

**BIOHIILEN VAIKUTUS LANTAKOMPOSTIN RAVINTEIDEN
KÄYTTÖKELPOISUUTEEN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Lepaa, puutarhatalous

kevät, 2020

Elias Hakala

Puutarhatalous
Lepaa

Tekijä	Elias Hakala	Vuosi 2020
Työn nimi	Biohiilen vaikutus lantakompostin ravinteiden käyttökelpoisuuteen	
Työn ohjaaja	Teo Kannianen	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten biohiili vaikuttaa lantakompostin ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Työn tilaajana toimi HAMK Bio ja se oli jatkumoa HAMK Bio:n kesällä 2019 järjestämälle biohiililantakompostikokeelle.

Työn kokeellinen osa koostui kaksikuukautisesta astiakokeesta, joka järjestettiin Hämeen ammattikorkeakoulun Lepaan yksikön kasvihuoneella loppuvuodesta 2019. Tutkimuksessa selvitettiin biohiilen vaikutusta lantakompostin ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Teoreettisena pohjana työlle toimivat kotimaiset ja ulkomaiset kirjallisuus- ja tutkimuslähteet, jotka tarkastelivat biohiiltä, lietelantaa sekä kompostointia.

Tutkimuskoe koostui kahdeksasta käsittelystä, joista biohiililantakompostikäsittelyitä olivat neljä, eri raekoolla ja tilavuus-%:lla. Verrokkikäsittelyinä oli lantakomposti ilman biohiiltä, kompostoitamaton kuivajae, kalkittu turve sekä kaupallisen viljelykäytännön mukaisesti lannoitettu käsittely. Käsittelyiden puristenesteistä analysoitiin ravinteet, johtokyky ja pH. Kasvustoista analysoitiin kuiva-ainemäärät sekä ravinnepitoisuudet. Lisäksi juurten määrä arvioitiin.

Biohiilellä ei havaittu olevan sen määrästä tai raekoosta riippumatta vaikutusta lantakompostin ravinteiden pidätykseen tai vapautumiseen kahden kuukauden aikana. Biohiilellä havaittiin kuitenkin olevan kalkitusvaikutus.

Avainsanat Biohiili, lantakomposti, kompostointi, lietelanta, astiakoe

Sivut 35 sivua, joista liitteitä 11 sivua

Degree Programme in Horticulture
Lepaa

Author	Elias Hakala	Year 2020
Subject	Effect of biochar on the usability of nutrients in manure compost	
Supervisor	Teo Kanninen	

ABSTRACT

The aim of this thesis was to find out how biochar affects the usability of manure compost nutrients. The work was commissioned by HAMK Bio and was a continuation of the biochar manure compost test organized by HAMK Bio in the summer of 2019.

The experimental part of the study consisted of a two-month jar test conducted in the greenhouse of the Lepaa unit of the Häme University of Applied Sciences in late 2019. The theoretical basis for the work is domestic and foreign literature and research sources, which dealt with biochar, liquid manure and composting.

The study consisted of eight treatments, of which there were four biochar manure compost treatments, with different particle size and volume-%. Control treatments included manure compost without biochar, non-composted dry fraction, limed peat and fertilizer treatment in accordance with commercial cultivation practices. Nutrients, conductivity and pH were analyzed for the pressed liquids of the treatments. The dry matter and nutrient contents were analyzed from the vegetation. In addition, the number of roots was estimated.

Regardless of its amount or grain size, biochar was found to have no effect on the retention or release of manure compost within two months. However, biochar was found to have a liming effect.

Keywords Biochar, manure compost, composting, liquid manure, jar test

Pages 35 pages including appendices 11 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoite	1
1.2	Tutkimusongelmat	1
2	BIOHIILI	2
2.1	Biohiilen ominaisuudet	2
2.2	Biohiilen valmistus	3
2.3	Biohiilen käyttö	6
2.4	Biohiilen hyödyt maaperässä ja kompostissa	7
2.5	Biohiilen vaikutukset typen pidättymiseen kompostissa.....	8
3	LIETELANTA.....	9
3.1	Lantalajit, lietelannan ominaisuudet sekä käyttö lannoitteena	9
3.2	Kompostointi	10
3.3	Lietelannan kompostointi	11
3.3.1	Kompostipohja.....	11
3.3.2	Avokompostointi	11
3.3.3	Reaktorikompostointi.....	12
4	AINEISTO JA MENETELMÄT	13
4.1	Kokeen toteutuksen yleiset pääperiaatteet ja reunaehdot.....	14
4.2	Käsittelyt.....	16
4.3	Koeasetelma ja kokeiden rakenne	17
4.4	Kasvilajit ja määrät	18
4.5	Mitatut tekijät, analyysit ja muut havainnot	19
4.5.1	Kuiva-aineen määrittäminen	19
4.5.2	Puristenesteanalyysit	20
4.5.3	Juurten määrittäminen	20
4.5.4	Muut havainnot.....	21
4.6	Lannoitusmäärät	21
4.7	Kokonaiskasvualustamäärät.....	22
4.8	Koeajankohta.....	22
4.9	Kokeen purku	22
4.10	Aineistojen tilastollinen käsittely	22
5	TULOKSET.....	23
5.1	Kuivapainot.....	23
5.2	Johtokyky.....	24
5.3	Happamuus (pH)	25
5.4	Kuiva-aineen ravinnepitoisuudet ja typen otto	27
5.5	Juuret.....	28
5.6	Muut havainnot.....	28
6	TULOSTEN TULKINTA	29

7 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	32

Liitteet

Liite 1	Koepiirros
Liite 2	Puristenesteanalyysit
Liite 3	Biohiilen ominaisuudet
Liite 4	Biohiililantakompostianalyysit

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoite

Biohiili tuli suuren yleisön tietoon Amazonin esimerkin kautta. Oletetaan, että Amazonin intiaanit lisäsivät viljelypeltoihinsa biohiiltä, kotitalousjätettä ja muita orgaanisia aineita kuten ihmisen ulosteita. Vuosisatojen aikana maaperä muokkautui tuottavaksi ja hedelmälliseksi maaperäksi nimeltään Terra Preta, joka on suora vastakohta välittömässä läheisyydessä oleville heikentyneille Oxisol-maaperille. (Wilson, 2014)

Biohiilen käytöstä maaperän parantamiseksi löytyy lukuisia tutkimuksia ja artikkeleita. Suomessa toimii tällä hetkellä useampi biohiiltä tuottava yritys. Biohiilestä on povattu myös yhdeksi ratkaisuksi ilmastomuutosta vastaan sen suuren hiilidioksidin sitomiskyvyn ansiosta (Woolf ym., 2010).

Naudan lietelantaa syntyy Suomessa vuosittain lähes kuusi miljoonaa tonnia (Luostarinen ym., 2017, s. 22). Lietelannasta saadaan separoimalla kuivajaetta, joka voidaan kompostoida (Reiskone Oy, 2019). Kompostoinnin yhteydessä kuivajakeesta pääsee kuitenkin haihtumaan suuria määriä typpeä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että biohiili sitoisi ja parantaisi kompostien ravinnepitoisuutta sekä vähentäisi typen haihtumista (Akdeniz, 2019).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten biohiili käyttäytyy lantakompostissa ja vaikuttaako se lantakompostin ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Tavoitteen saavuttamiseksi järjestettiin astiakoe Lepaan kasvihuoneen koehuoneessa loppuvuodesta 2019. Työn tilaajana toimi HAMK Bio.

1.2 Tutkimusongelmat

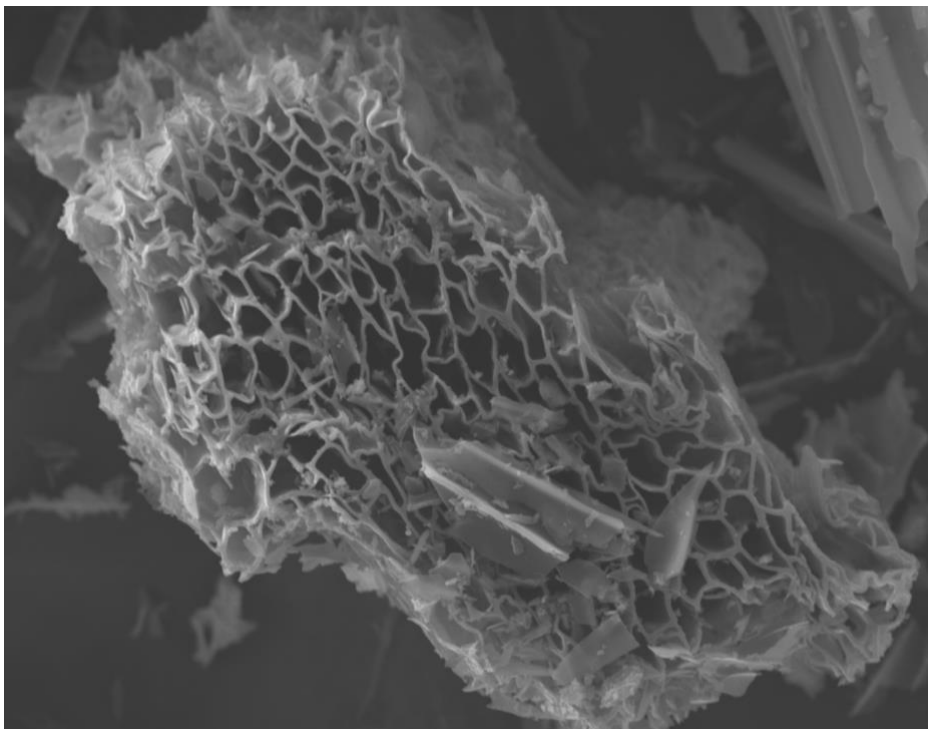
Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, vaikuttaako lantakompostiin lisätty biohiili ravinteiden pidättymiseen tai vapautumiseen turvekasvualustassa sekä vaikuttaako se itämiseen, juurten määrään ja kuivapainoihin. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako biohiilen lisäysmäärä ja biohiilen raekoko ravinteiden pidättymiseen tai vapautumiseen sekä vaikuttaako lantakompostiin lisätty biohiili kasvien itämiseen, juurten määrään ja kuivapainoihin. Näiden lisäksi pyrittiin selvittämään, poikkeako biohiililantakompostilla lannoitettujen kasvien kasvu kaupallisen viljelykäytännön mukaisesti lannoitettujen ja lannoittamattomien kasvien kasvusta sekä onko biohiililantakompostilisäyksellä kalkitusvaikutusta.

2 BIOHIILI

2.1 Biohiilen ominaisuudet

Monissa eri muodoissa esiintyvää maaperän hiiltä on kahta eri pääosaa: orgaanista ja epäorgaanista. Orgaaninen hiili sisältää sekä elävät tai joskus eläneet, sienet, hajoavat bakteerit, hyönteisten ja matojen elimet sekä lannat ja kasvijätteet. Karbonaatti-ionit taas muodostavat epäorgaanisen hiilen ryhmän, joka esiintyy yleensä kalsiumkarbonaattina ja dolomiittimineraaleina eli kiviä tai hiekkana. Suurin ero näillä kuitenkin on se, että epäorgaaninen hiili ei anna mikrobille energiaa maaperän rakennusreaktioihin. (Wilson, 2014)

Biohiilestä löytyy kokoelma erilaisia hajotettuja grafiittikiteitä. Ne perustuvat kuusikulmaiseen hiilirenkaiseen. Renkaat sisältävät alkuperäisessä raaka-aineessa olevaa vetyä ja happea sekä mineraaleja (tuhkaa). Nämä kuusikulmaiset hiilyhdisteet ovat sulatettuja hiilirenkaita, joita syntyy sitä enemmän, mitä enemmän biomassaa lämmitetään. Grafiittikiteet muodostuvat hiilirenkaiden kiinnittyessä toisiinsa epäjatkovina kerroksina. Grafeeniksi kutsutaan yksikerroksista arkkia. Biohiilikiteiden rakenne on siis tärkeä huokoisuuden lähde. Kuumennettaessa biomassaa alkaa orgaanisesta ja muuttuu mineraalisemmaksi. Hiilisienimäinen luurakenne muodostuu tämän mineraalimuunnoksen johdosta (kuva 1). (Wilson, 2014)



Kuva 1. Biohiilen luomainen rakenne (Wilson, 2014).

Huokoisuuden ansiosta biohiilen pinta-ala voi olla jopa 300 m²/g ja se kykenee imemään itseensä jopa viisi kertaa oman painonsa verran vettä sekä adsorboimaan suuria määriä liuenneita ravinteita. Tätä ominaisuutta kutsutaan biohiilen adsorptiokyvyksi. (Schmidt, 2014)

Biohiilellä on myös erityinen kationinvaihtokapasiteetti, jonka ansiosta se pystyy sitomaan pintaansa positiivisesti varautuneita ioneja kuten ammoniumia ja ammoniakkia. Tämän ominaisuuden avulla se pystyy tietyissä olosuhteissa saattamaan nämä aineet kasvien ja mikro-organismien saataville. Biohiilen korkea kationinvaihtokapasiteetti ehkäisee orgaanisten ravintoaineiden ja positiivisesti varautuneiden mineraalien huuhtoutumisen sekä tarjoaa korkeamman ravintoaineiden saatavuuden. (Schmidt, 2014)

Biohiilen korkea kationinvaihtokapasiteetti sekä adsorptiokyky tekevät siitä erinomaisen ravintoaineiden kuljettajan. Biohiilen absorboimat ravinteet tarjoavat täydellisen elinympäristön mikro-organismeille, jotka puolestaan vaikuttavat maaperän mikrobiotiseen aktiivisuuteen sekä viime kädessä kasvien ja mikro-organismien väliseen potentiaaliseen symbioosiin. (Schmidt, 2014)

2.2 Biohiilen valmistus

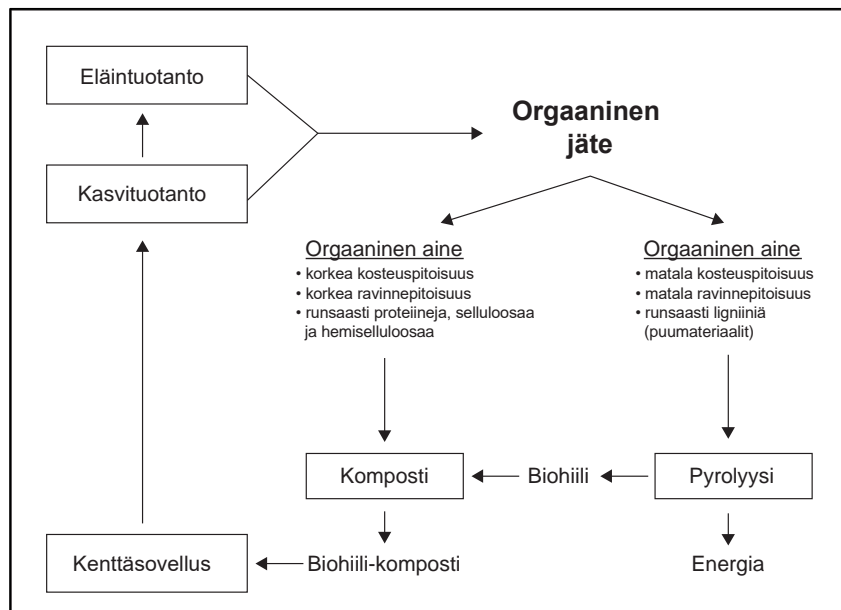
Biohiili on laajasti tunnettu tehokkaana työkaluna hiilen sitomiseen ja maaperän hedelmällisyyden parantamiseen. Biohiili valmistetaan pyrolyysin avulla biomassasta. Pyrolyysillä tarkoitetaan vähähappista prosessia, jossa biomassan lämpötila nostetaan 350 °C – 1000 °C asteeseen. (EBC, 2012, s. 6)

Taulukko 1. Lämpökemialliset muuntamistekniikat ja lopputuotteet (alkuperäinen taulukko Akdeniz, 2019, s. 294. Soveltanut Hakala, 2020).

