Tampereen yliopisto

Saana Ikonen

KOMPOSTOIDUN BIOJÄTTEEN TUOTTEISTAMINEN LANNOITE-VALMISTEEKSI

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat: professori Jukka Rintala ja
akatemiatutkija Marika Kokko
Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Saana Ikonen: Kompostoidun biojätteen tuotteistaminen lannoitevalmisteeksi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2019

Biojätteen sisältämät ravinteet voidaan saada uudelleen hyötykäyttöön mädätyksen tai kompostoinnin avulla. Mädätysjäännöstä ja kompostia voidaan hyödyntää maanparannuksessa tai orgaanisena lannoitteena. Ravinteiden lisäksi komposti lisää maaperän orgaanista ainesta ja parantaa maaperän ominaisuuksia. Tämän työn tavoitteena oli arvioida biojätekompostin tuotteistamismahdollisuuksia ja edistää sen käyttöä lannoitevalmisteena.

Biojätekompostin soveltuvuutta lannoitevalmisteeksi arvioitiin kasvatuskokeen avulla. Kokeessa käytettiin Mustankorkea Oy:n valmistamaa biokompostia, jonka raaka-aineena oli erilliskerätty biojäte, mädätetty biojäte ja tukiaineena puuhake. Biojätekompostin tyypillinen määrä kasvualustassa on enintään 50 %. Kasvatuskokeessa kompostia lisättiin kasvualustaan tilavuussuhteessa 10–40 %. Työssä selvitettiin kompostin lannoitekäytön toteutettavuutta joko yksin tai yhdessä mineraalilannoitteen kanssa. Kontrollina käytettiin mineraalilannoitettua kasvualustaa. Testikasveina kokeessa käytettiin retiisiä, kiinankaalia, vehnää ja salaattia. Kasvatuskokeet kestivät 4–6 viikkoa. Kokeen lopuksi kasvualustoista analysoitiin muun muassa liukoisten ravinteiden määrät ja johtokyky.

Tutkittu komposti hidasti siementen itämistä, kun sen osuus kasvualustassa oli 20 % tai enemmän, kompostia vähintään 30 % sisältäneet alustat myös vähensivät itävyyttä. Salaatin siemenet eivät itäneet lainkaan kompostilannoitetuissa (10–40 %) kasvualustoissa. Kasvatuskokeessa 10–30 % kompostia sisältävät kasvualustat tuottivat kontrollia paremman sadon. Parhaat sadot saatiin, kun kompostin osuus kasvualustasta oli 20 % ja kasvualustaan lisättiin mineraalilannoitetta. Typpeä ja kalsiumia lukuun ottamatta komposti tarjosi kasveille riittävästi ravinteita. Kasvatuskokeessa huomioitiin vain kompostin liukoinen typpi. Ravinneanalyysin perusteella osa orgaanisesta typestä mineralisoitui kasvatuskokeen aikana, jonka seurauksena joissain kompostilannoitetuissa kasvualustoissa oli kontrollia enemmän typpeä. Testikasvien suurempi kasvu kompostilannoitetuissa alustoissa voi johtua maanparannusominaisuuksien lisäksi myös suuremmasta typpipitoisuudesta.

Tutkimuksen perusteella biokomposti soveltuu maanparannusaineeksi ja sillä voidaan osittain korvata mineraalilannoitteita. Biokompostia voidaan käyttää kasvualustan raaka-aineena, jolloin sen sopiva pitoisuus on noin 20 % kasvualustan tilavuudesta. Suuremmat kompostipitoisuudet saattavat inhiboida kasvien itämistä ja kasvua esimerkiksi maaperän liiallisen suolaisuuden seurauksena. Tuloksia ei voida yleistää kaikille kasvilajeille. Myös maaperän ominaisuudet vaikuttavat typen mineralisaatioon ja sitä kautta tarvittavaan kompostin ja mineraalilannoitteiden määrään.

Avainsanat: komposti, biojäte, maanparannusaine, orgaaninen lannoite

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Saana Ikonen: Productization of composted biowaste as a fertilizer product
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Environmental and Energy Engineering
November 2019

The nutrients in biowaste can be recycled by anaerobic digestion or composting. Digestate and compost can be utilized as a soil improver or an organic fertilizer. In addition to nutrients, compost increases soil organic matter and improves soil properties. Objective of this thesis was to evaluate the potential for productization of composted biowaste and to develop its use as a fertilizer product.

The suitability of the biowaste compost use as a fertilizer product was evaluated by a cultivation experiment. Feedstocks for composting were separately collected biowaste, digested biowaste and wood chips as a bulking agent. Compost used in the experiment was produced by Mustankorkea Oy. Typical amount of biowaste compost in the growth medium is up to 50 % by volume. In this experiment the compost rate was 10–40 vol-%. The feasibility of using compost either alone or in combination with a mineral fertilizer was studied. A mineral fertilized medium was used as a control. Radish, Chinese cabbage, wheat and lettuce were used as test plants. Cultivation experiments lasted 4–6 weeks. At the end of the experiment, the media were analyzed for soluble nutrient levels and electrical conductivity (EC).

Germination of seeds slowed down at the compost concentration of 20 % or more. Growth media containing at least 30 % compost reduced germination. Lettuce seeds did not germinate at all in compost fertilized (10–40%) media. In the cultivation experiment, media containing 10–30 % compost produced a better yield than the control. The best yields were obtained with the combination of 20 % compost and mineral fertilizer. With the exception of nitrogen and calcium, the compost provided sufficient nutrient concentrations for plant growth. Only the soluble nitrogen in the compost was considered in the test. Based on nutrient analysis, some of the organic nitrogen was mineralized during the experiment, which resulted in higher nitrogen concentrations in some compost fertilized media in comparison to the control. The greater growth of test plants in compost fertilized media may be due not only to soil improvement but also to higher nitrogen concentrations.

The compost studied is suitable for soil improvement and can partially replace mineral fertilizers. Biowaste compost can be used as a raw material for growing media at concentration of 20 % by volume. Higher compost contents may inhibit germination and plant growth, for example due to high soil EC. The results cannot be generalized to all plant species. Soil properties also influence nitrogen mineralization and hence the amount of compost and mineral fertilizers required.

Keywords: compost, biowaste, soil improver, organic fertilizer

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus suoritettiin Jyväskylän seudun jätehuoltoyhtiö Mustankorkea Oy:n toimeksiantona. Työn kokeellinen osuus suoritettiin kesän 2019 aikana Kauppapuutarha Honkasen kasvihuoneessa Jyväskylän Korpilahdella.

Haluan kiittää työni ohjaajia professori Jukka Rintalaa ja akatemiatutkija Marika Kokkoa osaavista neuvoista ja hyvistä kehitysehdotuksista. Kiitos Kai Sormuselle mielenkiintoisesta aiheesta ja työhön liittyvistä neuvoista. Kiitos myös Mustankorkean Iina Könöselle avusta diplomityön kanssa. Kiitän Kauppapuutarha Honkasen henkilökuntaa tutkimuksen toteutusmahdollisuudesta ja saamastani avusta kasvatuskokeiden suorituksessa. Kiitos Piritalle avusta koejärjestelyiden kanssa sekä vertaistuesta kirjoitusprosessin aikana.

Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani Villeä, perhettäni ja ystäviäni tuesta opiskeluaikana ja kannustuksesta diplomityön kanssa.

Jyväskylässä, 26.11.2019

Saana Ikonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. BIOJÄTTEEN KÄSITTELY 3
2.1 Biojätteen koostumus ja ominaisuudet 3
2.2 Mädätys 6
2.2.1 Mädätysprosessi 6
2.2.2 Biojätteen mädätykseen vaikuttavat tekijät 7
2.2.3 Prosessiteknologiat 8
2.2.4 Mädätysjäännös 9
2.3 Kompostointi 10
2.3.1 Kompostoitumisprosessi 10
2.3.2 Kompostointiin vaikuttuvat tekijät ja käytetyt tekniikat 11
2.3.3 Mädätysjäännöksen kompostointi 13
3. BIOJÄTEKOMPOSTIN HYÖDYNTÄMINEN 14
3.1 Lainsäädäntö 14
3.2 Kompostin ominaisuudet ja laadun arviointi 16
3.3 Käyttö lannoitevalmisteena 19
3.3.1 Kasvualustat 19
3.3.2 Maanparannus ja maisemointi 20
4. AINEISTO JA MENETELMÄT 21
4.1 Biojätteen käsittely Mustankorkealla 21
4.2 Kasvatuskokeet 22
4.2.1 Testikasvit 23
4.2.2 Kasvualustaseosten valmistus 23
4.2.3 Kokeen käynnistys ja hoito 25
4.2.4 Testiolosuhteet 26
4.3 Arviointiparametrit 26
4.4 Analyysimenetelmät 27
4.5 Tilastolliset menetelmät 28
5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU 29
5.1 Itävyys 29
5.2 Biomassa ja kasvuindeksi 32
5.3 pH ja johtokyky 37
5.4 Ravinneanalyysit 40
5.5 Kasvualustojen fysikaaliset ominaisuudet 42
5.6 Muut havainnot 44

5.7 Biokompostin soveltuvuus lannoitevalmisteeksi 47
6. JOHTOPÄÄTÖKSET 50
LÄHTEET 52

LIITE A: Kasvatuskokeissa käytetyn hiekan lajitekoostumus
LIITE B: Ruukkujen sijoittelu
LIITE C: Lämpötilan ja ilman kosteuden mittaushavainnot

LYHENTEET JA MERKINNÄT

C/N	Hiilen ja typen suhde
HRT	Hydraulic retention time, hydraulinen viipymä
NH_4-N	Ammoniumtyppi
NO_3-N	Nitraattityppi
pmy	Pesäkkeen muodostava yksikkö
TS	Total Solids, kuiva-ainepitoisuus
VS	Volatile Solids, orgaanisen kiintoaineen pitoisuus

1. JOHDANTO

Biojätettä syntyy Euroopan Unionin alueella arviolta noin 170 kg vuodessa asukasta kohden (Scherhaufer et al. 2018). Biojätteen tehokas käsittely pienentää jätteen määrää, mutta tuottaa myös lisäarvoa, kun jätteestä saadaan uusia tuotteita. Suomessa erilliskerätystä biojätteestä noin 90 % kierrätettiin materiaalina vuonna 2017 (Tilastokeskus 2019). Biojätteen materiaalihyödyntäminen toteutetaan pääasiassa kompostoimalla tai mädättämällä (Cerda et al. 2018). Näiden prosessien lopputuotteita, mädätysjäännöstä ja kompostia, voidaan hyödyntää maanparannuksessa tai orgaanisena lannoitteena. Usein mädätysjäännös kompostoidaan ennen jatkokäyttöä. Mädätys tuottaa lisäksi uusiutuvaa energiaa. (Christensen 2011)

Kompostin lannoitekäytöllä voidaan saavuttaa monia hyötyjä. Biojätekomposti sisältää kasvien vaatimia ravinteita, jonka lisäksi sillä on useita maanparannusominaisuuksia. Mineraalilannoitteisiin verrattuna kompostin etuna on, että se parantaa maaperän ominaisuuksia, muun muassa lisäämällä maaperän orgaanista ainetta, parantamalla vedenpidätyskykyä sekä lisäämällä mikrobiaktiivisuutta. (Hargreaves et al. 2008; Du et al. 2018)

Biojätteiden materiaalihyödyntäminen on tärkeää ravinnekierron kannalta. Ravinteiden kierrätys vähentää mineraalilannoitteiden tarvetta. Korvaamalla mineraalilannoitteita orgaanisilla lannoitevalmisteilla, voidaan vähentää luonnonvarojen käyttöä ja kasvihuonekaasupäästöjä (Hernández et al. 2016). Erityisen suuressa roolissa on fosforin kierrätys, sillä fosforivarannot uhkaavat loppua 50–100 vuoden kuluttua (Cordell et al. 2009). Haasteena biojätekompostin lannoituskäytössä on, että suuri osa kompostin ravinteista on kasveille epäedullisessa orgaanisessa muodossa ja vapautuu käyttöön vasta pidemmän ajan kuluessa (Hernández et al. 2016).

Orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotantoa ja käyttöä ohjataan lainsäädännön avulla. Orgaanisella lannoitevalmisteella tulee olla kasvin kasvua edistävä vaikutus. Vaikutus voi perustua ravinteisiin, maaperän laadun parantamiseen tai biologisten prosessien tehostumiseen. Lisäksi kompostin tulee täyttää asetetut laatukriteerit esimerkiksi kypsyyden, hygieenisyyden ja haitta-aineiden osalta. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11)

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kompostoidun biojätteen mahdollista jatkokäyttöä ja tuotteistamista maanparannusaineeksi tai muuksi lannoitevalmisteeksi. Työssä selvitetään kompostin lannoitekäytön toteutettavuutta joko yksin tai yhdessä mineraalilannoitteen kanssa. Tärkeimpänä tutkimusmenetelmänä käytetään kasvatuskokeita, joissa Mustankorkea Oy:n biokompostia testataan eri pitoisuuksilla ja tarkastellaan kompostin vaikutusta eri tyyppisten kasvien itämiseen ja kasvuun. Työssä biojätekompostille laaditaan käyttösuositukset sekä arvioidaan voisiko kompostia käyttää maanparannukseen ja mineraalilannoitteiden korvaamiseen.

2. BIOJÄTTEEN KÄSITTELY

Biojätteellä tarkoitetaan biologisesti hajoavaa elintarvike- ja keittiöjätettä, joka syntyy kotitalouksissa, ravintoloissa, ateriapalveluissa, vähittäisliikkeissä ja elintarviketuotannossa sekä biohajoavaa puutarha- ja puistojätettä (Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012). Biojätettä syntyy elintarvikeketjun useissa eri vaiheissa. Biojätteen koostumus vaihtelee tyypillisesti sijainnin, vuodenajan, elintason, liiketoiminnan ja kulutettavan ruoan mukaan (Khanal et al. 2010, s. 51). Monissa EU-maissa biojätteen erilliskeräys on yleinen käytäntö, erilliskerättyä biojätettä voidaan käsitellä biologisissa käsittelylaitoksissa esimerkiksi kompostoimalla tai mädättämällä (Malamis et al. 2017).

2.1 Biojätteen koostumus ja ominaisuudet

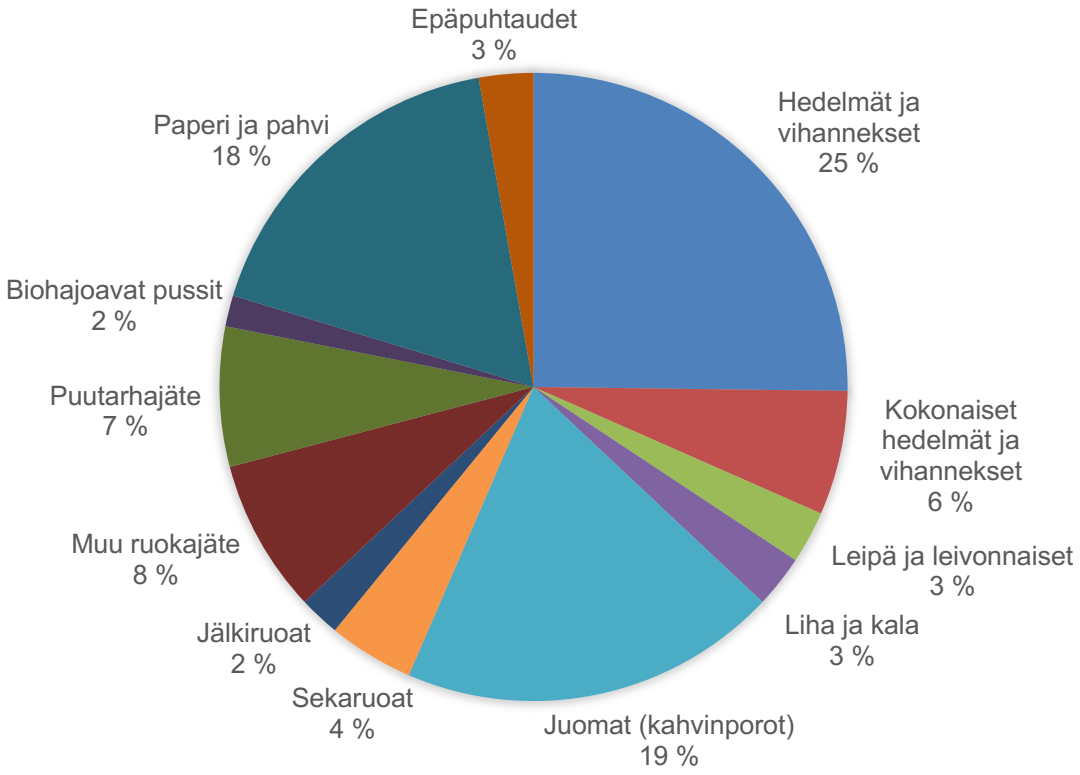
Biojätteen erilliskeräys on tärkeää materiaalin puhtauden kannalta. Biojätteessä ei saa esiintyä liikaa epäpuhtauksia, jotta se soveltuu lähtöaineeksi mädätysprosessiin ja kompostointiin. Epäpuhtauksilla tarkoitetaan biojätteeseen kuulumattomia aineita kuten eibiohajoavaa muovia ja lasia. Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa laitokselle teknisiä häiriöitä sekä haitata lopputuotteen käyttöä lannoitevalmisteena. (Wellinger et al. 2013, s. 30–31; Malamis et al. 2017) Suomessa kotitalouksien biojätteet kierrätetään tyypillisesti biojätepusseissa tai sanomalehdissä. Lisäksi keräysastian sisällä voi olla suuri biohajoava muovipussi (Heaven et al. 2011).

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) on vuonna 2015 teettänyt selvityksen pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumuksesta (Kontturi 2016). Tutkimuksessa tarkasteltiin biojätettä jätteen tuottajien mukaan kolmessa eri ryhmässä: kotitaloudet, muut HSY:n asiakkaana olevat jätteen tuottajat (mm. koulut, sairaalat, vanhainkodit ja kirkot) ja teollisuusbiojäte, jolla tarkoitetaan muuta paikallisella jäteasemalla (Ämmässuolla) käsiteltävää biojätettä esimerkiksi kaupan ja teollisuuden alalta. Noin 25 % biojätteestä koostui teollisuusbiojätteestä ja loput 75 % suurimmaksi osaksi kotitalouksien biojätteestä (Kontturi 2016).

HSY:n tutkimuksen mukaan erilliskerätystä biojätteestä 70–85 paino-% oli keittiöbiojätettä eli ruokahävikistä tai ruoanvalmistuksesta syntyvää jätettä. Ruokahävikki sisältää esimerkiksi pilaantuneita ruokia, nahistuneita kasviksia, ruoantähteitä sekä homeista leipää. Ruoanvalmistuksessa syntyvään biojätteeseen voidaan luokitella esimerkiksi kahvinporot, hedelmien ja kananmunan kuoret sekä kalan perkuujäte. Kotitalouksien biojät-

teessä suurin yksittäinen jae oli ruoanvalmistuksen jätteet. Muiden jätteen tuottajien biojätteestä sekä teollisuusbiojätteestä yli puolet tuli ruokahävikistä. Ainoastaan kotitalouksissa kerätyssä biojätteessä oli merkittävä määrä (13 %) puutarhajätettä. Tutkimus on tehty syyskuussa ja suurin osa (87 %) puutarhajätteestä oli pihoilta kerättyjä pilaantuneita omenoita. Tuloksissa tulee huomioida omenasadon aika ja se, että Suomessa puutarhajätettä syntyy talvella huomattavan vähän. Ruokajätteen lisäksi kaikissa tutkimusryhmissä merkittävä jae oli kompostoituva paperi ja pahvi, jota oli biojätteestä 6–12 %. Tutkimuksessa kotitalouksien biojätteessä oli keskimäärin 3 % epäpuhtauksia eli biojätteeseen kuulumattomia aineita. Muiden jätteiden tuottajien biojäte sisälsi epäpuhtauksia noin 1 % ja teollisuudesta kerätty biojäte 5 %. Kaikissa ryhmissä epäpuhtauksista merkittävin osa (45–74 %) oli ei-biohajoavaa muovia. Tutkimuksen mukaan myös 37 % kotitalouksien sekajätteestä oli biojätettä. (Kontturi 2016)

Toisessa tutkimuksessa (Heaven et al. 2011) biojätenäyte otettiin Forssan jätteenkäsittelylaitokselta. Laitoksella käsitellään 14 kunnan jätteet kotitalouksista, kaupoista, pitopalveluilta ja ravintoloista. Näyte otettiin kotitalouksien erilliskerätystä biojätteestä maaliskuussa 2011. Tutkitun näytteen massa oli 90 kg. Tuloksena saatu biojätteen koostumus on painon mukaan esitettynä Kuvassa 1.



Kuva 1. *Biojätteen koostumus painoprosentteina Forssan jätteenkäsittelylaitoksella (muokattu lähteestä Heaven et al. 2011).*

Biojätteestä noin 73 % oli keittiöbiojätettä. Muut suuret jakeet olivat paperi ja pahvi (18 %) sekä puutarhajäte (7 %). Keittiöbiojätteestä lähes puolet oli hedelmiä ja vihanneksia. Myös juomien osuus biojätteessä on suuri. Juomat koostuivat lähinnä kahvinporoista ja pienissä määrin teelehdistä. Epäpuhtaudet koostuivat muun muassa muovipusseista, lasista ja kissanhiekasta (Heaven et al. 2011). Samassa tutkimuksessa määritettiin myös biojätteen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia laboratorioanalyysien avulla (Taulukko 1). Myös HSY:n tutkimuksessa (Kontturi 2016) suoritettiin laboratorioanalyysejä, jotta saatiin tietoa mädätysprosessin kannalta merkittävistä ominaisuuksista (Taulukko 1). Taulukossa 1 esitetään vertailun vuoksi vastaavat ominaisuudet biojätteelle Iso-Britanniassa, arvot ovat keskiarvoja viidestä näytteestä, jotka on kerätty eri puolilta maata.

Taulukko 1. *Kotitalouksien biojätteen ominaisuudet Suomessa ja Iso-Britanniassa.*

		Forssa[a]	Pääkaupunkiseutu[b]	UK[a]
pH		5,3	-	5,1
TS	%	27,0	25,5	25,5
VS	% TS	92,3	-	92,2
Lipidit	% VS	15,6	-	15,1
Proteiinit	% VS	16,2	-	20,8
N	% TS	2,5	2,5	3,1
P	g/kg TS	2,7	2,8	4,5
K	g/kg TS	10,0	10	11,9
C	% TS	49,4	48,4	50,0
C/N		20,1	19,4	16,3

[a] Heaven et al. 2011, [b] Kontturi 2016
-, ei analysoitu

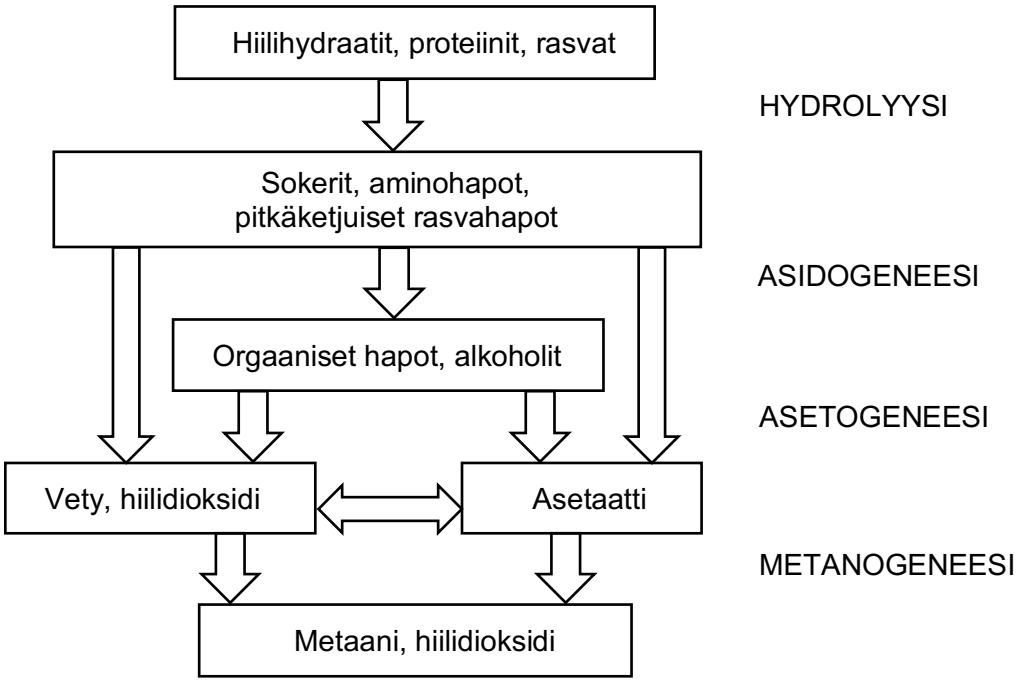
Suomessa syntypaikkalajitellut biojätteet ovat tyypillisesti hieman happamia (pH 4,5–6), sillä jätteen biologinen hajoaminen alkaa jo keräyksen ja kuljetuksen aikana (Toukola et al. 2011). Biojätteen kuiva-ainepitoisuus (TS) oli noin 26 %. Biojätteen kuiva-aineesta yli 90 % oli orgaanista ainesta (VS). Biojätteen ravinteet typpi (N), fosfori (P) ja kalium (K) vaikuttavat prosessin lisäksi merkittävästi myös käsitellyn biojätteen jatkokäyttöön. Hiilen ja typen suhde (C/N) on tärkeä sekä mädätystoiminnan että kompostointiprosessin kannalta. (Diaz et al. 2007; Kontturi 2016). Taulukon 1 perusteella biojätteen koostumus tutkimusten välillä näyttää melko samalta eikä ominaisuuksissa ole merkittäviä eroja. Iso-Britanniassa biojäte sisälsi hieman enemmän proteiinia, joka nosti typpi- ja fosforipitoisuutta.

