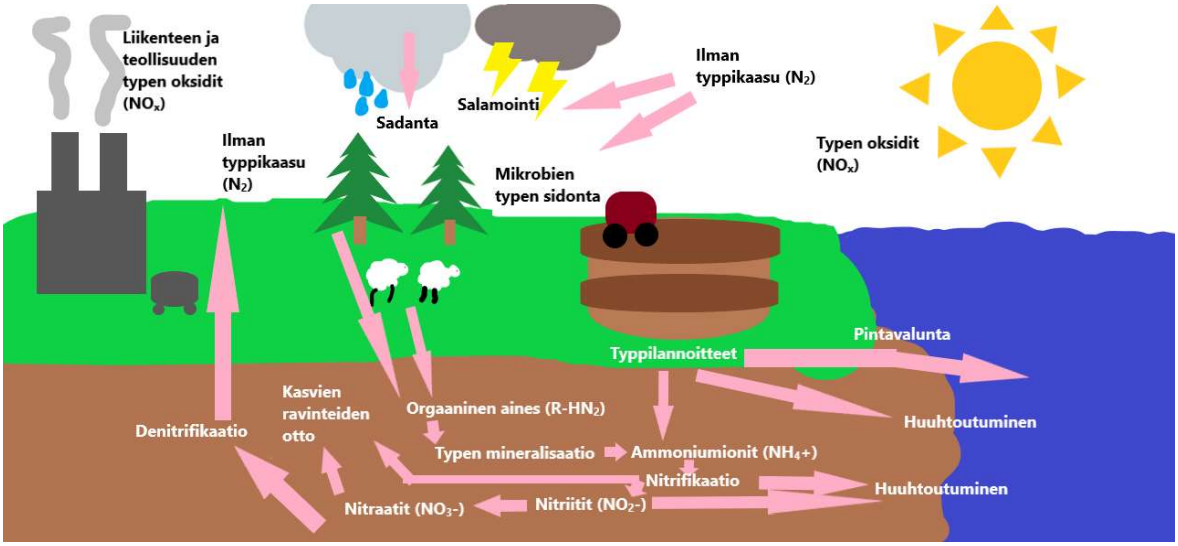
Ilmakehässä ravinteet, kuten fosfori ja typpi, kulkeutuvat tuulien mukana maalta merelle ja toisin päin (Hanski et al. 2003, 59; Baltic Sea Action Group 2019). Tuulet kuljettavat myös fossiilisten polttoaineiden poltossa vapautunutta rikkiä ja typpeä. Samoin eläimet kuljettavat ravinteita mukanaan. Esimerkiksi merilintujen ulosteista voi kasautua kerrostumia ja muurahaiset kasaavat kekoonsa muuta ympäristöä enemmän neulasia. (Hanski et al. 2003, 59.)

Lopuksi ravinteet kasautuvat merien ja järvien pohjalle. Hienojakoinen rae, sedimentti, jota on syntynyt maa-aineksen rapautuessa, kasautuu pohjalle ja muuttuu geologisten prosessien seurauksena sedimenttikiveksi. Mannerlaattojen liikkeiden ja vuorijonojen syntymisen seurauksena sedimentit alkavat paljastua, jolloin ravinteiden kierto alkaa alusta. (Hanski et al. 2003, 59–60.)

Koska typpi ja fosfori ovat tärkeimmät pääravinteet ja kasvit tarvitsevat niitä suhteellisen paljon, keskitytään niiden kiertoon tarkemmin. Fosforin ja typen kierrot luonnossa ovat keskenään hyvin erilaisia. (Ypyä et al. 2015, 9–10.)

3.1.1 Typen kierto

Typpi on usein kasvien tuotantoa rajoittava tekijä, vaikka sitä on ilmakehässä noin 78 %, joka on eniten ilmakehän kaasutilavuudesta. Suurin osa eliöstöstä ei pysty käyttämään sitä suoraan hyväkseen. Typen kierto on kuvattu kuvassa 4. Salamoidessa ilmakehään vapautuu nitraatteja, jotka liukenevat sadeveteen ja maaperään. Typensitojabakteerit, joita on esimerkiksi palkokasvien juurinystyröissä ja maaperässä, muuttavat biologisesti ilmassa olevaa typpeä muille kasveille käytettävään muotoon ammoniumtypeksi, nitriiteiksi ja nitraateiksi, mitä kasvit pystyvät käyttämään. Muu kasvien käyttämä typpi on peräisin kuolleista eliöistä. Maaperässä ja pohjavesissä on varastoituneena typpeä, mistä sitä kulkeutuu meriin jokien mukana. Vesistöissä levät ja muut eliöt käyttävät sitä hyväkseen. Eliöiden kuoltua typpi palautuu takaisin maaperään ja typen kierto alkaa alusta. (Berninger 2018, 10; Hanski et al. 2003, 63–64; Kaila et al. 2016, 87; Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013a.)



Kuva 4. Typen kierto (mukaillen Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013a).

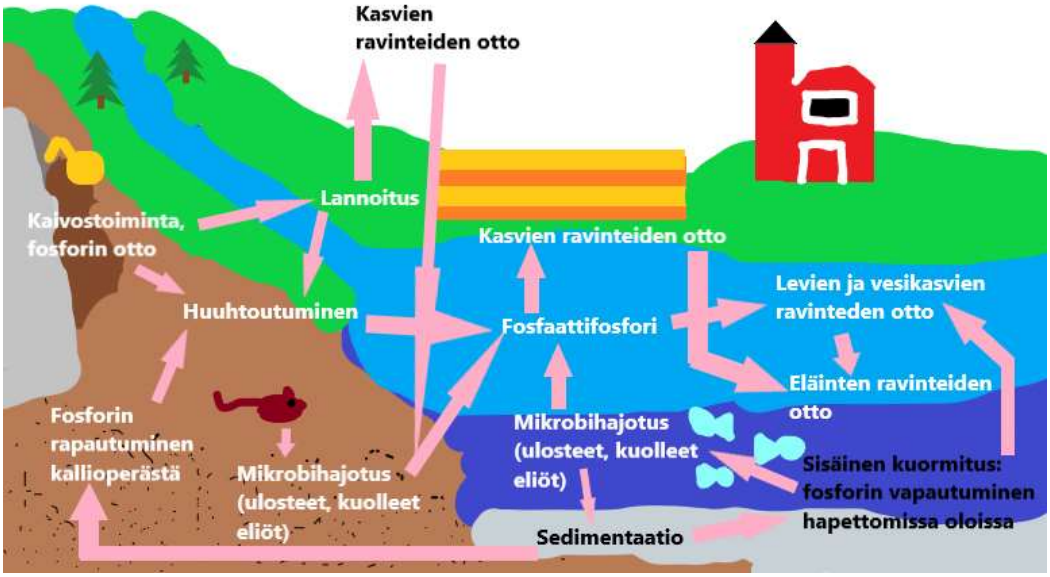
Ihmisen vaikutuksesta typen määrä maaperässä lisääntyy ja sen luonnollinen kiertokulku häiriintyy (Hanski et al. 2003, 64; Berninger 2018, 11). Teollisuus, liikenne, maatalous ja jätevedet lisäävät typpivarastoja. Teollisuudessa ja liikenteessä ilmaan vapautuu typen oksideja, jätevesien mukana typpiyhdisteitä pääsee vesistöihin ja maataloudessa typpilannoitteita lisätään pelloille. Pelloilta kasvien hyödyntämättömät ravinteet poistuvat pintavaluntana ja maaperän huuhtomana aiheuttaen vesistöjen rehevöitymistä. (Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013a.) Typpeä lisätään kiertoon huomattavasti nopeammalla tahdilla kuin luonnollisesti tapahtuisi. Ravinteiden kierto on tehotonta ja ravinnevuotoja tapahtuu ruokaketjun eri osissa, mikä aiheuttaa myös ravinnepäästöjä vesistöihin ja sitä kautta rehevöitymistä. Typen kierron osalta maapallon kantokyky on ylitetty. (Berninger 2018, 10–11.)

Rehevöityminen johtuu typen ja fosforin runsaammasta valumisesta vesistöihin ja maaperään, jolloin kasvien, panssarisiimalevien ja syanobakteerien kasvu lisääntyy. Tämä aiheuttaa vesistöjen kalojen katoamista ja haitallisten bakteerikukintojen esiintymistä. (Kaila et al. 2016, 87; Berninger 2018, 9.)

3.1.2 Fosforin kierto

Fosforin kierto on erilainen verrattuna muihin biokemiallisiin kiertoihin, kuten veteen, typpeen ja hiileen, sillä kierto ei sisällä kaasufaasia (The Environmental Literacy Council 2015).

Fosfori on sitoutunut maaperään ja veteen (Hanski et al. 2003, 439). Fosforin kierto on kuvattu kuvassa 5. Luonnollinen kierto alkaa fosforin rapautumisena kallioperästä maaperään. Kasvit ottavat fosforia maaperästä ja eläimet saavat sitä syömällä kasveja. Takaisin maaperään fosforia vapautuu kasvien ja eläinten kuollessa, kun hajottajat vapauttavat fosforin niistä sekä eläinten ulosteiden kautta. Maaperästä fosforia huuhtoutuu myös vesistöihin. Siellä fosforia menee levien ja muiden vedessä olevien kasvien käyttöön. Veden eliöstö saa fosforia vesikasvistoa syömällä. Osa fosforista varastoituu eli sedimentoituu vesistöjen pohjille, lähinnä alueille, joissa ulosvirtaus on vähäistä. Pitkän ajan kuluessa siitä muodostuu uutta kalliopohjaa ja ravinteet poistuvat ekosysteemistä. (The Environmental Literacy Council 2015; Berninger 2018, 9; Hanski et al. 2003, 439.)