Prosessi	Lämpötila (°C)	Prosessiaika	Paine	Happea	Lopputuotteet (paino-%)		
					Kiinteä	Nestemäinen	Kaasu
Hidas pyrolyysi	300-650	5 min-12 h	ilmanpaine	ei	25-35	20-30	25-35
Nopea pyrolyysi	500	1-10 s	ilmanpaine	ei	10-15	70-80	10-15
Kaasutus	600-900	10-20 s	ilmanpaine	kyllä	<10	<5	>85

Biohiili valmistetaan biomateriaalista, jonka kosteuspiitoisuus on alhainen (10-20 %) ja jonka ligniinipitoisuus on korkea (kuva 2). Tällaisia ovat esimerkiksi peltojämmät tai puujätteet. Biohiiltä voidaan valmistaa monilla eri tekniikoilla (taulukko 1). Näistä tekniikoista parhaimmaksi on todettu hidas pyrolyysi. Siinä biomateriaalin lämpötila nostetaan vähähappisessa reaktorissa (kuva 3) 350-650 °C:seen. Prosessista syntyy hiilirikasta kiinteää tuotetta eli biohiiltä, bioöljyä sekä kondensoitumattomia kaasuja

kuten hiilimonoksidia, hiilidioksidia, metaania ja vetyä. Biohiilen fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin sekä prosentuaaliseen tuottoon vaikuttaa eniten pyrolyysiteknikan reaktioaika, lämpötila, kuumennusnopeudet ja syöttömateriaalin alkuperäinen kosteuspitoisuus. Nopeassa pyrolyysissä prosessi vie vähemmän aikaa, mutta se tuottaa myös noin puolet vähemmän biohiiltä. Kaasutustekniikalla saadaan myös tuotettua pieniä määriä biohiiltä, mutta se sisältää suuria määriä alkali- ja maa-alkalimetalleja sekä polyaromaattisia hiilivetyjä, jotka ovat korkean lämpötilan prosessin myrkyllisiä sivutuotteita. (Akdeniz, 2019, s. 293–294)

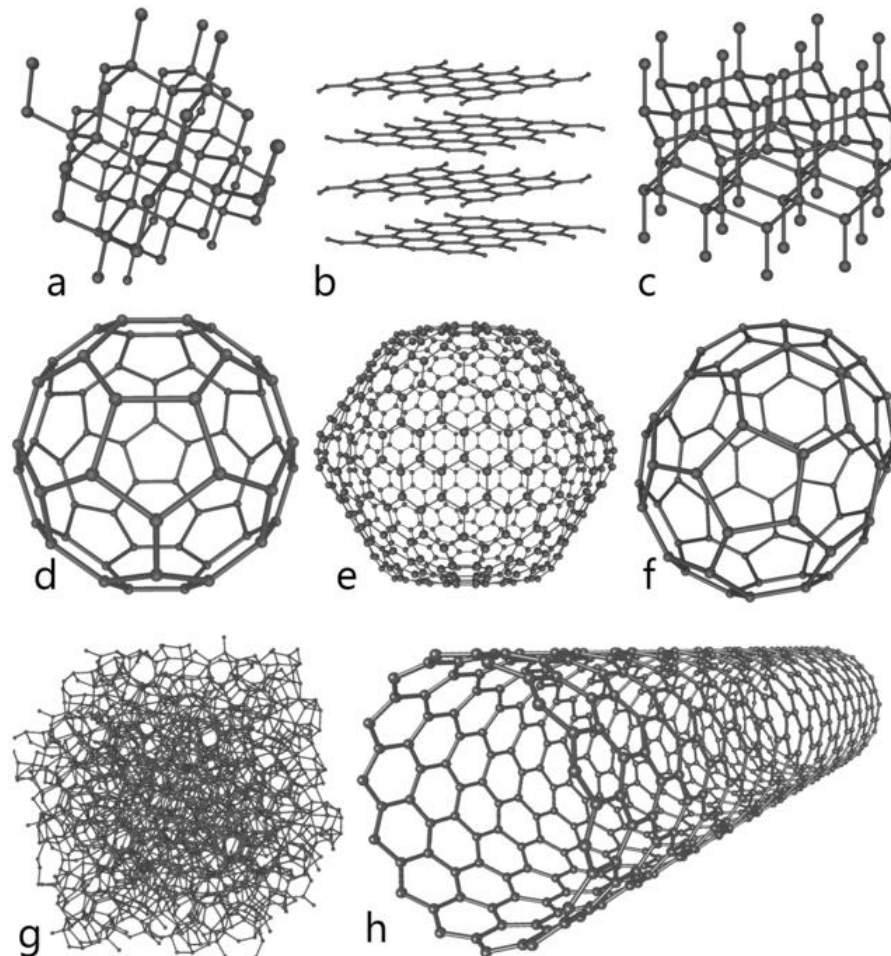


Kuva 2. Orgaanisen jätteen jaottelu sekä kiertokulku pyrolyysin ja kompostin kautta (alkuperäinen kuva Akdeniz, 2019, s. 293. Soveltanut Hakala, 2020).



Kuva 3. Biohiilen valmistukseen käytettävä hidas pyrolyysireaktori (Beacon, 2020).

Pyrolyysillä valmistettu biohiili muistuttaa mustaa ja kutistunutta versiota alkuperäisestä biomassasta. Biohiilessä on kuitenkin hyvin vähän vetyä ja happea. Se perii suuren osan alkuperäisestä rakenteestaan mikroskooppisesti katsottuna. Erona kuitenkin se, että siinä on muuttunut materiaali ligniinistä, selluloosasta ja hemiselluloosasta moniksi erilaisiksi hiilen alletroopeiksi (kuva 4). (Wilson, 2014)



Kuva 4. Hiilen kahdeksan alletrooppia: a) timantti, b) grafiitti, c) lonsdaleiitti, d) C60 (fullereeni), e) C540, f) C70, g) amorfinen hiili ja h) yksiseinäinen hiilinanoputki (Ströck, n.d.).

Biohiilen huokoisuus riippuu raaka-aineesta, hiukkaskoosta ja korkeimmasta käsittelylämpötilasta HTT (highest treatment temperature). Puhtaan hiiligrafiitin muodostumisen ja haihtuvien aineiden määrä riippuu pyrolyysissä käytettävästä lämpötilasta. Liian korkealla lämpötilalla (1000 °C) hiilen huokokset alkavat sulamaan ja romahtamaan. Esimerkiksi puusta tehdyn biomassan HTT on noin 750 °C. (Wilson, 2014)

Biohiiltä valmistettaessa on pidettävä huoli siitä, että pyrolyysistä muodostuneet höyryt optimoidaan. Huolimattomasti hoidetussa pyrolyysiprosessissa biohiili voi saastua ja prosessista voi syntyä ihmiselle tai luonnolle haitallisia aineita. Edellä mainittuja ongelmia välttämällä International Biochar Initiative (IBI, 2012) ja European Biochar Certificate (EBC, 2012) kehittivät laadukkaan biohiilen tuottamiseksi protokollan, varmistaakseen, ettei biohiiltä valmistaessa syntyneitä vaarallisia aineita päädy liian isoja määriä ekosysteemiin. (Wilson, 2014)

2.3 Biohiilen käyttö

Puuhiili on ollut tuhansien vuosien ajan yksi sivilisaatioiden perusmateriaali. Sen yleisimmät käyttökohteet ovat olleet ruoanlaitto, lämmitys ja ahjon lämmitys metallityökaluja valmistettaessa. Satojen vuosien ajan puuhiiltä ja biohiiltä on käytetty maanparannuksessa ja muun muassa kuivikkeena, lääkkeenä ja rehun lisäaineena. Viimeisen vuosisadan aikana suurin osa tästä perinteisestä tiedosta on kadonnut, mutta vuonna 2010 biohiiltä alettiin tutkimaan uudelleen. (EBC, 2012, s. 4)

Biohiilen (kuva 5) tuottaminen ja sen ominaisuuksien ymmärtäminen on edistynyt huomattavasti laaja-alaisten tieteellisten tutkimuksien ja kenttäkokeiden ansiosta. Biohiilen käyttö maataloudessa uskotaan kasvavan huomattavasti seuraavien vuosien aikana. Sitä tullaan käyttämään muun muassa maaperän kunnostamiseen, kompostien lisäaineeksi ja lannoitteiden sitojiksi, lannan käsittelyyn, rehun lisäaineeksi ja lääketieteellisiin sovelluksiin. Satomäärien on myös sanottu parantuneen, sen vedenpidätyskyvyn ansiosta maaperässä. Näiden lisäksi biohiiltä uskotaan käytettävän tulevaisuudessa rakennus- ja komposiittimateriaaleissa, tekstiili- ja elektroniikkateollisuudessa sekä maaperän puhdistamisessa ja jäteveden käsittelyssä. (EBC, 2012, s. 4; Mäkinen, 2016, s. 11)

Yli 1000:n parhaillaan käynnissä olevan tutkimusprojektin ansiosta biohiilen tuotantoteknologia kehittyi huomattavasti. Tutkimusprojekteissa tutkitaan muun muassa biohiilen ominaisuuksia, vuorovaikutuksia ja käyttökohteita. Joka kuukausi aiheesta ilmestyy testituloksia ja lukuisia tieteellisiä tutkimuksia. Uusia pyrolyysilaitteiden valmistajia tulee joka vuosi lisää ja alueet, joilla biohiiltä käytetään kasvaa nopeasti ja tasaisesti. Eurooppalaista biohiilisertifikaattia päivitetään jatkuvasti uusien tutkimustulosten ja havaintojen pohjalta. Testimenetelmät ja raja-arvot mukautetaan vastaamaan viimeisimpiä havaintoja ja ne otetaan tarvittaessa uudelleen käyttöön. (EBC, 2012, s. 5)

Biohiilen roolista hedelmällisen maaperän kehityksessä on esitetty useita hypoteeseja, mutta kenttätutkimusten tulokset ovat kuitenkin osoittaneet biohiilen vaikutuksen olevan satoa huomattavasti parantava, neutraali tai jopa negatiivinen. Biohiilen lisäyksen mekaaninen ymmärrys on jäänyt niin

hehkutuksen kuin tieteenkin varjoon. Biohiili on tuottanut hyvin erilaisia tuloksia maaperästä, ilmastosta ja biohiilen tyypistä riippuen. Kemiallisesti monimutkaisen ja heterogeenisen biohiilen vaikutuksia maaperässä on vaikeaa erottaa ja selittää mekaanisesti. (Wilson, 2014)



Kuva 5. Pyrolyysillä valmistettua biohiiltä (Carbons Finland Oy, 2020).

2.4 Biohiilen hyödyt maaperässä ja kompostissa

Wilsonin (2014) mukaan biohiilen lisäys maaperään parantaa viljelysmaata ja vähentää maaperän tiheyttä sekä lisää maaperän vedenpidätyskykyä. Biohiilestä tulee vakaampaa yhdessä savimineraalien kanssa ja se lisää kationinvaihtokapasiteettia (CEC) eli kykyä pitää kiinni sekä siirtää ravinnekationeja kuten ammoniumia, kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia. Se myös parantaa lannoitteiden käyttöä vähentämällä huuhtoutumista juurialueelta ja pitää mineraaleja kasveille saatavassa muodossa. Biohiilen on nähty tukevan maaperän mikrobien elämää ja biologista monimuotoisuutta, auttamaan kasveja vastustamaan tauteja ja taudinaiheuttajia, helpottamaan kasveja kasvamaan paremmin korkean suolapitoisuuden tilanteissa sekä lisäämään humushiiltä maaperän hiilivarastoon vähentäen ilmakehän hiilivarastoa.

Lauhkean ilmaston maaperässä, jossa humuspitoisuus on yleensä yli 1,5 % biohiilellä on toissijainen vaikutus ja biohiilen kyky adsorboida ravinteita maaperään saattaa lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä vaikuttaa negatiivisesti kasvien kasvuun. Tästä syystä biohiili tulisi aina ladata ravinteilla ja pinnat aktivoida mikrobien hapettumisen kautta, käytettäessä sitä lauhkeassa ilmastossa. Paras tapa ladata biohiili on lisätä sitä kompostiin 10-30 %. Yhteiskompostointi parantaa sekä kompostia että biohiiltä. Kompostimassaa voidaan käyttää turpeen korvikkeena viljelymaissa, kasvihuoneissa, taimitarhoissa ja muissa erityisviljelmissä. (Schmidt & Wilson, 2014)

Tasapainoisessa kompostissa on optimaalinen hiili:typpi (C:N) -suhde ja se sisältää runsaasti humusta. Mikrobit kuitenkin kuluttavat helposti hajoavat sokerit, rasvat ja proteiinit, jos hiiltä ei ole tarpeeksi saatavilla ja jättävät jälkeensä hyvin vähän substraattia. Useat tutkimukset osoittavat, että biohiili on arvokas ainesosa kompostissa ja että se voi toimia ravinteiden sieppaamisessa ja humuksen muodostamisessa. (Wilson, 2014)

Godlewskan ym. (2017, s. 201) tekemän tutkimuksen mukaan biohiilen lisäys kompostiin nopeutti kompostin kypsymistä ja nosti kompostin pH:ta. Biohiili myös lisäsi nitrifikaatiota ja vakaiden humiiniaineiden muodostumista kompostissa. Biohiilen ansiosta raskasmetallit immobilisoituivat eli ne sitoutuivat biohiilen ja olivat näin toimintakyvyttömiä. Myös kasvihuonekaasut vähentyivät kompostista.

Mäkisen (2016, s. 11–12) mukaan mikrobiyhteisön rakenne kompostiprosessin aikana riippui biohiilen lisäämisestä ja kompostoitavan jätteen alkuperästä. Edellä mainitut asiat vaikuttivat kompostin kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä kompostista tuotettavien lopputuotteiden ominaisuuksiin. Myös bakteeriheimojen ja -sukujen sekä joidenkin sieniyhteisöjen esiintymiseen ja monimuotoisuuteen on havaittu vaikutuksia, kun biohiiltä on lisätty kompostiin.