Biojäte koostuu pääosin elintarvikkeista, jolloin haitallisten aineiden (esim. raskasmetallien) esiintyminen suurissa pitoisuuksissa on epätodennäköistä. HSY:n selvityksessä raskasmetallipitoisuudet olivat alhaisia, jolloin ne eivät vaikuta lopputuotteen käyttöön tai käsittelyn onnistumiseen (Kontturi 2016). Tyypillisesti mahdolliset haitta-aineet analysoidaan vasta lopputuotteesta kuten lannoitukseen käytettävästä kompostista (Laitinen et al. 2014).

2.2 Mädätys

2.2.1 Mädätysprosessi

Mädätys on biologinen prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta anaerobisissa eli hapettomissa oloissa. Hajoamisen seurauksena muodostuu pääosin metaanista (CH_4) ja hiilidioksidista (CO_2) koostuvaa biokaasua sekä biologisesti stabiili mädätysjäännös. Anaerobinen hajoaminen koostuu neljästä vaiheesta: hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi (Kuva 2). (Khanal et al. 2010, s. 44; Tambone et al. 2010)



Kuva 2. *Anaerobinen hajoaminen (muokattu lähteistä Khanal et al. 2010; Wellinger et al. 2013).*

Anaerobisen hajoamisen ensimmäisessä vaiheessa, hydrolyysissä, monimutkaiset ja liukenemattomat orgaaniset aineet hajotetaan yksinkertaisempaan muotoon. Hydrolyysi on solunulkoista, sillä partikkelit eivät pääse mikrobien sisään. Proteiinit hajoavat aminohapoiksi, hiilihydraatit liukoisiksi sokereiksi ja lipidit pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi ja

glyseroliksi. (Khanal et al. 2010, s. 44; Christensen 2011, s. 586) Hydrolyysi on usein hajoamisen nopeutta rajoittava vaihe, varsinkin jätteille, joiden kuiva-ainepitoisuus on suuri (Khanal et al. 2010, s. 44; Zhang et al. 2019).

Asidogeneesin aikana vesiliukoiset sokerit ja aminohapot muutetaan haihtuviksi rasvahapoiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Aminohappojen hajotessa muodostuu ammoniakkia (NH_3). Pitkäketjuisia rasvahappoja ei muunneta asidogeneesissä, vaan ne hapetetaan asetogeneesissä. (Christensen 2011, s. 587) Suurin osa asidogeneesin lopputuotteista on haihtuvia rasvahappoja, kuten propionaatti ja butyraatti. Lopputuotteet vaihtelevat syötteen, bakteerien ja ympäristön olosuhteiden mukaan. (Khanal et al. 2010, s. 44; Wellinger et al. 2013, s. 106–107)

Asetogeneesin bakteerit muuttavat haihtuvat rasvahapot ja alkoholit asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Lisäksi homoasetogeeniset bakteerit muodostavat asetaattia vedystä ja hiilidioksidista. (Khanal et al. 2010, s. 44) Metaanin muodostuksen viimeinen vaihe on metanogeneesi. Metaania tuotetaan pääasiallisesti asetaatista tai hiilidioksidista ja vedystä. Noin 70 % metaanista tuotetaan asetaatista pilkkomalla ja loput hiilidioksidin pelkistämisestä vedyllä. (Khanal et al. 2010, s. 45; Wellinger et al. 2013, s. 107)

2.2.2 Biojätteen mädätykseen vaikuttavat tekijät

Biojätteen ominaisuudet (Taulukko 1) vaikuttavat suuresti prosessin suunnitteluun ja metaanin tuottoon. Kotitalouksien biojätteet ovat yleensä hyvin biohajoavia (Khanal et al. 2010, s. 51). Suuri lipidipitoisuus voi haitata mädätysprosessia, sillä lipidien hydrolyysistä syntyvät pitkäketjuiset rasvahapot inhiboivat metanogeneesia (Christensen 2011, s. 587). Toisaalta lipidien energiapitoisuus on suuri ja lipidipitoisuuden ollessa biojätteessä 20–30 % vaikutus on prosessin kannalta positiivinen (Khanal et al. 2010, s. 51). Myös suuri proteiinipitoisuus saattaa inhiboida metaanin muodostusta ammoniakin muodostumisen vuoksi (Christensen 2011, s. 587).

Mädätyksen optimaalinen C/N-suhde on 20:1–30:1 (Khanal et al. 2010, s. 52; Wellinger et al. 2013, s. 34). Suomessa biojätteen C/N-suhde on noin 20 (Taulukko 1) eli hieman optimaalista alhaisempi, mutta ei kuitenkaan mädätyksen kannalta kriittisen alhainen (Kontturi 2016). Liian alhainen C/N (10–15) vapauttaa typpeä, joka kertyy ammoniakkina. Korkea ammoniakkipitoisuus nostaa pH:ta ja inhiboi mädätysprosessin toimintaa. Yleensä prosessin pH pyritään pitämään välillä 6,5–7,5. (Khanal et al. 2010, s. 52–53; Kontturi 2016) Asidogeenit toimivat usein happamissakin olosuhteissa, mutta metaania tuottavat mikrobit toimivat parhaiten neutraaleissa oloissa pH:n ollessa 6,7–7,4 (Khanal et al. 2010, s. 53; Wellinger et al. 2013, s. 34).

Mädätys vaatii toimiakseen riittävästi ravinteita, joista tärkeimpiä ovat typpi, hiili, fosfori, rikki, natrium, kalium, kalsium, magnesium ja rauta. Usein orgaaninen jäte sisältää kaikkia mikrobien tarvitsemia ravinteita. (Christensen 2011, s. 595; Kontturi 2016) Tutkimusten mukaan tiettyjen hivenaineiden puuttuminen saattaa kuitenkin haitata prosessia. Banks et al. (2012) tutkimuksen mukaan biojätteen mädätyksessä seleenin ja koboltin alhaiset pitoisuudet rajoittivat prosessia. Toisessa tutkimuksessa koboltin, molybdeenin, nikkelin ja raudan puute heikensi prosessin toimintaa (Zhang et al. 2012).

2.2.3 Prosessiteknologiat

Mädätysprosessit voidaan jakaa syötteen kuiva-ainepitoisuuden perusteella märkä- ja kuivamädätykseen. Kuivamädätyksessä biomassan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 25–40 % ja märkämädätyksessä alle 15 % (Khanal et al. 2010, s. 58). Erilliskerättyä biojätettä voidaan käyttää raaka-aineena sekä märkämädätyslaitoksissa että kuivamädätyslaitoksissa. Tällä hetkellä märkämädätys on Suomessa enemmän käytetty tekniikka (Huttunen et al. 2018). Kuivamädätyksen etuna on pienemmät reaktoritilavuudet sekä jäteveden määrän väheneminen. Kuivaprosessi voidaan toteuttaa joko panos- tai jatkuvatoimisena, kun taas märkäprosessi on yleensä jatkuvatoiminen. (Braguglia et al. 2018)

Mädätysprosessit voidaan luokitella myös prosessilämpötilan mukaan. Mesofiilinen prosessi toimii 35–40 °C lämpötilassa ja termofiilinen välillä 50–55 °C. Mesofiilinen mädätys on yleisempi sen pienen energiantarpeen ja stabiilisuuden vuoksi. (Braguglia et al. 2018) Termofiilisen mädätyksen suurin etu on patogeenien tehokas tuhoaminen (Christensen 2011, s. 597). Syöteseoksen tyypillinen hydraulinen viipymäaika (HRT) suomalaisilla biokaasulaitoksilla on 12–30 d. Termofiilinen prosessi voi lyhentää viipymää joillakin päivillä. (Pirkkamaa 2014)

Esikäsittelyn tarve riippuu kerätystä jätteestä ja prosessin asettamista vaatimuksista. Tyypillisesti käsittely aloitetaan murskaimella pussien avaamiseksi ja suurten kappaleiden pienentämiseksi. Murskauksen jälkeen metallit poistetaan magneettisella erottimella. Laitteistoa kuluttavat raskaat materiaalit voidaan poistaa painovoiman avulla. Myös muovi tai muu kevyt materiaali voidaan erotella painovoiman avulla ja seulomalla. Jäte vaatii hygienisoinnin, jos mädätysjäännöstä aiotaan käyttää maataloudessa. Hygienisointiin liittyvät rajoitukset vaihtelevat maiden välillä. Hygienisointi on mahdollista suorittaa ennen mädätystä, sen aikana tai sen jälkeen. Tyypillisesti hygienisointi tehdään osana esikäsittelyä ennen prosessiin syöttöä. Hygienisoinnissa biojäte kuumennetaan 70 °C lämpötilaan tunnin ajaksi, jotta patogeenit tuhoutuvat. (Christensen 2011, s. 607–609)

2.2.4 Mädätysjäännös

Prosessin syöte vaikuttaa oleellisesti mädätysjäännöksen ravinnepitoisuuteen, sillä mädätysjäännös sisältää lähtöaineen ravinteet (Wellinger et al. 2013, s. 270). Anaerobisen hajoamisen aikana alkuainekoostumus muuttuu lähinnä typen ja hiilen suhteen. Biojätteessä typpi on orgaanisessa muodossa, mutta mädätyksen aikana osa typestä muuttuu ammoniumtypeksi. Mädätysjäännöksessä noin puolet typestä on kasveille helposti saatavassa muodossa ammoniumtyppenä (NH_4^+) ja puolet orgaanisena typpenä. Prosessiin menevästä hiilestä noin 75 % poistuu kaasuna ja loput 25 % jää mädätysjäännökseen lähinnä orgaanisena hiilenä. (Christensen 2011, s. 620)

Mädätysjäännöstä voidaan joissain tapauksissa käyttää suoraan maan lannoitukseen, mutta monesti sitä käsitellään ennen hyödyntämistä. Esimerkiksi panostoimisen kuivaprosessin mädätysjäännös voi olla huonosti hajonnutta ja jatkokäsittelyksi suositellaan kompostointia. Myös laitoskoon kasvaessa jatkokäsittely on tarpeen materiaalivirtojen helpomman hallinnan vuoksi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015) Käsittelymenetelmä riippuu halutusta jatkokäytöstä. Mädätysjäännöksen käsittely aloitetaan useimmiten erottamalla kiinteä ja nestemäinen jae toisistaan. Kiinteä jae voidaan esimerkiksi kompostoida, jolloin lopputuotetta voidaan käyttää kuten muitakin kompostituotteita. Myös nestemäistä jaetta voidaan hyödyntää lannoituskäytössä. (Wellinger et al. 2013, s. 281)

Jotta mädätysjäännöstä voidaan käyttää lannoitukseen ilman jatkokäsittelyä, sen tulee olla korkealaatuista eikä siinä saa esiintyä patogeenejä, epäpuhtauksia tai ympäristölle haitallisia aineita. Mädätysjäännöksen laatua ja käyttöä lannoitteena tai maanparannusaineena säädellään lakien avulla. Ennen lannoitekäyttöä mädätysjäännöksen ominaisuudet tulee analysoida. Lannoitekäytössä tulee noudattaa kansallista lainsäädäntöä, jossa on määritetty typen ja fosforin käyttörajoitukset hehtaaria kohti. (Wellinger et al. 2013, s. 268–271)

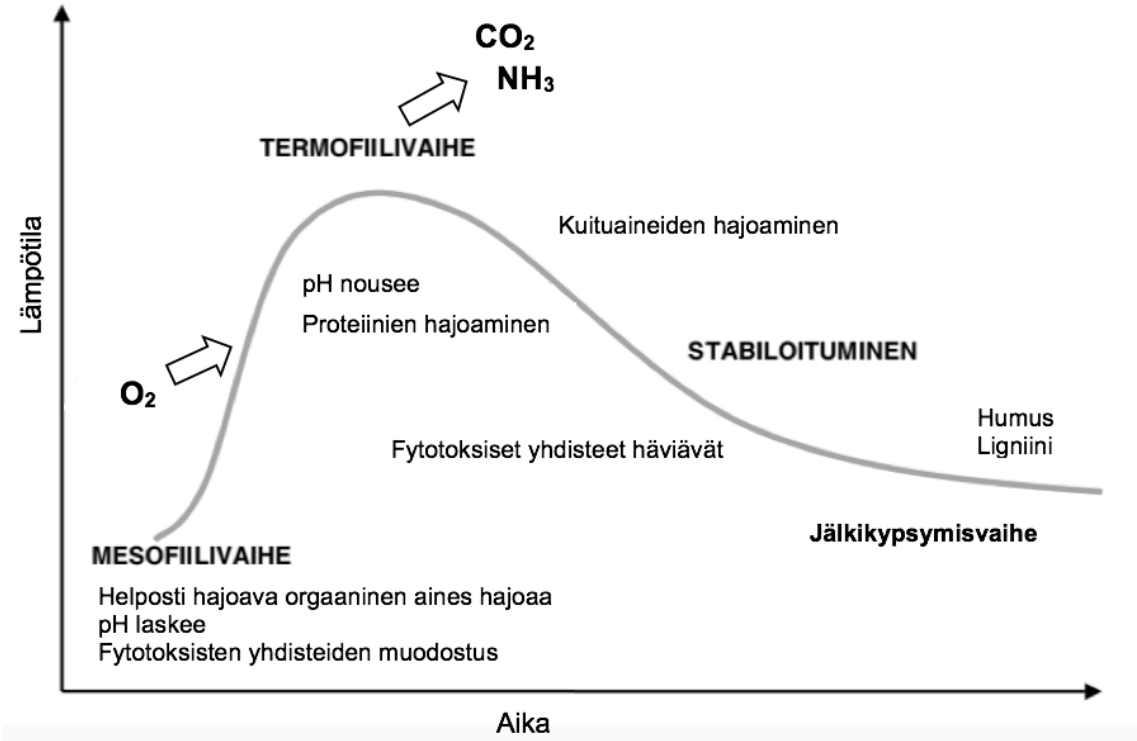
Mädätysjäännöksen liukoinen ammoniumtyppi lisää typen lyhytaikaista vaikutusta maaperässä parantaen kasvien kasvua pian lannoituksen jälkeen. Mädätysjäännöksen sisältämä orgaaninen typpi tuo pitkäaikaista ravinnevaikutusta. Mädätysjäännös saattaa myös lisätä kasvien itävyyttä ja juurien kasvua sekä parantaa maaperän rakennetta ja vesitasapainoa. Mädätysjäännöksen liiallisella käytöllä voi olla haittavaikutuksia kuten liiallinen mikrobiaktiivisuus tai raskasmetallien kertyminen maaperään. Biojäteperäisen mädätysjäännöksen lannoituskäytöllä on rairuohon kasvatuskokeissa saatu mineraalilannoitteisiin verrattuna samoja ja jopa parempia satoja. (Tampio et al. 2016)

2.3 Kompostointi

2.3.1 Kompostoitumisprosessi

Kompostointi on orgaanisen aineksen hajoamista aerobisissa eli hapellisissa olosuhteissa. Kompostoinnin lopputuotteena saadaan ravinnepitoinen ja biologisesti stabiili komposti, jota voidaan käyttää esimerkiksi lannoitukseen. Kompostoinnin aikana mikrobit muuttavat hajoavan orgaanisen aineksen pysyvämpään humusmuotoon sekä vedeksi, hiilidioksidiksi ja ammoniakiksi samalla vapauttaen lämpöä. Hajoamiseen vaikuttavat syöttömateriaali ja prosessin käyttöolosuhteet. (Cesaro et al. 2015)

Mikrobibiomassan bakteerit, sädesienet ja sienet vastaavat orgaanisen aineen hajotuksesta. Tavallisesti kompostoitumisprosessiin osallistuvat mikrobit löytyvät lähtöaineesta. Kompostointi voidaan jakaa lämpötilan perusteella eri vaiheisiin (Kuva 3). Kompostoinnin ensimmäinen vaihe on mesofiilinen (25–40 °C). Tässä vaiheessa mesofiiliset bakteerit ja sienet hajottavat sokereita ja muuta helposti hajoavaa orgaanista ainesta. Mikrobitoiminta tuottaa lämpöä, joka nopeuttaa edelleen hajoamista. (Diaz et al. 2007; Christensen 2011, s. 515–517)



Kuva 3. *Kompostointiprosessin vaiheet (muokattu lähteestä Itävaara et al. 2006).*

Muutaman päivän kuluessa kompostointi etenee termofiiliseen vaiheeseen, jonka aikana lämpötila voi nousta jopa 70 °C asti. Lämpötilan noustessa, suurin osa mesofiilisistä mikrobeista tuhoutuu ja korvautuu termofiilisillä organismeilla. Proteiinien hajotessa osa typestä haihtuu ammoniakkina (NH_3). Termofiilisessä vaiheessa patogeenit vähenevät korkean lämpötilan ansiosta. (Albers et al. 2003; Christensen 2011, s. 515–517) Samaa lämpötilaa ei saavuteta joka puolella kompostia, joten kompostia täytyy kääntää säännöllisesti patogeenien tuhoutumisen varmistamiseksi. Yleensä kompostoitumista kontrolloidaan rajoittamalla prosessin lämpötilaa ja termofiilisen vaiheen kestoa (Christensen 2011).

Mikrobitoiminnan ja ravinteiden saatavuuden vähentyessä, kompostin lämpötila laskee jälleen mesofiiliselle alueelle. Kolmatta vaihetta kutsutaan jäähtymiseksi tai stabiloitumiseksi. Jäähtymisvaiheessa mesofiiliset organismit asuttavat kompostin uudelleen. Tämän vaiheen aikana tapahtuu hitaasti hajoavien yhdisteiden kuten selluloosan hajoamista. Stabiloitumista seuraa vielä jälkikypsymisvaihe. Sen aikana sienien osuus tyypillisesti kasvaa ja bakteerien määrä laskee. Kypsymisen aikana muodostuu yhdisteitä, jotka eivät voi enää hajota pidemmälle, kuten ligniini ja humus. (Itävaara et al. 2006; Diaz et al. 2007) Biojätteen kypsymisvaihe kestää tyypillisesti 2–10 kuukautta. Kompostin valmiusastetta kuvaa stabiilisuus ja kypsyys. (Christensen 2011)

Lämpötilan lisäksi kompostointiprosessia voidaan seurata mittaamalla pH-arvoa. Alussa kompostin pH laskee hieman orgaanisten happojen muodostuksen seurauksena. pH alkaa nousta nopeasti happoja hyödyntävien mikrobien lisääntyessä ja proteiinien hajotessa. Kypsän kompostin pH on tavallisesti 7–8. Kompostoinnin aikana myös typpiyhdisteissä tapahtuu muutoksia. Kompostin kypsyessä tapahtuu nitrifikaatio eli ammoniumtyppi hapettuu kasveille käyttökelpoiseen muotoon nitraattitypeksi. Osa typestä haihtuu ammoniakkina termofiilisessä vaiheessa. Kompostin kypsyyttä voidaankin arvioida mittaamalla nitraatti- ja ammoniumtypen suhdetta (NO_3-N/NH_4-N). (Albers et al. 2003; Itävaara et al. 2006) Kompostin kypsyyden arviointia kuvataan tarkemmin myöhemmissä luvuissa.

2.3.2 Kompostointiin vaikuttuvat tekijät ja käytetyt tekniikat

Kompostoitavan materiaalin ominaisuudet, erityisesti ravinteiden saatavuus ja pitoisuudet sekä ravinnetasapaino, määrittelevät kompostointiprosessin toteutuskelpoisuutta. Mikrobien vaatimat makroravinteet ovat hiili, typpi, fosfori ja kalium. Näiden lisäksi vaaditaan myös useita mikroravinteita. (Diaz et al. 2007) Lähtömateriaalin optimaalinen C/N-suhde kompostoinnille on 25–30. Suhteen ollessa liian korkea, mikrobiaktiivisuus vähenee typen puutteen vuoksi ja kompostoituminen hidastuu. Liian alhainen C/N-suhde

(alle 20) aiheuttaa ravinteiden menetystä ylimääräisen typen haihtuessa ammoniakkina. Lopputuotteen vähentynyt typpipitoisuus voi rajoittaa sen lannoitekäyttöä. Lisäksi ammoniakin haihtuminen aiheuttaa päästöjä ja hajuhaittaa. (Diaz et al. 2007; Christensen 2011, s. 527) Kompostin C/N-suhdetta voidaan tasapainottaa hitaasti hajoavilla tukiaineilla. Tukiaine voi olla esimerkiksi puuhaketta, puunkuorta tai sahanpurua. Tukiaine parantaa myös ilman kiertoa ja kuivattaa kompostia. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999)

Ruoka- ja puutarhajätettä sisältävän biojätteen orgaanisesta aineesta noin 50 % hajoaa kompostoinnin aikana. Orgaanisen aineen hajoamiseen vaikuttaa lähtöaineen lisäksi käytetty tekniikka ja kompostoinnin kesto. Optimaalinen kosteuspitoisuus vaihtelee raaka-aineen ominaisuuksien perusteella välillä 40–70 %. (Christensen 2011, s. 539–540) Kosteuden ollessa liian alhainen, biologinen aktiivisuus pysähtyy ja tuloksena on biologisesti epästabiili komposti. Kompostoitavan jätteen suuri kosteuspitoisuus taas vähentää hapen saatavuutta, jolloin prosessiin saattaa syntyä anaerobiset olosuhteet. Tällöin prosessi hidastuu ja lopputuote on heikkolaatuista. (Diaz et al. 2007, s. 56; Christensen 2011, s. 540)

Lähtöaineen lisäksi ympäristön olosuhteet (lämpötila, happipitoisuus, pH) vaikuttavat kompostointiin. Kompostointi on nopeinta lämpötilan ollessa 35–50 °C (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999). Patogeenien tuhoamiseksi vaaditaan kuitenkin korkeampaa lämpötilaa. Liian korkeat lämpötilat tuhoavat kompostin mikrobeja ja inhiboivat prosessia. Mikrobit vähenevät huomattavasti lämpötilan ylittäessä 60 °C ja vain harvat toimivat yli 75 °C lämpötilassa. Kompostointi vaatii toimiakseen myös riittävästi happea. Ilman saanti voidaan järjestää aktiivisella ilmastuksella, luonnollisella ilmanvaihdolla tai kääntämällä kompostia. (Christensen 2011, s. 542) Ilmanvaihdon avulla voidaan hallita myös lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta (Diaz et al. 2007, s. 55).