Kuva 5. Fosforin kierto (mukaillen Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013b).

Ihmisen vaikutuksesta fosforia louhitaan kallioperästä lannoiteteollisuutta varten. Fosforia on rajallinen määrä ja se on uusiutumaton luonnonvara sekä mineraalinen että fossiilinen lähde. Noin 80 % fosfaattivarannoista on vain muutamien valtioiden alueella, joita ovat Marokko, Länsi-Sahara, Kiina, Saudi-Arabia ja Yhdysvallat. (Ypyä et al. 2015, 8–9; The Environmental Literacy Council 2015.)

Fosforia lisätään pelloille lannoitteena. Vesistöihin huuhtoutuu fosforia fosfaatteina maatalouden ja muun ihmisen toiminnan myötä. Fosfori aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä ja

happamoitumista. (Ypyä et al. 2015, 8–9; The Environmental Literacy Council 2015.) Ihmisen vaikutuksesta fosforia lisätään kiertoon huomattavasti nopeammin kuin luonnollisella kierrolla fosforia vapautuisi. Fosforin kierron osalta maapallon kantokyvyn raja on ylitetty. (Berninger 2018, 10–11.)

3.2 Ravinteet jätteissä

Asutuksen ja teollisuuden biojätteen biomassan määrä Suomessa oli 809 000 tonnia perustuen vuosien 2014–2016 tilanteeseen. Arvioitu biomassan määrä sisältää myös sekajätteessä olevan biojätteen arvioidun määrän. Biomassan kokonaismäärä sisältää 730 tonnia fosforia per vuosi, 5 340 tonnia typpeä per vuosi ja 320 tonnia liukoista typpeä per vuosi. (Marttinen et al. 2017, 10, 31.)

Taulukossa 1 on esitetty eri tutkimusten biojätteen koostumustuloksia. Taulukon 1 tuloksista huomataan, että biojätteen kuiva-ainepitoisuus on noin 28 % ja kuiva-aineesta orgaanista ainesta on noin 86 %. Biojätteen koostumus vaihtelee tutkimuksittain.

Taulukko 1. Kotitalouksien erilliskerätyn biojätteen ominaisuudet.

		HSY[a]	HSY[b]	Forssa[c]	EKJH[d]	Kahiluoto et al. 2011
TS	%	25,5	28,7	27	28	32
VS	% TS	92,3	89	92	80	75
N	% TS	2,5	2,5	2,5	3,5	2,0
P	g/kg TS	2,8	1,3	2,7	3	0,4
K	g/kg TS	10	-	10	-	-
C	% TS	48,4	-	49,4	-	48,0
C/N		19	-	20,1	-	24

[a] Kontturi 2016, 51-52. [b] Mönkäre et al. 2015, 4. [c] Zhang et al. 2013, 11. [d] EKJH Oy 2018, 8.
-, ei analysoitu

3.3 Ravinnehyödyt

Kierrättämällä ravinteita vältetään niiden hukkaaminen ja mineraalilannoitteiden valmistus. Mahdollisimman suuri osuus jo kiertävistä ravinteista tulisi saada takaisin ruoantuotantoon.

Tällöin tuotetaan ympäristöhyötyjä, saadaan ravinteet takaisin kiertoon ja pienennetään ruoantuotannon ja -kulutuksen haitallisia vaikutuksia ympäristöön. (Luostarinen et al. 2019, 9.) Tärkeintä ravinnekierron ja ilmaston näkökulmasta on saada ravinteet hyödynnettyä tehokkaasti ja minimoida mineraalilannoitteiden tarve (Horn et al. 2020, 38).

Tärkeimmät ravinteet, joita erilliskerätystä biojätteestä saadaan talteen, ovat fosfori ja typpi. Fosfori on uusiutumaton luonnonvara, mitä louhitaan uusitumattomista mineraalivarannoista (Luostarinen et al. 2019, 9). Suurin osa fosforivarannoista on sijoittunut vain muutaman valtion alueelle. Epäorgaanisen typen sidonta ilmakehästä kemiallisin menetelmin vaatii paljon energiaa (Luostarinen et al. 2019, 9). Jo olemassa olevaa typpeä sekä fosforia voidaan kierrättää biojätteestä kierrätyslannoitteiksi ja maanparannusaineiksi.

Fosfori ja typpi ovat välttämättömiä ravinteita mutta niiden liikakäyttö aiheuttaa riskejä ympäristöön. Fosforia tulee louhia ja typpeä kootaan reaktiiviseen muotoon ilmakehästä. (Aho et al. 2015, 10.) Peltoja lannoitettaessa se osa typestä ja fosforista, joka ei päädy kasveihin tai sitoudu maaperään, huuhtoutuu mahdollisesti vesistöihin. Liiallinen typen ja fosforin valuminen ympäristöön haittaa biodiversiteettiä, aiheuttaa rehevöitymistä sekä typen valunta voimistaa ilmastonmuutosta (Kahiluoto et al. 2014, 16).

Jätteenkäsittelyn näkökulmasta biojätettä poltettaessa menetetään biojätteessä olevat ravinteet, sillä poltossa syntyvän tuhkan oletetaan olevan ravinnehyötykäyttöön sopimatonta. (Kemppi et al. 2020, 26.) Tämän takia erilliskeräys on tärkeää, jotta kaikki käytettävissä olevat ravinteet saadaan hyötykäytettyä.

Epäorgaanisten lannoitteiden tarjoamat ravinteet ovat nopeasti kasvien käytössä parantaen niiden kasvua ja tehostaen tuotantoa. Epäorgaanisilla lannoitteilla ei paranneta maaperän terveyttä eikä korvata viljelyn aikana menetettyjä orgaanisia aineita. Jatkuva epäorgaanisten lannoitteiden käyttö aiheuttaa maaperän pitkäaikaista vahingoittumista. Orgaaninen jäte nostaa hiilen konsentraatiota, edistää mikrobien kasvua ja aktiivisuutta sekä on tärkeä ravinteiden lähde kasveille ja mikrobeille. Tämän takia esimerkiksi kompostoitu biojäte lannoitteena on hyvä vaihtoehto epäorgaanisille lannoitteille. Orgaaniset lannoitteet parantavat maaperää vielä sen jälkeen, kun kasvit ovat käyttäneet kaikki tarvitsemansa ravinteet. Orgaanisia

lannoitteita toistuvasti levitettynä ne vaikuttavat positiivisesti maaperään. Orgaanisia lannoitteita hyödyntämällä epäorgaanisten sijaan saadaan esimerkiksi kompostoidussa biojätteessä olevat ravinteet uudelleen käyttöön ja vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä sekä luonnonvarojen käyttöä. (Hernández et al. 2016, 14–15.)

3.3.1 Biojätteestä saatavissa olevat ravinteet

Ohjaamalla biojätettä kompostointiin ja mädätykseen saadaan typpeä ja fosforia talteen. Vuonna 2018 biojätettä erilliskerättiin noin yhteensä 424 800 tonnia, josta kompostointiin ja mädätykseen ohjattiin 367 500 tonnia ja vuonna 2019 erilliskerättiin yhteensä 464 300 tonnia, josta kompostointiin ja mädätykseen ohjattiin 412 700 tonnia (SVT 2018; SVT 2020). Viime vuosien keskiarvona biojätettä erilliskerättiin 444 500 tonnia ja kompostointiin ja mädätykseen päätyi biojätettä 390 000 tonnia. Tällöin ravinnehyötykäyttöön päätyi noin 88 % erilliskerätystä biojätteestä.

Taulukon 1 perusteella erilliskerätyn biojätteen kuiva-ainepitoisuus on noin 28 %. Tällöin erilliskerätyn biojätteen kuiva-aineen määrä on noin 125 500 tonnia. Oletetaan, että jos biojätteen koostumus ei vaihdu määrässä, joka kompostoidaan ja mädätetään, saadaan kompostointiin ja mädätykseen menevän biojätteen kuiva-aineen määräksi 110 000 tonnia.

Typen ja fosforin osuudet biojätteen kuiva-ainepitoisuudessa voidaan laskea taulukon 1 perusteella. Saadut tulokset ovat keskiarvoja taulukosta 1. Typen osuudeksi biojätteen kuiva-ainepitoisuudessa saadaan 2,6 % TS. Fosforin määräksi biojätteen kuiva-aineessa saadaan 2,04 g/kg TS.

Lopuksi voidaan arvioida laskemalla typen ja fosforin määrä kaikessa erilliskerätyssä biojätteessä ja osuudessa, joka menee kompostointiin ja mädätykseen. Typen määrä biojätteen erilliskeräyksessä on noin 3 260 tonnia ja ravinnehyötykäyttöön menevässä osassa noin 2 860 tonnia. Fosforin määräksi erilliskerätyssä biojätteessä saadaan noin 256 tonnia ja ravinnehyötykäyttöön menevässä osassa on fosforia noin 225 tonnia.