2.5 Biohiilen vaikutukset typen pidättymiseen kompostissa

Typpeä sisältävien biomassojen hajotessa ne vapauttavat suuria määriä ammoniakkia. Ammoniakin vesipitoista ionia kutsutaan ammoniumiksi (NH_4^+). Ammonium syntyy mikrobiprosessien ja ravinnekaskadien avulla, jotka muuntavat typpeä pääasiassa proteiineissa ja nukleiinihapoissa olevista orgaanisista muodoista mineraalimuodoiksi (ammonium, nitraatti ja nitriitti). Nämä voidaan toisinaan muuntaa nitrifioimalla ja denitrifioimalla mikrobien kaasumaisiksi päästöiksi. Päästöt sisältävät haihtuvaa ammoniakin kaasua (NH_3), typpikaasua (N_2), typpioksidia (NO) ja muita reaktiivisia typpikaasuja (amiinit ja indolit). Neutraalissa pH:ssa vesipitoinen ammonium (NH_4^+) ja kaasumainen ammoniakki (NH_3) ovat tasapainossa. Korkeampi pH pakottaa enemmän vesipitoista ammoniumia kaasufaasiin, ja pääsee näin haihtumaan ilmakehään. (Wilson, 2014)

Steinerin ym. (2008) ja Cloughin ym. (2013) tekemien tutkimusten mukaan biohiili pystyy pidättämään typpeä maaperässä. Steinerin ym. (2010) ja Huangin & Xuen (2014) mukaan biohiili pidättää typpeä myös kompostissa ja vähentää ammoniakkin päästöjä sekä lisää typen kokonaismäärää jopa 65 %. Wilsonin (2014) mukaan kompostiprosessin aikana biohiilen ammoniakkin pidätyskyky voi jopa parantua.

3 LIETELANTA

3.1 Lantalajit, lietelannan ominaisuudet sekä käyttö lannoitteena

Karjanlanta voidaan jakaa viiteen lajiin: lantaan, kuivikelantaan, lietelantaan, kuivalantaan ja sontaan. Lannassa on sontaa tai virtsaa tai molempia ja siinä on mukana kuiviketta kuten turvetta, kutterinlastua tai olkea ja/tai vettä. Kuiviketta käytetään eläinsuojan pohjaa peittävänä sitoen itseensä virtsaa ja sontaa (Virtanen, 2017, s. 1). Kuivikelannassa virtsa on imeytynyt kuivikkeeseen. Lietelanta on juoksevassa muodossa olevaa lantaa, jossa sonta ja virtsa ovat sekoittuneet keskenään. Kuivalannassa virtsa on erotettu kourun avulla virtsasäiliöön. Sonta on ilman virtsaa oleva eläimen kiinteä uloste. (Luostarinen ym., 2011, s. 12)

Lietelanta voidaan jakeistaa neste- ja kuivajakeeseen. Tätä kutsutaan myös separoinniksi. Liete voidaan separoida joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Mekaaninen on edullisempi tapa, koska siinä ei tarvitse käyttää kalliita kemiallisia aineita. Mekaanisessa separoinnissa lietelanta puristetaan ruuvipuristimen läpi, jolloin siitä saadaan erotettua neste ja kuiva-aines erilleen. (Reiskone Oy, 2019; Luostarinen ym., 2011, s. 12)

Raakalietteen tyyppi jakautuu ruuvipuristimella separoitaessa nestejakeeseen 70-80 prosenttisesti ja vastaavasti saman suuruinen osuus fosforista jakautuu kuivajakeeseen. Ravinteiden näin vahva erottuminen helpottaa niiden käyttömahdollisuuksia. Esimerkiksi nestejaetta voidaan fosforin rajoittamatta levittää 20-30 prosenttia enemmän kuin raakalietettä. (Partanen, 2019, s. 4)

Ympäristötuen fosforirajoituksen puitteissa lannoittaessa, ratkaisevassa osassa on lannoitteen mukana levitettävän liukoisen typen (liuk.N) määrän ja kokonaisfosforin suhdeluku (taulukko 2). Liukoista typpeä voidaan levittää enemmän hehtaaria kohden käyttämällä nestejaetta sen korkeamman liuk.N/P-suhdeluvun takia. Nestejaetta voidaan levittää enemmän myös nitraattidirektiivin (170 kg N/ha) puitteissa, koska nestejakeessa on suurempi liukoisen typen ja kokonaistypen suhdeluku (liuk.N/N). Kuivajakeen pieni liuk.N/P-suhde ja vähäinen muodostuminen separoitaessa mahdollistaa sen kuljetuksen pidemmänkin matkan päähän alhaisen fosforitason pelloille. (Pyykkönen & Ervasti, 2019, s. 6)

Suuren fosforimäärän takia kuivajakeen käytölle aiheutuu rajoituksia. Kuivajaetta on kuitenkin mahdollista käyttää fosforintasaajana tai levittää kuivajaetta paljon fosforia tarvitseville kasveille. Näin pystytään hyödyntämään molempien jakeiden ravinnepitoisuudet tehokkaasti. Kuivajakeen suurta fosforimäärää voidaan käyttää hyödyksi tasaajana esimerkiksi nurmea suojaviljan kautta perustettaessa ja antaa varastoon tulevalle nurmikasvustolle fosforilannoitusta. (Partanen, 2019, s. 4)

Taulukko 2. Lietelannan ravinnepitoisuudet (kuivike ei tiedossa) (Pyykkönen, 2019, s. 6. Soveltanut Hakala, 2020).

	Massa (kg)	Kuiva-aine (%)	N (kg/t)	Liuk.N (kg/t)	P (kg/t)	K (kg/t)	Liuk.N/P-suhde	Liuk.N/N-suhde
Lietelanta	1000	8,9	3,5	2,1	0,61	3,6	3,4	0,59
Ruuvien neste	794	4,9	3,4	2,3	0,54	3,9	4,2	0,68
Ruuvien kuiva	206	24,3	4,6	1,5	0,92	3,4	1,7	0,33

3.2 Kompostointi

Kompostointi voidaan määritellä mikrobiologiseksi prosessiksi, jossa kosteassa, riittävän lämpöeristetyssä ja hapellisessa eli aerobisessa tilassa erilaiset mikrobit hajottavat eloperäisen jätteen orgaanista ainesta. Kompostiprosessin lopputuotteiksi syntyy hiilidioksidia, vettä, stabiilia humusainetta ja epäorgaanisia suoloja sisältävää materiaalia. Prosessin aikana mikrobitoiminnan vaikutuksesta kompostin lämpötila voi nousta jopa + 70 °C:seen. Lämpötilan kohoaminen kompostiprosessissa nopeuttaa biologisia ja kemiallisia reaktioita massassa, mikä taas nopeuttaa orgaanisen aineksen hajoamista. Typpeä haihtuu ammoniakkinä suuria määriä kompostiprosessin saavuttaessa lämpöhuippunsa. Myös pH:n nousu kompostissa lisää ammoniakkinen haihtumista. (Paatero, Lehtokari & Kempainen, 1984, s. 21; Suomalainen, 2007, s. 69)

Kompostoinnin onnistumiseksi tarvitaan mikrobeille suotuisat olosuhteet sopivalla määrällä ravinteita, kosteutta ja lämpöä. Tärkeimmät ravintoaineet hajotustoiminnan kannalta ovat hiili ja typpi. Fosfori ja hivenaineet ovat myös keskeisiä ravintoaineita. Varsinaisena polttoaineena toimii hiili ja mikrobin proteiinien rakennusaineena typpi. Kompostiprosessissa hiilen ja typen optimisuhdetta (C/N) pidetään 30:1 - 20:1. Jotta typpeä karkaisi mahdollisimman vähän, tulisi C/N - suhteen olla yli 30. Suhteen optimointi tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi hyvin typpipitoista lietelantaa kompostoitessa on siihen lisättävä hiilipitoista tukiainetta eli esimerkiksi turvetta. Tilavuussuhde tukiaineella ja lietelannalla on 1,5:1 - 3:1. Typen (ammoniakki) hävikkiä pystytään pienentämään, kun C/N - suhdetta tasataan lisäämällä tukiainetta kompostiin. (Suomalainen, 2007, s. 70)

Kompostoinnin kannalta varsin tärkeä tekijä on vesipitoisuus, sillä mikro-organismit pystyvät toimimaan ja lisääntymään ainoastaan vesiliuoksessa. Kosteuspitoisuuden yläraja vaihtelee syöttömateriaalista riippuen 60-75 % välillä. Kosteuspitoisuuden alaraja on kompostoinnin kannalta 30 %. Kompostin hajoamisprosessi lähtee huomattavasti nopeammin käyntiin, jos syöttömateriaalin lämpötila on yli 20 °C. (Paatero ym., 1984, s. 29)

3.3 Lietelannan kompostointi

Lietelanta ei sisällä luonnostaan happea. Lannassa elää vain käymis- ja mätänemisbakteerit, jotka muodostavat esimerkiksi rikkivetyä ja metaania eli biokaasua käyttämällä aineenvaihdunnassaan hyödykseen lannan sisältämiä hiiliyhdisteitä. Lietelantaa on mahdollista kompostoida vain, jos sitä ilmastetaan koneellisesti. Mitä vähemmän lietelannassa on kiintoainetta, sitä helpommin happi imeytyy siihen. Lietelantaa kompostoidaan Suomessa lähinnä siksi, että siitä halutaan luonnonmukaiseen viljelyyn sopiva tuote. (Karhunen, 1990, s. 2)

3.3.1 Kompostipohja

Lantaa voidaan kompostoida esimerkiksi kompostipohjassa. Tällä menetelmällä lanta kerätään kuivikepohjaan (turvehake tai sahanpuruhake) ja siihen voidaan lisätä entsyymipreparaattia. Lanta kompostoituu kuivikepohjassa noin vuoden ajan. Jotta kompostiprosessi pysyisi käynnissä ja riittävän lämpöisenä (30-45 °C), on sitä käännettävä säännöllisesti esimerkiksi traktorin perään kiinnitettävällä kultivaattorilla. (Suomalainen, 2007, s. 70–71)

3.3.2 Avokompostointi

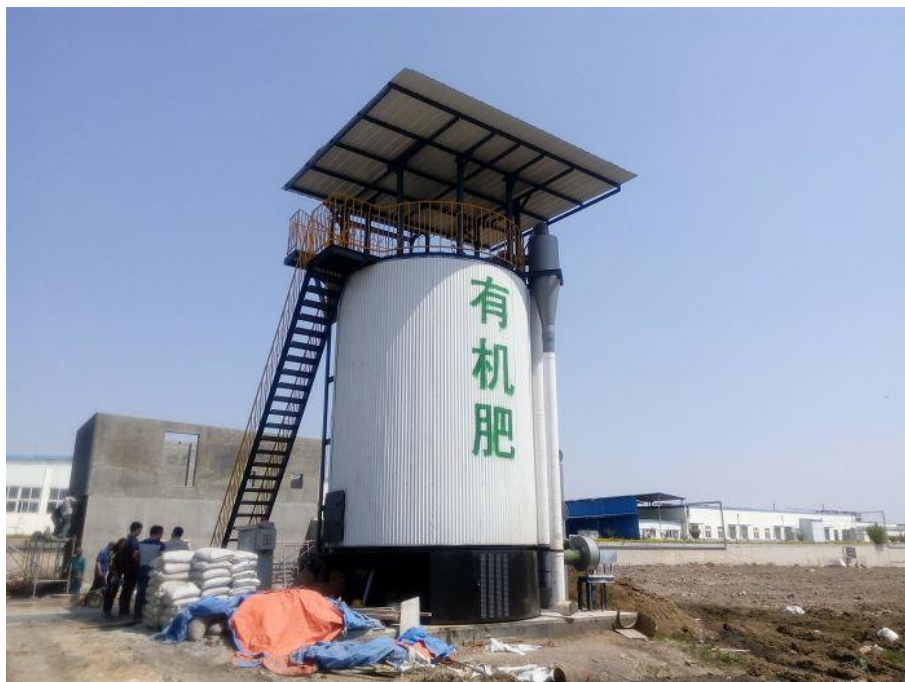
Avokompostointi (kuva 6) jaetaan kahteen erilaiseen tekniikkaan ilmastustavasta riippuen sekoittamalla tai kääntämällä ilmastettuun kompostiin tai avokompostiin, joka ilmastetaan koneellisesti. Jälkimmäisessä tekniikassa ilmastus tehdään puhaltamalla tai imemällä ilmaa kompostin läpi. Ilmastamattomassa kompostissa auman pohjalle on mahdollista muodostua anaerobinen kerros, jos luonnollinen ilmastus ei virtaa riittävän syvälle auman reunoilta. Avokompostointi on mahdollista tehdä aumassa tai kasassa, joiden pohja on hiekkaa, soraa, murskettä, betonia tai asfalttia. Kauhakuormaajaa tai erikoiskoneita voidaan käyttää kompostin käännessä. (Paatero ym., 1984, s. 84–86; Suomalainen, 2007, s. 71)



Kuva 6. Avokomposti (Solajoki, 2012).

3.3.3 Reaktorikompostointi

Reaktorikompostorit (kuva 7) jaetaan myös kahteen eri tavalla toimivaan; jatkuva- ja panostoitukseen. Reaktorikompostorit voidaan jakaa niin edelleen rumpu-, siilo- ja tornireaktoreihin. Kompostireaktoreille ominaista on, että esikompostointi saavutetaan 3 - 10 vuorokauden kompostointiajassa. Jos tuotteen käyttötarkoitus ei salli jälkikompostointia käyttökohteessa, on esikomposti aina jälkikompostoitava. Viiveajat ovat tyypillisesti rumpureaktoreissa 3 - 6 vuorokautta, tornireaktoreissa 5 - 10 vuorokautta ja siiloreaktoreissa 12 - 15 vuorokautta. (Paatero ym., 1984, s. 95–99)



Kuva 7. Reaktorikompostori (Shandong Goldenest Machinery Manufacturing Co., 2020).

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Astiakokeessa käytetyt biohiililantakompostit (kuva 8) tätä koetta varten saatiin HAMK Bio:n vuonna 2019 järjestämästä kokeesta. Kokeessa käytetty lanta oli peräisin noin 100 eläinyksikön lypsykarjatilalta Hauholta. Tilalla käytettiin kuivikkeena kutterinpurua. Lanta oli jakeistettu kuivikeseparaattorilla kuivajakeeseen ja nestejakeeseen. Kokeessa käytetty biohiili oli hankittu Carbofex Oy:ltä, sen raaka-aine oli PEFC -sertifioitu kuusi ja se oli tuotettu + 600 °C:een pyrolyysillä. Biohiili lisättiin lannan kuivajakeeseen ennen kompostiprosessin alkua. Biohiilen ominaisuudet löytyvät liitteenä (4). Tutkimusasetelma koostui 15 itserakennetusta noin 260 litran lämpökompstorista (kuva 9). Käsittelyitä oli viisi ja jokaiselle käsittelylle oli varattu kolme kompostoria. Biohiilen määrä vaihteli käsittelyittäin 0, 2 ja 8 tilavuus-%. Biohiilen karkeusaste oli alle 5 mm ja yli 10 mm. Koejakso kesti neljä viikkoa ja siitä otettiin näytteet aluksi ja lopuksi. Biohiililantakompostin ravinneanalyysit löytyvät liitteenä (5). (Ranki, 2020; Carbofex Oy, 2019)



Kuva 8. Biohiililantakompostit (Hakala, 2019).