Tyypillisesti ennen kompostointia biojätteestä erotellaan biohajoamaton aines (esim. muovit ja metallit), joka voisi haitata prosessia tai heikentää lopputuotteen laatua (Malamis et al. 2017). Tarvittaessa jätettä voidaan murskata ja hienontaa pienemmäksi. Esikäsittelyvaiheessa biojätteeseen sekoitetaan tukiaine ja samalla voidaan säätää kosteuspitoisuutta ja C/N-suhdetta. Lopputuotetta voidaan vielä parantaa jälkikäsittelyn avulla. Useimmissa laitoksissa komposti seulotaan lopuksi suurimpien partikkeleiden poistamiseksi. Tässä vaiheessa voidaan myös käyttää vielä esimerkiksi ilmaerottelua muovin poistamiseksi. Erottelu on tehokkaampaa kompostin ollessa lähtömateriaalia kuivempaa. Joitakin käyttötarkoituksia varten kompostiin voidaan sekoittaa turvetta, hiekkaa tai muita lisäaineita. (Christensen 2011, s. 549)

Kompostointitekniikat voidaan jakaa aumakompostointiin ja reaktorikompostointiin. Aumakompostoinnissa materiaali kasataan pitkänomaisiksi aumoiksi tai kasoiksi kovalle alustalle. Aumojen ilmastus voidaan hoitaa kääntämällä aumoja säännöllisesti tai käyttämällä koneellista ilmastusta. (Diaz et al. 2007) Aumakompostointi on tyypillistä tuotantoeläinten lantaa ja jätevesilietteitä prosessoiville laitoksille (Tampio et al. 2018). Reaktorikompostointi voidaan toteuttaa esimerkiksi tunneli- tai rumpukompostointina. Kompostointi suljetussa reaktorissa mahdollistaa olosuhteiden paremman kontrolloinnin. Usein reaktorikompostoinnin lisäksi käytetään aumoja kompostin jälkikypsytykseen. (Diaz et al. 2007) Tunnelikompostointilaitokset käsittelevät usein biojätteitä sekä jätevesilietteitä (Tampio et al. 2018).

2.3.3 Mädätysjäännöksen kompostointi

Kompostointi on yleisin tapa käsitellä mädätysprosessissa syntynyt mädätysjäännös (Christensen 2011, s. 612). Mädätysjäännöksen käsittely aloitetaan erottamalla kuivajae ja nestemäinen jae toisistaan. Jakeiden erottamisessa suurin osa fosforista jää kuivajakeeseen. Samalla suurin osa typestä ja kaliumista siirtyy nestejakeeseen. Kuivajakeen käsittelyä voidaan jatkaa kompostoimalla tai kuivaamalla. (Wellinger et al. 2013, s. 282) Jälkikompostoinnin tavoitteena voi olla esimerkiksi lopputuotteen hygienisointi tai hyvälaatuisen maanparannuskompostin tuottaminen (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

Kuivajakeeseen täytyy lisätä orgaanista kuitumateriaalia kuten haketta ennen kompostointia. Tällä varmistetaan ilman pääsy massaan ja hapen riittävyys prosessissa. Mädätysjäännöksessä ei ole juurikaan helposti hajoavaa orgaanista ainesta jäljellä, jolloin kompostoituminen ei yleensä käynnisty ilman riittävää seosaineen lisäystä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015) Alhaisen biohajoavuuden lisäksi mädätysjäännöksen korkea kosteuspitoisuus ja alhainen C/N-suhde vaikeuttavat kompostointia (Zeng et al. 2016).

Kompostointi lisää yleisesti kuivajakeen ravinnepitoisuutta, mutta vähentää kuitenkin reilusti liukoisen typen pitoisuutta. Kompostoinnin aikana suuri osa ammoniumtypestä (NH_4^+) voi haihtua helposti ammoniakkina (Zeng et al. 2016). Knoop et al. (2018) totesi tutkimuksessaan, että kompostointi vähensi kasveille käyttökelpoisen typen pitoisuutta jopa 84 % tuoreeseen mädätysjäännökseen verrattuna. Ravinteiden lisäksi myös raskasmetallit kertyvät lopputuotteeseen mädätysjäännöksen kompostoinnissa.

3. BIOJÄTEKOMPOSTIN HYÖDYNTÄMINEN

Valmista biojätekompostia voidaan käyttää esimerkiksi maanparannukseen, maisemointiin ja kasvualustojen valmistukseen. Kompostin ominaisuudet vaikuttavat käyttökohteen valintaan. Erityisesti ravinteiden määrä ja saatavuus tulee ottaa huomioon. Kompostin kypsyys ja stabiilisuus ovat myös edellytyksiä maatalouskäytölle. Lainsäädäntö ja erilaiset asetukset ohjaavat kompostivalmisteiden käyttöä. Tuotteiden tulee täyttää asetetut laatukriteerit esimerkiksi hygieenisyyden ja haitta-aineiden osalta.

3.1 Lainsäädäntö

Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) edellyttää kuntaa, elinkeinotoiminnan harjoittajaa sekä muuta jätteen haltijaa järjestämään biojätteen erilliskeräys ja kierrätys. Biokaasu- ja kompostointilaitoksia koskeva lainsäädäntö asettaa vaatimuksia sekä jätteen käsittelylle että lopputuotteelle. Lannoitevalmisteiden tuotantoa ohjataan kansallisella ja EU-tasoisella lainsäädännöllä.

Yhdyskuntabiojäte sisältää eläinperäistä materiaalia ja se luokitellaan Euroopan parlamentin ja neuvoston (EY) sivutuoteasetuksen (N:o 1069/2009) mukaisesti luokan 3 eläinperäiseksi materiaaliksi. Sivutuoteasetusta täydentää komission asetus (EU) N:o 142/2011, jonka mukaan biokaasulaitoksella on oltava hygienisointiyksikkö ellei biojätettä ole hygienisoitu tai muulla sopivalla tavalla käsitelty jo aikaisemmassa vaiheessa. Kun luokan 3 ainesta käsitellään biokaasulaitoksessa, hygienisointi suoritetaan pitämällä materiaalia 70 °C lämpötilassa vähintään 60 minuutin ajan. Enimmäispartikkelikoko ennen yksikköön siirtämistä on 12 mm. Vaatimukset ovat samat myös kompostointilaitokselle, joka käyttää raaka-aineena luokkaan 3 kuuluvaa ainesta. Myös muiden hygienisointimenetelmien käyttö voidaan sallia, jos niiden osoitetaan vähentävän biologista riskiä riittävästi.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus (MMMa) lannoitevalmisteista (24/11) asettaa käsittelyvaatimuksia erilliskerätylle biojätteelle. Erilliskerätty biojäte on lämpökäsiteltävä kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan (partikkelikoko alle 12 mm) eli samoin kuin komission asetuksessa (EU N:o 142/2011). Vaihtoehtoisesti biojäte voidaan kompostoida niin, että massa saavuttaa vähintään 55 °C lämpötilan kosteuden ollessa vähintään 40 % vähintään kahden viikon ajan tai käyttämällä muuta kasvinsuojeluviranomaisen hyväksymää menetelmää.

Lannoitevalmistelaki (539/2006) säätelee lannoitevalmisteiden tuottamista ja käyttöä. Lain tavoitteena on edistää hyvälaatuisten ja kasvintuotantoon sopivien lannoitevalmisteiden tarjontaa samalla turvaten ympäristön ja elintarvikkeiden laatua. Lannoitevalmisteisiin kuuluvat lannoitteet, kalkitusaineet, maanparannusaineet, kasvualustat, mikrobivalmisteet sekä sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävät sivutuotteet. Lannoitevalmisteessa tulee olla kasveille hyödyllinen määrä ravinteita tai muita ominaisuuksia, jotka parantavat kasvuolosuhteita merkittävästi. Lannoitevalmistelain lisäksi niiden on täytettävä MMM asetuksessa 24/11 ja sivutuoteasetuksessa (EY N:o 1069/2009) määrätyt vaatimukset. Lannoitevalmisteen ohjeen mukaisesta käytöstä ei saa aiheutua vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle eikä vaaraa kasveille tai ympäristölle.

Tarkemmin lannoitevalmisteiden vaatimuksista säädetään MMM asetuksessa lannoitevalmisteista (24/11). Asetuksessa on ilmoitettu lannoitevalmisteiden enimmäispitoisuudet haitallisille metalleille (Taulukko 2) sekä taudinaiheuttajille ja epäpuhtauksille. Salmonellaa ei saa olla todettavissa 25 grammassa näytettä. *Escherichia colin* sallittu enimmäismäärä on 1000 pmy/g ja ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa kasvualustoissa 100 pmy/g. Roskien (lasi, metalli, muovi, luut, kivet) määrä saa olla pakatuissa tuotteissa enintään 0,2 % tuorepainosta ja pakkaamattomissa enintään 0,5 %. Lannoitteissa ei saa esiintyä rikkakasvin siemeniä, mutta maanparannusaineissa ja kasvualustoissa niitä voi olla. Pakatuissa tuotteissa rikkakasvin siementen enimmäismäärä on 2 itänyttä siementä litrassa ja pakkaamattomissa 5 itänyttä siementä litrassa tai tuoteselosteessa maininta ”tuote sisältää tuulilevitteisiä rikkakasvinsiemeniä”. Tuotteessa ei saa esiintyä kasvulliseen lisääntymiseen liittyviä osia kuten juuria.

Taulukko 2. *Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet lannoitevalmisteissa (MMMa 24/11).*

Alkuaine	Enimmäispitoisuus (mg/kg TS)
Arseeni (As)	25
Elohopea (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	1,5
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	600
Lyijy (Pb)	100
Nikkeli (Ni)	100
Sinkki (Zn)	1500

Lannoitteella tarkoitetaan kasvien kasvua tai sadon laatua edistävää valmistetta, jonka vaikutus perustuu kasvinravinteisiin tai muihin hyödyllisiin aineisiin (Lannoitevalmistelaki

539/2006). Orgaanisissa lannoitteissa pääravinteiden (N, P, K) yhteenlasketun kokonaispitoisuuden tulee olla vähintään 3,0 %. Orgaanisen maanparannusaineen tulee sisältää vähintään 20 % orgaanista ainetta hehkutushäviönä mitattuna. Maanparannusaineen tulee olla stabiili ja kypsä, jotta se soveltuu käyttöön. Lannoitevalmisteiden tuoteselosteessa tulee ilmoittaa käytetyt raaka-aineet sekä ravinteiden ja muiden ainesosien pitoisuudet. Tuoteselosteessa ilmoitetaan myös käyttösuositukset ja mahdolliset käyttöön liittyvät rajoitukset. (MMMa 24/11)

Heinäkuussa 2019 tuli voimaan uusi EU-asetus lannoitevalmisteista (2019/1009). Asetuksella yhdenmukaistetaan orgaanisista ja jätepohjaisista raaka-aineista valmistettavien lannoitteiden vaatimuksia EU:ssa. CE-merkityt ja vaatimukset täyttävät lannoitteet voidaan saattaa kotimaan lisäksi EU:n markkinoille. Asetusta sovelletaan 16.7.2022 alkaen. (Valtioneuvosto 2019) Asetuksessa säädetään muun muassa sallituista raaka-aineista, käsittelymenetelmistä ja lannoitevalmisteiden laadusta. Lannoitevalmisteille on asetettu samankaltaisia vaatimuksia kuin MMM asetuksessa (24/11) esimerkiksi haitallisten aineiden pitoisuuksista.

3.2 Kompostin ominaisuudet ja laadun arviointi

Kompostin laatua kuvaavia ominaisuuksia ovat kompostin kypsyys, stabiilisuus, hygieenisyys sekä raskasmetalli- ja ravinnepitoisuudet (Cerda et al. 2018). Kypsyys ja stabiilisuus ovat tärkeimmät edellytykset kompostin turvalliselle maatalouskäytölle. Stabiilisuus kuvaa kompostin hajoamisastetta ja mikrobiaktiivisuuden tasoa. Stabiilissa kompostissa hiilidioksidin tuotto ja hapenkulutus ovat alhaisella tasolla. Epästabiilin kompostin käyttö aiheuttaa kasveille hapenpuutetta mikrobiaktiivisuuden ollessa voimakasta. Epästabiili komposti aiheuttaa mahdollisesti myös ravinteiden puutosta niiden sitoutuessa mikrobibiomassaan eikä vapautuen kasvien käyttöön. (Itävaara et al. 2006; Cesaro et al. 2015) Kompostin kypsyys kuvaa humifikaation eli humuksen muodostumisen astetta. Kypsässä kompostissa ei ole fytotoksisia eli kasvien kasvulle haitallaisia yhdisteitä tai patogeenejä. (Cesaro et al. 2015) Peltoviljelyssä myös kypsymättömän kompostin käyttö on mahdollista, kun komposti sekoitetaan pintamaahan, jolloin fytotoksiset yhdisteet laimenevat ja hajoavat (Halinen et al. 2007).

Kompostin kypsyyttä ei voida arvioida vain yhden testin perusteella vaan on käytettävä useita menetelmiä. Kemiallisia menetelmiä kypsyyden arvioimiseksi ovat esimerkiksi pH:n, C/N-suhteen tai nitraattitypen ja ammoniumtypen suhteen määritys. Lisäksi kypsyyttä voidaan arvioida siementen itämiskokeiden tai kasvatustestien avulla sekä erilaisilla mikrobiaktiivisuustesteillä, jotka kuvaavat kompostin stabiilisuutta. (Itävaara et al. 2006) Taulukkoon 3 on koottu joitakin kypsän kompostin raja-arvoja eri menetelmillä.

Taulukko 3. *Kompostin kypsyyden arviointimenetelmiä.*

Menetelmä	Raja-arvo	Lähde
Hiilidioksidin tuotto	< 3 mg CO_2-C/g VS/d	MMMa 24/11
NO_3-N/NH_4-N	> 1	MMMa 24/11
Fytotoksisuusindeksi	> 80 %	MMMa 24/11
Hapen kulutus	< 30 mg O_2/g VS/ 4 d	Itävaara et al. 2006

Kompostin laatua ja käyttöä lannoitevalmisteena voidaan tutkia kasvatuskokeiden avulla. Kasvatuskokeissa saadaan tietoa lannoitevalmisteen vaikutuksesta kasvin kasvuun standardoiduissa olosuhteissa. Kompostin aiheuttamaa fytotoksisuutta arvioidaan tutkimalla kompostin vaikutusta kasvien itämiseen, kasvuun ja juurten muodostukseen. Suositusten mukaan testeissä tulisi käyttää vähintään kolmea eri tyyppistä kasvilajia, sillä yksittäisten lajien herkkyys ympäristöolosuhteisiin vaihtelee. (Itävaara et al. 2006) Kasvitesteissä on suositeltavaa olla mukana sekä yksisirkkainen että kaksisirkkainen kasvilaji (Salo et al. 2013). Kasvatuskokeisiin soveltuvia kasvilajeja on runsaasti, tyypillisiä lajeja ovat esimerkiksi yksisirkkaiset ohra ja vehnä sekä kaksisirkkaiset kiinankaali, retiisi, krassi ja salaatti. (Itävaara et al. 2006)

Valmiin kompostin ravinnepitoisuudet riippuvat kompostoinnin raaka-aineesta. Kompostoinnin aikana orgaanisen aineksen osuus kuiva-aineesta pienenee, jolloin tapahtuu ravinteiden ja raskasmetallien konsentroitumista (Christensen 2011, s. 571) Himanen & Hänninen (2011) tutkimuksessa raskasmetallipitoisuudet kasvoivat 0–30 % biojätteen kompostoinnin aikana. Pitoisuudet eivät ylittäneet Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (24/11) raja-arvoja (Taulukko 2). Kypsässä kompostissa on tyypillisesti paljon humusta ja korkea pH, jotka vähentävät raskasmetallien saatavuutta (Hargreaves et al. 2008).

Typpeä pidetään kasveille tärkeimpänä ravinteena (Courtney & Mullen 2008). Biojätekompostissa suurin osa typestä on orgaanisessa muodossa. Liukoisen typen osuus biojätekompostin kokonaistypestä on tyypillisesti alle 10 % (Dimambro et al. 2007; Halinen et al. 2007, s. 43–44). Kompostin liukoinen kokonaistyppi muodostuu ammonium- ja nitraattitypestä sekä liukoisiin pieniin orgaanisiin yhdisteisiin kiinnittyneestä typestä. Biojätekompostissa liukoinen typpi on lähes kokonaan nitraattimuodossa. (Luostarinen 2011)

Vain liukoinen typpi on kasveille suoraan käyttökelpoisessa muodossa. Orgaanisen aineksen hajoaminen eli mineralisaatio vapauttaa ravinteita epäorgaanisessa muodossa kasvien käyttöön. Typen mineralisaatio on hidasta ja orgaaninen typpi vapautuu useamman vuoden kuluessa. (Christensen 2011) Orgaanisen typen mineralisaatioon vaikuttaa muun muassa raaka-aineen C/N-suhde, kompostointiolosuhteet, kompostin kypsyys sekä maaperän lämpötila, kosteus ja koostumus. Koska vain osa biojätekompostin typestä on kasvien käytettävissä ensimmäisenä vuonna, kompostia lisätään joskus maaperään suuriakin määriä. Tämä saattaa aiheuttaa muiden ravinteiden ja hivenaineiden liian korkeita pitoisuuksia. (Hargreaves et al. 2008; Lillywhite et al. 2009)

Jos halutaan selvittää typen saatavuutta kompostissa, kasvatuskokeet voidaan toteuttaa lisäämällä orgaanista lannoitetta niin, että saavutetaan tietty kokonaistyppipitoisuus (Odlare et al. 2011; Tampio et al. 2016). Tätä varten kompostin typpipitoisuus ja typen muoto tulee ensin selvittää, jotta voidaan laskea kasvualustaan tarvittavan kompostin määrä. Tuloksia verrataan ilman lannoitusta kasvaneisiin näytteisiin sekä mineraalilannoitteella lannoitettuihin näytteisiin.

Kasveille ensimmäisenä vuonna käyttökelpoisen fosforin määrä biojätekompostissa on melko pieni. Kokonaisfosforista se on keskimäärin noin 15 % (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999). Tutkimusten mukaan fosfori ja kalium olivat biojätekompostissa hyvin saatavilla muihin orgaanisiin ja mineraalilannoitteisiin verrattuna (Mkhabela & Warman 2005; Odlare et al. 2011). Biojätekompostin kokonaiskaliumista kasveille käyttökelpoisessa muodossa on noin 40 % (Hargreaves et al. 2008).

Kompostoidun biojätteen pH on lopputuotteessa lähellä neutraalia (Tampio et al. 2018). Biojätekomposteilla on havaittu korkeita sähkönjohtavuuden arvoja. Sähkönjohtavuus liittyy maaperän liuenneiden aineiden pitoisuuteen ja sitä käytetään usein maaperän suolapitoisuuden mittarina. Useissa tutkimuksissa komposti lisäsi maaperän sähkönjohtavuutta. Kasvualustan liiallinen suolaisuus vaikuttaa kasveihin negatiivisesti ja joissain tutkimuksissa biojätekompostin suolaisuus inhiboi kasvien kasvua. (Hargreaves et al. 2008) Valmiin kompostin kosteuspitoisuuden tulisi olla noin 30–40 %. Suhteellisen alhainen kosteuspitoisuus estää stabiilin materiaalin biologisen aktiivisuuden ja helpottaa tuotteen varastointia ja kuljetusta. (Diaz et al. 2007, s. 57; Christensen 2011, s. 540)

3.3 Käyttö lannoitevalmisteena

3.3.1 Kasvualustat

Tutkimukset ovat osoittaneet, että kompostilla voidaan korvata ainakin osa kasvualustoissa tyypillisesti käytetystä turpeesta (Ribeiro et al. 2000; Garcia-Gomez et al. 2002; Ostos et al. 2008; Turunen et al. 2011). Kompostin suolaisuuden todettiin olevan pääasiallinen käyttöä rajoittava tekijä (Ribeiro et al. 2000; Garcia-Gomez et al. 2002). Kompostia voidaan lisätä kasvualustaan 10–50 tilavuusprosenttia riippuen kompostin ominaisuuksista ja kasvatettavista kasveista. Biojätekompostille lisäyksen tavallinen määrä on 20 %. (Christensen 2011, s. 663)

Kasvilajit vaativat keskenään erilaisia kasvualustoja. Viherympäristöliitto (VYL) on laatinut suositukset kasvualustojen ravinnepitoisuuksille eri käyttötarkoituksiin (Taulukko 4). Kompostoidusta biojätteestä valmistettujen kasvualustojen soveltuvuutta voidaan arvioida vertaamalla niiden ominaisuuksia eri kasvillisuustyyppien vaatimuksiin.

Taulukko 4. *Suositukset erilaisten kasvualustojen liukoisille ravinnepitoisuuksille, tavoitearvo korostettuna (VYL 2019).*

		Vaateliaat kasvit	Vaatimattomat kasvit	Karut tai kuivat kasvualustat
Johtokyky	mS/m	< 50	< 40	< 30
pH		5,5 < **6,5** < 7,1	5 < **6** < 7,1	4 < **5,5** < 7,1
Org. aines	paino-%	4 < **8** < 14	10 < **20** < 60	< **10** < 20
Tilavuuspaino	kg/m^3	640 < **1000** <	640 < **1000** <	760 < **1100** <
Kalsium	mg/l	1900 < **2700** < 4000	1000 < **2000** < 3000	250 < **500** < 1600
Fosfori	mg/l	5 < **20** < 30	5 < **10** < 25	3 < **5** < 20
Kalium	mg/l	150 < **250** < 450	75 < **200** < 300	50 < **100** < 180
Magnesium	mg/l	150 < **250** < 300	150 < **200** < 300	30 < **50** < 250
Rikki	mg/l	10 < **30** < 400	5 < **10** < 400	5 < **20** < 400
Boori	mg/l	0,4 < **0,6** < 3	0,4 < **0,6** < 3	0,2 < **0,3** < 2,5
Kupari	mg/l	2 < **3** < 50	2 < **3** < 50	2 < **3** < 50
Mangaani	mg/l	10 < **30** < 500	10 < **30** < 500	10 < **30** < 500
Sinkki	mg/l	2 < **3** < 50	2 < **3** < 50	2 < **3** < 50
Natrium	mg/l	< 200	< 100	< 100
Liukoinen typpi	mg/l	15 < **40** < 100	10 < **20** < 60	**10** < 20 <

3.3.2 Maanparannus ja maisemointi

Ensisijaisesti kompostia käytetään maataloudessa maanparannus tarkoitukseen. Jos komposti ei vaikuta suoraan kasvinravitsemuksellisesti, se katsotaan maanparannusaineeksi. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999) Maanparannusaineen tarkoituksena on parantaa kasvien kasvuedellytyksiä vaikuttamalla maaperän fysikaalisiin, kemiallisiin tai biologisiin ominaisuuksiin (MMMa 24/11).

Biojätekompostin suurimmat edut ovat orgaanisen aineen korkea pitoisuus ja alhainen irtotiheys (Hargreaves et al. 2008). Orgaanisen aineen lisäys parantaa maan mururakennetta, vedenpidätyskykyä sekä tehostaa mikrobitoimintaa. Suurin vaikutus maan mururakenteeseen on karkeilla ja vähäsavisilla mailla (Tampio et al. 2018). Suurin osa humusaineista on biojätekompostissa humushappoina, jotka parantavat maan puskurikykyä eli ehkäisevät äkillisiä pH-muutoksia maaperässä. Humus vaikuttaa myös maan kationinvaihtokapasiteettiin estäen ravinteiden huuhtoutumista. (Tontti & Mäkelä-Kurtto 1999; Hargreaves et al. 2008) Biojätekompostin lisäyksellä on monissa tutkimuksissa saatu aikaan maaperän pH:n nousua sopivammalle tasolle (Mkhabela & Warman 2005; Hargreaves et al. 2008).

Maanparannukseen soveltuvat parhaiten vähäravinteiset paljon orgaanista ainesta sisältävät kompostit, jolloin fosforipitoisuus ei rajoita levitysmääriä (Tampio et al. 2018). Maanparannustarkoituksessa kompostia lisätään tyypillisesti 2–4 cm paksuinen kerros, riippuen kompostin ravinnepitoisuudesta. Kompostikerros sekoitetaan maaperään noin 10–20 cm syvyydelle. Jos maaperä on hyvin köyhä, käsittely voidaan toistaa seuraavana vuonna. (Christensen 2011, s. 659–660)

Kompostia voidaan hyödyntää myös maisemointiin, sillä kompostin lisäys parantaa maaperän läpäisevyyttä ja näin vähentää eroosiota (Christensen 2011, s. 653). Esimerkiksi Kainuun ELY-keskuksen hankkeessa (Turunen et al. 2011) selvitettiin kompostin soveltuvuutta kaivosalueen maisemointiin. Hiekan kanssa sekoitettu komposti valui sadeveden mukana alas, kun taas pelkkä komposti pysyi selvästi paremmin paikoillaan rinteessä. Silmämääräisten tulosten perusteella kompostin todettiin olevan kemiallista lannoitetta parempi monipuolisen kasvillisuuden muodostumiselle. Kompostikerros esti sadeveden suoran pääsyn kivikerrokseen vähentäen happamien valumavesien määrää.