Arvioidaan, että Suomen maataloudessa typpilannoitteita on käytetty noin 228 000 tonnia vuodessa ja fosforilannoitteita noin 32 300 tonnia vuodessa, mistä epäorgaanisissa

lannoitteissa typpeä on käytetty 148 000 tonnia ja fosforia 11 300 tonnia perustuen vuosien 2014–2016 tilanteeseen (Marttinen et al. 2017, 9). Erilliskerätty biojäte sisältää reilun yhden prosentin typpeä ja vajaan yhden prosentin fosforia maatalouden ravinnetarpeista. Kasvattamalla erilliskerätyn biojätteen määrää saadaan suurempia ravinnepitoisuuksia talteen ja hyötykäyttöön.

4 RAVINTEIDEN KIERRÄTTÄMINEN JÄTTEIDENKÄSITTELYSSÄ

Ravinteiden kierrättäminen tarkoittaa biomassan tai muiden ravinteita sisältävien ainesten hyödyntämistä ihmisten toimesta siten, että ravinteet päätyvät, esimerkiksi lannoitteena, takaisin kiertoon kasvien uudelleen käytettäväksi (Rahtola ja Toppari 2019, 10). Biojätteessä olevat ravinteet saadaan hyötykäyttöön käsittelemällä biojätettä mädättämällä ja kompostoimalla. Biojätteiden ravinteiden hyödyntämisen kannalta olennaisinta on hyvin toimiva syntypaikkalajittelu. Erilliskerätyn biojätteen ravinteet saadaan hyödynnettyä jätteidenkäsittelyssä toisin kuin sekajätteen joukosta mekaanisesti erotetun biojätteen. Mekaanisesti erotettua biojätettä voidaan hyödyntää viherrakentamisessa mutta sitä ei lasketa kierrätykseen mukaan eikä saadut ravinteet korvaa neitseellisiä mineraalilannoitteita. (Berninger 2018, 53.) Ravinnekierrätyksen turvaamiseksi sekajätteessä oleva biojäte tulisi saada erilliskerättävän biojätteen joukkoon ja siten biologisen käsittelyn piiriin (Pirkkamaa 2014, 36).

Yleisimmät Suomessa käytössä olevat jatkojalostusteknologiat, joita voidaan käyttää mädätysjäännöksen käsittelyssä, ovat separointi linkoamalla, ruuvipuristimella tai suotonauhalla ja terminen kuivaus. Edistyneempiä ravinteiden talteenottotekniikoita, jotka Suomessa ovat käytössä, ovat ammoniakin strippaus ja haihdutus. (Seppänen et al. 2018, 11.)

4.1 Jätteiden kierrätysteknologiat ravinteiden käsittelyssä

Kompostointi- ja biokaasulaitokset ovat lannoitteiden, maanparannusaineiden sekä kasvualustojen valmistajia tai tarjoavat niihin raaka-ainetta (Pirkkamaa 2014, 24). Kompostointi- ja mädätyslaitoksilla käytetään erilaisia menetelmiä, joilla saadaan biojätteestä ravinteita talteen. Ravinteiden talteenoton jälkeen niistä voidaan kehittää esimerkiksi kierrätyslannoitteita, milloin ravinteet saadaan takaisin luonnon kiertokulkuun ilman neitseellisten raaka-aineiden talteenottoa tai louhintaa.

Vuonna 2011 biojätettä erilliskerättiin noin 360 000 tonnia, josta kierrätykseen päätyi noin 93 %. 6 % biojätteestä päätyi energiahyötykäyttöön ja 1 % kaatopaikalle. Kierrätetystä biojätteestä 18 % päätyi kotikompostointiin, 56 % laitosmaiseen kompostointiin ja 19 %

mädätykseen. Kompostoinnin ja mädätyksen lopputuotteista noin 65 % päätyy ravinnehyötykäyttöön maatalouteen ja 35 % käytetään lannoitteena viherrakentamisessa. (SVT 2011, 4; Ypyä et al. 2015, 40, 46.)

Ravinteiden pääasiallinen hyötykäytön kohde on maatalous, jossa ravinteet päätyvät kasvien käytettäviksi. Lannoitteita, mädätysjäännöstä ja kompostia käytetään muun muassa maanparannusaineina pelto- ja puutarhaviljelyissä. Lisäksi lopputuotteita käytetään viherrakentamiseen. Tuotteilla saadaan parannettua maan kasvukuntoa, rakennetta ja ravinteidenpidätyskykyä, koska orgaanista ainesta lisätään maaperään. (Biolinja Oy 2020; Envor Biotech Oy 2018a; Envor Biotech Oy 2018b; Ypyä et al. 2015, 46.) Orgaanisia lannoitteita käytettäessä typpeä vapautuu kasvualustaan suuremmalla aikavälillä, jolloin vaikutus kasvualustaan on positiivinen. Osa kokonaistypestä on liukoisessa muodossa, jolloin se on nopeammin kasvien käytettävissä. Orgaanisia lannoitteita käytettäessä saadaan riittävästi ravinteita maaperään ja runsaat sadot. (Pakarinen et al. 2015, 11.)

Työssä käsiteltäviä teknologioita ravinteiden käsittelyssä ovat kompostointi ja mädätys. Mädätyksessä keskitytään erilaisiin teknologioihin, joita ravinteiden käsitellyssä voidaan käyttää ja niitä ovat seuraavat: neste- ja kuivajakeiden erotus, kalvosuodatus, strippaus, struviitti, termiset menetelmät ja kompostointi.

4.1.1 Komposti

Kompostoinnissa syntyvä lopputuote on suoraan käyttökelpoista sellaisenaan tai jälkikäsiteltynä. Jälkikäsittelyssä kompostituotetta voidaan seuloa tai saostaa muihin materiaaleihin, milloin siitä saadaan esimerkiksi multaa, kun hiekkaa lisätään kompostituotteeseen. (Halinen ja Tontti 2004, 15; Pöyry Environment 2007, 16; Seppänen et al. 2018, 8.) Tunneli- ja rumpukompostoinnin jälkeen kompostia voidaan vielä jälkikypsyttää aumoissa useamman kuukauden ajan (Myllymaa et al. 2008a, 25). Kompostituotteita käytetään yleensä sellaisenaan maanparannusaineina, kasvualustoina tai lannoitteena. Lannoitteena ja maanparannusaineena käytettäessä kompostituotteen tulee täyttää lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelon vaatimukset. (Halinen ja Tontti 2004, 15; Pöyry Environment 2007, 16; Seppänen et al. 2018, 8.)

Kompostituotetta maanparannusaineena käytettäessä saadaan tehostettua maan mikrobitoimintaa sekä parannettua maan rakennetta ja vedenpidätyskykyä. Tällöin kasvien kasvu edistyy ja sadon laatu paranee. Lannoitteet parantavat kasvien kasvua ja sadon laatua sekä niillä saadaan korvattua epäorgaanisia lannoitteita. Kompostituotteissa ravinteet vapautuvat hitaasti ja suorat ravinnevaikutukset ovat yleensä melko pieniä. (Halinen ja Tontti 2004, 15.)

Biomassan kompostoituessa fosfori pidättyy kompostiin. Kompostoinnin aikana osa typestä haihtuu ammoniakkina. Ammoniakki voidaan ottaa talteen laitosmaisissa tekniikoissa esimerkiksi strippauksella. (Kinnunen ja Pirkkamaa 2020, 80.) Jos kyseessä ei ole laitoskompostointi, kompostointi lisää typpihävikkiä (Seppänen et al. 2018, 8).

Biojätteestä saadusta kompostista valmistetaan useita erilaisia tuotteita, joilla saadaan hyötyjä kasvualustaan. Tuotteita, joissa hyödynnetään biojätekompostia, ovat esimerkiksi erilaisiin tarkoituksiin valmistetut mullat ja lannoitteet. Kompostin käytöllä toteutetaan kiertotaloutta ja edistetään luonnon monimuotoisuutta. (Metsäpirtin multa 2021; Kekkilä-BVB Retail 2021; Pulkkinen 2020.)

Kompostoinnissa syntyy ravinnehyötyjen lisäksi ravinnehäviöitä. Kompostoinnin aikana syntyy typpipäästöjä ja osa typestä haihtuu ammoniakkina. Ammoniakkikaasua ei saada talteen, jos kompostointi ei tapahdu laitoksessa ja, jos laitoksessa tapahtuvassa kompostoinnissa ei ole ammoniakin talteenottoa. (Ypyä et al. 2015, 38; Kinnunen ja Pirkkamaa 2020, 80.) Kerätystä biojätteestä noin ¾ kompostoidaan kompostointilaitoksessa tai kotikompostissa. Koska kompostoinnissa tapahtuu typpihäviötä, ravinteista saadaan prosentuaalisesti talteen enemmän fosforia kuin typpeä. (Ypyä et al. 2015, 47.)

4.1.2 Mädätyksen lopputuotteet

Koska mädätys on suljettu prosessi, biojätteen sisältämät ravinteet eivät häviä prosessissa (Horn et al. 2020, 12). Fosforin ja typen kokonaismäärät eivät muutu mutta typpeä liukoistuu prosessin aikana. Tällöin ammoniumtyppeä on hydrolyysijäännöksessä enemmän kuin saatteessa oli. (Kinnunen ja Pirkkamaa 2020, 80.)