Kuva 9. Biohiililantakompostikokeen lämpökompostorit (Pölönen, 2019).

Tämä tutkimuskoe oli jatkumoa edellä mainitulle kokeelle ja tämän kokeen tarkoituksena oli selvittää, miten biohiili vaikuttaa lantakompostin ravinteiden käyttökelpoisuuteen ja pystyykö se pidättämään tai vapauttamaan ravinteita lantakompostista sekä onko sillä kalkitusvaikutusta. Kokeessa käytetty biohiililantakomposti oli noin neljä kuukautta vanhaa. Koe järjestettiin Lepaan kasvihuoneen koehuoneessa loppuvuodesta 2019.

4.1 Kokeen toteutuksen yleiset pääperiaatteet ja reunaehdot

Koehuoneen pinta-ala oli 64 br-m^2 , josta varsinaista pinta-alaa oli 32 m^2 . Pinta-ala koostui kahdeksasta 4 m^2 altakastelupöydästä. Typpilannoitustaso (Ntot) oli laskennallisesti saman suuruinen kaupallisen viljelykäytännön mukaisessa käsittelyssä, biohiililantakompostissa ja kompostoimattomassa kuivajakeessa. Yhdessä referenssikäsittelyssä ei ollut lannoitusta. Hiilidioksidilannoitusta ei käytetty.

Kasvualustana käytettiin Kekkilä Oy:n kalkitsematonta ja lannoittamatonta keskikarkeaa AirBoost 630 BB -turvetta, johon oli lisätty sammalta. Turpeen kalkitus dolomiittikalkilla suoritettiin samassa yhteydessä, kun kasvualustaan lisättiin käsittelyiden valmistusohjeiden mukaiset lannoitteet tai biohiililantakompostiseokset. Kalkituksen jälkeen kasvualustan pH oli noin 6,0.

Ruukkukoko oli 14 cm, ruukun täyttötilavuus oli $1,1 \text{ dm}^3$ ja pinta-ala $1,54 \text{ dm}^2$. Jokaiseen käsittelyyn tehtiin tarkat valmistusohjeet ja lannoitteelle sekä biohiililantakompostille tehtiin omat mitta-astiat. Käsittelyt ruukutettiin käsin yksi kerrallaan (kuva 10), jotta pystyttiin varmistamaan,

että käsittelyistä tuli valmistusohjeiden (taulukko 3) mukaiset. Ruukkujen alla käytettiin aluslautasia, jotka estivät ravinteiden huuhtoutumisen ja jokaiseen ruukkuun lisättiin värisäle helpottamaan käsittelyiden tunnistamista (kuva 11).

Raiheinäkokeesta kerättiin satoa siten, etteivät eri astioiden kasvit päässeet varjostamaan toisiaan merkittävästi. Satoa kerättiin kokeen aikana neljä kertaa, noin kahden viikon välein. Sadosta punnittiin vain kokeen aikainen kokonaissato.

Käsittelyt kasteltiin käsin hajottajalla ruukun aluslautaselle. Kokeen alussa kasteltiin kaikkia yhtä paljon. Kokeen edetessä kasteltiin enemmän eniten haihduttavia käsittelyitä, jotta kaikki käsittelyt olisivat suunnilleen yhtä kosteita koko kokeen ajan. Käsittelyitä kasteltiin 1-2 kertaa viikossa.



Kuva 10. Käsittelyt ruukutettiin käsin valmistusohjeiden mukaisesti (Hakala, 2019).



Kuva 11. Ruukkujen alle asetettiin aluslautaset ja ruukkuun asetettiin värisäle (Hakala, 2019).

4.2 Käsittelyt

Käsittelyiden numerot, säleen värit, lannoitus- ja kasvualustakäsittelyt, lisätty Ntot mg/astia, typen lähde sekä astiakohtainen valmistusohje.

Taulukko 3. Käsittelyiden tiedot.

Käsittelyn numero + säleen väri	Lannoitus- ja kasvualustakäsittely	Lisätty Ntot mg/astia, laskennallinen	Typen lähde	Astiakohtainen valmistusohje
1 Vihreä	Kompostoitamaton kuivaksi puristettu lanta + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	396 ml kompostia + 694 ml turvetta
2 Keltainen	Kompostoitu kuivaksi puristettu lanta + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	177 ml kompostia + 923 ml turvetta
3 Valkoinen	Kompostoitu kuivaksi puristettu lanta + 2 % hienoa biohiiltä + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	200 ml kompostia + 900 ml turvetta
4 Violetti	Kompostoitu kuivaksi puristettu lanta + 2 % karkeaa biohiiltä + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	192 ml kompostia + 908 ml turvetta

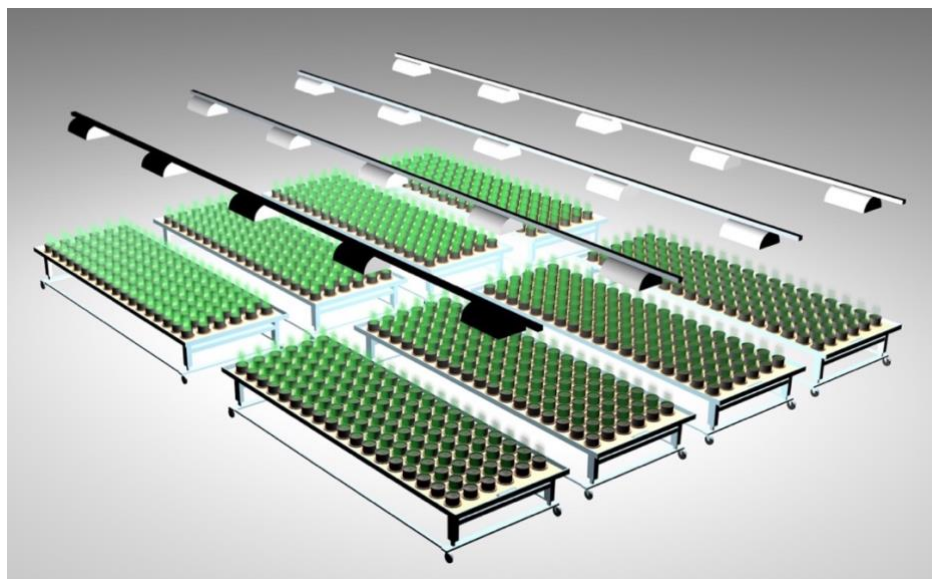
5 Sininen	Kompostoitu kuivaksi puristettu lanta + 8 % hienoa biohiiltä + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	205 ml kompostia + 905 ml turvetta
6 Oranssi	Kompostoitu kuivaksi puristettu lanta + 8 % karkeaa biohiiltä + turve pH 6	396 mg	100 % lanta	224 ml kompostia + 876 ml turvetta
7 Punainen	Ei lannoitusta + turve pH 6	0	0	1100 ml turvetta
8 Punainen + X	Osmocote Start 3 kg m-3 + turve pH 6	396 mg	100 % Osmocote	3,3 g lannoitetta + 1100 ml turvetta

4.3 Koeasetelma ja kokeiden rakenne

Koeasetelma oli laadittu siten, että tuloksiin ajateltiin lähtökohtaisesti vaikuttavan vain yksi tekijä, joka oli kasvualustakäsittely. Tämän lisäksi pöytien välillä ja pöytien sisällä saattoi esiintyä pieniä kasvueroja, koska niiden kastelua ja valo-olosuhteita oli vaikea saada täsmälleen saman suuruisiksi. Tässä kokeessa niitä jouduttiin käsittelemään satunnaistekijöinä.

Koeasetelma oli RCBD (satunnaistetut täydelliset lohkot). Kokeen toistojen määrä oli 16 ja toistot jakautuvat kahdeksalle pöydälle (kuva 12), jolloin jokaisella pöydällä oli kaksi toistoa.

Koeasetelma mahdollisti yhden tekijän varianssianalyysin (one-way) tekemisen kaikille tekijöille, joista oli kerätty ruutukohtaiset mittaukset (kuiva-ainekertymät ja kasvi- ja puristenesteanalyysit) sekä käsittelyjen parittaiset vertailut. Tutkimuskokeen koepiirros löytyy liitteenä (1).



Kuva 12. 3D-mallinnus koeasetelmasta (Hakala, 2019).

4.4 Kasvilajit ja määrät

Tutkimuskokeen kasvilajiksi valittiin yleisesti raiheinäkokeissa käytetty Westerwoldin raiheinä (*Lolium multiflorum var. westerwoldicum*) (kuva 13). Se valittiin kasviksi, sen nopean kasvutavan takia. Raiheinä kasvaa tasaisesti ja siitä nähdään helposti kasvualustan vaikutukset kasvin kasvuun.

Raiheinän kylvötiheys oli 800 kg/ha eli 1,2 grammaa astiaa kohden. Kylvötiheys (kuva 14) oli kaksinkertainen siemenmyyjän suosituskylvötiheyteen verrattuna. Siemeniä tarvittiin yhteensä $768 * 1,2$ grammaa = 922 grammaa. Astiatheydeksi valittiin 24 kpl/m². Ruutukoko (core plot) oli kokeessa 4 astiaa.



Kuva 13. Raiheinäkasvusto (Hakala, 2019).



Kuva 14. Raiheinän siementen kylvö (Hakala, 2019).

4.5 Mitatut tekijät, analyysit ja muut havainnot

4.5.1 Kuiva-aineen määrittäminen

Merkittävin tutkittava tekijä oli syntyvän kuiva-aineen määrä ja kuiva-aineen ravinnepitoisuudet. Raiheinä leikattiin kahden viikon välein ja pussitettiin ruutukohtaisiin pusseihin (kuva 15). Pussit kuivattiin uunissa + 60 °C:ssa kahden vuorokauden ajan. Kuivauksen jälkeen pussit punnittiin ruuduittain ja painot syötettiin Excel-tiedostoon.



Kuva 15. Raiheinän sadonkorjuu (Hakala, 2019).

4.5.2 Puristenesteanalyysit

Kokeen alussa ja lopussa otettiin kaupalliset puristenesteanalyysit ja ne tehtiin käsittelyittäin (8 + 8 kpl). Kokeen lopussa tehtiin myös kasvianalyysit käsittelyittäin (8 + 8 kpl).

Kokeen lopussa otettiin puristenestemittaukset käsimittarilla ruuduittain. Puristenesteistä mitattiin johtokyky ja pH.

4.5.3 Juurten määrittäminen

Juurten määrä määritettiin silmämääräisesti samalla, kun käsittelyistä mitattiin johtokyky ja pH. Määrittäminen tapahtui asteikolla 1 – 3 (kuva 16).

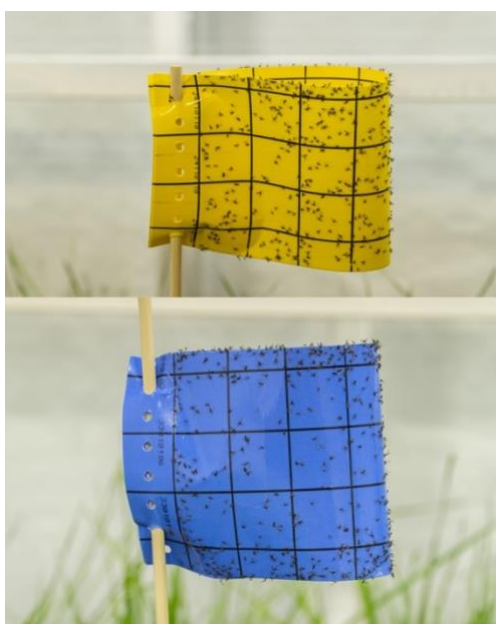
- 1 = vähän juuria
- 2 = kohtalaisesti juuria
- 3 = paljon juuria



Kuva 16. Juurten arviointiasteikko (Hakala, 2019).

4.5.4 Muut havainnot

Kasvitauteja tarkkailtiin silmämääräisesti sekä tuholaisia kelta- ja siniansoilla (kuva 17).



Kuva 17. Kelta- ja siniansat (Hakala, 2019).

4.6 Lannoitusmäärät

Verrokkilannoitteena käytettiin hallitusti liukenevaa Osmocote Start -lannoitetta, jossa NPK-ravinnepitoisuudet olivat 12-5-14 ja ravinteiden vapautumisnopeus oli 21 asteessa 6 viikkoa. Käyttömäärä oli 3,0 kg/m³.

Ruukkukoon ollessa 14 cm ja kasvualustatilavuuden 1,1 dm³, Osmocote Start -lannoitetta kului astiaa kohden 3,3 g. Osmocote Start -lannoitteen typpipitoisuuden ollessa 11 %, yhden astian sisältämä lannoitteesta saatu Ntot oli 396 mg. Tämä määrä oli biohiililantakompostikäsitteilyjen perusta. Lannoitteiden levitysmäärät perustuivat etukäteen saatuihin analyysituloksiin ja niistä tehtiin erillinen Excel-taulukko. Lannoitukset tehtiin kertalevityksenä.

Osmocote Start lannoite sisältää pääravinteista typpeä 11 % (nitraattityppi 4,5 % ja ammoniakkityppi 6,5 %), fosforia 4,8 %, kaliumia 14,1 %, magnesiumia 1,2 % sekä mikroravinteista rautaa 0,38 %, mangaania 0,05 %, booria 0,01 %, kuparia 0,09 %, molybdeenia 0,009 % ja sinkkiä 0,014 % (ICL 2015).

4.7 Kokonaiskasvualustamäärät

Ruutukoko (core plot) oli 4 astiaa ja reunakasvien kanssa 6 astiaa. Astioiden määrä oli yhteensä 8 pöytää * 2 toistoa * 8 käsittelyä * 6 astiaa/käsittely = 768 astiaa. Tarvittava kasvualustamäärä oli yhteensä 768 astiaa * 1,1 dm³ = 845 dm³. Yhteensä kasvualustaa tarvittiin maksimissaan 845 dm³. Kompostilisäykset pienensivät tätä lukua hieman. Astioita tuli yhteensä 64 kpl per käsittely.

4.8 Koeajankohta

Testausajankohta oli alkutalvi, jolloin luonnonvaloa ei ollut riittävästi kasvien kasvuun, joten kasveille annettiin ensimmäisen viiden viikon ajan HSP-keinovalotusta 10 tuntia vuorokaudessa ja viidennen viikon jälkeen 16 tuntia vuorokaudessa asennusteholla 125 W/m². Huoneen päivälämpötilaksi asetettiin + 21 °C ja yölämpötilaksi + 18 °C. Koe alkoi 12.10.2019 ja loppui 10.12.2019. Koe kesti 60 vuorokautta.