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

Biojätekompostin soveltuvuutta lannoitevalmisteeksi arvioitiin kasvatuskokeiden avulla. Kompostin vaikutusta testikasvien itämiseen ja kasvuun testattiin kompostin määrän ollessa 10–40 % kasvualustassa. Biojätekompostin lannoitekäyttöä testattiin sekä yksin että yhdessä mineraalilannoitteen kanssa. Kokeissa käytettiin Mustankorkea Oy:n valmistamaa biokompostia.

4.1 Biojätteen käsittely Mustankorkealla

Tämän työn kohteena oli Mustankorkea Oy, joka on Jyväskylän kaupungin sekä Laukaan, Muuramen ja Toivakan kuntien omistama jätehuoltoyhtiö. Mustankorkea vastaa jätteiden keräyksestä, vastaanotosta, käsittelystä ja hyödyntämisestä sekä jäteneuvonnasta. Vuonna 2018 Mustankorkea vastaanotti yhteensä 156 000 tonnia eri jätejakeita (Mustankorkea Oy 2019a).

Mustankorkealle tuodut biojätteet käsitellään kompostointilaitoksessa. Elokuusta 2019 alkaen biojätteet käsitellään ensin biokaasulaitoksessa ja sen jälkeen kompostointilaitoksessa. Kuivaprosessiin perustuva biokaasulaitos otettiin käyttöön vuonna 2017. Biokaasulaitoksessa käsitellään biojätteen lisäksi jätevedenpuhdistamoiden lietteitä ja vähäinen määrä lantaa. Laitoksen käsittelykapasiteetti on 19 000 tonnia vuodessa, josta biojätettä on noin 13 000 tonnia. (Mustankorkea Oy 2019b)

Kompostointilaitoksen käsittelykapasiteetti on yli 30 000 tonnia vuodessa. Kompostointilaitoksella käsitellään biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä ja jätevedenpuhdistamoiden lietteitä. Tarvittaessa kompostointilaitoksella voidaan käsitellä myös erilliskerättyä biojätettä. Biojätteet ja lietteet kompostoidaan erikseen. Biojätteeseen lisätään tukiaineeksi puuhaketta ja tarvittaessa turvetta, jonka jälkeen seos siirretään kompostointitunneliin. Tässä vaiheessa jokaiselle kompostipanokselle annetaan panosnumero. Biojätteen tunnelikäsittely laitoksessa kestää noin kaksi viikkoa. Tunnelikäsittelyn jälkeen kompostointia jatketaan kypsytyslaatoilla, jossa kompostia käsitellään omina panoksinaan noin kahden viikon ajan. Laitoskäsittelyn jälkeen kompostimassat siirretään aumoiksi jälkikypsytykseen asfalttikentälle. Yhteen aumaan mahtuu noin neljä panosta. Jälkikypsytyksen aikana aumoja käännetään ja seulotaan säännöllisesti. Jälkikypsytys kestää 6–12 kuukautta. (Mustankorkea Oy 2019c)

Kompostien käyttökelpoisuus ja kypsyys todetaan hygienia- ja ravinneanalyysien avulla. Eräkohtainen jäljitettävyys voidaan varmistaa panosseurannalla. Valmiista kompostista valmistetaan multatuotteita ja sitä voidaan käyttää maanparannusaineena. Multatuotteiden valmistuksessa kompostoituun biojätteeseen lisätään maa-aineksia, turvetta ja kalkkia. Kompostointiprosessin jätevedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle ja prosessin poistokaasut kaasunpuhdistusjärjestelmään.

Tämän tutkimuksen kohteena olevaa Mustankorkean valmistamaa maanparannuskompostia myydään kauppanimellä Omapiha Biokomposti. Biokompostin raaka-aineena on käytetty lajiteltua biojätettä sekä puuhaketta. Tuoteselosteen mukaan biokomposti soveltuu maanparannusaineeksi maanviljelyyn, viherrakentamiseen, maisemointiin sekä mullan valmistuksen raaka-aineeksi. Tuote voi sisältää tuulilevitteisiä rikkakasvin siemeniä ja se saattaa sisältää biojätteen mukana tulleita epäpuhtauksia kuten muovia. Pohjamaahan sekoitettaessa biokompostin käyttömääräksi suositellaan 2–3 m^3/100 m^2, kuitenkin pohjamaan ravinnetila tulee huomioida. Tuote ei sellaisenaan sovellu kasvualustaksi. (Omapiha Biokomposti 2018)

4.2 Kasvatuskokeet

Kasvatuskokeet suoritettiin kesällä 2019 Kauppapuutarha Honkasen kasvihuoneessa Jyväskylän Korpilahdella. Kasvatuskokeiden pohjana käytettiin VTT:n menetelmäohjetta kompostin kypsyystesteistä (Itävaara et al. 2006) sekä maanparannusaineille ja kasvualustoille standardoitua biotestiä (EN 16086-1:2011). Kokeiden kesto oli 4–6 viikkoa.

Tutkimuksessa käytettiin Mustankorkean biokompostia. Biokompostin pääasiallisena lähtöaineena oli erilliskerätty biojäte, pieni osa (noin 20 %) oli mädätysprosessissa käsitellyn biojätteen mädätysjäännöstä. Kompostoinnin tukiaineena käytettiin puuhaketta. Biojätettä käsiteltiin kompostointilaitoksessa 4 viikkoa, jonka jälkeen sitä kompostoitiin jälkikypsytyskentällä noin vuoden ajan. Komposti oli seulottu raekokoon < 10 mm.

Biokomposti analysoitiin ennen kokeiden aloitusta (Taulukko 5). Komposti oli melko kosteaa (TS 47 %). Biokompostin kuivapainosta yli 60 % oli orgaanista ainesta ja pH oli lievästi emäksinen. Tuloksista laskettuna epäorgaanisen typen pitoisuus oli 115 mg/l eli vain 1,7 % kompostin kokonaistypestä.

Taulukko 5. *Kasvatuskokeissa käytetyn biokompostin ominaisuudet.*

Ominaisuus	Arvo	Yksikkö	Arvo	Yksikkö
TS	47,4	%		
Tilavuuspaino	556	g/l		
VS	62,9	% TS		
pH	8,1			
Johtokyky	203,3	mS/m (25 °C)		
Kokonaistyppi (N)	25 200	mg/kg TS		
NO_3-N	318	mg/kg TS	84	mg/l
NH_4-N	119	mg/kg TS	31	mg/l
Kokonaisfosfori (P)	8 300	mg/kg TS		
Vesiliukoinen P	87	mg/kg TS	23	mg/l
Kokonaiskalium (K)	16 100	mg/kg TS		

4.2.1 Testikasvit

Kasvatuskokeissa käytettiin neljää eri kasvilajia. Yhtenä testikasvina käytettiin standardin EN 16086-1:2011 mukaisesti kiinankaalia (*Brassica rapa*, lajike Scarvita F1). Sen lisäksi kokeeseen valittiin kolme eri tyyppistä kasvia OECD:n (2006) suosittelemista lajeista. Aiempien tutkimusten, saatavuuden ja lajien nopean kasvun perusteella päädyttiin käyttämään retiisiä (*Raphanus sativus*, lajike National 2), vehnää (*Triticum aestivum*) ja lehtisalaattia (*Lactuca sativa*, lajike Australischer Gele).

4.2.2 Kasvualustaseosten valmistus

Kasvatuskokeessa kasvualustana käytettiin niukkaravinteista keinotekoista maata. Keinomaa valmistettiin sekoittamalla kuivapainoina 10 % kasvuturvetta ja 90 % savipitoista hiekkaa. Turpeen ja hiekan kuivapainot määritettiin ja sen perusteella laskettiin raaka-aineiden seossuhde käyttökosteudessa. Keinomaahan lisättiin kuivapainosta 0,4 % kalkkia ($CaCO_3$) pH:n säätämiseksi. Keinomaa valmistettiin viidessä erässä sekoittamalla raaka-aineet manuaalisesti lapiolla. Käytetyssä hiekassa 56 % rakeista oli raekooltaan 0,06–2 mm, 17 % oli tätä suurempaa ainesta ja 27 % hienompaa (Liite A). Hiekkaa ei seulottu, mutta suurimmat kivet poistettiin ja savipaakkuja murskattiin käsin.

Kasvatuskokeessa testattiin kompostin ja keinomaan seoksia ilman lisälannoitusta, tavoitteena arvioida kompostin ravinteiden riittävyyttä kasvualustassa. Lisäksi kompostin

ja keinomaan seoksia testattiin yhdessä mineraalilannoitteen kanssa. Tutkittavasta kompostista valmistettiin neljä erilaista seosta sekoittamalla kompostia tilavuussuhteissa 10–40 % keinomaan joukkoon (Taulukko 6). Kustakin seoksesta valmistettiin jokaiselle testikasville 20 ruukkua, joista puoleen lisättiin mineraalilannoitetta. Jokaisesta näytteestä tehtiin siis 10 rinnakkaista ruukkua. Myös keinomaasta valmistettiin samalla tavalla kaikille testikasveille 10 lannoittamatonta ja 10 lannoitettua ruukkua. Yhteensä kokeessa oli 400 ruukkua, joista 80 oli kontrollinäytteitä.

Kokeessa verrattiin kasveille saatavissa olevan typen pitoisuutta kompostin ja mineraalilannoitteen välillä. Testin tavoitelannoitustasoksi valittiin 100 mg N/l. Kompostista saatava typen pitoisuus laskettiin ja mineraalilannoitetta lisättiin niin, että liukoisen typen pitoisuus vastasi kontrollia (Taulukko 6). Kokeessa ei huomioitu kompostin orgaanisen typen mineralisaatiota, vaan laskuissa huomioitiin ainoastaan kompostin liukoinen typpi kokeen suhteellisen lyhyen keston vuoksi.

Taulukko 6. *Kokeessa käytetyt kasvualustaseokset, kompostista saatavan liukoisen typen pitoisuus sekä lannoitteesta tuleva typpilisäys.*

Kompostin osuus kasvualustassa (%)	$N_{liuk.}$ kompostista (mg/l)	Tavoiteltu typpipitoisuus (mg/l)	Typpeä lannoitteesta (mg/l)
0	0		-
0	0	100	100
10	12		-
10	12	100	89
20	23		-
20	23	100	77
30	35		-
30	35	100	66
40	46		-
40	46	100	54

-, ei mineraalilannoitusta

Lannoitukseen käytettiin GreenCare Puutarhan kesä -mineraalilannoitetta (NPK 13-7-20), joka sopii esimerkiksi kesäkukille, vihanneksille ja yrteille. Tuotteen liukoiset ravinteet painoprosentteina ovat: NH_4–N 5,9 %, NO_3–N 7,1 %, P 7,0 %, K 20,0 %, Mg 1,2 %, S 4,6 % sekä hivenravinteita. Käyttöohjeen mukainen annostelu on 0,5 g/l vettä joka kastelukerralla. (GreenCare 2019) Kokeita varten lannoitteesta valmistettiin väkevämpi liuos, sekoittamalla lannoitetta 7,7 g/l vettä. Mineraalilannoitteen typpipitoisuus oli tällöin 1,0 g/l. Testin yksinkertaistamiseksi ruukut lannoitettiin heti alussa eikä lannoitetta lisätty testin aikana.

4.2.3 Kokeen käynnistys ja hoito

Kokeessa käytettiin 750 ml muoviruukkuja, joiden pohjassa oli reiät. Ruukut täytettiin kasvualustaseoksilla lähes täyteen ja tiivistettiin pudottamalla ruukku noin 10 cm korkeudelta 3–4 kertaa. Tarvittaessa lisättiin seosta ruukkuun ja tasoitettiin käsin niin, että kasvualustan pinta oli noin 1 cm ruukun pinnan alapuolella. Ruukut siirrettiin kasvihuoneelle ja siemenet kylvettiin noin viikko ruukutuksen jälkeen.

Ennen kastelua, lannoitettaviin ruukkuihin annosteltiin lasketut määrät (40–75 ml) mineraalilannoitetta mittaruiskulla. Sen jälkeen sekä lannoitetut että lannoittamattomat ruukut kasteltiin niin, että vettä tihkui alustalle. Siemenet kylvettiin tasaisesti mullan pinnalle. Kiinankaalin siemeniä kylvettiin 2 kpl/ruukku, vehnää ja retiisiä 10 kpl/ruukku ja salaatin siemeniä 6 kpl/ruukku. Siemenet peitettiin ohuella (0,5–1 cm) kerroksella seulottua (< 12 mm) kasvualustaa testikasvin vaatiman kylvösyvyyden mukaan. Mullan pinta kostutettiin vedellä suihkepullolla. Ruukut peitettiin muovikelmulla itämisen ajaksi. Kiinankaalin ja retiisin koe kirjattiin alkaneeksi 11.7.2019 ja vehnän ja salaatin koe päivää myöhemmin 12.7.2019. Itämisen jälkeen kiinankaalin ja retiisin taimet suojattiin harsolla hyönteisten torjumiseksi.

Ruukut aseteltiin kasvihuoneeseen pöydälle jokainen testikasvi omaksi 10 x 10 ruukun neliökseen. Ruukut aseteltiin siten, että kukin rinnakkaisista esiintyi yhden kerran jokaisella vaaka- ja pystyrivillä (Liite B). Testissä käytettiin ruukkujen sekoitettua järjestystä, jotta voitiin minimoida sijainnin, lämpötilan, kosteuden ja valaistuksen vaihtelun vaikutukset.

Ruukkuja kasteltiin tarpeen mukaan 1–3 d välein silmämääräiseen arvioon perustuen. Tavoitteena oli ylläpitää riittävää kosteutta kaikille kasvualustoille, välttäen liiallista kastelua. Myös kasvin koko huomioitiin kastelussa ja paremmin kasvaneille taimille annettiin runsaammin vettä. Kasteluun käytettiin porakaivovettä, joka johdettiin kasvihuoneeseen letkulla suoraan kaivosta. Käytetty vesi oli toisinaan viileää ja toisinaan vesi oli ehtinyt lämmetä letkussa auringossa tai kastelukannussa kasvihuoneessa.

Siementen itämistä tarkasteltiin ensimmäisen kerran 7 d kylvön jälkeen, jolloin laskettiin taimien lukumäärä. Seuraavan kerran itäneet taimet laskettiin, kun kylvöstä oli kulunut 11 d. Tässä yhteydessä harvennettiin kiinankaalin ja retiisin taimet. Kiinankaalia jätettiin kasvamaan 1 taimi per ruukku ja retiisiä 5 tainta per ruukku. Vehnän itämistä tarkasteltiin vielä 14 d kokeen aloituksen jälkeen. Vehnän juuret olivat ehtineet jo niin suuriksi, että harvennus päätettiin jättää tekemättä.

Kokeet lopetettiin eri päivinä kunkin testikasvin osalta. Retiisin kasvatus kesti 25 d, vehnän 38 d ja kiinankaalin 41 d. Salaatin taimet itivät niin heikosti, että koe lopetettiin noin

kahden viikon jälkeen eikä salaatin osalta saatu tuloksia. Kokeen lopuksi taimien lukumäärä laskettiin ja testikasvit leikattiin mullan pinnasta. Testikasvien tuorepainot määritettiin ruukuittain. Kasvit kuivattiin 70 °C lämpötilassa 24 h ajan kuivapainon määrittämiseksi. Punnitukseen käytettiin vaakaa, jonka tarkkuus oli 0,01 g. Kokeen lopetuksen yhteydessä kasviruukut ja juuripaakut valokuvattiin. Retiisin osalta tarkasteltiin myös mullan alla kasvanutta osaa.

4.2.4 Testiolosuhteet

Kokeet suoritettiin kasvihuoneessa. Kasvihuoneen kattoluukut säädettiin aukeamaan lämpötilan ylittäessä 20 °C. Idätyksen aikana kasvihuoneen ovet suljettiin yöksi, mutta myöhemmin ovet pidettiin auki koko ajan. Muutoin kasvihuoneen olosuhteita ei kontrolloitu. Lämpötilan ja ilman kosteuden vuorokauden maksimi- ja minimiarvot mitattiin 1–3 d välein. Lämpötilaa mitattiin koko testin ajan ja kosteus koepäivästä 8 alkaen.

Kokeiden alussa ulkolämpötila oli noin 15 °C ja sää pilvinen. Päivisin ulkolämpötila oli kokeen aikana enimmäkseen 15–22 °C, paitsi kokeen toisella viikolla, jolloin päivälämpötila oli yli 25 °C kahdeksan päivän ajan. Lämpötila kasvihuoneessa oli päivisin 10–15 °C ulkolämpötilaa korkeampi. Kasvihuoneen päivälämpötila varjosta mitattuna oli hellejaksoa lukuun ottamatta noin 25–35 °C. Hellejakson aikana kasvihuoneen päivälämpötila oli jopa 40 °C. Yöllä kasvihuone oli joitakin asteita ulkoilmaa lämpimämpi. Yölämpötila kasvihuoneessa vaihteli 9–20 °C välillä ja oli enimmäkseen noin 15 °C. Mittaushavainnot lämpötilasta ovat Liitteessä C.

Kasvihuoneen kosteus oli pääosin 20–75 %. Kosteus vaihteli sään ja vuorokauden ajan mukaan. Varsinkin iltapäivän auringon paisteessa ilman kosteus oli usein alhainen. Sateen aikana kosteus saattoi nousta yli 90 %. Tarkemmat havainnot kosteudesta ovat Liitteessä C.

4.3 Arviointiparametrit

Kasvatuskokeiden tuloksista laskettiin standardin (EN 16086-1:2011) ja VTT:n menetelmäohjeen (Itävaara et al. 2006) mukaisia parametreja. Siementen itävyys arvioitiin laskemalla itävyysprosentit sekä itämisen estyminen. Ruukkukohtainen itävyysprosentti laskettiin yhtälön 1 mukaisesti. Sen jälkeen rinnakkaisista näytteistä laskettiin keskimääräinen itävyysprosentti.

$$Itävyysprosentti = \frac{itäneet\ siemenet\ (kpl)}{kylvetyt\ siemenet\ (kpl)} \times 100\ \% \qquad (1)$$

Itävyyden tulisi olla vertailunäytteessä standardin (EN 16086-1:2011) mukaan vähintään 85 %, ja OECD:n ohjeiden mukaan 70 %. Itämisen estyminen kompostinäytteessä laskettiin yhtälön 2 mukaisesti vertaamalla näytteen itämistä kontrollinäytteen keskimääräiseen itävyyteen.

$$Itämisen\ estyminen = \frac{itävyys_{kontrolli} - itävyys_{näyte}}{itävyys_{kontrolli}} \times 100\ \% \qquad (2)$$

Näytteen kasvuindeksi laskettiin seuraavasti:

$$Kasvuindeksi = \frac{kasvu\ näyteseoksessa\ (g)}{kasvu\ taustakontrollissa\ (g)} \times 100\ \% \qquad (3)$$

Kasvuindeksin laskemiseen käytettiin VTT: ohjeen mukaisesti kuivapainoja. Kasvuindeksin ollessa alle 80 % kasvua voidaan pitää heikentyneenä (Itävaara et al. 2006). Lisäksi kokeen lopuksi tehtiin havaintoja kasvien ulkonäöstä kuten kasvin koosta, juurien määrästä ja lehtien väristä.

Retiisin kasvu jäi lounaan/etelän puolella reunimmaisella rivillä (rivi J, Liite B) hyvin pieneksi ja osa taimista kuoli. Tämän rivin tuloksia ei otettu mukaan kasvuindeksin eikä tuore- ja kuivapainojen keskiarvon laskentaan. Myös muilla testikasveilla selkeästi poikkeavat tulokset jätettiin pois keskiarvon laskennasta. Poikkeavia tuloksia jätettiin pois kuitenkin enintään yksi rinnakkaisista näytteistä.

Orgaanisen typen mineralisaatiota ei määritetty, mutta sen suuruutta arvioitiin vertailemalla liukoisen typen pitoisuutta kasvualustassa kokeen lähtötilanteessa ja kokeen lopussa. Arviointiin käytettiin kasvualustaa, jossa oli kokeen loputtua eniten typpeä jäljellä, mutta jossa ei ollut mineraalilannoitetta (vehnä, 40 % kompostia). Kokeen aikana kasvit myös kuluttivat liukoista typpeä, jonka määrää ei pystytty arvioimaan.

4.4 Analyysimenetelmät

Laboratorioanalyysit suoritettiin Eurofinsin laboratoriossa. Kokeen aluksi valmistetuista kasvualustoista analysoitiin pH (ISO 10390:2005) ja johtokyky (SFS-EN 27888:1994 mod., vesiuutto). Kokeen loputtua kasvualustoista sekoitettiin kokoomanäytteet analyysiin lähetettäväksi. Näytteet juurineen sekoitettiin kuokalla ämpärissä. Retiisin kokoomanäytteisiin otettiin 9–10 rinnakkaista kasvualustaa. Vehnän ja kiinankaalin kokoomanäytteeseen sekoitettiin viiden rinnakkaisen näytteen kasvualusta. Kaikista näytteistä tehtiin Taulukon 7 mukaiset määritykset.

Taulukko 7. *Kasvualustoista tehdyt analyysit kasvatuskokeen jälkeen.*

Suorite	Yksikkö	Menetelmä	Standardiviite
pH		Vesiuutto 1+5	SFS-EN 13037
Johtokyky	mS/m	Vesiuutto 1+5	SFS-EN 13038
Kosteus	%		SFS-EN 13040
Tilavuuspaino ja irtotiheys	g/l		SFS-EN 13040
Tuhkapitoisuus	% TS		SFS-EN 13039

Kaikista kompostia sisältävistä näytteistä analysoitiin lisäksi seuraavat ravinnepitoisuudet (Taulukko 8).

Taulukko 8. *Kompostia sisältävistä kasvualustoista tehdyt analyysit kokeen jälkeen.*

Suorite	Yksikkö	Menetelmä	Standardiviite
P, K ja Mg	mg/kg TS ja mg/l	CAT-uutto, ICP-OES	SFS-EN 13651, SFS-EN ISO 11885
Ca	mg/kg TS ja mg/l	Vesiuutto, ICP-OES	SFS-EN 13652, SFS-EN ISO 11885
NO_3–N ja SO_4–S	mg/kg TS ja mg/l	Vesiuutto, IC	SFS-EN 13652, SFS-EN ISO 10304-1
NH_4–N	mg/kg TS ja mg/l	Vesiuutto	SFS-EN 13652, ISO 5664:1984 (mod.)

4.5 Tilastolliset menetelmät

Aineiston tilastolliseen analysointiin käytettiin IBM SPSS -ohjelmistoa (Version 25). Useamman kuin kahden riippumattoman ryhmän välisen eron merkitsevyyden testaukseen käytetään tyypillisesti yksisuuntaista varianssianalyysiä. Varianssianalyysin käyttö edellyttää, että otoskeskiarvot noudattavat normaalijakaumaa ja että ryhmien varianssit ovat yhtä suuria. Koska varianssianalyysin ehdot eivät täyttyneet, käytettiin ei-parametrista Kruskal-Wallisin testiä. Testissä käytettiin merkitsevyystasoa 0,05. Kruskal-Wallisin testin tulosta arvioitiin *Pairwise Comparisons* -näkymästä, josta nähtiin minkä ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja.

Tilastollista analyysia käytettiin testikasvien tuorepainojen vertailuun. Samalla kirjaimella merkityt tuorepainot eivät eroa toisistaan merkittävästi Kruskal-Wallisin -testin perusteella, testissä ei huomioitu lannoittamatonta 0-kontrollia.