Jotta biojätteestä saatua mädätysjäännöstä voidaan käyttää lannoitteena ja tätä kautta saada ravinteet kiertoon, tulee se hygienisoida ennen tai jälkeen biokaasuprosessin sekä täyttää lainsäädännössä määritellyt hygienisointivaatimukset. Biojätettä sisältävä mädätysjäännös tulee hygienisoida, sillä se voi sisältää sivutuoteasetuksen mukaista 3. luokan eläinperäistä materiaalia (Tampio et al. 2018, 15). Erilliskerätylle biojätteelle hygienisointi tulee tapahtua 70 ºC:ssa tunnin ajan, kun partikkelikoko on alle 12 mm. Suomessa hygienisointiin riittää myös termofiilinen mädätysprosessi yhdyskuntabiojätteelle kuin myös kompostointi 55 ºC:ssa yli 40 %:n kosteudessa vähintään kahden viikon ajan. (Mönkäre et al. 2016, 9.)

Hygienisoinnin ja biokaasuprosessin jälkeen mädätysjäännös voidaan erottaa neste- ja kiintoainejakeiksi, jotta mädätysjäännöksestä saadaan ravinteet talteen. Erotus tehdään tyypillisesti ruuvilla, lingolla tai suotonauhalla. (Mönkäre et al. 2016, 11; Horn et al. 2020, 12.) Mädätysjäännöstä voi myös käyttää sellaisenaan ilman neste- ja kiintoainejakeen erotusta (Seppänen et al. 2018, 43). Märkä- ja kuivamädätyksen erotustehokkuudet ovat erilaiset, sillä mädätysjäännöksen kiintoainepitoisuus vaikuttaa tehokkuuteen (Mönkäre et al. 2016, 11). Erotuksen jälkeen kiintoainejakeen kuivapitoisuus on noin TS 20-30 % (Horn et al. 2020, 12). Nestejakeen kuivapitoisuus on alle 3 % (Mönkäre et al. 2016, 3). Erotuksen jälkeen suurin osa liukoisesta typestä päätyy nestejakeeseen ja pääosa orgaanisesta typestä kiintoainejakeeseen. Fosforista suurin osa päätyy kiintoainejakeeseen, sillä sitä erottuu orgaaniseen ainekseen. Erotukseen käytetyn laitteen valinta ja mädätysjäännöksen ominaisuudet vaikuttavat erotustehoon. (Horn et al. 2020, 12.)

Kalvosuodatus on nestejakeelle tehtävä fysikaalinen käsittelymenetelmä, jossa erotetaan liukoinen typpi. Kalvosuodatuksessa käytetään huokoista puoliläpäisevää kalvoa, membraania, erotustekijänä. Siinä voidaan erottaa nesteitä toisistaan käyttäen paine-, lämpötila-, konsentraatio- tai sähköpotentiaalieroja. Suodatukseen tuleva neste jakautuu kahteen osaan, retentanttiin, joka jää kalvon tulopuolelle ja permeaattiin, joka läpäisee kalvon. Permeaatti on käsitelty vesijae. Jotta kalvosuodatuksessa saadaan erotettua liukoinen typpi eli ammoniumtyppi, tulee kalvojen huokoisuuskoko olla hyvin pieni. Käytännössä voidaan sanoa sen olevan käänteisosmoosia. (Mönkäre et al. 2016, 3, 12.) Jotta kalvot eivät tukkeutuisi, tulee niitä pestä usein niiden toimivuuden takaamiseksi. Nestejakeen tulisi myös olla mahdollisimman

kiintoainevapaata ennen kalvosuodatusta. Jae voidaan suodattaa ennen kalvoille ohjaamista. Ammoniumtypen lisäksi pieni määrä fosforia päätyy permeaattiin (Horn et al. 2020, 12).

Typpeä saadaan talteen nestejakeesta kemiallisesti strippaamalla. Strippauksessa ammoniumtyppi erotetaan nesteestä kaasumaisessa ammoniakkimuodossa. Ammoniumtyppi haihdutetaan lämpötilasäädön, pH:n säätämisen ja ilmapuhalluksen avulla. Kaasumaisessa muodossa oleva ammoniakki saadaan talteen esimerkiksi pesemällä se rikkihappoon. Tällöin muodostuu ammoniumsulfaattia. Nestejakeen kiintoainepitoisuus tulee olla pieni, jotta strippaus toimii parhaalla mahdollisella tavalla. Strippauksen lopputuotteena muodostuu puhdasta, epäorgaanista typpilannoitetta. Strippausta käytetään vain suurissa laitoksissa sen kalliiden investointikustannusten takia. Prosessiin myös kuluu paljon energiaa ja kemikaaleja. (Horn et al. 2020, 14; Seppänen et al. 2018, 45.)

Nestejakeesta on mahdollista saostaa struviittia. Struviitti on kiteinen fosfaattimineraali, magnesiumammoniumfosfaatti $MgNH_4PO_4$, joka muodostuu ammoniumtypestä, fosfaattifosforista ja magnesiumista. Struviittia muodostuu fosforin, ammoniumtypen ja magnesiumin pitoisuuksien sopivassa suhteessa ja pH:n ollessa noin 8–10. Mädätysjäännös on hyvä raaka-aine struviitin tuotantoon, tosin siihen täytyy yleensä lisätä magnesiumia. Struviitti saostetaan mädätysjäännöksen nestejakeesta. Struviitissa on korkea ravinnepitoisuus ja se soveltuu hyvin tehokkaaksi ja hitaasti liukenevaksi fosforilannoitteeksi. (Mönkäre et al. 2016, 13; Seppänen et al. 2018, 46; Horn et al. 2020, 14.)

Termisillä menetelmillä saadaan fosforipitoisen kuivajakeen tilavuutta pienemmäksi. Termisiä menetelmiä ovat esimerkiksi pyrolyysi ja poltto. Näillä menetelmillä saadaan fosfori lopputuotteeseen ja typpi menetetään. Pyrolyysissä mädätysjäännös hajoaa termisesti anaerobisissa olosuhteissa korkeassa lämpötilassa. Lopputuotteina saadaan hiilijaetta, pyrolyysinestettä ja -kaasua. Fosforipitoinen hiili voidaan hyödyntää pelloille levittämiseen ja pyrolyysineste ja -kaasu prosessin energiantuotantoon. (Horn et al. 2020, 13; Seppänen et al. 2018, 44.)

Poltossa mädätysjäännös poltetaan termisesti jakeen esikuivauksen jälkeen. Syötteen kuiva-ainepitoisuuden tulee olla yli 70 %. Poltossa jäljelle jää fosforipitoista tuhkaa ja typpeä,

orgaaninen aines sekä hiili menetetään. Tuhkassa oleva fosfori on heikkoliukoisessa muodossa eli huonosti kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Poltolla saadaan tuotettua energiaa, mutta mädätysjäännöksen esikuivauksen takia prosessin energiatase jää negatiiviseksi. (Horn et al. 2020, 13; Seppänen et al. 2018, 44.)

Mädätysjäännöksestä erotettu kiintoainejae voidaan kompostoida. Se toteutetaan auma-, tunneli- tai rumpukompostointina. Kompostoinnin aikana syntyy typpihävikkiä, jos prosessissa ei ole typen talteenottoa. Talteenotto on toteutettavissa vain laitoskompostoinnissa. (Seppänen et al. 2018, 43.) Lopputuotteena syntyy kompostia ja kaasuja sekä suotovettä, jossa on liukoisia ravinteita (Mönkäre et al. 2016, 11).

Mädätysjäännöstä voidaan käyttää myös suoraan pelloille levitettäväksi ilman käsittelyä sekä ilman neste- ja kuivajakeen erotusta. Tällöin mädätysjäännös sisältää paljon kasveille käyttökelpoista fosforia. Jäännös olisi hyvä varastoida katetusti, jolloin vähennetään typpihävikkiä ja pidetään typpi kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Toisaalta käsittelemättömässä mädätysjäännöksessä on hajoavaa ainesta, josta voi aiheutua typpihävikkiä sekä hajuhaittoja. (Seppänen et al. 2018, 43.)

Suomessa vuonna 2019 noin 40 % erilliskerätystä biojätteestä mädätettiin. Mädätyksessä ravinnehäviötä syntyy siitä osasta lopputuotetta, jolle ei ole ravinnehyötykäyttöä. Ravinnehäviöitä syntyy esimerkiksi silloin, kun mädätyksen lopputuotetta tai mädätyksen rejektivettä ei hyödynnetä. Ravinteiden talteen saanti on parempaa mädätyksessä kuin kompostoinnissa. (Ypyä et al. 2015, 40, 47.)

4.2 Lopputuotteiden ominaisuuksia

Taulukossa 2 on koottu viisi mädätysjäännöstä ja yksi tuorekomposti, joita käytetään lannoitteina. Mädätysjäännös on lähes syötemateriaalinsa kaltaista massaltaan sekä ravinnepitoisuudeltaan (Pirkkamaa 2014, 15). Biokaasulaitoksissa mädätetään yleensä useampaa kuin yhtä raaka-ainetta samanaikaisesti. Sen takia kosteuden ja ravinteiden määrä vaihtelee mädätysjäännöksittäin ja eroaa erilliskerätyn biojätteen koostumuksista, joita on esitetetty taulukossa 1.