4.9 Kokeen purku

Viimeisen sadonkorjuun sekä puristenesteiden ja pH:n mittausten jälkeen kasvualustat tyhjennettiin ruukuista kompostiin. Ruukut ja aluslautaset varastoitiin myöhempää käyttöä varten.

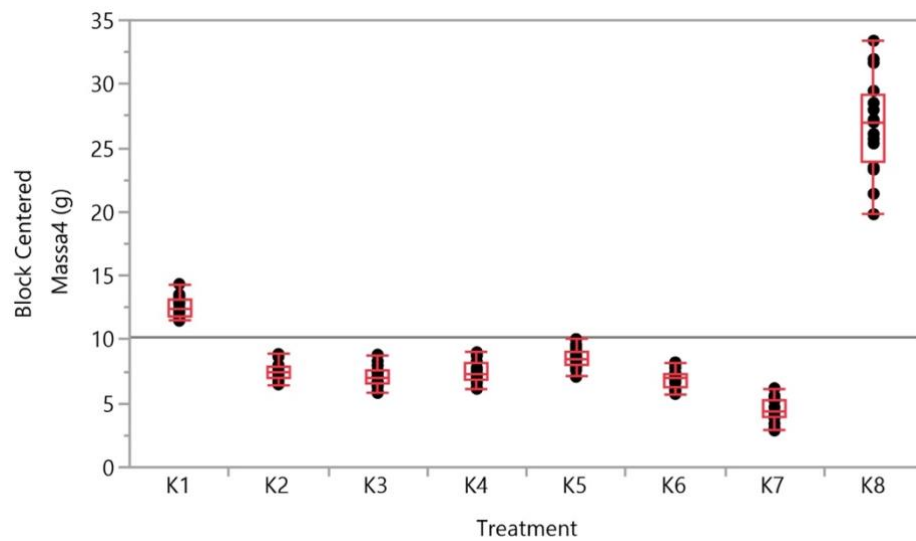
4.10 Aineistojen tilastollinen käsittely

Punnitut kuivapainot, mitatut johtokyvyt, pH, kasvianalyysit sekä juurten määrät syötettiin Excel-tiedostoon. Kuivapainojen, johtokykyjen, pH:n sekä juurien aineistoista tehtiin varianssianalyysit sekä parivertailut JMP Pro 14 -tilasto-ohjelmalla.

5 TULOKSET

5.1 Kuivapainot

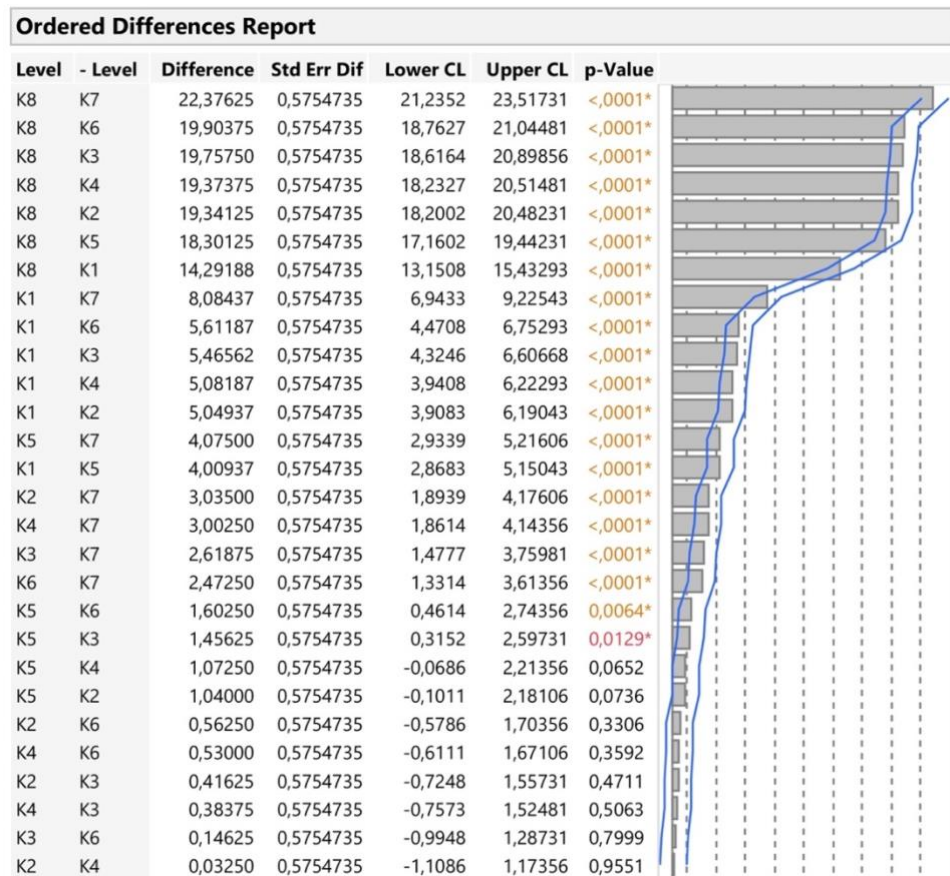
Käsittelyiden kuivapainoissa oli tilastollisesti merkitseviä ja erittäin merkitseviä eroja (kuva 18). Käsittelyn 8 kuivapaino erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 7. Käsittelyn 1 kuivapaino erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 2, 3, 4, 5, 6, 7 ja 8. Käsittelyn 7 kuivapaino erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 8. Käsittelyn 5 erosi tilastollisesti merkitsevästi käsittelyistä 3 ja 6 sekä erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1 ja 8.



Kuva 18. Raiheinän kuivapainon määrä g/käsittely.

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	7	5651,2361	807,319	304,7227	<,0001*
Replicate	15	156,7701	10,451	3,9449	<,0001*
Error	105	278,1826	2,649		
C. Total	127	6086,1888			

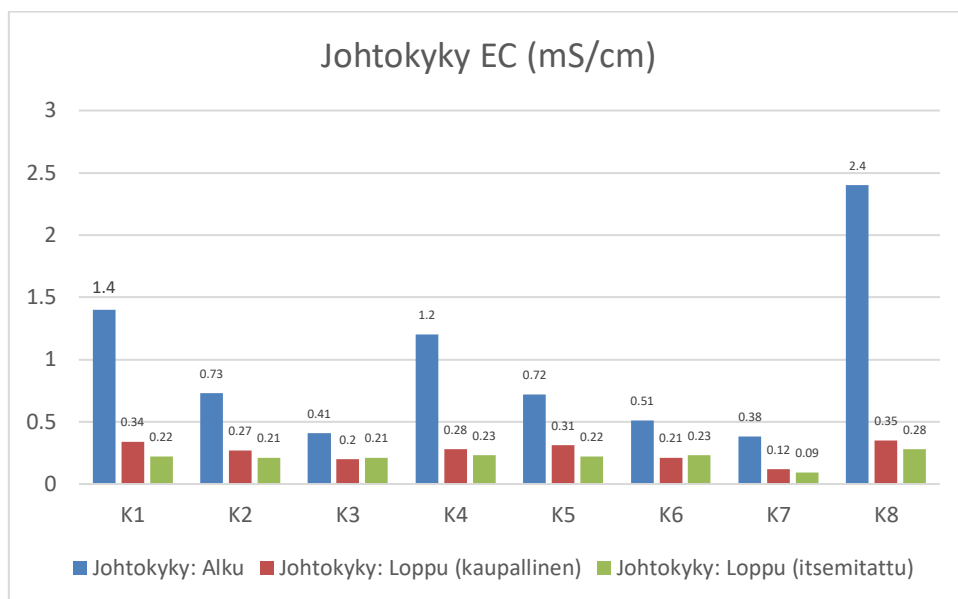
Kuva 19. Raiheinän kuivapainojen varianssianalyysi. Analyysin tuloksista nähdään, että käsittelyjen ja toistojen keskiarvot poikkesivat toisistaan. Erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.



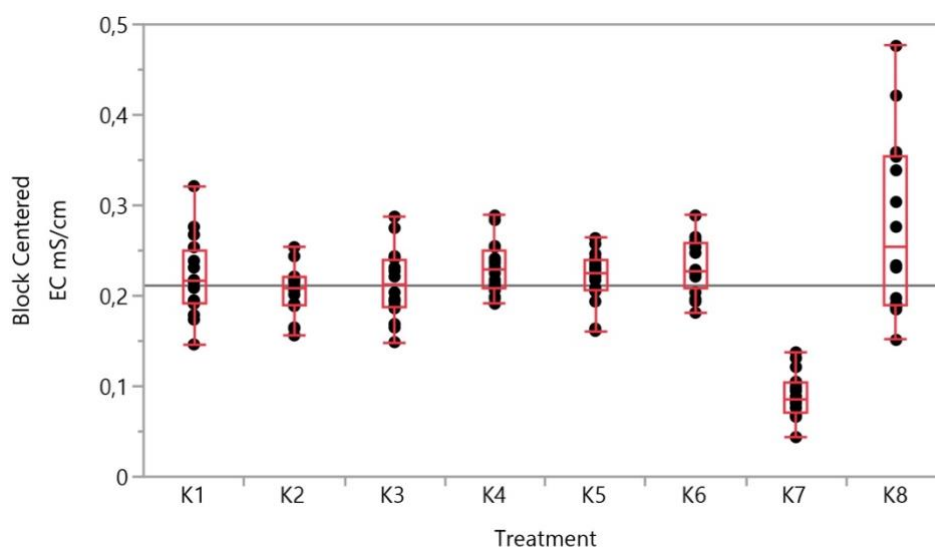
Kuva 20. Kuivapainokeskiarvojen parivertailut käsittelyittäin. Käsittelyjen välisten erojen merkitsevyydet on esitetty taulukossa p-lukuna.

5.2 Johtokyky

Käsittelyiden johtokyvyyssä oli tilastollisesti merkitseviä ja erittäin merkitseviä eroja (kuva 22). Käsittelyn 7 johtokyky erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 8. Käsittelyn 8 johtokyky erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 2, 3 ja 7 sekä merkitsevästi käsittelyistä 1, 4, 5 ja 6. Käsittelyn 8 toistojen välillä oli suurta hajontaa.



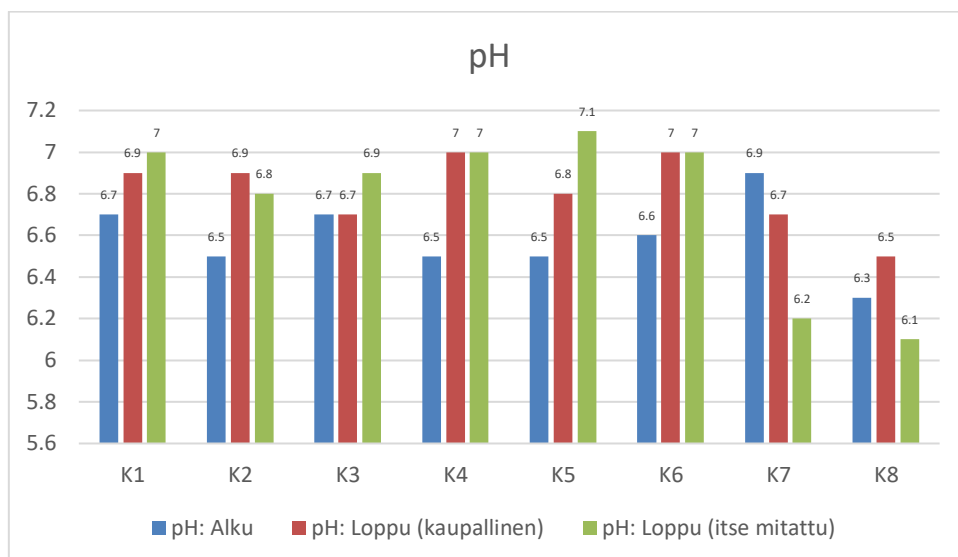
Kuva 21. Puristenesteen johtokyky (mS/cm) käsittelyittäin kokeen alussa ja kokeen lopussa.



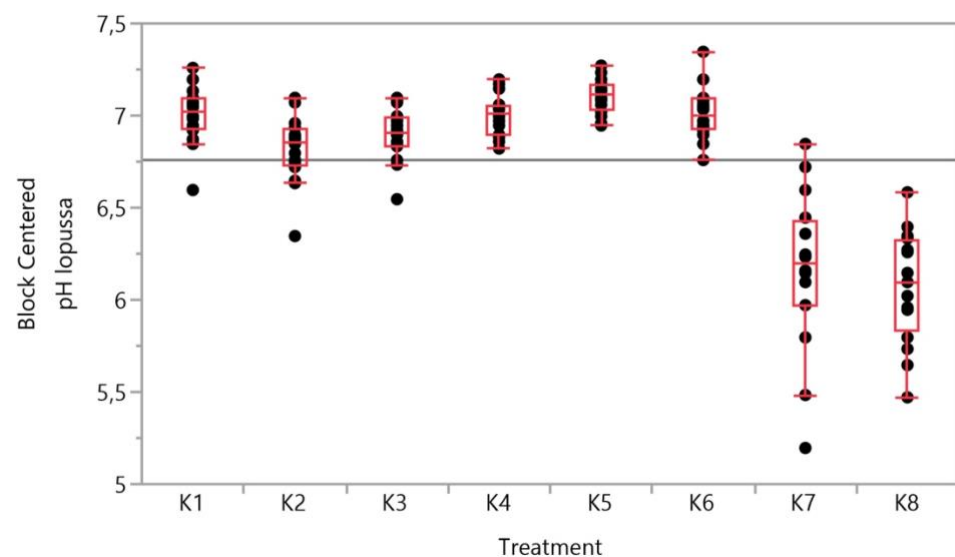
Kuva 22. Puristenesteiden johtokyvyt (mS/cm) käsittelyittäin kokeen lopussa box-plot -kaaviona.

5.3 Happamuus (pH)

Käsittelyiden pH:ssa oli tilastollisesti melkein ja erittäin merkitseviä eroja (kuva 24). Käsittelyn 8 pH erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1, 2, 3, 4, 5 ja 6. Käsittelyn 7 pH erosi tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelyistä 1, 2, 3, 4, 5 ja 6. Käsittelyn 2 pH erosi tilastollisesti melkein merkitsevästi käsittelyistä 1, 4 ja 6. Käsittelyn 3 pH erosi tilastollisesti melkein merkitsevästi käsittelyistä 5. Käsittelyiden 7 ja 8 pH:ssa oli suurta hajontaa.