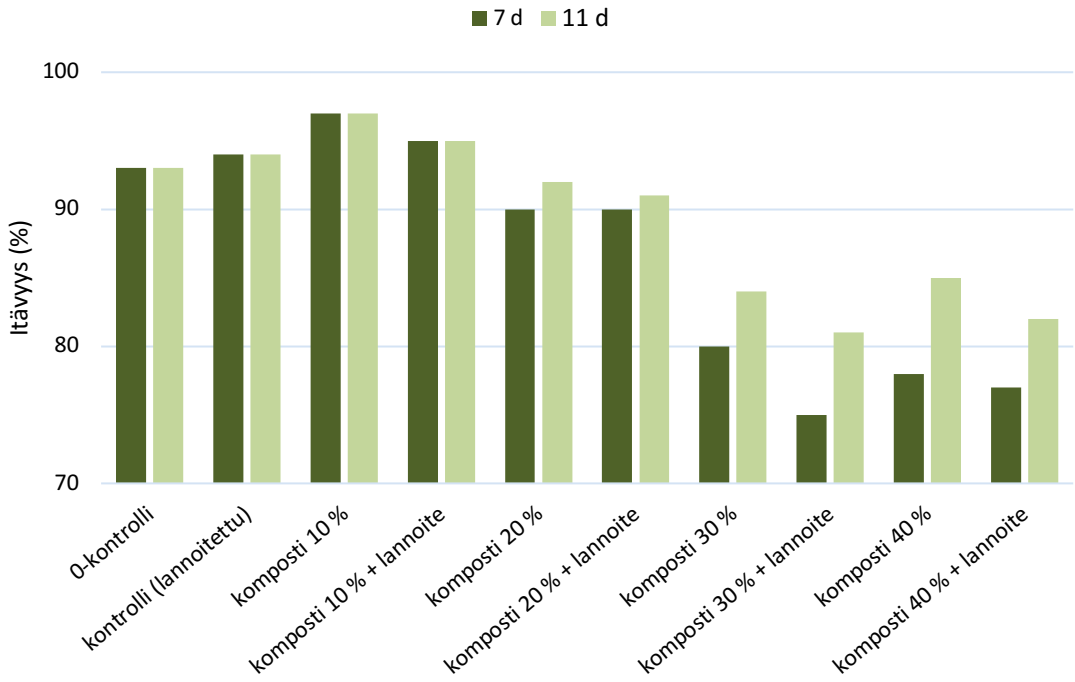
5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Kasvatuskokeissa arvioitiin testikasvien itävyyttä sekä määritettiin tuore- ja kuivapainot. Tuloksia saatiin myös laboratorioanalyyseistä, joissa määritettiin muun muassa pH, johtokyky ja ravinnepitoisuuksia. Kompostin maanparannusominaisuuksia arvioitiin kasvualustojen fysikaalisten ominaisuuksien perusteella. Lisäksi tehtiin silmämääräisiä havaintoja sekä kokeen aikana että sen lopuksi.

5.1 Itävyys

Testikasvien itävyys laskettiin kaavan (1) mukaisesti. Retiisin, kiinankaalin ja vehnän siemenet itivät hyvin. Kontrollinäytteiden itävyys oli näillä kolmella testikasvilla vaaditulla tasolla eli yli 90 %. Salaatin siemenet itivät kasvatuskokeessa heikosti. Salaatin siemenistä keinomaassa (0-kontrolli) iti 68,3 % ja lannoitetussa keinomaassa 66,7 %. Siemenet eivät itäneet lainkaan kompostia sisältäneissä kasvualustoissa.

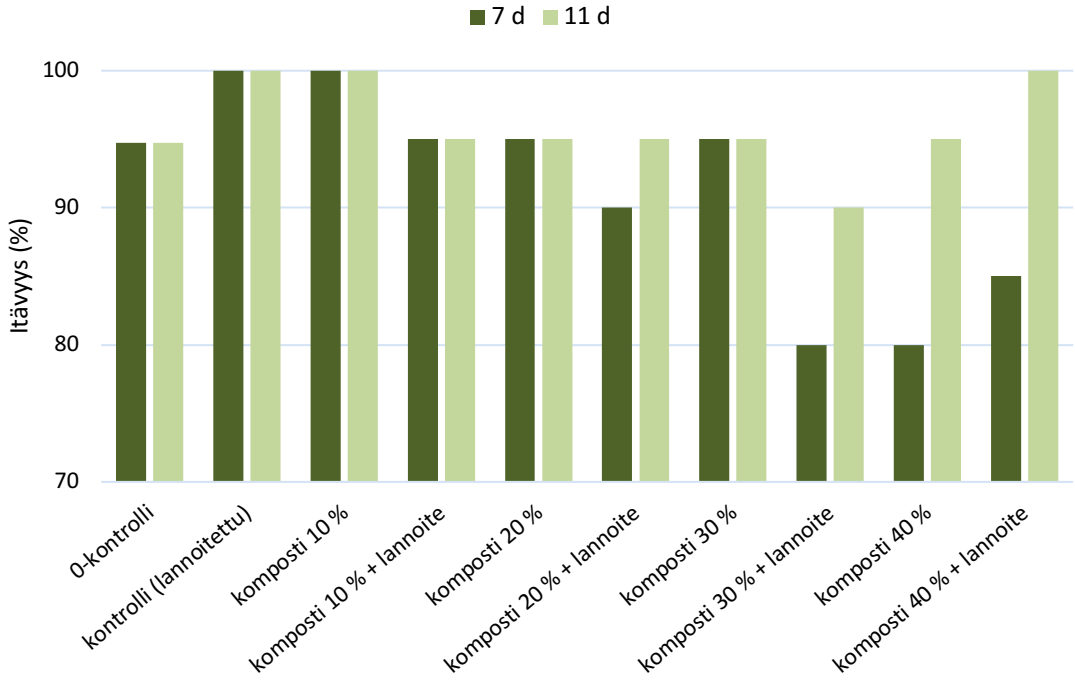
Retiisin itämistä tarkasteltiin ensimmäisen kerran 7 d kuluttua kylvöstä ja toisen kerran 11 d kylvöstä (Kuva 4). Retiisin siementen itävyys oli 81–97 % 11 d kylvön jälkeen.



Kuva 4. *Retiisin itävyyden keskiarvo 7 d ja 11 d kylvön jälkeen.*

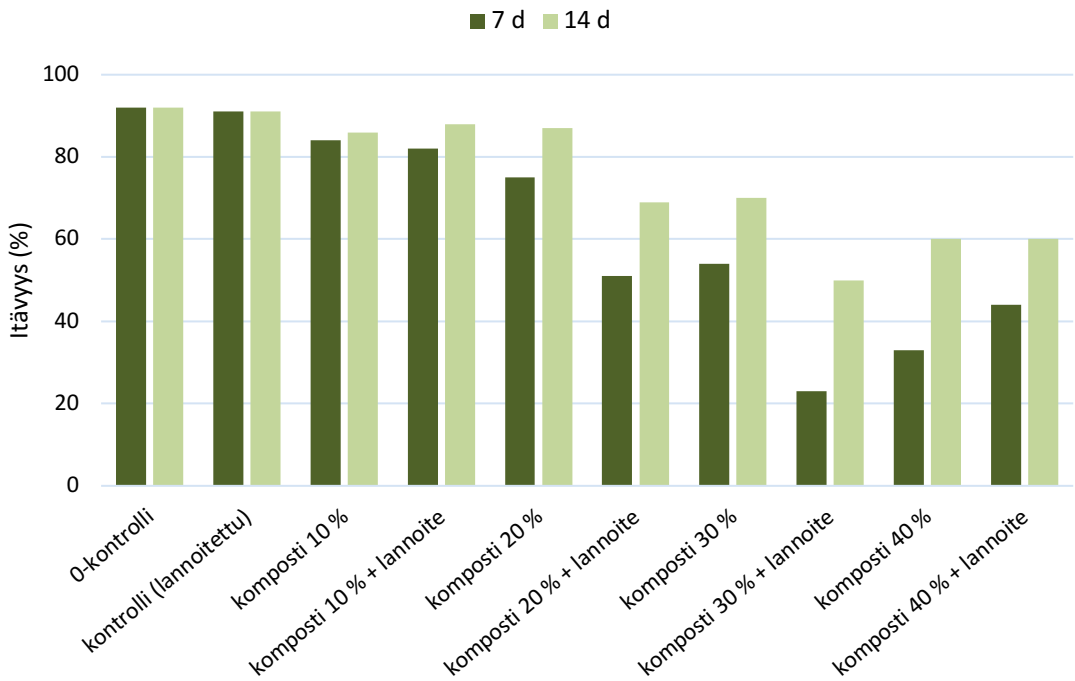
Kasvualusta, jossa oli 10 % kompostia paransi retiisin itävyyttä (Kuva 4). Muut kompostia sisältäneet kasvualustat heikensivät itävyyttä. Itämisen estyminen yhtälön (2) mukaisesti oli 20-prosenttisessa kompostiseoksessa 2–3 %. Enemmän kompostia (30–40 %) sisältäneissä kasvualustoissa itämisen estyminen vaihteli välillä 10–14 %. Kompostin havaittiin myös hidastavan itämistä, kun kompostin osuus näytteessä oli 20 % tai enemmän. Jokaisessa ruukussa iti 7–10 siementä.

Itäneet kiinankaalin siemenet laskettiin samoina ajankohtina kuin retiisinkin. Kiinankaalin siementen itävyys oli kaikissa kasvualustoissa vähintään 90 % myöhäisempänä tarkasteluajankohtana (Kuva 5). Suuremmilla kompostipitoisuuksilla (30–40 %) itäminen oli kontrollinäytettä hitaampaa. Kiinankaalin siementen itämisen estyminen oli alle 10 %, suurimmalla osalla näytteistä vielä vähemmän (≤ 5 %).



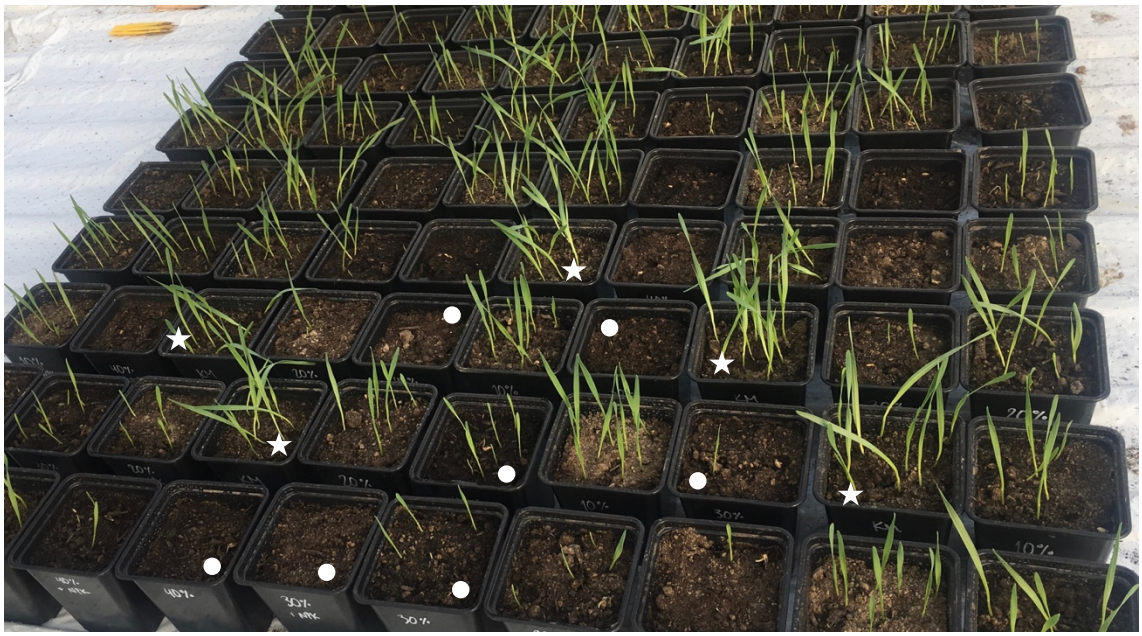
Kuva 5. *Kiinankaalin itävyyden keskiarvo 7 d ja 11 d kylvön jälkeen.*

Vehnän itämistä tarkasteltiin 7 d ja 14 d kylvön jälkeen. Kompostia 10 % sisältäneet kasvualustat sekä lannoittamaton 20 % kompostia sisältänyt kasvualusta eivät juurikaan estäneet itämistä (Kuva 6). Sen sijaan muissa kasvualustoissa itämisen estyminen oli merkittävän suuri, 23–34 %. Heikoiten itäneessä käsittelyssä (kompostia 30 % + lannoite) itämisen estyminen oli 45 % ja itävyys oli kahden viikon jälkeen 50 %. Kompostin vaikutus vehnän itävyyteen oli huomattavasti suurempi kuin vaikutus retiisiin ja kiinankaaliin itävyyteen.



Kuva 6. *Vehnän itävyyden keskiarvo 7 d ja 14 d kylvön jälkeen.*

Vehnän itämisessä oli suuria ajallisia eroja (Kuva 7). Vehnä iti nopeasti kasvualustoissa, jossa kompostia oli 0–10 %. Suuremmat kompostipitoisuudet hidastivat itämistä merkittävästi. Taimien lukumäärä vaihteli myös rinnakkaisten ruukkujen välillä.



Kuva 7. *Vehnän taimet 7 d kylvön jälkeen. Komposti hidasti siementen itämistä. Tähdellä merkityt kasvualustat eivät sisällä kompostia ja palloilla merkityissä alustoissa kompostin pitoisuus on 30–40 %.*

Retiisin, kiinankaalin ja vehnän osalta siemenet itivät kontrollinäytteissä nopeasti eikä viikon kuluttua kylvöstä uusia taimia enää itänyt. Kaikilla testikasveilla kompostin suuri lisäys (> 20 %) hidasti ja useassa tapauksessa myös esti itämistä (Kuvat 4, 5 ja 6). Kompostin vaikutus itävyyteen oli selkeä, kun kompostin osuus kasvualustassa oli 30 % tai enemmän.

Kompostin aiheuttama kasvualustan suolaisuus voisi selittää siementen hidastuneen ja osittain estyneen itämisen. Liiallisen suolaisuuden tiedetään vähentävän itäneiden siementen lukumäärää ja vähentävän itämisen nopeutta. Suolaisuuden vaikutus itämiseen johtuu todennäköisesti osmoottisesta stressistä, ravinteiden vähentyneestä liikkuvuudesta, lisääntyneestä hiilen tarpeesta ja fotosynteettisen aktiivisuuden vähenemisestä. (Kucbel 2019)

Kasvihuoneen korkea lämpötila (25–40 °C) ja suuret lämpötilan vaihtelun saattoivat vaikuttaa kasvatuskokeen tuloksiin. Vaihtelevat olosuhteet vaikeuttavat myös tulosten vertailua kirjallisuuteen ja optimaalisissa olosuhteissa tehtyihin tutkimuksiin. Salaatin heikko itävyys selittyy osin kasvihuoneen epäoptimaalisilla olosuhteilla. Salaatin kasvatus vaatii melko alhaisen lämpötilan. Eri lähteiden mukaan useimpien salaattilajikkeiden itäminen hidastuu tai estyy 25–30 °C lämpötilassa (Argyris et al. 2008; Hernández et al. 2016; Yoong et al. 2016). Optimaalinen lämpötila salaatin kasvatukseen on 15–20 °C (Hao et al. 2018, s. 186).

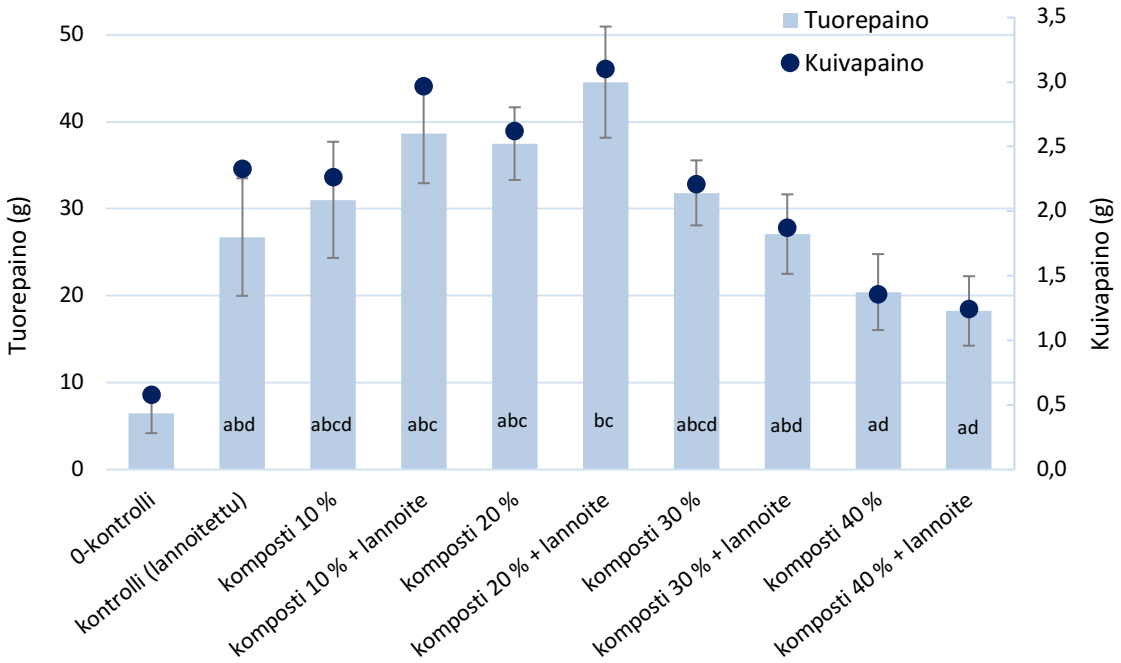
Salaatin siemenet itivät kuitenkin kontrollinäytteessä, joten pelkkä lämpötila ei selitä tuloksia. Tutkittava komposti ei kokeen perusteella soveltunut salaatin kasvatukseen edes 10 % kompostipitoisuudella. Aikaisemmissa tutkimuksissa salaatti on itänyt ja kasvanut hyvin eri tyyppisillä biojätekomposteilla lannoitetuissa kasvualustoissa (Lee et al. 2004; Santos et al. 2016). Tutkimuksissa kompostien raaka-aineena oli esimerkiksi ruokajäte, viinirypäleet ja oliivinlehdet sekä muut maatalouden kasvijätteet. Lee et al. (2004) tutkimuksessa kasvualustan korkea johtokyky (337 mS/m) ei haitannut salaatin kasvatusta.

5.2 Biomassa ja kasvuindeksi

Testikasvit punnittiin ruukuittain kasvihuoneella kokeiden lopettamisen yhteydessä, retiisi 25 d, vehnä 38 d ja kiinankaali 41 d kylvön jälkeen. Tuorepainojen lisäksi määritettiin kuivapainot. Salaattiruukkuja kasteltiin noin kahden viikon ajan, jonka jälkeen koe lopetettiin. Kasvualustoista ei otettu näytteitä analyysiin eikä kasveja punnittu.

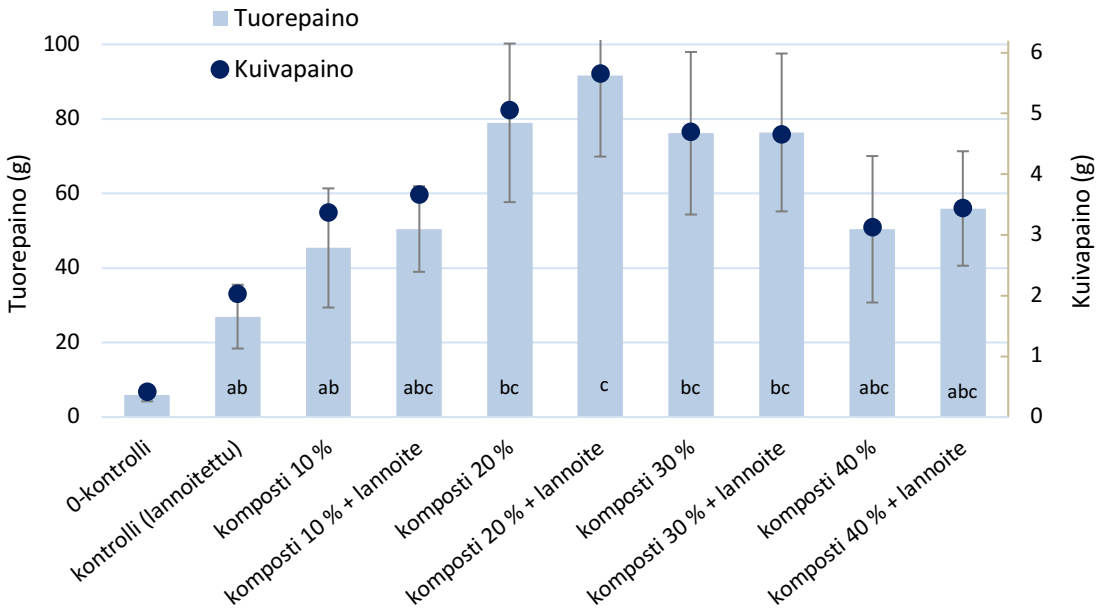
Retiisi kasvoi parhaiten kasvualustoissa, joissa kompostin osuus oli 10–20 % (Kuva 8). Näissä kasvualustoissa mineraalilannoitus paransi hieman satoa, mutta erot eivät ole tilastollisesti merkittäviä. Kasvualustat, joissa kompostin määrä oli suurempi (30–40 %),

kasvien biomassa oli pienempi. 30–40 % kompostia sisältävissä alustoissa lannoitus vähensi satoa. Ainoastaan mineraalilannoitetussa 20 % kompostia sisältävässä kasvualustassa kasvien tuorepaino oli tilastollisesti merkittävästi kontrollialustaa suurempi.



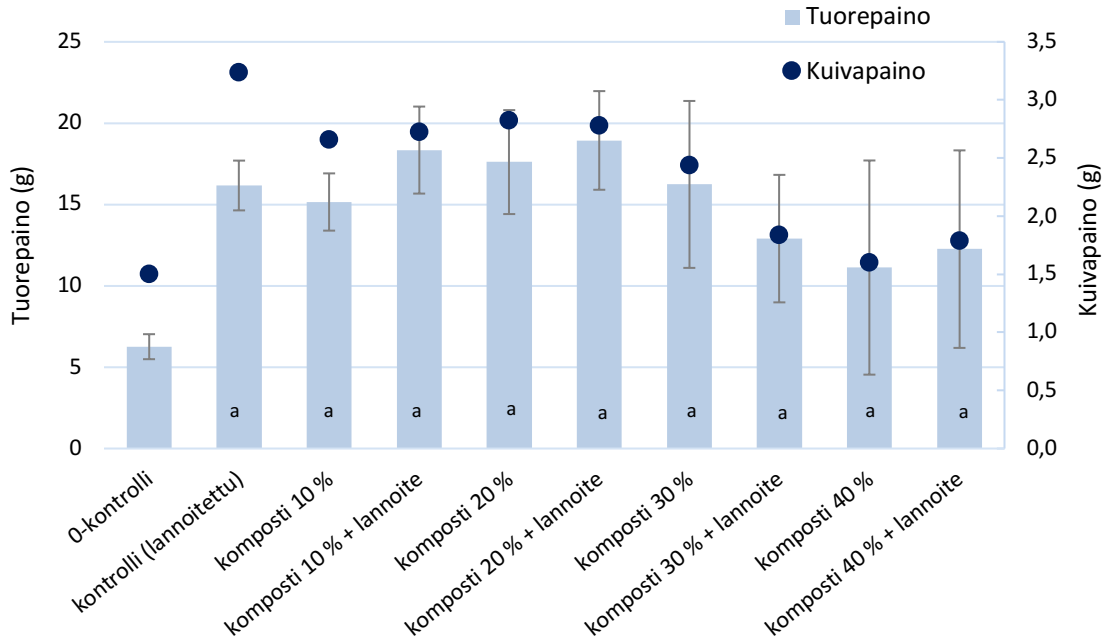
Kuva 8. *Retiisin tuore- ja kuivapainon keskiarvo. Virhepalkkeina tuorepainon keskihajonta. Samalla kirjaimella merkityt tuorepainot eivät eroa toisistaan merkittävästi Kruskal-Wallisin -testin perusteella ($p \leq 0{,}05$).*

Kiinankaalin kasvu oli suurinta kasvualustoissa, joissa kompostia oli 20 % (Kuva 9). Samoin kuin retiisillä, suurin kasvu saavutettiin mineraalilannoitetulla 20 % kompostia sisältävällä kasvualustalla. Tässä testissä myös kasvualustat, joissa kompostia oli 30 % tuottivat hyvän sadon. Kontrollinäytteeseen verrattuna myös 10 % ja 40 % kompostia sisältävät seokset lisäsivät kiinankaalin kasvua. Tulosten perusteella kiinankaali hyötyi selvästi kompostin lisäyksestä kaikilla pitoisuuksilla. Kontrollikäsittelystä tilastollisesti erosivat 20 % ja 30 % kompostia sisältävät kasvualustat sekä ilman mineraalilannoitusta että sen kanssa. Näissä kasvualustoissa taimien tuorepaino oli kontrollia tilastollisesti merkittävästi suurempi.