Taulukko 2. Lopputuotteiden ominaisuuksia.

Valmistaja		Biolinja Oy[a]	BioKymppi Oy[b]	Envor Biotech Oy[c]	Envor Biotech Oy[d]	Gasum Oy[e]	-[f]
Kauppanimi		Biolinjan Kasvuvoimavesi	LuomuKymppi B	Kasvuravinne	Pellon paras	Gasum perus, Oulu	-
Tyyppinimi		Mädätysjäännös	Mädätysjäännös (kuivattu)	Mädätysjäännös	Tuorekomposti	Mädätysjäännös	Mädätysjäännös
Raaka-aineet		Elintarviketeollisuuden biojäte sekä kauppojen, ravintoloiden ja kotitalouksien biojäte	Erilliskerätty biojäte, kasvipohjaiset jätteet, kaupan entiset elintarvikkeet, teurasjäte (lk. 3) ja karjalanta	Biojäte, puhdistamoliete ja elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biojäte, elintarviketeollisuuden sivutuotteet, turve, hake	Erilliskerätty biojäte, kaupan biojäte, teollisuuden biohajoavat 3 lk:n sivutuotteet, puhdistamoliete	Erilliskerätty biojäte
Tilavuuspaino	kg/m^3	1000	740	982	483	1012	-
pH		8,9	8,4	8,1	5,6	8,1	8,9
VS	%	70,4	92,2	61,2	81,5	62,3	-
Kosteus	%	94,4	78,9	95,3	64,6	94,8	-
N_{tot}	g/kg TS	89	24	87	17	109	19,2
N_{vl}	g/kg TS	84,1	5,16	47	1,3	66	4,4
P_{tot}	g/kg TS	13	4	22	2,2	26	3,0
P_{vl}	g/kg TS	5,5	0,44	0,93	0,39	0,53	0,05
K_{tot}	g/kg TS	49	4,9	14	6,6	20	2,4

[a] Biolinja Oy 2020. [b] BioKymppi Oy 2020. [c] Envor Biotech Oy 2018a. [d] Envor Biotech Oy 2018b. [e] Gasum Oy 2020. [f] Pakarinen et al. 2015, 1. -, ei tietoa.

4.3 Ympäristövaikutus ja ravinnejalanjälki

Biojätteiden erilliskeräyksessä syntypaikkalajittelu on tärkeää. Kuluttajien tietoisuutta lisäämällä biojätteen määrästä ja omien valintojen merkityksestä ympäristöön, saadaan lisättyä jätteiden lajittelua. Tästä voi aiheutua positiivisia vaikutuksia ympäristömyönteisenä kulutuskäyttäytymisenä. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 45.) Erilliskeräystä laajentamalla

nykytilasta eri velvoiterajoihin saadaan ilmastonlämpenemisen kannalta positiivinen kokonaisvaikutus (Kemppi et al. 2020, 47). Biojätettä hyödyntämällä vähennetään kaatopaikkojen kasvihuonekaasuja sekä epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 45). Orgaanisen aineen kaatopaikkakiellolla on saatu tuloksia kaatopaikkojen kasvihuonekaasujen vähentymisestä (Korhonen et al. 2018, 14).

Ravinnejalanjälki tarkoittaa erään yksikön, esimerkiksi kotitalouden tai yrityksen, vaikutusta vesistöjen ravinnekuormitukseen (Berninger 2018, 16). Toisen määritelmän mukaan ravinnejalanjälki on mittari, jolla kuvataan ravinneresurssien käyttöönottoa ja hyödyntämisastetta tietyssä ketjussa. Tutkittava ketju kattaa tuotteen elinkaaren kehdosta hautaan eli se huomioi vaikutukset raaka-aineiden hankinnassa, valmistuksessa, käytössä ja kierrättämisessä. (Ypyä et al. 2015, 11.)

Kompostoinnissa merkittävimmät negatiiviset ympäristövaikutukset ovat hajukaasut, jätevedet sekä liikenteestä ja aumojen käsittelystä aiheutuvat melu- ja pölyhaitat. Suurin osa kompostoinnissa syntyvistä kaasuista koostuvat hiilidioksidista sekä vedestä, mutta joukossa on myös haisevia yhdisteitä, kuten ammoniakkia ja erilaisia rikkiyhdisteitä. (Pöyry Environment Oy 2007, 16.)

Kompostoinnissa syntyy ilmapäästöinä dityppioksidia, metaania, hiilidioksidia, ammoniakkia ja typpikaasua mikrobitoiminnan seurauksena. Hiilidioksidipäästöjä ei huomioida kompostoinnin päästöihin, koska ne ovat bioperäisiä. Käytössä olevan laskentatavan mukaan hiili voi sitoutua uudelleen biomassaan. Metaani-, ammoniakki- ja typpioksiduulipäästöt huomioidaan laskennassa päästöinä. Joidenkin arvioiden mukaan 3 % hajoavasta hiilestä vapautuu metaanina. Typestä arvioidaan haihtuvan ilmaan noin 25–50 %, josta 1,2–5 % on dityppioksidia, 95–98 % ammoniumtyppeä ja 0,8 % typpikaasua. Vapautuvasta ammoniumtypestä voidaan saada talteen ja palauttaa pesurien vesien kierron avulla biomassaan jopa 90 % laitosmaisessa kompostoinnissa. Vapautuvat päästöt sekä talteen otettavan ammoniumtypen määrä riippuvat prosessiolosuhteista. (Myllymaa et al. 2008a, 25–26.) Taulukossa 3 esitetään kompostoinnissa syntyviä suoria päästöjä.

Taulukko 3. Kompostoinnissa syntyviä suoria päästöjä.

Lähde	Myllymaa et al. 2008a, 25–26.	Myllymaa et al. 2006, 38.	Myllymaa et al. 2006, 38.	Boldrin at al. 2009.	Boldrin et al. 2009.	Boldrin et al. 2009.
Kompostointi-tapa	Laitos	Suljettu	Auma	Avoin	Suljettu	Koti
Metaanipäästöt [kgCO_2ekv/tonni käsiteltyä biojätettä]	27,6	0,0084	26,5	22,4	25,2	42
Dityppioksidi-päästöt [kgCO_2ekv/tonni käsiteltyä biojätettä]	13,5	0	11,4	34,4	17,2	85,6
Bioperäiset hiilidioksidipäästöt [kgCO_2ekv/tonni käsiteltyä biojätettä]	87,3	0,0075	3,49	0	0	0
Yhteensä [kgCO_2ekv/tonni käsiteltyä biojätettä]	41,2	0,0084	11,4	56,8	42,4	127,6

Mädätyksellä edistetään ravinteiden kierrättämistä, kun mädätysjäännöstä käytetään lannoitevalmisteena. Tällä voidaan vähentää epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä ja vähentää niiden valmistuksen ympäristökuormitusta. (Pöyry Environment Oy 2007, 27.) Kompostoidun materiaalin käyttämisessä viherrakentamisessa saadaan positiivisia ilmastovaikutuksia, koska materiaalilla voidaan korvata turvetta, jonka otosta aiheutuu fossiilisia hiilidioksidipäästöjä (Myllymaa et al. 2008b, 76). Biojätteiden mädätyksellä saadaan tehtyä biokaasua, jolla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. Tuotetulla sähköllä ja lämmöllä voidaan korvata nykyistä sähkön ja lämmön tuotantoa ja välttää negatiivisia ympäristövaikutuksia. (Manninen et al. 2016, 10.)

Suljettu mädätysprosessi ei teoriassa aiheuta päästöjä. Metaania saattaa karata venttiileistä tai panostoimisissa prosesseissa panosten tyhjennysvaiheessa. (Myllymaa et al. 2008a, 22.) Ympäristöministeriön julkaisemassa raportissa 3/2016 mädätysprosessia tarkastellessa ilmastonmuutosvaikutuksia aiheutuu pääasiassa mädätysjäännöksen jälkikompostoinnissa ja biojätteen kuljetuksessa noin 22 kgCO_2ekv/tonni käsiteltyä biojätettä, olettaen, että mädätysjäännös tunnelikompostoidaan. Mädätyksellä saadaan säästettyä päästöjä, kun

mädätyksessä tuotetulla sähköllä ja lämmöllä korvataan saastuttavampia sähköntuotantomuotoja sekä fosfori- ja typpilannoitteilla korvataan epäorgaanisia lannoitteita. Vältettyjä vaikutuksia saadaan noin -185 $kgCO_2ekv$/tonni käsiteltyä biojätettä. Mädätyksen tase on tällöin noin -163 $kgCO_2ekv$/tonni käsiteltyä biojätettä, jolloin mädätyksellä vältetään enemmän ympäristövaikutuksia kuin tuotetaan niitä. (Manninen et al. 2016, 25–26.)

Suomen ympäristökeskuksen raportin 12/2006 mukaan parhaat tulokset kasvihuonekaasupäästöjen osalta saataisiin, jos biojäte mädätettäisiin ennen kompostointia. Mädätys ei heikennä kompostituotteen laatua ja mädätyksellä saadaan mädätysjäännöksen lisäksi metaania, jota voidaan hyödyntää liikennepolttoaineena tai energiantuotannossa. Kompostoinnin ravinnehyödyistä saataisiin suuremmat, jos typestä voitaisiin laskea niukkaliukoisen typen osuus mukaan. (Myllymaa et al. 2006, 46, 48.)