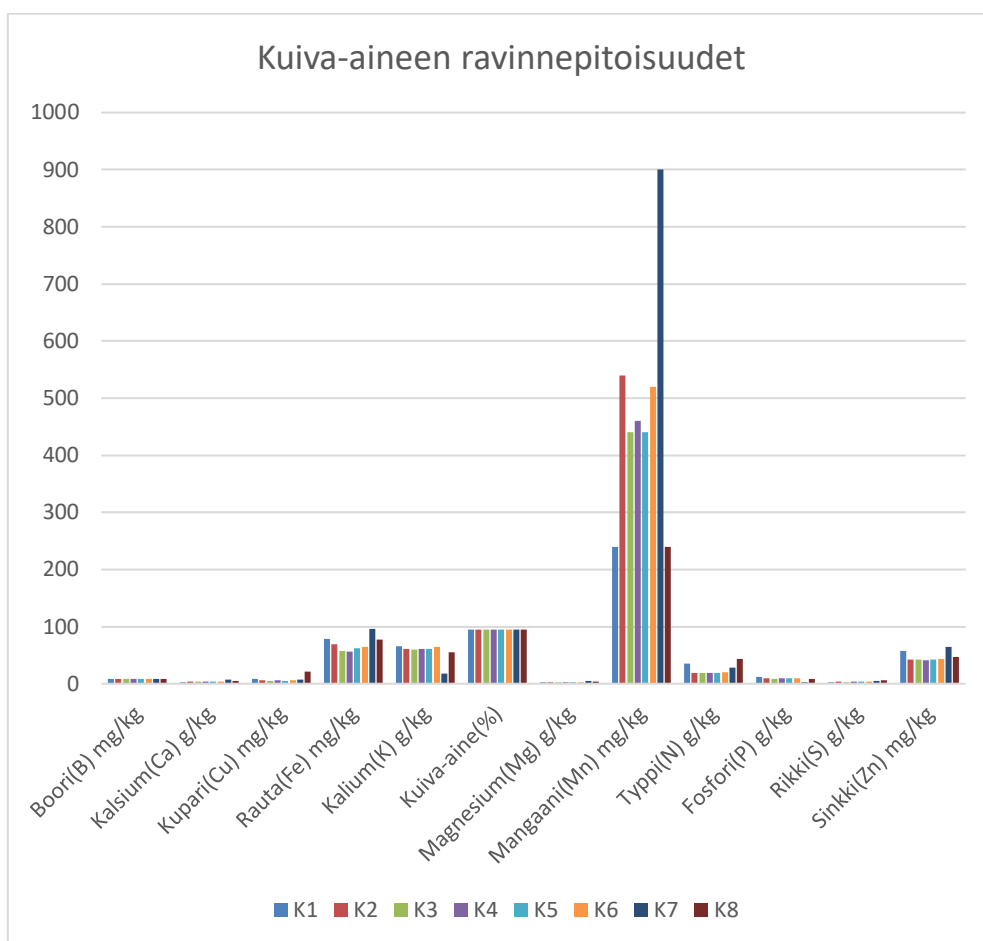


Kuva 23. Puristenesteen pH käsittelyittäin kokeen alussa ja kokeen lopussa.

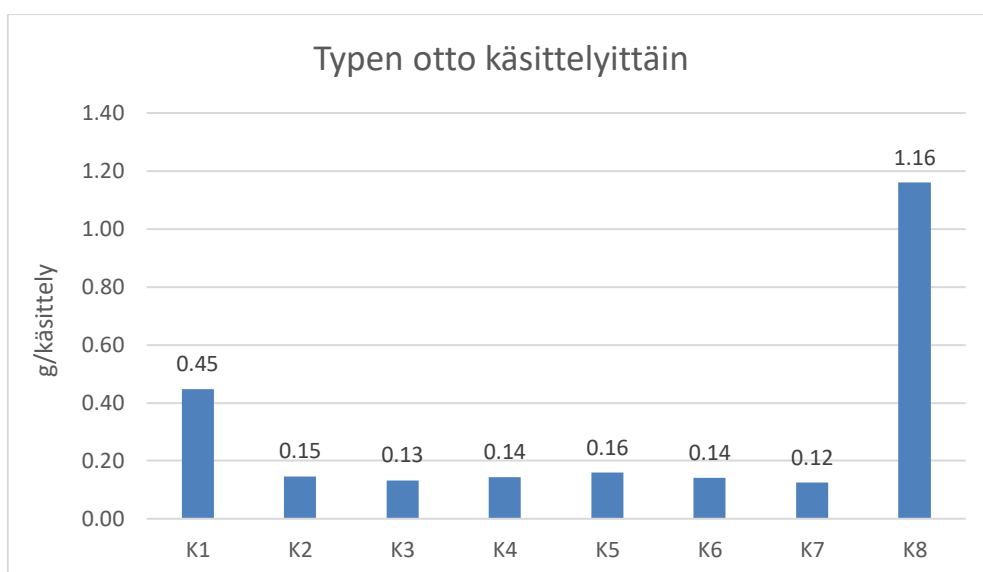


Kuva 24. Puristenesteiden pH käsittelyittäin kokeen lopussa box-plot kaaviona.

5.4 Kuiva-aineen ravinnepitoisuudet ja typen otto



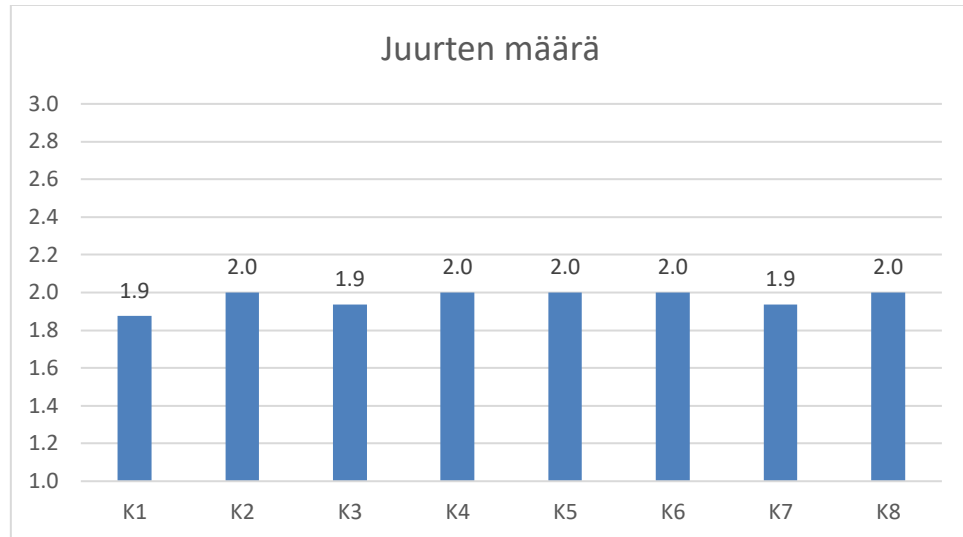
Kuva 25. Kuiva-aineen ravinnepitoisuudet käsittelyittäin kokeen lopussa.



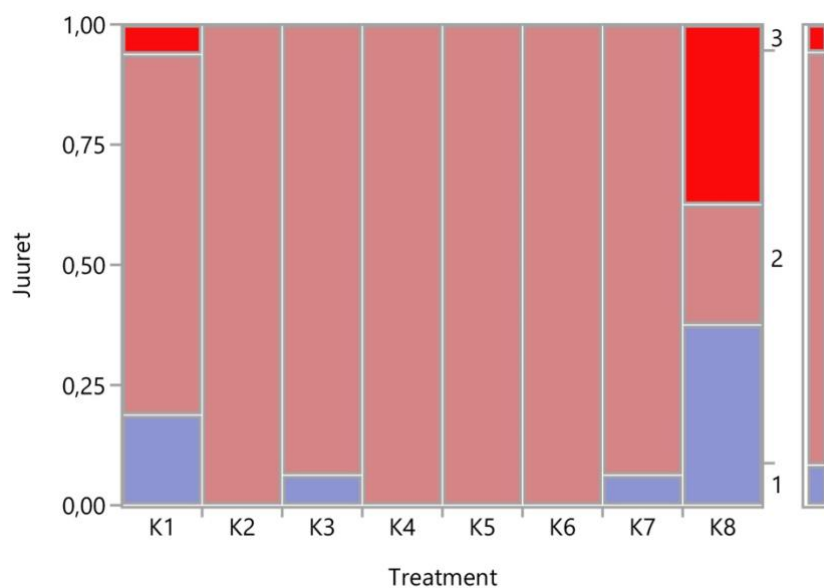
Kuva 26. Typen otto käsittelyittäin kokeen lopussa.

5.5 Juuret

Käsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Käsittelyiden 1 ja 8 juurten määrässä oli suurta hajontaa. Jakaumia analysoitiin ristiintaulukoinnilla (kuva 28).



Kuva 27. Juurten määrä kokeen lopussa asteikolla 1-3.



Kuva 28. Juurten luokittelujakauma käsittelyittäin. Jakaumia analysoitiin ristiintaulukoinnilla.

5.6 Muut havainnot

Liima-ansoissa havaittiin lähinnä harsosäiskejä (*Sciara hemerobioides*), joita lensi ansoihin suuria määriä ja ansat jouduttiin vaihtamaan useita kertoja kokeen aikana. Käsittelyn 5 ruukkujen pinnoilla havaittiin jalallisia

sieniä. Muissa käsittelyissä jalallisia sieniä ei havaittu. Kasvitauteja ei silmämääräisesti havaittu.

6 TULOSTEN TULKINTA

Kaikissa käsittelyissä oli laskennallisesti saman verran typpeä (Ntot 396 mg), lukuun ottamatta käsittelyä 7 johon ei lisätty lannoitetta. Tuloksista voitiin huomata, että kemiallisen lannoitteen tyyppi oli kasveille paremmin saatavilla, kuin orgaanisessa muodossa ollut tyyppi. Kaupallisen viljelykäytännön mukaisesti lannoitetun käsittelyn kuivapaino oli noin kaksi kertaa suurempi kuin kompostoitamattoman lannan käsittelyllä, lähes neljä kertaa suurempi biohiilikäsittelyihin verrattuna ja lähes seitsemän kertaa suurempi lannoittamattomaan käsittelyyn verrattuna.

Chenin (2006, s. 2) mukaan, kemiallisen lannoitteen tyyppi liukenee nopeasti ja on myös heti kasvien saatavilla. Heinosen ym. (1992, s. 265, 267) mukaan karjalanta sisältämät ravinnemäärät ovat huomattavia, mutta kaikki lannan ravinteet eivät kuitenkaan ole täysin liukoisia, eikä niitä voida suoraan verrata väkilannoitteisiin. Varsinkin kokonaistyyppi liukenee kuivalannasta huomattavasti huonommin sen liukoisuuden ollessa vain 26-56 %. Lannan mineraalityppi on myös pääasiassa ammonium/ammoniakkimuodossa. Liitteenä (2) löytyvästä taulukosta voidaan todeta, että kaupallisen viljelykäytännön mukaisesti lannoitetussa käsittelyssä 8, oli kokeen alussa helposti liukenevaa nitraattityppeä 120 mg/l, kun muissa käsittelyissä sitä oli vain 2 mg/l. Tämä sekä typen oton määrä (kuva 26) voisi selittää käsittelyn 8 huomattavasti voimakkaamman kasvun sekä suuremman kuivapainon määrän.

Raiheinän kuivapaino, pH, johtokyky, typen otto ja juuret olivat lähes samanlaiset biohiililantakompostikäsittelyissä 3, 4, 5 ja 6 sekä kompostoidun lannan käsittelyssä 2, joka ei sisältänyt biohiiltä. Tämä osoittaa, että biohiilellä ei sen raakoosta tai lisäsmäärästä riippumatta, näytä tulosten perusteella olevan vaikutusta ravinteiden pidättymiseen tai vapautumiseen eikä juurten määrään tai kuivapainoihin turvekasvualustassa. Tulokset näyttävät olevan ristiriidassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Godlewskan ym. (2017, s. 201) tekemän tutkimuksen mukaan komposti, johon oli lisätty biohiiltä, paransi kasvien kasvua ja satoa verrattuna kompostiin, jossa ei ollut biohiiltä. Samoin Steinerin ym. (2010) ja Huangin ym. (2014) tekemien tutkimusten mukaan biohiili kykenee pidättämään typpeä kompostissa, vähentämään ammoniakkin päästöjä sekä lisäämään typen kokonaismäärää jopa 65 %. Schulz, Dunst ja Glaser (2013) huomasivat tekemässään tutkimuksessa, että mitä enemmän kompostiin lisättiin biohiiltä, sitä enemmän kasvien kasvu parani. Tutkimuksessa huomattiin, että biohiili kykenee joko pidättämään ravinteita kompostiprosessin aikana, se pystyy kuljettamaan ravintoaineita

paremmin kasvien saataville tai että se jollain aivan muulla mekanismilla pystyy edistämään kasvien kasvua.

Käsittelyiden johtokyvyt olivat kokeen lopussa hyvin tasaiset lukuun ottamatta käsittelyä 7, jonka johtokyky oli huomattavasti matalampi muihin käsittelyihin verrattuna (kuva 20). Tämän voisi selittää se, että käsittelyyn ei lisätty turpeen lisäksi lannoitteita. Zhangin ym. (2016) tekemän tutkimuksen mukaan oljesta tehdyn biohiilen lisäys lantakompostiin nosti kompostin johtokykyä 7-35 %.

Käsittelyiden pH, joissa oli 8 % biohiiltä nousi tulosten mukaan korkeammalle kuin käsittelyiden, joissa oli 2 % biohiiltä. Käsittelyn 1 pH nousi kuitenkin samalle tasolle kuin 8 % biohiiltä sisältäneet käsittelyt. Myös käsittelyn 2 pH nousi, mutta nousu jäi pienimmäksi kompostikäsitteilyissä ja ero käsittelyyn 5 oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Tulokset viittaisivat siihen, että mitä suurempi määrä biohiiltä kasvualustassa on, sitä enemmän pH nousee. Aiheesta on tehty useita tutkimuksia. Godlewskan ym. (2017, s. 201) mukaan biohiili nosti kompostin pH:ta. Zhangin ym. (2016) ja Chenin ym. (2017) tekemien tutkimusten tulokset osoittivat kuitenkin, että biohiilen lisäys kompostiin laskee kompostin pH:ta. Akdenizin (2019, s. 296) mukaan kompostin pH ei juurikaan muuttunut lisättäessä siihen biohiiltä. Heinosen ym. (1992, s. 267) mukaan lannalla ei ole suoranaista kalkitusvaikutusta, sillä siinä on kalkitsevia ja hapattavia ainesosia suunnilleen saman verran.

Kompostia sisältäneiden käsittelyiden 2, 3, 4, 5 ja 6 sekä pelkkää turvetta sisältäneen käsittelyn 7 tyyppi oli hyvin samankaltainen ja huomattavasti alhaisempi verrattuna kompostoitamattoman kuivajakeen käsittelyyn sekä kaupallisen viljelykäytännön mukaisesti lannoitettuun käsittelyyn. Tämä voisi johtua kompostiprosessin aikana tapahtuneesta typen immobilisaatiosta. Palojärven ym. (2002, s. 11) mukaan, jos maaperässä ei ole riittävästi typpeä hajottajien tarpeeseen, typpi immobilisoituu eli sitoutuu maaperään. Näin tapahtuu, jos orgaanisen aineksen hiili/typpi -suhde on liian korkea.