Kuva 9. *Kiinankaalin tuore- ja kuivapainon keskiarvo. Virhepalkkeina tuorepainon keskihajonta. Samalla kirjaimella merkityt tuorepainot eivät eroa toisistaan merkittävästi Kruskal-Wallisin -testin perusteella (p ≤ 0,05).*

Ruukuittain tarkasteltuna vehnän tuorepainoissa ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja (Kuva 10). Kontrollinäytteessä vehnän kuivapaino erosi kuitenkin selkeästi muista ja se oli suurempi kuin millään kompostiseoksessa kasvaneella vehnällä.



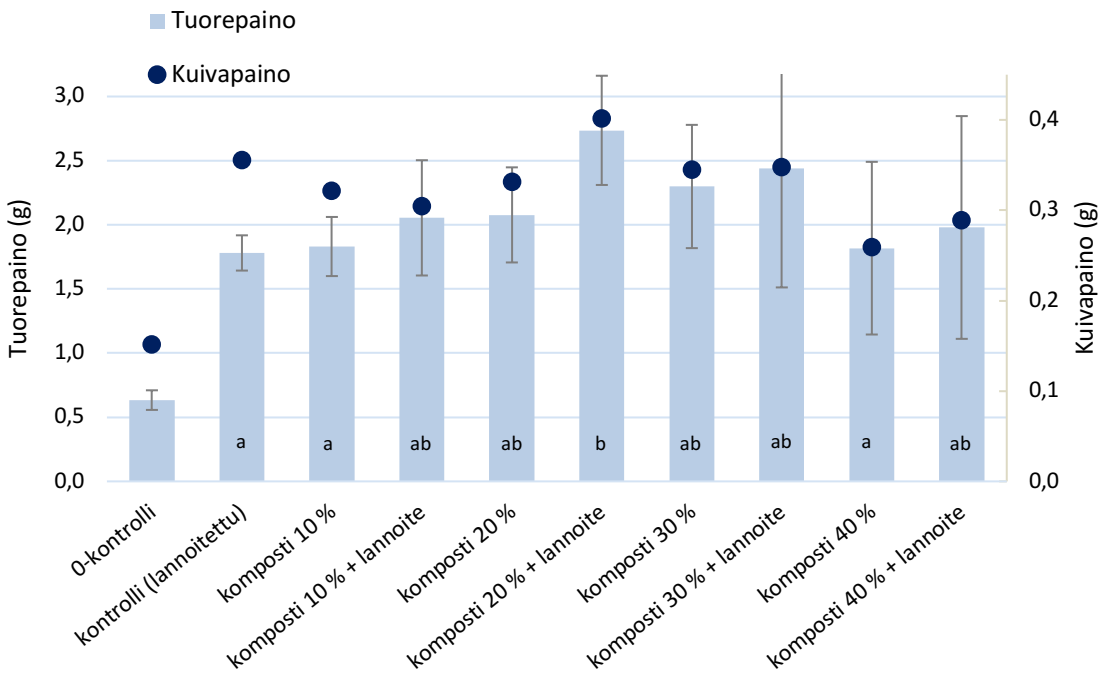
Kuva 10. *Vehnän tuore- ja kuivapainon keskiarvo ruukuittain. Virhepalkkeina tuorepainon keskihajonta. Samalla kirjaimella merkityt tuorepainot eivät eroa toisistaan merkittävästi Kruskal-Wallisin -testin perusteella (p ≤ 0,05).*

Kokeen lopussa vehnän taimien lukumäärä ruukussa vaihteli paljon (3–10 kpl/ruukku), sillä itämisessä oli eroja kasvualustojen välillä eikä taimia harvennettu. Keskimäärin yhdessä ruukussa oli 7,5 tainta (Taulukko 9).

Taulukko 9. *Vehnän taimien lukumäärän keskiarvo ruukuittain kokeen lopussa, sulkeissa keskihajonta.*

Kasvualusta	Taimia per ruukku
0-kontrolli	9,1 (0,7)
kontrolli (lannoitettu)	8,9 (1,1)
komposti 10 %	8,3 (0,5)
komposti 10 % + lannoite	9,1 (1,0)
komposti 20 %	8,7 (1,8)
komposti 20 % + lannoite	6,9 (1,1)
komposti 30 %	7,1 (1,9)
komposti 30 % + lannoite	5,3 (2,2)
komposti 40 %	6,1 (2,0)
komposti 40 % + lannoite	5,8 (2,5)

Vehnän kohdalla kasvuerot näkyvät selvemmin, kun tarkastellaan ruukkukohtaisen painon sijaan yksittäistä kasvia (Kuva 11). Tällöin itämisessä esiintyvät erot eivät vaikuta enää kasvun arviointiin. Samoin kuin muillakin testikasveilla, paras kasvu saavutettiin lannoitetulla 20 % kompostia sisältävällä kasvualustalla. Tämä kasvualusta myös erosi tilastollisesti merkittävästi kontrollikäsittelystä tuorepainon osalta. Mineraalilannoitus lisäsi vehnän tuorepainoa kaikilla kompostipitoisuuksilla. Vehnä ei ollut erityisen herkkä kasvualustan muutoksille ja useat kompostikäsittelyt vastasivat tuorepainon osalta kontrollialustaa.



Kuva 11. *Vehnän tuore- ja kuivapainon keskiarvo per taimi. Virhepalkkeina tuorepainon keskihajonta. Samalla kirjaimella merkityt tuorepainot eivät eroa toisistaan merkittävästi Kruskal-Wallisin -testin perusteella ($p \leq 0{,}05$).*

Kaikkien testikasvien kuiva-ainepitoisuus oli suurin kontrollikäsittelyissä. Toiseksi suurimmat kasvien kuiva-ainepitoisuudet saavutettiin kasvualustoilla, joissa kompostia oli 10 %. Kompostia 20–40 % sisältäneissä kasvualustoissa kasvaneiden testikasvien kuiva-ainepitoisuudet eivät juurikaan eronneet toisistaan.

Retiisin, kiinankaalin ja vehnän kasvuindeksit (Taulukko 10) laskettiin kaavan (3) mukaisesti ja käyttäen kasvien kuivapainoja. Vehnän kasvuindeksi laskettiin käyttäen kasvin yksittäispainoja ruukkukohtaisen painon sijaan.

Taulukko 10. *Kasvuindeksit (%), heikentynyt kasvu (< 80 %) on merkitty punaisella ja yli 10 % kontrollia parempi kasvu on korostettu.*

Kasvualusta	Retiisi	Kiinankaali	Vehnä
10 %	97	**166**	90
10 % + lannoite	**128**	**181**	86
20 %	**113**	**249**	93
20 % + lannoite	**133**	**264**	**113**
30 %	95	**231**	97
30 % + lannoite	80	**217**	98
40 %	58	**140**	73
40 % + lannoite	53	**170**	81

Kasvuindeksin perusteella kiinankaalin kasvu oli kontrollialustaa selvästi suurempaa kaikilla kompostipitoisuuksilla. Kasvuindeksin arvo oli kaikilla lajeilla suurin lannoitetussa kasvualustassa, jossa oli 20 % kompostia. Vehnällä ja retiisillä 40 % kompostia sisältävä kasvualusta heikensi kasvua. Myös kiinankaalilla 40 % kompostiseos tuotti muita kompostiseoksia pienemmän sadon ja suurimmat kasvuindeksit saavutettiin 10–30 % kompostia sisältävillä kasvualustoilla.

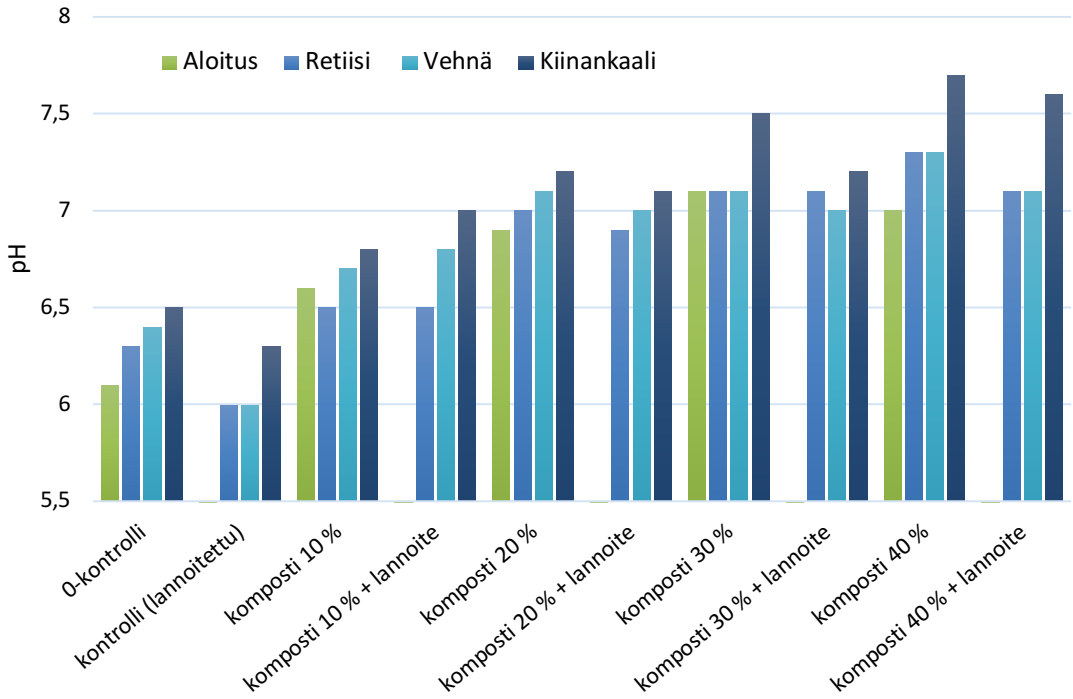
Ruukkukohtaisesti tarkasteltuna vehnän kasvu 30 % ja 40 % kompostiseoksilla oli heikentynyttä. Myös pienemmillä kompostipitoisuuksilla kasvuindeksit olivat alle 90 %. Vehnän osalta kontrollinäytteen kasvien kuiva-ainepitoisuus erosi muita testikasveja enemmän kompostikäsittelyistä. Vehnän tuorepainoja käytettäessä, kasvuindeksi olisi ollut yli 100 % kaikissa kasvualustoissa yksittäisiä kasveja tarkastellessa.

Mineraalilannoitteen lisäys lisäsi retiisin, vehnän ja kiinankaalin kasvua kompostin pitoisuuden ollessa 10–20 %. Enemmän kompostia sisältäneisiin kasvualustoihin lisälannoituksella ei saatu selkeää hyötyä. 30–40 % kompostia sisältäneissä alustoissa sato nousi vain vähän lannoituksen myötä tai osassa jopa pieneni.

Ribeiro et al. (2000) totesi sopivaksi biojätekompostin pitoisuudeksi 15–20 tilavuus-%, kun testikasvina käytettiin pelargoniaa. Tällä pitoisuudella saavutettiin suurimmat testikasvien kuivapainot. Kasvualustassa 20 % kompostia ei tarjonnut riittävästi ravinteita vaan lisälannoitusta tarvittiin typen ja fosforin osalta (Ribeiro et al. 2000). Stewart-Waden (2019) mukaan biojätekompostia voidaan yleensä lisätä kasvualustaan enintään 50 % kompostin aiheuttamasta suolaisuudesta johtuen. Tutkimusten välillä biojätekompostin sopiva pitoisuus kasvualustassa on kuitenkin vaihdellut kompostin ja maaperän ominaisuuksista sekä kasvilajista riippuen.

5.3 pH ja johtokyky

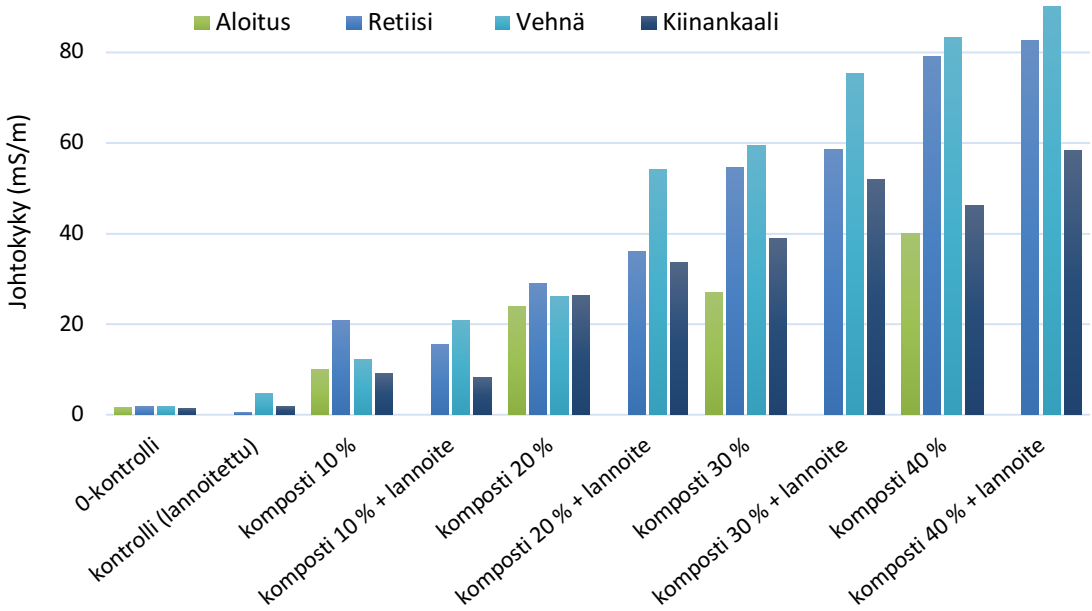
Kasvualustojen pH oli kokeiden alkaessa välillä 6,1–7,1. Keinomaan pH lähtötilanteessa oli 6,1 ja kompostin lisäyksen todettiin nostavan pH:ta suhteessa lisäyksen määrään. Kokeen aikana pH nousi yleisesti ottaen jonkin verran (Kuva 12). Kasvualustoista mitatut pH-arvot olivat kokeen lopuksi välillä 6,0–7,6. Eniten pH nousi kiinankaalin kasvualustoissa (0,2–0,7 yksikköä). Retiisin ja vehnän lannoittamattomissa kasvualustoissa pH:n vaihtelu kokeen aikana oli pienempää (0–0,3 yksikköä). Kasvualustat, joihin lisättiin mineraalilannoitetta, olivat hieman happamampia (noin 0,1–0,3 yksikköä) kuin lannoittamattomat.



Kuva 12. *Kasvualustan pH kokeen alussa ja lajeittain kokeen jälkeen.*

Viherympäristöliiton suositusten (VYL 2019) mukaan optimaalinen pH on kasvityypistä riippuen 5,5–6,5 (Taulukko 4). pH:n tulisi joka tapauksessa olla enintään 7,1. Hieman hapan pH on kasveille suotuisa, sillä hivenyhdisteet ja suolat liukenevat paremmin happamissa oloissa (Avramidou et al. 2013). pH pysyi optimaalisella alueella ainoastaan kasvualustoissa, joissa ei ollut kompostia sekä retiisin osalta myös 10 % kompostia sisältävillä kasvualustoilla. Retiisin ja vehnän kasvualustojen pH oli enintään 7,1 kompostipitoisuuksilla 0–30 %. Kiinakaalilla pH oli alle 7,1 kasvualustan kompostipitoisuuden ollessa 0–10 %, 20 % kompostia sisältävän alustan pH oli 7,2. Kasvualustan pH riippuu myös seosmaan ominaisuuksista. Tässä kokeessa seosmaana käytettyyn keinomaahan lisättiin kalkkia, joka nosti pH-arvoa.

Kasvualustojen johtokyky mitattiin kokeen alussa ja lopussa. Kokeen alussa mitattu keinomaan johtokyky oli 1,7 mS/m. Kompostin lisäys kasvatti johtokykyä suhteessa lisäyksen määrään. Alkutilanteessa kompostiseosten johtokyky oli 10–40 mS/m. Johtokyvyn muutos kasvatuskokeen aikana oli suurempi enemmän kompostia sisältävissä kasvualustoissa (Kuva 13). Alustan, jossa kompostia oli 20 %, johtokyky oli kokeen alussa (24 mS/m) ja lopussa (26–29 mS/m) lähes sama. Mineraalilannoitteen lisäys nosti kasvualustan johtokykyä. Kokeen lopussa mitatut suurimmat johtokyvyn lukemat (40 % + lannoite) olivat retiisillä 83 mS/m, vehnällä 92 mS/m ja kiinankaalilla 58 mS/m. Kolmesta testikasvista kiinankaalin kasvualustoista mitattu johtokyky oli alhaisin.



Kuva 13. *Kasvualustan johtokyky ennen kokeiden aloitusta sekä lajeittain kokeen lopetuksen jälkeen.*

Odotetusti kompostin lisäys nosti kasvualustojen johtokykyä eli vesiliukoisten suolojen ja ravinteiden pitoisuutta, joka saattaa inhiboida kasvien kasvua (Hargreaves et al. 2008). Kokeen aikana johtokyky nousi, mikä tarkoittaa, että suoloja liukeni kokeen edetessä.

VYL:n suositusten (Taulukko 4) mukaan kasvualustan johtokyvyn tulisi vaateliaillakin kasveilla olla alle 50 mS/m. Biojätekompostia enintään 20% sisältävät kasvualustat olivat suositusten mukaiset. Kokeen lopussa kompostia 30–40 % sisältävien kasvualustojen johtokyky oli suositusarvoa korkeampia. Toisaalta johtokyky voi olla perustamisvaiheessa suurempi, mutta toisena kasvukautena sen tulee olla suositusalueella (Viherympäristöliitto 2019). Johtokyvyn perusteella kompostia voidaan lisätä kasvualustaan enintään noin 20–25 %. Testikasvi ja lannoitteen lisäys vaikuttavat kasvualustan johtokykyyn.

Myös muissa tutkimuksissa, joissa kompostia on lisätty kasvualustaan, johtokyky on noussut kasvatuskokeen aikana. Solaiman et al. (2019) tutkimuksessa kompostia sisältävien kasvualustojen johtokyky oli kokeen alussa 5,2–15 mS/m ja kokeen lopussa (70 d) 35–52 mS/m. Liian korkea johtokyky vaikuttaa itämisen lisäksi lehtien kehitykseen ja juurten kasvuun, sillä korkea suolaisuus heikentää kasvien vedenottokykyä (Kucbel et al. 2019).

5.4 Ravinneanalyysit

Kokeen päätteeksi (25–41 d) kasvualustanäytteistä analysoitiin liukoiset ravinteet (Taulukko 11). Taulukon 11 tulosten lisäksi näytteistä analysoitiin NH_4–N, jonka pitoisuus oli kaikissa näytteissä alle 5 mg/l. Yleisesti ravinteiden pitoisuus oli sitä suurempi mitä enemmän kasvualusta sisälsi kompostia.

Taulukko 11. *Kasvualustojen liukoiset ravinteet kasvatuskokeen jälkeen (R = retiisi, V = vehnä ja K = kiinankaali).*

Kompostin määrä	Testikasvi	NO_3-N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	SO_4-S (mg/l)
10 %	**R**	5	11	152	122	31	13
	V	<1	10	165	128	19	21
	K	2	11	107	135	17	6
10 % + lannoite	**R**	8	16	189	126	21	19
	V	8	18	257	133	23	40
	K	3	15	128	152	15	6
20 %	**R**	9	19	282	145	29	25
	V	2	14	312	171	23	37
	K	5	20	234	161	29	16
20 % + lannoite	**R**	18	15	396	194	39	36
	V	60	23	467	165	60	61
	K	6	22	284	178	35	28
30 %	**R**	51	22	438	152	52	41
	V	57	20	527	168	53	54
	K	6	19	358	173	32	22
30 % + lannoite	**R**	102	34	567	173	66	61
	V	124	29	593	175	97	75
	K	38	21	501	192	51	45
40 %	**R**	99	29	605	167	78	55
	V	117	25	689	179	80	67
	K	32	21	540	175	39	28
40 % + lannoite	**R**	139	35	713	184	97	70
	V	162	26	792	197	105	81
	K	46	23	610	183	52	41

Kasvualustojen liukoinen typpi oli kokeen lopussa lähinnä nitraattimuodossa (NO_3–N). Liukoisen typen pitoisuudet vaihtelivat suuresti kasvualustojen ja testikasvien välillä. Lannoittamattomissa 10–20 % kompostia sisältäneissä alustoissa pitoisuudet kokeen lopussa olivat pieniä (< 10 mg/l). Joissain kasvualustoissa pitoisuudet olivat kokeen lopussa suurempia kuin kokeen alussa. Testikasveista kiinankaalin kasvualustassa oli selkeästi vähiten NO_3–N jäljellä.

Kokeen alussa lannoittamattomissa kasvualustoissa vesiliukoisen fosforin (P) pitoisuus oli laskennallisesti 2–9 mg/l. Kokeen lopussa liukoisen fosforin pitoisuus oli kasvualustoissa 10–35 mg/l. Arvoja ei voida suoraan vertailla, sillä ennen koetta fosforin pitoisuus määritettiin vesiuutolla ja kokeen jälkeen CAT-uutolla. Mineraalilannoitteen lisäys nosti fosforipitoisuutta vain vähän.

Kompostin lisäys vaikutti merkittävästi kaliumin (K) pitoisuuteen ja pitoisuudet olivat suurempia enemmän kompostia sisältäneissä alustoissa. Kaliumia oli kasvualustoissa kokeen lopussa 100–800 mg/l. Magnesiumin (Mg) pitoisuus oli kokeen lopussa suunnilleen samalla tasolla (120–200 mg/l) kaikissa kasvualustoissa. Kalsiumin (Ca) pitoisuus kasvualustoissa oli kokeen lopussa 15–105 mg/l ja sen pitoisuus kasvoi suhteessa kompostin lisäykseen. Myös sulfaattipitoisuudet (SO_4–S) nousivat suhteessa kompostin pitoisuuteen ja olivat kokeen lopussa 6–81 mg/l.

Nitraattitypen lisäksi testikasveista kiinankaalin kasvualustoissa oli selvästi vähiten jäljellä kaliumia, kalsiumia ja sulfaattia. Samojen ravinteiden (NO_3–N, K, Ca ja SO_4–S) pitoisuudet olivat korkeimmat vehnän kasvualustoissa. Tuloksista voidaan päätellä, että testikasveista kiinankaali vaati kokeen aikana eniten ravinteita ja vehnä vähiten. Maaperän suolapitoisuuteen vaikuttavat eniten natrium, kalium, kloridit, ammoniakki, nitraatti ja sulfaatti (Moldes et al. 2007), joten ravinteiden pitoisuudet selittävät myös testikasvien väliset erot johtokyvyssä (Kuva 13).

Kasvatuskokeessa orgaanisen aineen mineralisaatiota ei huomioitu eikä orgaanisen typen vapautumisen määrä ollut tiedossa kokeita suunniteltaessa. Oletuksena oli, että kokeiden aikana typpeä ei juurikaan vapautuisi kompostista. Kuitenkin tulosten (Taulukko 11) mukaan osa typestä mineralisoitui kokeen aikana (25–41 d). Mineralisoituneen typen tarkkaa pitoisuutta ei selvitetty tässä tutkimuksessa, mutta sen arvioitiin olevan biojätekompostissa vähintään 180 mg/l eli 10–40 % kompostia sisältävissä kasvualustoissa typen mineralisaatio olisi vähintään 18–70 mg/l. Mineralisaation seurauksena kompostia sisältäneissä kasvualustoissa liukoisen typen pitoisuudet olivat kontrollinäytettä suuremmat. Kasveille saatavissa olevan typen eri suuruiset pitoisuudet vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Kompostinäytteiden parempi kasvu kontrolliin verrattuna saattoi johtua osittain kasvualustojen suuremmasta typpipitoisuudesta.