Orgaanisilla kierrätyslannoitteilla saadaan lisättyä maan mikrobitoimintaa ja vedenpitävyyskykyä. Hiili sitoutuu takaisin maaperään orgaanisen aineksen lisäämisellä, millä on positiivinen vaikutus ilmastonmuutoksen hillintään. Orgaanisissa lannoitteissa on eri määrät ravinteita, jotka sitoutuvat orgaaniseen maaperään ja vapautuvat kasvien käyttöön pitkän ajan kuluessa. (Berninger 2018, 74–75.)

Gaia Biorefiner -työkalulla suoritetun kestävyysarvioinnin mukaan Biovakan biokaasulaitoksella mädätteestä tuotetun kierrätysravinteen suurin etu on jätteiden hyödyntäminen lannoitteen raaka-aineena. Tuotetun kierrätysravinteen valmistus vaatii vähemmän energiaa ja vettä kuin primääriraaka-aineista tuotetun ravinteen. Kierrätysravinteiden valmistus kulutti vähemmän mineraalisia luonnonvaroja sekä kemikaalien aiheuttamat terveysturvallisuus- ja ympäristöriskit sekä jätteenkäsittelyvaatimukset ovat pienemmät. Maankäytössä, jätteiden tuottamisessa ja raaka-aineiden käytössä saatiin sekä kierrätysravinteen että primääriraaka-aineista valmistettujen ravinteiden osalta samanlaisia tuloksia tuotantoketjussa. Maankäytössä kierrätysravinteiden etuna oli jätevirtojen hyödyntäminen raaka-aineena ja primääriraaka-aineista valmistettujen etuna tehokas maankäyttö. Maankäytössä havaittiin myös riskejä, kuten fosforin louhinnan haitalliset vaikutukset biodiversiteettiin ja kaivostuotannon toiminta. Kierrätysravinne on selvityksen mukaan mineraaliravinnetta kestävämpi. (Aho et al. 2015, 11–12).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Biojätettä erilliskerätään Suomessa noin 460 000 tonnia vuodessa, mistä lähes 90 % käsitellään kompostoimalla ja mädättämällä. Kompostoinnilla ja mädätyksellä biojätteessä olevat ravinteet saadaan talteen ja kiertoon. Ravinteiden talteenotolla ja kierrätyksellä vältetään kasvihuonekaasupäästöjä, joita syntyy muun muassa fosforin louhinnassa, typen talteenotossa sekä epäorgaanisten lannoitteiden tuotannossa.

Erilliskerätystä biojätteestä ravinteet saadaan talteen hyötykäytettäväksi kahdella eri tavalla: kompostoimalla sekä mädättämällä. Kompostoinnissa ja mädätyksessä voidaan käyttää eri tapoja biojätteen käsittelyyn. Biojätettä voidaan kompostoida tunneli-, rumpu- ja/tai aumakompostoinnilla. Mädätyksessä voidaan käyttää erilaisia teknologiota mädätysjäännöksen tuottamiseen sekä lopuksi mädätysjäännöstä voidaan jälkikypsyttää kompostoimalla sitä.

Biojätteen ravinteiden hyötykäytössä tärkeintä on syntypaikkalajittelu. Edelleen kolmannes sekajätteestä on biojätettä, jolloin kaikki ravinteet hukataan, sillä sekajätteen seasta mekaanisesti eroteltua biojätettä ei voida hyödyntää kompostointi- ja mädätyslaitoksissa lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistuksessa. Voidaan todeta, että jos biojätettä ei lajitella oikein, saatavissa olevat ravinteet hukataan heti. Lajittelua voitaisiin tehostaa kannustamalla ihmisiä lajittelemaan sekä pienentämällä velvoiterajoja. Toisaalta velvoiterajojen pienentäminen esimerkiksi kymmenestä yhteen lisää kuljetuksen kustannuksia sekä päästöjä.

Tehokkain tapa saada ravinteet hyötykäyttöön olisi kerätä biojätettä, jonka jälkeen se mädätettäisiin. Mädätyksellä vältetään ilmastonmuutosvaikutuksia enemmän kuin tuotetaan niitä, toisin kuin kompostoinnissa syntyy kasvihuonekaasuja. Mädättämällä biojätettä saadaan ravinnehyötykäyttöön sopivan mädätysjäännöksen lisäksi metaania, josta voidaan tuottaa esimerkiksi liikennepolttoainetta tai sitä voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Mädätys ei heikennä kompostin laatua. Kompostoinnissa kasvihuonekaasupäästöjen määrät riippuvat muun muassa käytetystä kompostointitavasta. Esimerkiksi aumakompostoinnilla päästöjä syntyy eniten, sillä typpeä ei saada talteen mutta laitosmaisella kompostoinnilla saadaan vapautuva ammoniumtyppi otettua talteen.

Hyödyntämällä biojätteestä tuotettuja maanparannusaineita, lannoitteita ja multaa, saadaan biojätteen sisältämät ravinteet hyötykäyttöön. Käyttämällä kierrätettyjä tuotteita maataloudessa ja muussa viljelyssä sekä maanparannuksessa voidaan vähentää epäorgaanisten tuotteiden käyttöä. Tällöin saadaan vähennettyä fosforin louhinnasta ja typen talteenotosta sekä epäorgaanisten lannoitteiden tuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Orgaanisissa lannoitteissa ravinteet ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa ja liukenevat maaperään hitaammin, mikä on hyvä asia maaperän vedenpidätyskyvyn ja mikrobitoiminnan kannalta. Tuottamalla ja käyttämällä enemmän kierrätyslannoitteita voitaisiin vähentää rehevöitymistä sekä liikalannoitusta. Kierrättämällä ravinteita vähennetään uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä sekä kasvihuonekaasupäästöjä.

LÄHTEET

Aho, Maija et al. 2015. Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle. Helsinki: Sitra. 50. Sitran selvityksiä 99. ISBN 978-951-563-937-0.

Albers, Martein et al. 2003. Kompostointiprosessin monitorointi ja ohjaus – Kirjallisuusselvitys. Espoo: VTT, Otamedia Oy. 81. VTT Tiedotteita 2207. ISBN 951-38-6166-X.

Baltic Sea Action Group (BSAG). 2019. Maan Puolustuskurssi – Loppuraportti. [verkkodokumentti]. Päivitetty: 28.3.2019. [viitattu: 1.3.2021]. Saatavissa: https://www.ym.fi/download/noname/%7BBB4EA52D-936C-4727-9C0F-1DCA6279F539%7D/145882

Berninger, Kati. 2018. Ravinteiden kierrätys Suomessa – Koskeeko asia minua?. [tietoteos]. Helsinki: Tyrsky-Konsultointi Oy. [viitattu: 14.7.2020]. Saatavissa: 2018_ravinteiden_kierratys_suomessa.pdf (tyrskyconsulting.fi)

BioKymppi Oy. 2020. Tuoteseloste. [verkkodokumentti]. Kitee: Biokymppi Oy. Päivitetty: 2.3.2020. [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://bio10.fi/wp-content/uploads/2020/03/LuomuKymppi-B-2020.pdf

Biolinja Oy. 2020. Tuoteseloste – 27.4.2020. [verkkodokumentti]. Uusikaupunki: Biolinja Oy. [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://biolinja.fi/wp-content/uploads/2020/04/Tuoteseloste-kasvuvoimavesi-Biolinja-Kevät-2020.pdf

Boldrin, Alessio et al. 2009. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Teoksessa: Waste Management & Research. 800–812. Osa 27 numero 8. ISSN 0734-242X.

Dahlbo, Helena ja Myllymaa, Tuuli. 2012. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa. Helsinki: Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. 85. ISBN 978-952-11-4104-1.

Gasum Oy. 2020. Tuoteseloste. [verkkodokumentti]. Oulu: Gasum Oy. [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/lannoitteiden-tuoteselosteet/gasum-perus-oulu-tuote-era--2020-004.pdf

Gasum Oy. 2019. Kuinka biojäte hyödynnettäisiin parhaalla mahdollisella tavalla?. [verkkosivu]. Päivitetty: 10.7.2019. [viitattu: 12.5.2020]. Saatavissa: https://www.gasum.com/ajassa/tulevaisuuden-energia/2019/suomi-on-jaamassa-kierratystavoitteista/

Envor Biotech Oy. 2018a. Tuoteseloste. [verkkodokumentti]. Forssa: Envor Biotech Oy. [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://envor.fi/wp-content/uploads/2018/10/181024-Kasvuravinne.pdf

Envor Biotech Oy. 2018b. Tuoteseloste. [verkkodokumentti]. Forssa: Envor Biotech Oy. [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://envor.fi/wp-content/uploads/2018/09/180917-Pellon-paras-4.pdf

Espo, Juha. 2021. Sähköpostikeskustelu.