Tuloksista pystyttiin toteamaan, että kompostoitamattoman lannan käsittelyn 1 raiheinän kuivapaino oli lähes kaksinkertainen verrattuna kompostoidun lannan käsittelyn 2. Käsittelyn 1 tyyppi oli kolminkertainen verrattuna käsittelyyn 2. Myös nämä erot voisivat johtua kompostointiprosessin aikana tapahtuneesta typen immobilisaatiosta. Tulokseen on voinut myös vaikuttaa se, että käsittely 1 sisälsi kaksi kertaa enemmän kloridia ja kaliumia sekä kolme kertaa enemmän fosforia, kuin käsittely 2 (liite 2 ja 3). Käsittely 1 sisälsi myös jonkin verran enemmän piitä, rikkiä, alumiinia, rautaa sekä natriumia, kuin käsittely 2. Taulukosta 5 voidaan todeta, että käsittelyn 1 johtokyky oli kokeen alussa kaksi kertaa korkeampi kuin käsittelyn 2. Fagerstedtin ym. (2011, s. 76) mukaan fosforin ja kaliumin puutosoire on heikko kasvu. Heinosen ym. (1992, s. 266) mukaan karjalannan fosforipitoisuus on 70-80 % ja se on

väkilannoitefosforin veroista. Samoin kalium on karjalannassa kasveille lähes kokonaan käyttökelpoista ja sekin väkilannoitekaliumin veroista. Myös nämä syyt voisivat selittää käsittelyn 1 voimakkaan kasvun.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kokeessa ei havaittu, että biohiilellä olisi vaikutusta ravinteiden sitomiseen tai vapautumiseen kahden kuukauden aikana. Biohiilellä havaittiin kuitenkin olevan kalkitusvaikutus. Kokeen perusteella voitiin sanoa, että mikäli biohiili olisi sitonut ravinteita, niin ravinteet eivät päätyneet kasvien käyttöön. Käsittelyistä otetuista puristenesteistä näki vain ravinteiden liukoisuuden. Tuloksista voitiin todeta, että biohiilen käyttäytymisestä ei vielä tiedetä tarpeeksi, eikä osata varmuudella sanoa, miten biohiili kykenee pidättämään tai vapauttamaan ravinteita. Jotkin aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että biohiili alkaa vapauttamaan ravinteita vasta pitkällä aikavälillä. Näin ollen kahden kuukauden koe ei välttämättä ehdi näyttämään biohiilen etuja tai kykyä vapauttaa ravinteita kasvien käyttöön. Kokeen alussa pohdittiin, oliko komposti riittävän kypsää. Tulevaisuudessa tutkimuskoe voitaisiin toistaa kypsemällä kompostilla, jotta nähtäisiin, latautuuko biohiili paremmin ja vapauttaako se sitomiaan ravinteita. Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmillä saatiin vastaukset tutkimuskysymyksiin.

LÄHTEET

- Akdeniz, N. (2019). A systematic review of biochar use in animal waste composting. *Elsevier*. Haettu 14.1.2020 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.054>
- Beacon (2020). Slow-Pyrolysis plant back up and running. *Blog*. Haettu 26.1.2020 osoitteesta <http://beaconwales.org/cy/index.php/blog/view/slow-pyrolysis-plant-back-up-and-running/>
- Carbofex Oy (2019). Carbofex biohiili natural – product properties. *Media*. Haettu 27.1.2020 osoitteesta https://2b28546c-607a-4846-8c7a-b0e5c912c573.filesusr.com/ugd/51bc61_36cfda649e0c49b6a4becd979942c01d.pdf
- Carbons Finland Oy (2020). Biohiili. Haettu 14.1.2020 osoitteesta <https://carbons.fi/biohiili/>
- Chen, J.-H. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use 16 – 20*. Haettu 21.1.2020 osoitteesta <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.2251&rep=rep1&type=pdf>
- Chen, W., Liao, X., Wu, Y., Liang, J.B., Mi, J., Huang, J., Zhang, H., Wu, Y., Qiao, Z., Li, X. & Wang, Y. (2017). Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting. *Waste Management*. Haettu 21.1.2020 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.014>
- Clough, T. J., Condon, L. M., Kammann, C., & Müller, C. (2013). A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://www.mdpi.com/2073-4395/3/2/275>
- EBC (2012). European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. *European Biochar Foundation (EBC)*. Haettu 4.12.2019 osoitteesta <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>
- Fagerstedt, K., Lindén, L., Santanen A. & Väinölä A. (2011). *Kasvioppi*. Helsinki: Edita
- Godlewska, P., Schmidt, H-P., Sik Ok, Y. & Oleszczuk, P. (2017). Biochar for composting improvement and contaminants reduction. *Bioresource Technology*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417312117>
- Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A & Kempainen, E. (1992). *Maa, viljely ja ympäristö*. Helsinki: WSOY

Huang, X. D., & Xue, D. (2014). Effects of bamboo biochar addition on temperature rising, dehydration and nitrogen loss during pig manure composting. *Chinese Journal of Applied Ecology*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25011299>

ICL (2015). Osmocote Start. *Controlled release fertilizers*. Haettu 27.1.2020 osoitteesta https://icl-sf.com/au-en/products/ornamental_horticulture/osmocote-start-8753/

International biochar initiative, IBI (2015). Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil. *Biochar Standards*. Haettu 13.11.2019 osoitteesta <https://biochar-international.org/characterizationstandard/>

Karhunen, J. (1990). Lietelannan kompostointi. *Vakola, tiedote 47/90*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482520/vtiedote47_90.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luostarinen, S., Logren, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. (2011). Lannan kestävä hyödyntäminen. *MTT Raportti 21*. Haettu 21.11.2019 osoitteesta <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/438223/mttraportti21.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. (2017). Suomen normilanta – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. *Luke, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017*. Haettu 14.1.2020 osoitteesta http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540239/luke-luobio_47_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mäkinen, P. (2016). *Biohiilen lisäyksen vaikutukset kompostointiprosessiin laitostittakaavan tunnelikompostoinnissa*. Pro Gradu -tutkielma. Ympäristöekologia. Helsingin Yliopisto. Haettu 4.12.2019 osoitteesta https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/tutkimusjakehitys/Documents/Pro%20gradu_Pekka%20M%C3%A4kinen_biohiili_kompostoinnissa.pdf

Paatero, J., Lehtokari, M. & Kemppainen, E. (1984). *Kompostointi*. Juva: WSOY

Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanhala, P., Jorgensen, K. & Esala, M. (2002). Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. *MTT*. Haettu 21.1.2020 osoitteesta <http://www.mtt.fi/met/pdf/met2.pdf>

Partanen, J. (2019). Lannan separoinnin kannattavuus. *Ravinnerenki ja Lantalogistiikka -hankkeiden tulosjulkaisu*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta http://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu_final.pdf

Pyykkönen, V. & Ervasti, S. (2019). Separoinnin mahdollisuudet ja kannattavuustekijät. *Ravinnerenki ja Lantalogistiikka -hankkeiden tulosjulkaisu*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta http://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu_final.pdf

Ranki, O. (2020). Lantakoe. Sähköpostiviesti tekijälle 27.1.2020

Reiskone Oy (2013). Lannan separointi. Haettu 21.11.2019 osoitteesta <https://separointi.fi/tietoa-separoinnista/lietelannan-separointi/>

Schmidt, H-P. (2014). Terra Preta – model of a cultural technique. *The Biochar Journal*. Haettu 3.12.2019 osoitteesta <https://www.biochar-journal.org/en/ct/4>

Schmidt, H-P. & Wilson, K. (2014). The 55 uses of biochar. *The Biochar Journal*. Haettu 03.12.2019 osoitteesta <https://www.biochar-journal.org/en/ct/2>

Schulz, H., Dunst, G. & Glaser, B. (2013). Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0150-0>

Shandong Goldenest Machinery Manufacturing Co. (2020). Manure high-temperature aerobic fermentation reactor. Haettu 18.2.2020 osoitteesta <http://m.goldenest1987.com/manure-manage-system/manure-organic-compost-fermentation-machine/manure-organic-fertilizer-fermentation.html>

Solajoki, S. (2012). Kompostit tuoksahtelevat edelleen Hopeakivenlahdella. *Yle uutiset*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-6329919>

Steiner, C., Das, K. C., Melear, N. & Lakly, D. (2010). Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. *Journal of Environmental Quality*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/39/4/1236>

Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Blum, W. E. H. & Zech, W. (2008). Nitrogen Retention and Plant Uptake on a Highly Weathered Central Amazonian Ferralsol Amended with Compost and Charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200625199>

Ströck, M. (n.d.). Allotropes of Carbon. *Wikipedia*. Haettu 24.1.2020 osoitteesta https://en.wikipedia.org/wiki/Allotropes_of_carbon#/media/File:Eight_Allotropes_of_Carbon.png

Suomalainen, M. (2007). *Naudan lietelannan käsittelymenetelmien taloudellinen vertailu*. Diplomityö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Haettu 28.11.2019 osoitteesta <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/29758/Naudan%20lietelannan%20k%C3%A4sittelymenetelmien%20taloudellinen%20vertailu.pdf?sequence=1>

Virtanen, J. (2017). Perusteita karjalannasta ja sen käytöstä. *Ylä-Savon ammattiopisto*. Haettu 21.11.2019 osoitteesta http://ravinneenergia.fi/site/wp-content/uploads/2017/06/Separointi_yleistietoa-karjanlannasta.pdf

Wilson, K. (2014). How biochar works in soil. *The Biochar Journal*. Haettu 14.11.2019 osoitteesta www.biochar-journal.org/en/ct/32

Woolf, D., Amonette, J., Street-Perrott, F. Lehmann, J. & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1. Haettu 14.1.2020 osoitteesta <https://www.nature.com/articles/ncomms1053?page=20>

Zhang, J., Chen, G., Sun, H., Zhou, S. & Zou, G. (2016). Straw biochar hastens organic matter degradation and produces nutrient-rich compost. *Bioresource Technology*. Haettu 21.1.2020 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.016>

Liite 1

KOEPIIRROS

1	2	3	4
T1S	T1S	T3S	T3S
T1K2	T1K7	T3K7	T3K1
T1K5	T1K6	T3K6	T3K8+X
T1K1	T1K3	T3K2	T3K4
T1K8+X	T1K4	T3K5	T3K3
T2K7	T2K5	T4K3	T4K5
T2K4	T2K1	T4K6	T4K4
T2K6	T2K8+X	T4K2	T4K7
T2K2	T2K3	T4K1	T4K8+X
T2S	T2S	T4S	T4S
T5S	T5S	T5S	T5S
T5K8+X	T5K3	T5K8+X	T5K3
T5K2	T5K7	T5K2	T5K7
T5K5	T5K1	T5K5	T5K1
T5K6	T5K4	T5K6	T5K4
T6K3	T6K4	T6K3	T6K4
T6K1	T6K2	T6K1	T6K2
T6K7	T6K6	T6K7	T6K6
T6K8+X	T6K5	T6K8+X	T6K5
T6S	T6S	T6S	T6S
T7S	T7S	T7S	T7S
T7K3	T7K6	T7K3	T7K6
T7K7	T7K2	T7K7	T7K2
T7K5	T7K4	T7K5	T7K4
T7K8+X	T7K1	T7K8+X	T7K1
T8K8+X	T8K5	T8K8+X	T8K5
T8K2	T8K7	T8K2	T8K7
T8K4	T8K3	T8K4	T8K3
T8K6	T8K1	T8K6	T8K1
T8S	T8S	T8S	T8S
T9S	T9S	T11S	T11S
T9K6	T9K5	T11K8+X	T11K1
T9K4	T9K8+X	T11K7	T11K2
T9K1	T9K7	T11K4	T11K6
T9K3	T9K2	T11K5	T11K3
T10K8+X	T10K2	T12K6	T12K1
T10K5	T10K3	T12K4	T12K3
T10K7	T10K4	T12K2	T12K7
T10K1	T10K6	T12K8+X	T12K5
T10S	T10S	T12S	T12S
T13S	T13S	T13S	T13S
T13K3	T13K5	T13K3	T13K5
T13K4	T13K2	T13K4	T13K2
T13K8+X	T13K6	T13K8+X	T13K6
T13K1	T13K7	T13K1	T13K7
T14K2	T14K1	T14K2	T14K1
T14K7	T14K3	T14K7	T14K3
T14K8+X	T14K6	T14K8+X	T14K6
T14K5	T14K4	T14K5	T14K4
T14S	T14S	T14S	T14S
T15S	T15S	T15S	T15S
T15K3	T15K2	T15K3	T15K2
T15K8+X	T15K4	T15K8+X	T15K4
T15K1	T15K7	T15K1	T15K7
T15K5	T15K6	T15K5	T15K6
T16K3	T16K5	T16K3	T16K5
T16K4	T16K6	T16K4	T16K6
T16K2	T16K7	T16K2	T16K7
T16K8+X	T16K1	T16K8+X	T16K1
T16S	T16S	T16S	T16S