Muissa tutkimuksissa biojätekompostin typen mineralisaation aste on vaihdellut paljon. Horrocks et al. (2016) tutkimuksessa 3–4 vuoden kenttäkokeen aikana kompostin (biojäte + puutarhajäte) typestä mineralisoitui yhteensä noin 10 %. Nendel et al. (2005) tutkimuksessa biojätekompostin typestä ensimmäisen vuoden aikana mineralisoitui 4–33 % neljässä eri tyyppisessä maaperässä.

Kompostia 20 % sisältävät kasvualustat täyttävät VYL:n suositukset (Taulukko 4) fosforin, kaliumin, magnesiumin ja rikin osalta ilman mineraalilannoitetta (Taulukko 11). Liukoista typpeä tarvitaan lannoitteesta, jos halutaan varmistaa typen riittävyys koko kasvukaudeksi. Suosituksiin (VYL 2019) nähden myös kasvualustojen kalsiumpitoisuus on liian alhainen. Ravinteiden pitoisuuksia on useissa tutkimuksissa analysoitu suoraan kasveista kasvualustan sijaan (Kukkonen et al. 2013; Hernández et al. 2016; Solaiman et al. 2019). Tällöin nähdään, paljonko ravinteita kasvit ovat ottaneet eivätkä testikasvien juuret vaikuta ravinnepitoisuuksien tuloksiin.

5.5 Kasvualustojen fysikaaliset ominaisuudet

Kasvualustoista määritettiin kokeen loputtua kosteus, tilavuuspaino, irtotiheys ja orgaanisen aineksen pitoisuus (Taulukko 12). Kompostin lisäys pienensi tilavuuspainoa ja irtotiheyttä. Orgaanisen aineksen osuus (VS % TS) oli suurempi kompostia sisältävissä kasvualustoissa.

Kasvualustojen kosteus oli kokeen lopussa 16–33 % (Taulukko 12). Kosteus vaihteli alustojen välillä, mutta yleisesti 0–20 % kompostia sisältävät alustat olivat hieman kuivempia ja kompostia 30–40 % sisältävät alustat hieman kosteampia. Vaihtelut kosteuspitoisuudessa johtuivat osin silmämääräiseen arvioon perustuneesta kastelusta sekä kasvualustojen erilaisista vedenpidätysominaisuuksista. Myös kasvien koko ja veden tarve vaikuttivat kasvualustan kosteuteen. Ajoittain kastelu oli runsasta ja vettä sekä ravinteita saattoi valua ruukun pohjan kautta pois. Kasteluun käytettiin porakaivovettä, jonka laadusta ei ollut tietoa.

Biojätekomposti paransi odotetusti maan fysikaalisia ominaisuuksia eli pienensi tilavuuspainoa ja irtotiheyttä (Taulukko 12). Tilavuuspainon ja irtotiheyden väheneminen johtuu orgaanisen materiaalin lisäyksestä. Juuria ei eroteltu kasvualustoista, joten juuret saattoivat vaikuttaa analyysituloksiin. Juuret kasvualustassa pienentävät tilavuuspainoa ja kasvualustojen todellinen tilavuuspaino voi olla hieman määritettyä korkeampi. Vehnän muita testikasveja pienempi tilavuuspaino johtuu todennäköisesti siitä, että vehnän juuristo oli testikasveista tihein. Kasvualustasuositusten (VYL 2019) mukainen tavoitearvo tilavuuspainolle on noin 1000 g/l. Mikään kasvualustoista ei kuitenkaan ollut suositusarvojen (< 640 g/l) ulkopuolella.

Taulukko 12. *Kasvualustojen fysikaaliset ominaisuudet ja orgaaninen aines (VS) kasvatuskokeen jälkeen (R = retiisi, V = vehnä ja K = kiinankaali).*

Kasvualusta	Testikasvi	Kosteus (%)	Tilavuuspaino (g/l)	Irtotiheys (g/l)	VS (% TS)
0-kontrolli	**R**	26,1	1133	837	8,7
	V	22,8	904	697	9,3
	K	24,9	1010	758	10,6
kontrolli	**R**	21,2	852	671	11,2
(lannoitettu)	**V**	16,0	761	639	10,2
	K	22,6	958	742	9,0
10 %	**R**	20,5	806	641	12,0
	V	20,0	758	607	12,5
	K	24,7	842	634	14,2
10 %	**R**	18,9	785	637	10,4
+ lannoite	**V**	21,4	748	588	12,9
	K	24,7	914	688	11,9
20 %	**R**	21,8	769	601	14,4
	V	16,0	771	648	13,1
	K	27,5	808	586	15,8
20 %	**R**	21,2	777	612	14,8
+ lannoite	**V**	23,5	706	540	15,7
	K	24,9	795	598	15,8
30 %	**R**	24,5	744	562	18,9
	V	23,5	688	526	18,1
	K	25,7	745	554	18,5
30 %	**R**	32,5	758	512	18,3
+ lannoite	**V**	26,9	721	526	18,9
	K	22,2	765	595	14,6
40 %	**R**	32,9	744	500	20,7
	V	26,6	649	476	20,3
	K	28,4	719	515	19,9
40 %	**R**	32,5	743	502	18,8
+ lannoite	**V**	28,9	693	493	23,7
	K	27,9	728	524	19,0

Orgaanisen aineen osuus kasvualustoissa oli 9–24 % kuiva-aineesta. Suurimmalle osalle kasveista suositusten mukainen orgaanisen aineen pitoisuus on 4–14 % (VYL 2019). Keinomaan sisältämä turve olisi riittänyt tuomaan tarpeeksi orgaanista ainesta kasvualustaan. Orgaaninen aines lisää kasvualustan vedenpidätyskykyä. Vedenpidätyskyvyn ollessa liian suuri, se voi aiheuttaa kasvualustaan hapettomat olosuhteet (Avramidou et al. 2013). Avramidou et al. (2013) tutkimuksessa orgaanisen aineen osuuden ollessa 57 % (biojätekomposti + turve) ei havaittu keltaisia lehtiä tai muita merkkejä kasvualustan hapettomista olosuhteista.

5.6 Muut havainnot

Kokeen alussa kaikkien testikasvien kasvu oli nopeampaa niissä kasvualustoissa, joissa kompostia ei ollut lainkaan tai sen osuus oli ≤ 10 % (Kuva 14). Kontrollialustoissa kasvien kasvu hidastui myöhemmässä vaiheessa ja kokeen lopussa (25–41 d) monet kompostilannoitetut kasvit olivat biomassaltaan kontrollia suurempia.

Kuva 14. *Retiisi 8 d kylvön jälkeen (lukuarvo kuvaa kompostin osuutta (%) kasvualustassa, *lannoitettu kasvualusta, k0 on 0-kontrolli ja k lannoitettu kontrolli).*

Kasvien juuristoja tarkasteltiin kokeen loppupuolella noin 3–5 d välein, jotta voitiin arvioida alkaako ruukun koko pian rajoittaa kasvua. Erityisesti vehnän juuret täyttivät parhaiten itäneissä ja kasvaneissa kasvualustoissa lähes koko ruukun pohjan (Kuva 15). Vehnän taimia ei harvennettu, mikä saattoi vaikuttaa kokeen tuloksiin. Ruukuissa, joissa siemenet itivät hyvin, kasvoi enemmän taimia, jolloin ravinteita ei ollut yhtä paljon saatavilla yksittäiselle taimelle. Näissä ruukuissa myös juuret olivat suuret ja on mahdollista, että ruukun koko vaikutti kasvin kasvuun. Arvioitiin kuitenkin, että ruukun tilavuus ei kokeessa merkittävästi rajoittanut vehnän kasvua.

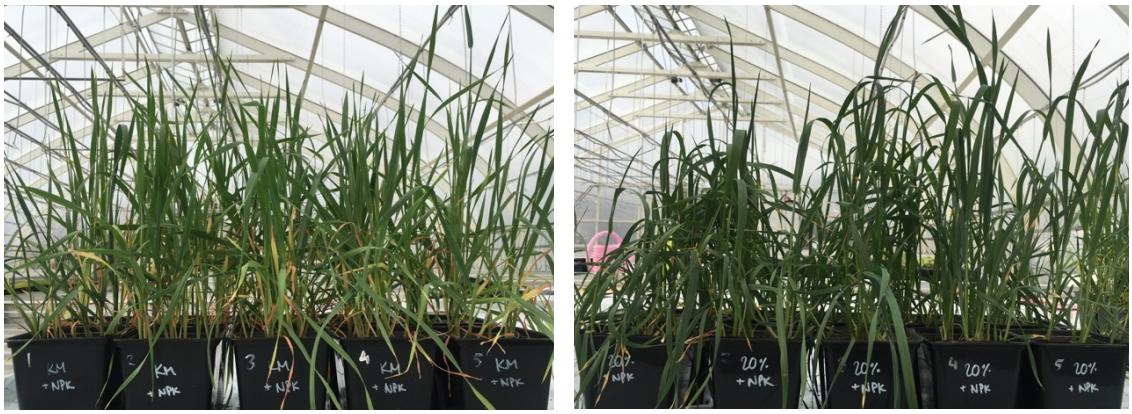
Kuva 15. *Vehnän juuristo kokeen lopussa (38 d, kontrollinäyte).*

Kasvatuskokeen lopuksi kaikkien kasvien juuria tarkasteltiin. Juuret olivat kaikilla lajeilla ja kaikissa kasvualustoissa hyväkuntoisia ja vaaleita. Juuristokuolemia tai esimerkiksi homehtuneita juuria ei havaittu. Juurien kasvun arvioitiin vastaavan maan pinnalla olevaa kasvua ja parhaiten kasvaneilla kasveilla oli myös suurin juuristo. Kokeen lopussa suurin osa kasvualustoista pysyi hyvin kasassa. 40 % kompostia sisältävät kasvualusta hajosivat muita herkemmin juuriston pienemmän kasvun vuoksi.

Kompostin vaikutusta retiisin kasvuun tarkasteltiin vertaamalla naattien lisäksi myös mullan alla kasvaneita mukuloita. Suurimmat pallomaiset punaiset retiisit olivat halkaisijaltaan noin 30 mm. Osa mukuloista oli pieniä eivätkä kaikki retiisin taimet ehtineet kasvattaa niitä lainkaan kokeen aikana. Mukuloiden koko vastasi hyvin eroja mullan yläpuolisten osien massoissa.

Testikasvien ulkonäköä arvioitiin kokeen lopuksi ja kontrollikäsittelyssä kasvaneita kasveja verrattiin parhaan sadon tuottaneeseen kasvualustaan (kompostia 20 % + mineraalilannoite) (Kuvat 16, 17 ja 18).

Kuva 16. *Retiisi kokeen lopussa, vasemmalla kontrollialustat ja oikealla lannoitetut kasvualustat, joissa kompostin osuus 20 %.*



Kuva 17. *Vehnä kokeen lopussa, vasemmalla kontrollialustat ja oikealla lannoitetut kasvualustat, joissa kompostin osuus 20 %.*

Kuva 18. *Kiinankaali kokeen lopussa, vasemmalla kontrollialustat ja oikealla lannoitetut kasvualustat, joissa kompostin osuus 20 %.*

Retiisillä, vehnällä ja kiinankaalilla havaittiin eroja ulkonäössä kontrollin ja kompostikäsittelyn välillä (Kuva 16, 17 ja 18). Kompostilannoitetussa kasvualustassa kasvaneet testikasvit olivat kontrollia suurempia ja terveemmän näköisiä. Kontrollinäytteissä havaittiin jonkin verran keltaisia lehtiä. Kompostia sisältävissä kasvualustoissa kasvaneet kasvit olivat tummemman värisiä ja rehevämmän näköisiä.

Kasvin keltaiset lehdet voivat johtua kompostin fytotoksisuudesta, ravinteiden puutteesta tai veden pitkästä viipymisestä kasvin juuristossa (Avramidou et al. 2013). Kontrollialustat vaikuttivat melko tiiviiltä ja tilavuuspaino sekä irtotiheys olivat suuria. Kontrollialustassa kasvaneiden kasvien keltaiset lehdet saattoivat johtua liian tiiviistä kasvualustasta. Todennäköisesti suurin syy lehtien kellastumiseen oli ravinteiden puutos, sillä ero mineraalilannoitetun kontrollin ja lannoittamattoman 0-kontrollin lehtien värissä oli suuri.

Kokeen aikana havaittiin myös jonkin verran rikkaruohoja testikasvien seassa. Rikkakasvien määrää ei kuitenkaan tarkemmin havainnoitu ja ne kitkettiin pois. Rikkaruohoja kasvoi myös alustoissa, joissa ei ollut kompostia.

Kastelun kannalta merkittävä huomio oli, että kompostia sisältävät kasvualustat pysyivät paremmin kosteina ja kontrollialustat kuivuivat usein enemmän kasteluiden välissä. Paljon orgaanista ainesta sisältävien kompostien on aikaisemmin todettu parantavan maan vedenpidätyskykyä (Christensen 2011).

Testin kesto (25–41 d) vaikutti oleellisesti testin tuloksiin. Tässä kokeessa kompostia sisältävien kasvualustojen itämistä hidastanut vaikutus vaikutti myös kasvunopeuteen. Jos koe olisi kestänyt normaalien fytotoksisuutta mittaavien testien tapaan 2 viikkoa, tulos olisi ollut erilainen. Lyhyessä testissä todennäköinen johtopäätös olisi ollut, että komposti heikentää kasvua. Kukkonen et al. (2013) totesikin tutkimuksessaan, että orgaanisten lannoitevalmisteiden kasvatuskokeen keston tulisi olla vähintään 4 viikkoa, jotta biologiset vaikutukset ehtivät tulla esiin.

5.7 Biokompostin soveltuvuus lannoitevalmisteeksi

Biojätekompostin soveltuvuutta lannoitevalmisteeksi arvioitiin kasvatuskokeen avulla. Kasvatuskokeessa kompostia lisättiin kasvualustaan tilavuussuhteessa 10–40 %. Kompostin vaikutusta kasvien kasvuun testattiin yksin sekä yhdessä mineraalilannoitteen kanssa. Kasvatuskokeen perusteella tutkittu biokomposti sopii maanparannukseen ja sitä voidaan käyttää kasvualustan raaka-aineena. Kokeen päätulokset koottiin Taulukkoon 13.

Taulukko 13. *Yhteenveto kasvatuskokeen tuloksista.*

Kompostin osuus	10 %	20 %	≥ 30 %
Itävyys	Ei vaikutusta	Hidastunut itäminen, itämisen estyminen ≤ 5 %	Selvästi hidastunut itäminen, estyminen: kiinankaali ≤ 5 %, retiisi noin 10 % ja vehnä > 20 %
Kasvu (komposti)	Retiisin ja vehnän kasvuindeksi hieman kontrollia pienempi, kiinankaalilla kontrollia suurempi	Retiisillä ja kiinankaalilla parhaat sadot (ilman lannoitetta), kasvuindeksit kontrollia suuremmat	Vehnällä paras sato 30 % kompostilla, retiisillä ja vehnällä kasvu heikentynyt, kun kompostia 40 %
Kasvu (komposti + lannoite)	Retiisillä ja kiinankaalilla kontrollia parempi kasvu, lannoite lisäsi satoa	Paras sato kaikilla testikasveilla, tuorepainot tilastollisesti suurempia kuin kontrollinäytteessä	Retiisillä heikentynyt kasvu, vehnällä kontrollia huonompi kasvu, mineraalilannoitteesta ei hyötyä
Johtokyky	Suositusten mukainen (< 50 mS/m)	Suositusten mukainen (< 50 mS/m)	Liian korkea (> 50 mS/m)
Ravinteet	Useiden ravinteiden puutos	Pelkästä kompostista riittävästi P, K, Mg ja S, puutetta N ja Ca	Pelkästä kompostista riittävästi N, P, K, Mg ja S, puutetta vain Ca

Biokompostin pitoisuuden ollessa 10 %, se ei vaikuttanut retiisin, vehnän tai kiinankaalin itämiseen. Biokomposti inhiboi kuitenkin joidenkin kasvien itämistä jo alhaisissa pitoisuuksissa, sillä kasvatuskokeessa salaatin siemenet eivät itäneet lainkaan kasvualustoissa, joissa oli kompostia (10–40 %). Useilla kasveilla voidaan saavuttaa korkea itävyys, kompostin pitoisuuden ollessa enintään 20 %. Biokomposti hidasti, muttei juurikaan estänyt (≤ 5 %) testikasvien itämistä, kun sen osuus kasvualustassa oli 20 %. Pitoisuuden ollessa 30–40 % siementen itävyys heikkeni (Taulukko 13).

Kasvuindeksin mukaan parhaat testikasvien sadot saavutettiin kasvualustassa, jossa oli 20 % kompostia ja johon oli lisätty mineraalilannoitetta. Ilman mineraalilannoitusta, retiisi ja kiinankaali kasvoivat parhaiten 20 % kompostia sisältäneissä kasvualustoissa ja vehnä 30 % kompostia sisältäneissä alustoissa. Kiinakaalin kasvuindeksi oli kontrollialustaa suurempi kaikissa kompostia sisältävissä kasvualustoissa.

Jotta biokompostia voitaisiin käyttää korvaamaan epäorgaanisia lannoitteita, sen tulee tarjota riittävästi ravinteita kasveille. Tutkimusten mukaan biojätekompostin ravinteet eivät riittäneet testikasveille koko kasvukaudeksi vaan lannoitusvaikutus jäi typen osalta vajaaksi (Mkhabela & Warman 2005; Grigatti et al. 2019). Tämän tutkimuksen lopuksi määritetyt liukoisten ravinteiden pitoisuudet (Taulukko 11) tukevat samaa päätelmää, että biojätekompostin tarjoama liukoinen typpi ei riitä kasveille koko kasvukaudeksi kompostilisäyksen ollessa 20 %.

Biojätekompostista saatavan fosforin pitoisuus on joissain tutkimuksissa todettu kasveille riittäväksi (Mkhabela & Warman 2005), mutta toisissa tutkimuksissa biojätekomposti yksin ei ole tarjonnut riittävästi fosforia kasvien käyttöön (Grigatti et al. 2019). Tässä tutkimuksessa biokompostin liukoisen fosforin arvioitiin riittävän kasveille ilman lisälannoitusta. Kalsiumia lukuun ottamatta myös muut analysoidut liukoiset ravinteet (K, Mg ja SO_4–S) vastaavat pitoisuudeltaan kasvualustan suositusarvoja (VYL 2019), kompostipitoisuuden ollessa 20 % kasvualustan tilavuudesta.

Kompostin lisäys nosti odotetusti kasvualustan pH:ta, joka on yksi biojätekompostien tyypillisistä maanparannus vaikutuksista. Biokompostia voidaan näin ollen käyttää happaman maaperän pH:n nostamiseen. Tutkitun kompostin johtokyky oli korkea (200 mS/m), mutta suolaisuus enintään 20 % kompostia sisältävissä kasvualustoissa oli suositusten mukainen (< 50 mS/m). Orgaaninen aines lisää maaperän tuottavuutta vaikuttamalla useisiin fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin (Hargreaves 2008). Biojätekomposteissa orgaanisen aineksen pitoisuus on suuri. Kasvatuskokeessa biokompostin lisäyksen havaittiin parantavan kasvualustan vedenpidätyskykyä. Kompostin lisäys paransi maata myös pienentämällä irtotiheyttä.

Biokompostin raskasmetallipitoisuuksia ei määritetty tässä tutkimuksessa, mutta tuoteselosteen (Omapiha Biokomposti 2018) mukaan Mustankorkean biokompostin raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (24/11) enimmäispitoisuuksia (Taulukko 2). Raskasmetallipitoisuudet eivät siis rajoita biokompostin hyötykäyttöä lannoitevalmisteena. Lisäksi biokompostin tiedetään sisältävän jonkin verran roskia ja epäpuhtauksia, jotka tulevat biojätteen mukana sekä tuulilevitteisiä rikkakasvin siemeniä (Omapiha Biokomposti 2018). Havaintojen perusteella roskien määrä ei ylittänyt lannoitevalmisteille sallittua määrää (0,5 % tuorepainosta) (MMMa 24/11).

Biokompostia voidaan tuotteistaa maanparannusaineena tai sopiviin materiaaleihin seostettuna valmiina kasvualustana. Biokompostin sisältämien tuulilevitteisten rikkakasvin siementen vuoksi sitä ei voida myydä tyyppinimellä orgaaninen lannoite (MMMa 24/11). Biokompostin käyttö maanparannukseen tai osana kasvualustaa tuo kasveille ravinteita, jolloin sillä voidaan osittain korvata mineraalilannoitteita.

Mädätyksen jälkeen biojätteen typestä suurempi osa on kasveille helposti saatavassa liukoisessa muodossa verrattuna kompostointiin. Tutkimusten mukaan mädätysjäännös tai kompostoitu mädätysjäännös tuottivat suuremman sadon verrattuna kompostoituun biojätteeseen (Odlare et al. 2011; Grigatti et al. 2019). Paremmat sadot liittyivät erityisesti kompostin typen saatavuuteen. Kaksivaiheinen käsittely voi tarjota parempia mahdollisuuksia kompostin hyötykäytölle lannoitevalmisteena, sillä Grigatti et al. (2019) mukaan mineraalilannoitteita voitaisiin mahdollisesti korvata kompostilla, jonka raaka-aineena oli mädätetty biojäte. Mustankorkealla on otettu käyttöön biojätteen mädätys ennen kompostointiprosessia, joten mädätyksen vaikutusta kompostin laatuun ja ominaisuuksiin voisi tulevaisuudessa tutkia lisää esimerkiksi kasvatuskokeiden avulla.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella biojätekompostilla voidaan saavuttaa kasvien kasvua edistävä vaikutus. Tutkimuksen kohteena ollut biokomposti soveltuu maanparannusaineeksi ja sillä voidaan osittain korvata mineraalilannoitteita. Biokompostilla saavutettiin mineraalilannoitettua kontrollia suuremmat tuorepainot kompostin pitoisuuden ollessa 10–30 % kasvualustassa. Biokompostia voidaan käyttää kasvualustan raaka-aineena, jolloin sen sopiva pitoisuus on noin 20 % tilavuudesta. Suuremmat pitoisuudet saattavat aiheuttaa maaperän liiallista suolaisuutta, joka inhiboi kasvien itämistä ja kasvua. Maanparannukseen biokompostia voidaan levittää 2–4 cm kerros, joka sekoitetaan 10–20 cm syvyydelle. Tällöin kompostin pitoisuus pohjamaassa vastaa 20 %.

Kasvatuskokeessa 10–20 % biojätekompostia sisältävissä kasvualustoissa kasvit hyötyivät mineraalilannoituksesta. Retiisin, kiinankaalin ja vehnän sadot olivat suurimmat kasvualustoissa, joissa oli 20 % kompostia ja lisäksi mineraalilannoitetta. Pääosin komposti tarjosi kasveille riittävästi ravinteita (P, K, Mg ja S) ja lisälannoitustarve koskee lähinnä typpeä ja kalsiumia. Kokeen lopussa lannoittamattomissa 20 % kompostia sisältävissä kasvualustoissa oli vähän (< 10 mg/l) liukoista typpeä jäljellä. Koko kasvukauden kestävä kasvatus vaatii yleensä lisää typpeä mineraalilannoitteesta. Ravinteikkaassa maaperässä tai lyhyemmällä kasvatusjaksolla kompostin ravinteet saattavat riittää yksin ilman mineraalilannoitusta. Lannoituskäytössä tulisi huomioida myös orgaanisen aineksen mineralisaatio, jonka seurauksena ravinteita vapautuu kasvien käyttöön.

Yleisesti biojätekompostin lisäys kasvualustaan lisäsi kasvua, mutta heikensi itävyyttä. Heikentyneen itävyyden vuoksi biokompostia ei tule lisätä maaperään liian suuria määriä. Kompostipitoisuuden ollessa vähintään 20 % itävyys hidastui ja 30–40 % pitoisuuksilla itävyys väheni huomattavasti. Tutkittu biokomposti ei välttämättä sovellu kaiken tyyppisille kasveille. Kokeessa salaatti ei itänyt lainkaan kompostia (10–40 %) sisältäneissä kasvualustoissa. Salaatin kasvatus vaatii suhteellisen alhaisen lämpötilan (15–20 °C), joten tulos saattaa osin selittyä kasvihuoneen korkealla lämpötilalla (25–40 °C). Biokompostin soveltuvuutta eri tyyppisille kasveille voisi myöhemmin tutkia optimaalisissa kasvuolosuhteissa, jolloin olosuhteet eivät vaikuta tuloksiin.