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy (EKJH). Biojäte. [verkkosivu]. [viitattu: 26.5.2020]. Saatavissa: https://www.ekjh.fi/index.php/biojate-lajittelu/

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy (EKJH). 2018a. Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy dry digestion facility and biogas upgrading and filling station design and turn-key contract – specification for design and engineering. 14. [viitattu: 11.2.2021]. Saatavissa: https://lut-my.sharepoint.com/personal/jouni_havukainen_lut_fi/Documents/Microsoft%20Teams%20Chat%20Files/EKJH%202018%204.1_Specification_for_design_and_engineering2018_1206.pdf

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy (EKJH). 2018b. Etelä-Karjalan jätehuoltomääräykset 1.1.2019 alkaen. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.imatra.fi/sites/default/files/atoms/files/Etel%C3%A4-Karjalan%20j%C3%A4tehuoltom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%201.1.2019%20alkaen_0.pdf

Halinen, Arja ja Tontti, Tiina. 2014. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). 62. MTT:n selvityksiä 70. ISBN 951-729-895-1.

Hanski, Ilkka et al. 2003. Ekologia. 2. painos. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY. 580. ISBN 951-0-21981-9.

Happonen, Päivi et al. 2013. BIOS 1. Eliömaailma. 5.–11. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 180. ISBN 978-952-63-1349-8.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) a. Biojäte. [verkkosivu]. [viitattu: 26.5.2020]. Saatavissa: https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/lajittelujakierratys/lajitteluohjeet/biojate/Sivut/default.aspx

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) b. Monilokeroinen jäteastia. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/monilokeroinen-jateastia/#Ajankohtaista%20monilokerokokeilussa

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY). 2018. Biojätteen käsittely. [verkkosivu]. Päivitetty: 13.11.2018. [viitattu: 12.5.2020]. Saatavissa: https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/jatteenkasittelykeskus/biojate/Sivut/default.aspx

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY). 2015. Biojätteen kompostoinnin ja mädätyksen innovatiiviset prosessiyhdistelmät - KOMBI. [verkkodokumentti]. Helsinki: Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. [viitattu: 12.5.2020]. Saatavissa: https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/tutkimusjakehitys/Documents/RAKI_HSY_KOMBI_loppuraportti_081215.pdf

Hernández, Teresa et al. 2016. Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (Lactuva sativa L.) crops – Effects on soil and plant. Teoksessa: Alakukku, L. et al., Soil & Tillage Research. Volyymi 160. Espanja: Department of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management. 14–22. ISNN 0167-1987.

Horn, Susanna et al. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämisvaihtoehdot — vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 44. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020. ISBN 978-952-11-5229-0.

Ikonen, Tiina et al. 2014. Kompostointiopas. [verkkodokumentti]. Pori: Porin seudun jäteneuvonta. [viitattu: 4.7.2020]. Saatavissa: https://www.pori.fi/sites/default/files/atoms/files/kompostointiopas_a5_pori_web.pdf

Illikainen, Markku. 2009. Ruskon kompostointilaitoksen ja mädätyslaitosten teknis-taloudellinen vertailu. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakentamistekniikan ylempi AMK/ ympäristötekniikka. Oulu. 72.

Itävaara, Merja et al. 2006. Kompostin kypsyystestit – Menetelmäohjeet. Espoo: VTT. 38. VTT Tiedotteita 2351. ISBN 951-38-6814-1.

Jätehuoltoyhdistys ry a. Biojätteen koostumus. [verkkosivu]. [viitattu: 27.5.2020]. Saatavissa: http://vanha.jly.fi/jateh71-bio.php?treeviewid=tree2&nodeid=71

Jätehuoltoyhdistys ry b. Jätteenkäsittely. [verkkosivu]. [viitattu: 25.6.2020]. Saatavissa: http://vanha.jly.fi/jateh3.php?treeviewid=tree2&nodeid=3

JL 17.6.2011/646. Jätelaki.

Kahiluoto, Helena et al. 2014. Taking planetary nutrient boundaries seriously: Can we feed the people?. Global Food Security, 2014, 3: 3. 16-21. ISNN 2211-9124.

Kahiluoto, Helena at al. 2011. Potential of agrifood wastes in mitigation of climate change and eutrophication – Two case regions. Biomass & Bioenergy, 2011, 35: 35. 1983-1994. ISSN 0961-9534.

Kahiluoto, Helena ja Kuisma, Miia (toim.). 2010. Elintarvikeketjun jätteet ja sivuvirrat energiaksi ja lannoitteiksi. JaloJäte-tutkimushankkeen synteesiraportti. Tampere: MTT, 31600 Jokioinen. 118. ISBN 978-952-487-298-0.

Kaila, Leena et al. 2016. Lukio kemia. Reaktio 4 – Metallit ja materiaalit. 4.–7. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 188. ISBN 978-952-63-0484-7.

Kainuun jätehuollon kuntayhtymä. Jätehuoltomääräykset. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.ekokymppi.fi/tietopankki/jatehuoltomaaraykset

Kaza, Silpa et al. 2018. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. 272. ISBN 978-1-4648-1347-4.

Kekkilä-BVB Retail. 2021. Kekkilä kevätlannoite plus+. [tuotekortti verkossa]. [viitattu: 12.2.2021]. Saatavissa: https://www.kekkila.fi/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/TUOTEKORTTI_KEKKILA_KEVATLANNOITE_PLUS.pdf

Kemppi, Joni, Liikanen, Miia ja Niskanen, Antti. 2020. Asumisessa syntyvien jätteiden erilliskeräysvaihtoehtojen vaikutusten arviointi. [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Ympäristöministeriö. [viitattu: 17.6.2020]. Saatavissa: https://www.ym.fi/download/noname/%7BF408C7AE-8537-4EA6-ACEC-C8A1DE051255%7D/157952

Kiertokaari Oy. 2017. Mitä biojätteeseen voi laittaa?. [verkkosivu]. [viitattu: 26.5.2020]. Saatavissa: https://kiertokaari.fi/mita-biojatteeseen-voi-laittaa/

Kiertokapula Oy a. Biojäte. [verkkosivu]. [viitattu: 26.5.2020]. Saatavissa: https://www.kiertokapula.fi/jatelajit/bio/

Kiertokapula Oy b. Jäteastioiden tyhjennysvälit. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.kiertokapula.fi/kiinteiston-jatehuolto/jateastioiden-tyhjennysvalit/

Kinnunen, Riikka ja Pirkkamaa, Juha. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisessa – selvitys. [verkkodokumentti]. Forssa: Winto Better World Oy. [viitattu: 26.1.2020]. Saatavissa: https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Ravinnekierto_ainsaadanto-ja-rahoitus_selvitys-21082020_uusio.pdf

Kontturi, Hanna. 2016. Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015. Helsinki: Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. 112. HSY:n julkaisuja 3/2016. ISBN 978-952-7146-10-1.

Korhonen, Marja-Riitta, Pitkänen, Kati ja Niemistö, Johanna. 2018. Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista. Helsinki: Ympäristöministeriö. 108. Suomen ympäristö 3/2018. ISBN 978-952-11-4800-2.

Laitinen, Jyrki et al. 2014. Puhdistamolietteen ja biojätteen käsittely ravinteita kierrättäen. [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 80. [viitattu: 27.1 2021]. Saatavissa: https://www.syke.fi/download/noname/%7B75C943EE-6205-42AA-B130-1105133D5FFF%7D/105713

Lassila & Tikanoja. 2021. Kierrätä kätevästi Nelilokerolla. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.lt.fi/fi/henkiloasiakkaat/kodin-jatehuolto-ja-viemarit/nelilokero

Latvala, Markus. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 114. Suomen ympäristö 24/2009. ISBN 978-952-11-3498-2.

Lounais-Suomen Jätehuolto Oy. Biojäte. [verkkosivu]. [viitattu: 26.5.2020]. Saatavissa: https://www.lsjh.fi/fi/jatelaji/biojate/

Lounais-Suomen jätehuoltolautakunta. 2017. Jätehuoltomääräykset Lounais-Suomessa. [verkkodokumentti]. Turku: Lounais-Suomen jätehuoltolautakunta. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.lsjh.fi/wp-content/uploads/jatehuoltomaaraykset-27.4.2017-fin_uusi.pdf

Luonnonvarakeskus (Luke). 2018. Jäte. [verkkosivu]. [viitattu: 11.2.2021]. Saatavissa: https://www.luke.fi/biomassa-atlas/biomassojen-kuvaukset/jate/

Luostarinen, Sari et al. 2019. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 88. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:5. ISBN 978-952-453-941-8.

Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. 2013a. Typen kierto. [verkkosivu]. [viitattu: 17.7.2020]. Saatavissa: http://www.pelastajarvi.fi/typen_kierto

Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. 2013b. Fosforin kierto. [verkkosivu]. [viitattu: 12.8.2020]. Saatavissa: http://www.pelastajarvi.fi/fosforin_kierto

Martikainen, Hanna. 2019. Lajitteluselvitys – Selvitys sekajätteen koostumuksesta Joensuun asunto-osakeyhtiöissä ja omakotitaloissa. [verkkodokumentti]. Joensuu: Puhas Oy. [viitattu: 6.7.2020]. Saatavissa: https://www.puhas.fi/media/liitetiedostot/puhas/tietopankki/lajittte-luselvitykset-puhas/lajitteluselvitys2016.pdf

Manninen, Kaisa, Judl, Jáchym ja Myllymaa, Tuuli. 2016. Mädätyksen, energiahyödyntämisen ja biopolttoaineen tuotannon elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset – Biojätteen ja paistorasvan käsittelyvaihtoehdot. Helsinki: Ympäristöministeriö. 46. Ympäristöministeriön raportteja 3 | 2016. ISBN 978-952-11-4477-6.