Kasvatuskokeen aikana osa kompostin orgaanisesta typestä mineralisoitui. Mineralisaatiota ei kuitenkaan määritetty tässä tutkimuksessa. Mineralisoituneen typen pitoisuuden arvioitiin olleen kompostilannoitetuissa kasvualustoissa vähintään 18–70 mg/l suhteessa biojätekompostin määrään (10–40 %). Kokeessa kasvualustat, joissa oli sekä kompostia että mineraalilannoitetta, saivat mineraalilannoitettua kontrollia enemmän typpeä kasvien käyttöön. Kompostilannoitettujen kasvualustojen kontrollia suuremmat sadot saattoivat johtua suuremmasta typpipitoisuudesta. Jos biokompostista saatavaa ravinteiden määrää halutaan myöhemmin tutkia tarkemmin, voidaan tehdä typen mineralisaatiomääritys.

LÄHTEET

Albers, M., Helle, H., Varpula, T., Itävaara, M., Kapanen, A. & Vikman, M. (2003). Kompostointiprosessin monitorointi ja ohjaus. VTT Tiedotteita 2207, Espoo, 81 s. Saatavissa: https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2207.pdf

Argyris, J., Dahal, P., Hayashi, E., Still, D. & Bradford, K. (2008). Genetic Variation for Lettuce Seed Thermoinhibition Is Associated with Temperature-Sensitive Expression of Abscisic Acid, Gibberellin, and Ethylene Biosynthesis, Metabolism, and Response Genes. Plant Physiology, Vol.148(2), pp. 926–947.

Avramidou, P., Evangelou, A., Komilis, D. (2013). Use of municipal solid waste compost as a growth media for an energy plant (rapeseed). Journal of Environmental Management, Vol.121, pp. 152–159.

Banks, C., Zhang, Y., Jiang, Y. & Heaven, S. (2012). Trace element requirements for stable food waste digestion at elevated ammonia concentrations. Bioresource Technology, Vol.104, pp. 127–135.

Braguglia, C., Gallipoli, A., Gianico, A. & Pagliaccia, P. (2018). Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review. Bioresource Technology, Vol.248, Part A, pp. 37–56.

Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T. & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. Bioresource Technology, Vol.248, Part A, pp. 57–67.

Cesaro, A., Belgiorno, V. & Guida, M. (2015). Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. Resources, Conservation and Recycling, Vol.94, pp. 72–79.

Christensen, T. (2011). Solid Waste Technology & Management, Chapter 9: Biological Treatment, Blackwell Publishing Ltd, pp. 515–682.

Cordell, D., Drangert, J. & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global Environmental Change, Vol.19(2), pp. 292–305.

Courtney, R.G. & Mullen, G.J. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology, Vol.99(8), pp. 2913–2918.

Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. & Stentiford, E. (2007). Compost science and technology. Waste management series: Vol.8, 1st ed., Elsevier Ltd.

Dimambro, M.E., Lillywhite, R.D. & Rahn, C.R. (2007). The physical, chemical and microbial characteristics of biodegradable municipal waste derived composts. Compost Science & Utilization, Vol.15(4), pp. 243–252.

Du, C., Abdullah, J.J., Greetham, D., Fu, D., Yu, M., Ren, L., Li, S. & Lu,D. (2018). Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. Journal of Cleaner Production, Vol.187, pp. 273–284.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009.

Garcia-Gomez, A., Bernal, M.P & Roig, A. (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. Bioresource Technology, Vol.83(2), pp. 81–87.

GreenCare (2019). Puutarhan Kesä -lannoite. Saatavissa (viitattu 25.9.2019): https://www.greencare.fi/tuote/puutarhan-kesatm-3/

Grigatti, M., Cavani, L., di Biase, G. & Ciavatta, C. (2019). Current and residual phosphorous availability from compost in a ryegrass pot test. Science of The Total Environment, Vol.677, pp. 250–262.

Halinen, A., Palojärvi, A., Karinen, P., Heinonen-Tanski, H. & Tontti, T. (2007). Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä – biologiset ja kemialliset vaikutukset: 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, julkaisu 81. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-123-5

Hao, J., Zhang, L., Li, P., Sun, Y., Li, J., Qin, X., Wang, L., Qi, Z., Xiao, S., Han, Y., Liu, C. & Fan, S. (2018). Quantitative Proteomics Analysis of Lettuce (Lactuca sativa L.) Reveals Molecular Basis-Associated Auxin and Photosynthesis with Bolting Induced by High Temperature. International Journal of Molecular Sciences, Vol.19, pp. 185–207

Hargreaves, J.C., Adl, M.S. & Warman, P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol.123(1–3), pp. 1–14.

Heaven, S., Zhang, Y., Arnold, R., Paavola, T., Vaz, F. & Cavinato, C. (2011). Compositional analysis of food waste from study sites in geographically distinct regions of Europe. D2.1, Valorisation of food waste to biogas. Saatavissa: http://www.valorgas.soton.ac.uk/Deliverables/VALORGAS_241334_D2-1_rev[1]_130106.pdf

Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (Lactuca sativa L.) crops—Effects on soil and plant. Soil & Tillage Research, Vol.160, pp. 14–22.

Himanen, M. & Hänninen, K. (2011). Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges – Effect of feedstock on the process and quality of compost. Bioresource Technology, Vol.102(3), pp. 2842–2852.

Horrocks, A., Curtin, D., Tregurtha, C. & Meenken, E. (2016). Municipal compost as a nutrient source for organic crop production in New Zealand. Agronomy, Vol.6(2), Saatavissa: https://www.mdpi.com/2073-4395/6/2/35/htm

Huttunen, M., Kuittinen, V. & Lampinen, A. (2018). Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21. Tiedot vuodelta 2017. Itä-Suomen yliopisto, Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences, N:o 33, 50 s. Saatavissa: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2856-6/urn_isbn_978-952-61-2856-6.pdf

Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A., Venelampi, O. & Vuorinen, A. (2006) Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet, VTT Tiedotteita 2351, 38 s. Saatavissa: https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf

Khanal, S., Surampalli, R., Zhang, T., Lamsal, B., Tyagi, R.D. & Kao, C.M. (2010). Bioenergy and biofuel from biowastes and biomass, Chapter 3: Food waste to Bioenergy, pp. 43–65.

Knoop, C., Dornack, C. & Raab, T. (2018). Effect of drying, composting and subsequent impurity removal by sieving on the properties of digestates from municipal organic waste. Waste Management, Vol.72, pp. 168–177.

Komission asetus (EU) N:o 142/2011.

Kontturi, H. (2016). Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 3/2016, 112 s. Saatavissa: https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Paakaupunkiseudun_seka-ja_biojatteen_koostumus_vuonna_2015.pdf

Kucbel, M., Raclavská, H., Růžičková, J., Švédová, B., Sassmanová, V., Drozdová, J., Raclavský, K. & Juchelková, D. (2019). Properties of composts from household food waste produced in automatic composters. Journal of Environmental Management, Vol.236, pp. 657–666.

Kukkonen, S., Vestberg, M., Palojärvi, A., Salo, T. (2013). Orgaanisten lannoitteiden ja mikrobivalmisteiden kasvuvaikutusta kuvaavan biotestin toteuttaminen. MTT raportti 101, Liitetiedosto, 33 s. Saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481095/mttraportti101liite.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (2015). Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry, HAMKin e-julkaisuja 36/2015. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Laitinen, J., Alhola, K., Manninen, K. & Säylä, J. (2014). Puhdistamolietteen ja biojätteen käsittely ravinteita kierrättäen. Hankeraportti, Suomen ympäristökeskus SYKE, 47 s. Saatavissa: http://www.syke.fi/download/noname/%7B75C943EE-6205-42AA-B130-1105133D5FFF%7D/105713

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Lee, J., Park, R., Kim, Y., Shim, J., Chae, D., Rim, Y., Sohn, B., Kim, T. & Kim, K. (2004). Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. Bioresource Technology, Vol.93(1), pp. 21–28.

Lillywhite, R.D., Dimambro, M.E. & Rahn, C.R. (2009). Effect of Five Municipal Waste Derived Composts on a Cereal Crop. Compost Science & Utilization, Vol.17(3), pp. 173–179.

Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. (2011). Lannan kestävä hyödyntäminen. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman loppuraportti, MTT Raportti 21.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11.

Malamis, D., Bourka, A., Stamatopoulou, E., Moustakas, K., Skiadi, O. & Loizidou, M. (2017). Study and assessment of segregated biowaste composting: The case study of Attica municipalities. Journal of Environmental Management, Vol.203, Part 2, pp. 664–669.

Mkhabela, M.S. & Warman, P.R. (2005). The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol.106(1), pp. 57–67.

Moldes, A., Cendón, Y. & Barral, M.T. (2007). Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design, Bioresource Technology, Vol.98(16), pp. 3069–3075.

Mustankorkea Oy (2019a). Vuosikertomus 2018. Saatavissa (viitattu 16.10.2019): https://vuosikertomus.mustankorkea.fi

Mustankorkea Oy (2019b). Biokaasulaitos. Saatavissa (viitattu 16.10.2019): https://mustankorkea.fi/tuotteet/biokaasu/biokaasulaitos/

Mustankorkea Oy (2019c). Kompostointi. Saatavissa (viitattu 16.10.2019): https://mustankorkea.fi/neuvonta/jatteiden-kasittely-lajitteluohjeet/jatteenkasittelyprosessit/kompostointi/

Nendel, C., Reuter, S., Kersebaum, K.C, Kubiak, R. & Nieder, R. (2005). mineralization from mature bio-waste compost in vineyard soils II. Test of N-mineralization parameters in a long-term in situ incubation experiment. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Vol.168, pp. 219–227.

Odlare, M., Arthurson, V., Pell, M., Svensson, K., Nehrenheim, E. & Abubaker, J. (2011). Land application of organic waste – Effects on the soil ecosystem. Applied Energy, Vol.88(6), pp. 2210–2218.

OECD (2006). OECD guidelines for the testing of chemicals. Test No. 208: Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. Saatavissa: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-208-terrestrial-plant-test-seedling-emergence-and-seedling-growth-test_9789264070066-en

Omapiha Biokomposti (2018). Mustankorkea Oy, tuoteseloste. Saatavissa: https://mustankorkea.fi/wp-content/uploads/2018/01/omapiha-biokomposti-tuoteseloste-2018.pdf

Ostos, J.C., López-Garrido, R., Murillo, J.M. & López, R. (2008). Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub Pistacia lentiscus L. Bioresource Technology, Vol.99(6), pp. 1793–1800.

Pirkkamaa, J. (2014). Orgaanisen jätteen keräys ja käsittely Suomessa. Biolaitosyhdistys. Saatavissa: https://asiakas.kotisivukone.com/files/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/Orgaanisen_jatteen_kerays_ja_kasittely_Suomessa.pdf

Ribeiro, H.M., Vasconcelos, E. & dos Santos, J.Q. (2000). Fertilisation of potted geranium with a municipal solid waste compost. Bioresource Technology, Vol.73(3), pp. 247–249.

Salo, T., Palojärvi, A., Kukkonen, S., Vestberg, M., Kapuinen, P., Tontti, T., Ylivainio, K., Parikka, P., Nummila, M., Maunuksela, L., Lindström, K., Orasmaa, S. & Paulin, L. (2013). Orgaanisten lannoitevalmisteiden vaikutus kasvien kasvuun – testimenetelmät. MTT Raportti 101. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-468-7

Santos, F., Goufo, P., Santos, C., Botelho, D., Fonseca, J., Queirós, A., Costa, M. & Trindade, H. (2016). Comparison of five agro-industrial waste-based composts as growing media for lettuce: Effect on yield, phenolic compounds and vitamin C. Food Chemistry, Vol.209, 293–301.

Scherhaufer, S., Moates, G., Hartikainen, H., Waldron, K. & Obersteiner, G. (2018). Environmental impacts of food waste in Europe. Waste Management, Vol.77, pp. 98–113.

Solaiman, Z.M., Yang, H., Archdeacon, D., Tippett, O., Tibi, M. & Whiteley, A.S. (2019). Humus-Rich Compost Increases Lettuce Growth, Nutrient Uptake, Mycorrhizal Colonisation, and Soil Fertility. Pedosphere, Vol.29(2), pp. 170–179.

Stewart-Wade, S. (2019). Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 – Compost-based amendments. Scientia Horticulturae (in press).

Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S. & Adani, F. (2010). Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere, Vol.81(5), pp. 577–583.

Tampio, E., Salo, T. & Rintala, J. (2016). Agronomic characteristics of five different urban waste digestates. Journal of Environmental Management, Vol.169, pp. 293–302.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. (2018). Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. 73 s. Helsinki. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/handle/10024/542240

Tilastokeskus (2019). Jätetilasto: Liitetaulukko 1. Yhdyskuntajätekertymä 2017, tonnia (Korjattu 11.1.2019). Saatavissa (viitattu 20.10.2019): http://www.stat.fi/til/jate/2017/13/jate_2017_13_2019-01-09_tau_001_fi.html

Tontti, T. & Mäkelä-Kurtto, R. (1999). Biojätekompostit kasvintuotannossa. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A 64, 57 s. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9AA02249-0BF9-4D7B-AEB9-0A42CEBC3BE5%7D/121954

Toukola, V., Sinisalo, S., Sormunen, K. & Pulkkinen, S. (2011). Pääkaupunkiseudun biojätteen koostumus. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 6/2011, 52 s. Saatavissa: https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/6_2011_Paakaupunkiseudun_biojatteen_koostumus.pdf

Turunen, T., Salo, T., Virkkunen, E., Nikkari, S. & Heikkinen, P. (2011). Kompostipiireissä opittua, Eloperäiset jätteet kiertoon -hanke. Kainuun elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 1/2011, 48 s. Saatavissa: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88069/Kainuun_ELY-keskuksen_julkaisuja_1_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valtioneuvosto (2019). Uusi EU-lannoitevalmisteasetus vauhdittaa orgaanisten ja jätepohjaisten lannoitevalmisteiden käyttöä. Saatavissa (viitattu 6.10.2019): https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/1410837/uusi-eu-lannoitevalmisteasetus-vauhdittaa-orgaanisten-ja-jatepohjaisten-lannoitevalmisteiden-kayttoa

Valtioneuvoston asetus jätteistä 19.4.2012/179.

Viherympäristöliitto (2019). Kasvualustan suositeltavat ravinnepitoisuudet. Saatavissa: https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvualustan_suositeltavat_ravinnepitoisuudet_2019.pdf

Wellinger, A., Murphy, J., Baxter, D. & Braun, R. (2013). Biogas Handbook: Science, Production and Applications. Elsevier Science & Technology.

Yoong, F., O'Brien, L., Truco, M., Huo, H., Sideman, R., Hayes, R., Michelmore, R. & Bradford, K. (2016). Genetic Variation for Thermotolerance in Lettuce Seed Germination Is Associated with Temperature-Sensitive Regulation of ETHYLENE RESPONSE FACTOR1 (ERF1). Plant Physiology, Vol.170, pp. 472–488.

Zhang, L., Ouyang, W. & Lia, A. (2012). Essential Role of Trace Elements in Continuous Anaerobic Digestion of Food Waste, Procedia Environmental Sciences, Vol.16, pp. 102–111.

Zhang, L., Loh, K. & Zhang, J. (2019). Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: Current status and prospects. Bioresource Technology Reports, Vol.5, pp. 280–296.

Zeng, Y., De Guardia, A. & Dabert, P. (2016). Improving composting as a post-treatment of anaerobic digestate. Bioresource Technology, Vol.201, pp. 293–303.

LIITE A: KASVATUSKOKEISSA KÄYTETYN HIEKAN LAJITEKOOSTUMUS

eurofins

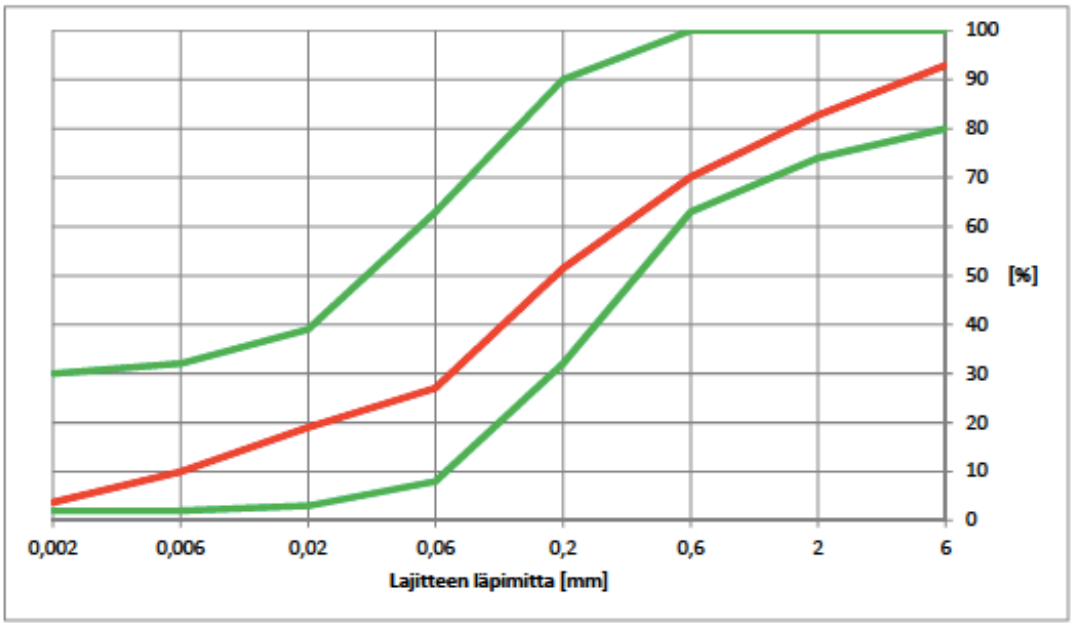
		Näytenumero	Z19000302
Tilaaja	Mustankorkea Oy	Näyte otettu	28.6.2019
Näytetiedot	Soidenmäki 2019 uusinta	Saapumispvm	28.6.2019
		Tutk. valmistumispäivä	4.7.2019
Tilausnumero	Z19-16915		

MEKAANINEN MAA-ANALYYSI, LAJITEKOOSTUMUS

Lajite	Läpimitta [mm]	Lajitteen osuus [%]
Muut yhteensä	>20,0	0
Karkea sora (KSr)	6,0 - 20,0	7
Hieno sora (HSr)	2,0 - 6,0	10
Karkea hiekka (KHk)	0,6 - 2,0	13
Hieno hiekka (HHk)	0,2 - 0,6	19
Karkea hieta (KHt)	0,06 - 0,2	24
Hieno hieta (HHt)	0,02 - 0,06	8
Karkea hiesu (KHs)	0,006 - 0,02	9
Hieno hiesu (HHs)	0,002 - 0,006	6
Saves (S)	<0,002	4

MEKAANISEN MAA-ANALYYSIN RAKEISUUSKÄYRÄ

Perusmaa maisemanurmi 1



InfraRYL

suositusalueen rajat maa-analyysi

LIITE B: RUUKKUJEN SIJOITTELU

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	10	10 *	20	20 *	30	30 *	40	40 *	k0	k
2	10 *	k	30 *	10	40 *	20	k0	20 *	30	40
3	20	30	k	30 *	10	40	20 *	k0	40 *	10 *
4	20 *	30 *	k0	40	k	40 *	30	10	10 *	20
5	30	40	10	40 *	k0	10 *	30 *	k	20	20 *
6	30 *	20	10 *	30	20 *	k0	40 *	40	k	10
7	40	20 *	40 *	k0	20	k	10 *	30 *	10	30
8	40 *	k0	40	k	10 *	10	20	30	20 *	30 *
9	k0	10	30	10 *	40	20 *	k	20	30 *	40 *
10	k	40 *	20 *	20	30 *	30	10	10 *	40	k0

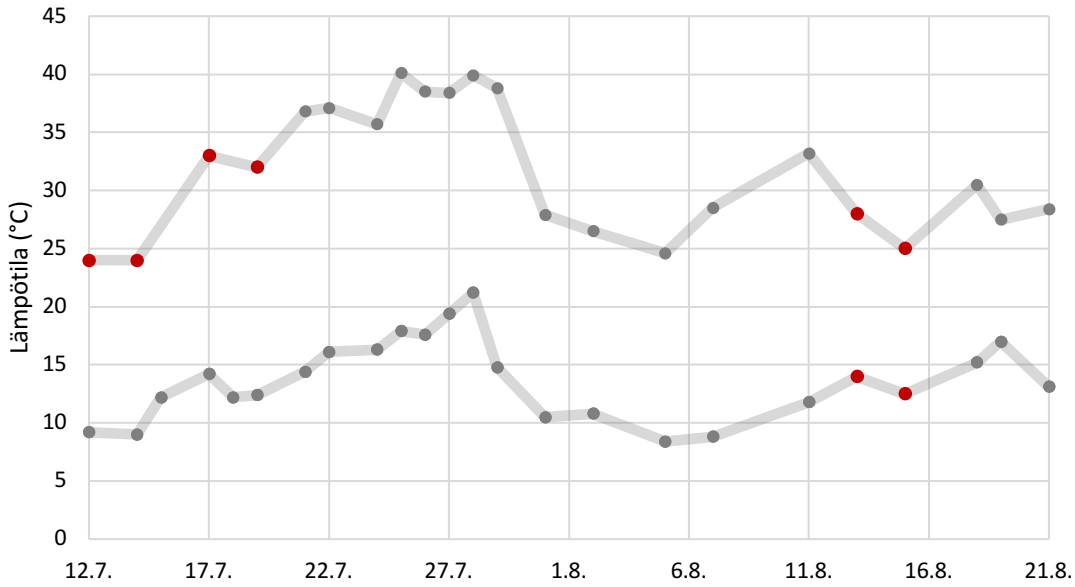
lukuarvo kuvaa kompostin osuutta kasvualustassa (%)

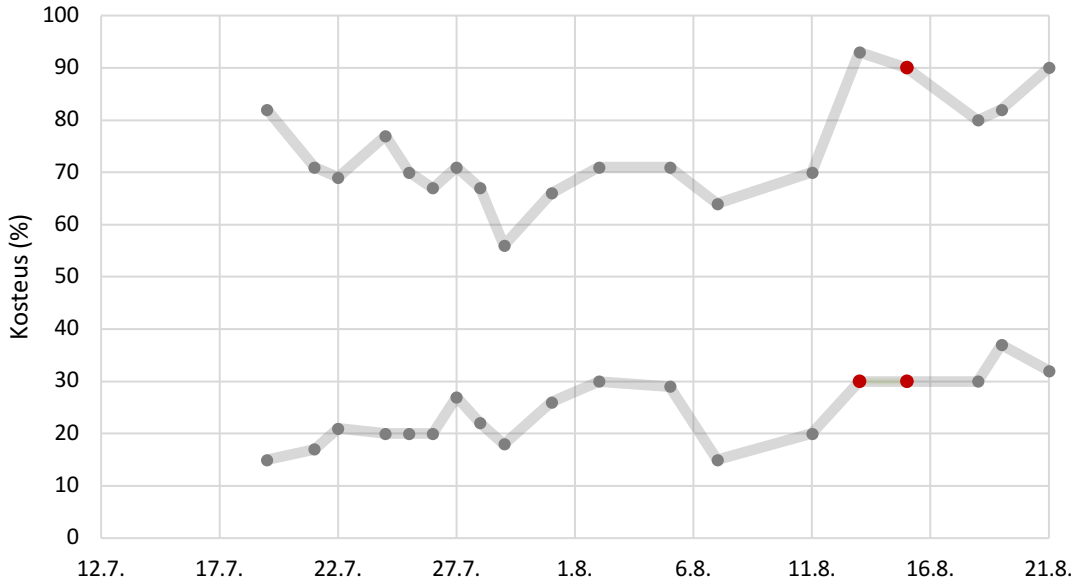
* lannoitettu kasvualusta

k = kontrollinäyte, lannoitettu keinomaa

k0 = 0-kontrolli, lannoittamaton keinomaa

LIITE C: LÄMPÖTILAN JA ILMAN KOSTEUDEN MITTAUSHAVAINNOT





Kaavioihin on merkitty maksimi- ja minimiarvot. Punaisella on merkitty pisteet, joista ei ollut mittaushavaintoja, vaan pisteet on päätelty sään havaintohistorian ja muiden mittausten perusteella.