Marttinen, Sanna et al. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 46. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Täydennetty 30.8.2017 ja 11.9.2018. ISBN 978-952-326-437-3.

Metcalf ja Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Tchobanoglous, George, Burton, Franklin Louis ja Stensel, David. 4. painos. New York: McGraw-Hill Companies. 1819. ISBN 0-07-041878-0.

Metsäpirtin multa. 2021. Koe kasvun ihme!. [verkkosivu]. [viitattu: 12.2.2021] Saatavissa: https://metsapirtinmulta.fi/metsapirtin-multatuotteet/

Molok Oy. 2021. Korttelikeräys laittaa stopin r*skapuheelle. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: https://www.molok.com/fi/korttelikerays-laittaa-stopin-roskapuheelle

Myllymaa, Tuuli et al. 2008a. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset – Inventaarioraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 82. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. ISBN 978-952-11-3251-3.

Myllymaa, Tuuli et al. 2008b. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 192. Suomen ympäristö 39 / 2008. ISBN 978-952-11-3235-3.

Myllymaa, Tuuli et al. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina – Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa III. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). 72. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12 / 2006. ISBN 952-11-2391-5.

Mönkäre, Tiina et al. 2016. Selvitys Pirkanmaan puhdistamolietteen ja biojätteiden ravinteista ja niiden potentiaalisesta käytöstä. Tampere: Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 56. Raportteja 74/2016. ISBN 978-952-314-489-7.

Mönkäre, Tiina, Kinnunen, Viljami ja Rintala, Jukka. 2015. Modelling reject water and nutrient flows from biowaste treatment in a partial flow digestion process. [verkkodokumentti]. Tampere: Tampere University of Technology. 29. [viitattu: 27.1.2021]. Saatavissa:

http://www.ym.fi/download/noname/%7BFE21102E-4766-48B2-8E41-32F181E18076%7D/116547

Niskanen, Antti ja Kemppi, Joni. 2019. Yhdyskuntajätteen kierrätyksellä vauhtia kiertotalouteen (JÄTEKIVA) – Työpaketti 1.4. Analyysi biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn kestävyystarkasteluista näkökulmana mahdollisuudet kestävyyden tehostamiseksi. [verkkodokumentti]. Lappeenranta: LCA Consulting Oy. [viitattu: 23.6.2020]. Saatavissa: https://tietokayttoon.fi/documents/1927382/2158283/J%C3%A4tekiva+TP+1.4._raportti_LCA+Consulting+28.1.2019.pdf/23dc4671-78e9-7421-481f-26893226c119/J%C3%A4tekiva+TP+1.4._raportti_LCA+Consulting+28.1.2019.pdf

Paatero, Jaakko, Lehtokari, Markku ja Kemppainen, Erkki. 1984. Kompostointi. Juva: WSOY. 269. ISBN 51-0-12502-4.

Pakarinen, Annukka, Pietilä, Heikki ja Ylösmäki, Matti. 2015. Rejektivesi ja mädätteet keinolannoitteen korvaajana viljanviljelyssä – Peltokoe HAMK-Mustialassa 2014. [verkkodokumentti]. Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK). [viitattu: 2.3.2021]. Saatavissa: https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/07/Peltoviljelykokeet.pdf

Pirkkamaa, Juha. 2014. Orgaanisen jätteen keräys ja käsittely Suomessa, Biolaitosyhdistyksen jäsenyritykset kiertotalouden toteuttajina. Jokioinen: Biolaitosyhdistys ry. 50. ISBN 978-952-68335-1-4.

Pulkkinen, Markku. 2020. Komposti lisää kasvualustan monimuotoisuutta. [verkkojulkaisu]. Vehreä-lehti. [viitattu: 12.2.2021]. Saatavissa: https://www.kekkila.fi/artikkelit/komposti-lisaa-kasvualustan-monimuotoisuutta/

Pöyry Environment Oy. 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhlarahasto (Sitra) ja Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 52. ISBN 978-951-563-597-6.

Rahtola, Mikko ja Toppari, Anna. 2019. Hallitusohjelmasta vauhtia ravinteiden kierrätykseen. Loppuraportti hallituksen kärkihankkeesta: Maatalouden ravinteet hyötykäyttöön II 3/2016–6/2019. [verkkodokumentti]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö, Luonnonvarakeskus. [viitattu: 13.8.2020]. Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/11907317/Maatalouden+ravinteet+hy%C3%B6tyk%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n++-+loppuraportti/75aad5a8-7096-0f4b-efd6-6e4cf672cd1e/Maatalouden+ravinteet+hy%C3%B6tyk%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n++-+loppuraportti.pdf

Ruuskanen, Tiina. 2013. Kierrätysmateriaaleja hyödyntävien kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi. Diplomityö. Oulun yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Oulu. 116.

Seppänen, Ari-Matti, Laakso, Johanna ja Luostarinen, Sari. 2018. Sivuvirrasta väkilannoitteen korvaajaksi: Mädätysjäännöksen jalostusteknologioiden nykytila, tarpeet ja tulevaisuuden mahdollisuudet Suomessa. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 49. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2018. ISBN 978-952-326-590-5.

Silver, Anne. 2020. JäteVaakku – Jäteneuvonnan tiedotuslehti 2020. Malin, Liisa, Roskala, Leena, ja Sjögren, Sonja. Pori: Porin kaupunki, Ympäristö- ja lupapalvelut -toimiala. 19. ISSN 2323-4938.

Suomen kiertovoima ry. 2018. Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2017 – Jätteiden keräys kotitalouksista ja jätelajien vastaanottohinnat. [verkkodokumentti]. Suomen Kiertovoima. [viitattu: 17.6.2020]. Saatavissa: http://kivo.fi/wp-content/uploads/KIVO-jatemaksut2017.pdf

Suomen kiertovoima ry. Kotitalousjätteen keskimääräinen valtakunnallinen koostumus. [verkkosivu]. [viitattu: 10.5.2021]. Saatavissa: http://kivo.fi/ymmarramme/koostumustietopankki/kotitalousjatteen_koostumus_yhteenveto/

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2020. Jätetilasto - Yhdyskuntajätteet 2019. [verkkojulkaisu]. Helsinki. Tilastokeskus. [viitattu: 26.1.2021]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/jate/2019/13/jate_2019_13_2020-12-09_fi.pdf

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018. Jätetilasto – Yhdyskuntajätteet 2018. [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Päivitetty 17.1.2020. [viitattu: 12.5.2020]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_fi.pdf

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2011. Jätetilasto – Yhdyskuntajätteet 2011. [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. [viitattu: 16.3.2021]. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/jate/2011/jate_2011_2012-11-20_fi.pdf

Sutton, M.A. et al. 2013. Our Nutrient World: The Challenge to produce more food and energy with less pollution. Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology (CEH). 115. ISBN 978-1-906698-40-9.

Tampio, Elina et al. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 73. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. ISBN 978-952-326-606-3.

The Environmental Literacy Council. 2015. Phosphorus Cycle. [verkkosivu]. [viitattu: 17.7.2020]. Saatavissa: https://enviroliteracy.org/air-climate-weather/biogeochemical-cycles/phosphorus-cycle/

Tontti, Tiina ja Mäkelä-Kontto, Ritva. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa. Kirjallisuuskatsaus. Jokionen: Maatalouden tutkimuskeskus. 57. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 64. ISBN 951-729-553-7.

Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2013. Veden reitit ja muutokset pellolta vesistöön. [verkkotiedosto]. Suomi: Uudenmaan ELY-keskus/Faktaa 5. Päivitetty: 23.10.2013. [viitattu: 15.2.2021]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BEF65448B-BB9D-417B-BDDA-4695A7862E43%7D/92624

Veera Virtavuori. 2009. Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla – kasvihuonekaasupäästöjen vertailu. Helsinki: Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV). 40. ISBN 978-951-798-735-6. Saatavissa: https://docplayer.fi/7221351-Biojatteen-kasittely-vaihtoehdot-paakaupunkiseudulla.html

Ympäristöministeriö. 2020. Hallituksen esitys jätelain ja eräiden muiden lakien muuttamisesta - Perustelut. [verkkodokumentti]. [viitattu: 22.6.2020]. Saatavissa: https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?attachmentId=11835

Ypyä, Jenni et al. 2015. Menetelmäkuvaus ravinnejalanjäljen laskemiseksi. Laskenta-esimerkkinä elintarvikeketju. NUTS- hankkeen loppuraportti. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 61. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2015. ISBN 978-952-326-008-5.

Zhang, Yue et al. 2013. Composational analysis of food waste entering the source segregation stream in four European regions and implications for valorization via anaerobic digestion. [verkkodokumentti]. Italia: CISA Publisher. [viitattu: 27.1.2021]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Sigrid_Kusch-Brandt/publication/258148792_Compositional_analysis_of_food_waste_entering_the_source_segregation_stream_in_four_European_regions_and_implications_for_valorisation_via_anaerobic_digestion/links/00b7d527b9f123d478000000/Compositional-analysis-of-food-waste-entering-the-source-segregation-stream-in-four-European-regions-and-implications-for-valorisation-via-anaerobic-digestion.pdf