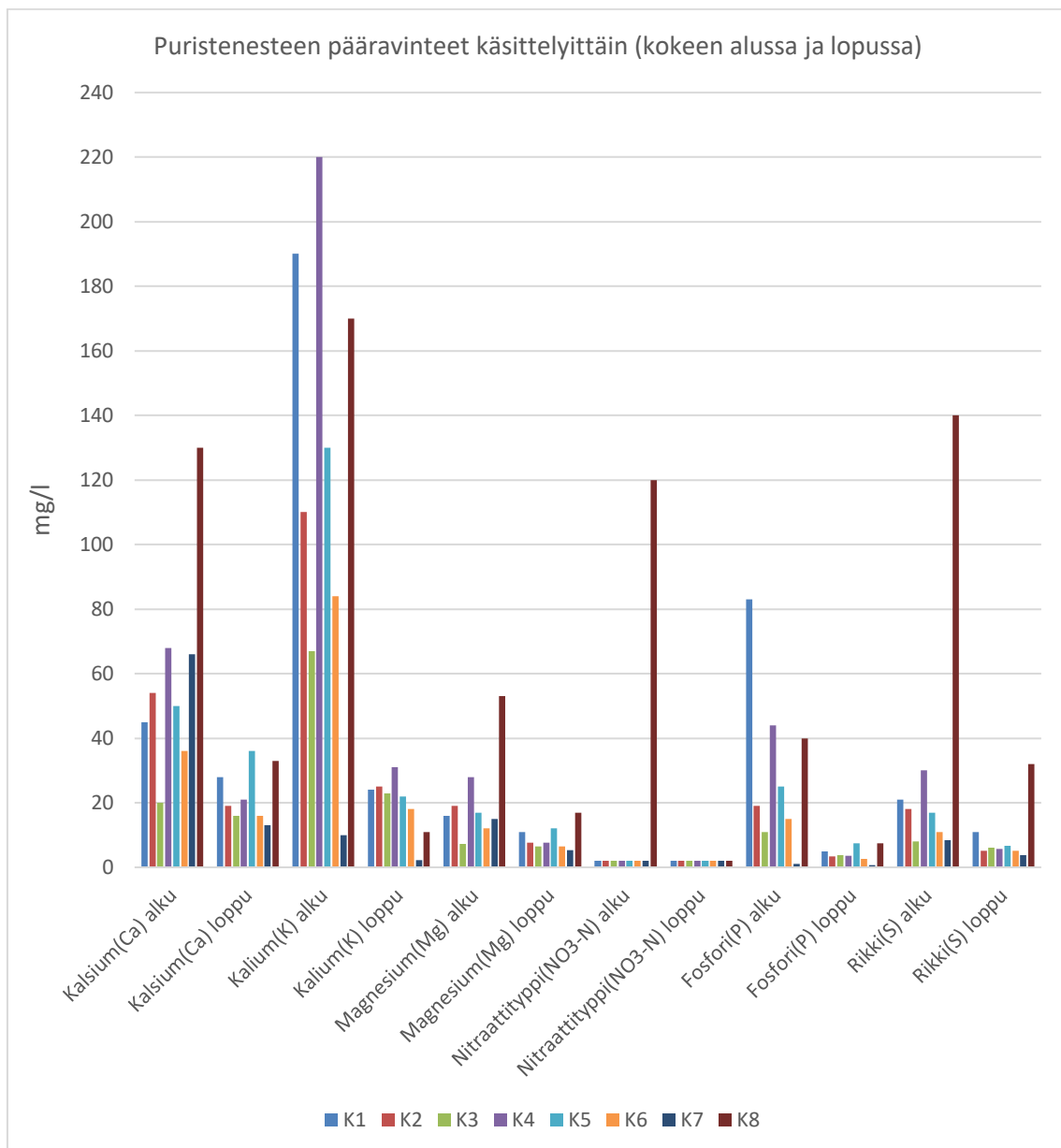
OVI

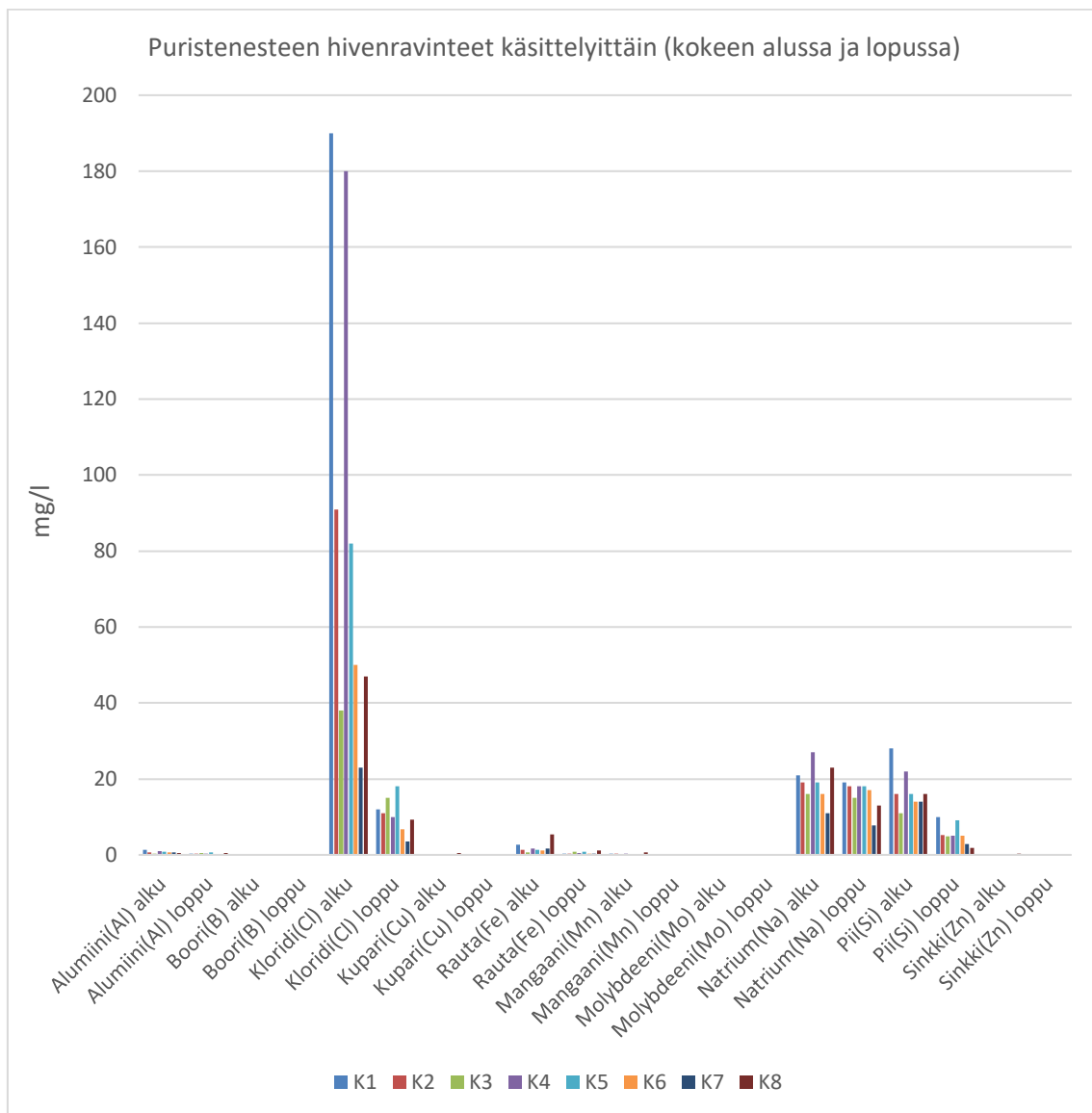
T Toisto
K Käsitteily
S Suojakasvit

Käsitteilyiden värikoodit:

K1	K3	K5	K7
K2	K4	K6	K8+X

Suojakasveja on 2-3 kpl/ruutu. Niitä ei ole piirretty erikseen koepiirrokseen. Ne sijoitellaan jokaisen ruudun ulkoreunalle. Lannoitus OC 3,0 kg/m³







CARBOFEX OY

PRODUCT PROPERTIES

Product name:	Carbofex Biochar Natural
Surface area	550 m/g
Fixed carbon (FC)	>90 %
Bulk density	~200 kg/m ³
Conductivity	21,5 mS/m
Moiture content	30 - 50%
Ash	1,6-4%
PAH	~5 mg/kg, d
pH	~10
Total Phosporous (P)	270mg/kg, d
Water soluble Phospohorus	<10 mg/kg, d
Total potassium (K)	3200 mg/kg, d
Water soluble potassium	1990 mg/kg, d
Total nitrogen (TOT N)	0.6 - 0.8 %
Heavy metals	
Arsenic (As)	<0,5 mg/kg, d
Cadmium (Cd)	0,04 mg/kg, d
Chromium (Cr)	13mg/kg, d
Copper (Cu)	4,7 mg/kg, d
Lead (Pb)	4,2 mg/kg, d
Nickel (Ni)	13 mg/kg, d
Zink (Zn)	56 mg/kg, d
Mercury (Hg)	<0,02mg/kg, d
Pyrolysis temperature	~600°C, <10 min, continuous
Feed stock and origin	PEFC-certified Spruce, max distance of harvest 80 km from the production facility Approved for organic production
Intended use	substrate, filterin media, compost additive, feed suppement
Producer:	Carbofex Oy Tehdaskartanonkatu 25 33400 TAMPERE, Finland carbofex.fi info@carbofex.fi



TUTKIMUSTODISTUS

1(7)

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna



Tilauksen nimi: **Kompostit**

Näytetunnus		19ML 1077	19ML 1078	19ML 1079	19ML 1080	19ML 1081	
Ottopaikka		Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	
Näytteen nimi		1	2	3	4	5	
Ottopäivä		25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	
Näytteen saapumispäivä		30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	
Näytteen aloituspäivä		07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	
Näytteen valmistuspäivä		10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	
Määritykset							
Kuiva-aine	%	38,1	47,6	47,9	52,5	53,7	Sis. men. 010
Tuhka kuiva-aineessa	%	12,2	12,9	11,5	9,52	8,58	SFS-EN 13039
pH		8,1	7,8	8,1	8,4	8,4	SFS-EN 13037
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/tn	2,1	2,4	2,2	1,7	1,9	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/m3	0,60	0,50	0,45	0,37	0,35	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/m3	0,17	0,18	0,78	0,67	0,62	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/tn	0,58	0,84	0,16	0,14	0,11	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/tn	8,3	9,9	9,2	7,4	8,1	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/m3	2,4	2,1	1,8	1,5	1,5	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

2(7)

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna

Tilauksen nimi: **Kompostit**

		19ML 1077 1	19ML 1078 2	19ML 1079 3	19ML 1080 4	19ML 1081 5	
Happoon liukenematon tuhka	%	4,88	4,70	4,70	3,53	3,59	AOAC 44091
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/tn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/m ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/tn	9,0	11	10	9,4	9,4	Sis. men. 001.A Kjel- dahl*
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/m ³	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	Sis. men. 001.A Kjel- dahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk), tulokosteassa	kg/tn	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	0,15	Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk.vl), tulokosteassa	kg/m ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, sis. men. 001.B Kjel- dahl
Orgaaninen aines kuiva- aineessa	%	87,8	87,1	88,5	90,5	91,4	SFS-EN 13039
Tilavuuspaino, tulokosteassa	kg/m ³	290	210	200	210	180	SFS-EN 13040
Kokoomanäytteen teko laboratoriossa		tehty	tehty	tehty	tehty	tehty	

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

3(7)

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna



Tilauksen nimi: **Kompostit**

Näytetunnus		19ML 1082	19ML 1083	19ML 1084	19ML 1085	19ML 1086	
Ottopaikka		Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	
Näytteen nimi		6	7	8	9	10	
Ottopäivä		25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	
Näytteen saapumispäivä		30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	
Näytteen aloituspäivä		07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	
Näytteen valmistuspäivä		10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	
Määritykset							
Kuiva-aine	%	46,7	51,2	50,3	51,3	31,9	Sis. men. 010
Tuhka kuiva-aineessa	%	11,8	10,8	10,6	9,78	9,69	SFS-EN 13039
pH		8,3	8,3	8,3	8,4	8,3	SFS-EN 13037
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/tn	2,4	2,2	2,5	1,9	1,2	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/m3	0,49	0,37	0,47	0,37	0,23	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/m3	0,75	0,79	0,74	0,65	0,69	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/tn	0,15	0,13	0,14	0,12	0,13	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/tn	9,7	9,0	9,6	7,9	4,7	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/m3	1,9	1,5	1,8	1,5	0,90	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

4(7)

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna

Tilauksen nimi: **Kompostit**

		19ML 1082 6	19ML 1083 7	19ML 1084 8	19ML 1085 9	19ML 1086 10	
Happoon liukenematon tuhka	%	4,69	4,54	4,54	3,75	3,93	AOAC 44091
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/tn	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/m ³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/tn	11	11	11	9,9	9,8	Sis. men. 001.A Kjel- dahl*
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/m ³	2,1	1,9	2,1	1,9	1,8	Sis. men. 001.A Kjel- dahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk), tulokosteassa	kg/tn	0,10	0,16	0,20	<0,1	<0,1	Sis. men. 001.B Kjel- dahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk.vl), tulokosteassa	kg/m ³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	SFS-EN 13652, sis. men. 001.B Kjel- dahl
Orgaaninen aines kuiva- aineessa	%	88,2	89,2	89,4	90,2	90,3	SFS-EN 13039
Tilavuuspaino, tulokosteassa	kg/m ³	200	170	190	190	190	SFS-EN 13040
Kokoomanäytteen teko laboratoriossa		tehty	tehty	tehty	tehty	tehty	

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

5(7)

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna



Tilauksen nimi: **Kompostit**

Näytetunnus		19ML 1087	19ML 1088	19ML 1089	19ML 1090	19ML 1091	
Ottopaikka		Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	Lepaa	
Näytteen nimi		11	12	13	14	15	
Ottopäivä		25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	25.09.2019	
Näytteen saapumispäivä		30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	30.09.2019	
Näytteen aloituspäivä		07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	07.10.2019	
Näytteen valmistuspäivä		10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	10.10.2019	
Määritykset							
Kuiva-aine	%	53,1	52,7	48,1	52,0	51,1	Sis. men. 010
Tuhka kuiva-aineessa	%	11,7	10,9	11,1	10,5	10,1	SFS-EN 13039
pH		8,0	8,1	8,4	8,4	8,7	SFS-EN 13037
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/tn	2,4	2,2	2,4	1,6	2,0	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, kokonais (P), tulokosteassa	kg/m3	0,40	0,35	0,46	0,33	0,39	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/m3	0,90	0,78	0,72	0,62	0,70	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Fosfori, vesiliukoinen (P)	kg/tn	0,15	0,12	0,14	0,13	0,13	SFS-EN 13652, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/tn	9,3	9,0	10	7,0	8,3	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES
Kalium, kokonais (K), tulokosteassa	kg/m3	1,6	1,4	1,9	1,5	1,6	SFS-EN 13650, Sis. men. 068, ICP-OES

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

6(7)

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna

Tilauksen nimi: **Kompostit**

		19ML 1087 11	19ML 1088 12	19ML 1089 13	19ML 1090 14	19ML 1091 15	
Happoon liukenematon tuhka	%	4,66	4,35	4,27	3,61	3,92	AOAC 44091
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/tn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjeldahl
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N), vesiliukoinen, tulokosteassa	kg/m ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, Sis. men. 001.B Kjeldahl
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/tn	12	11	11	9,7	9,5	Sis. men. 001.A Kjeldahl*
Typpi, kokonais (Nkok), tulokosteassa	kg/m ³	2,1	1,8	2,0	2,0	1,8	Sis. men. 001.A Kjeldahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk), tulokosteassa	kg/tn	0,18	0,13	0,15	< 0,1	< 0,1	Sis. men. 001.B Kjeldahl
Typpi, vesiliukoinen (Nliuk.vl), tulokosteassa	kg/m ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	SFS-EN 13652, sis. men. 001.B Kjeldahl
Orgaaninen aines kuiva- aineessa	%	88,3	89,1	88,9	89,5	89,9	SFS-EN 13039
Tilavuuspaino, tulokosteassa	kg/m ³	170	160	190	210	190	SFS-EN 13040
Kokoomanäytteen teko laboratoriossa		tehty	tehty	tehty	tehty	tehty	

SYNLAB Analytics & Services Finland Oy

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.



TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1905521
Pvm: 10.10.2019

7(7)

HAMK Biotalous
Ilpo Pölonen
Visamäentie 35 A
13101 Hämeenlinna



Tilauksen nimi: **Kompostit**

Eeva Luoma
Laatupäällikkö

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Tuloksia koskevat tiedustelut

Elintarvikkeet, rehut,
maanparannusaineet ja
vedet

Eeva Luoma, Laatupäällikkö, puh. +358 50 464 7567,
eeva.luoma@synlab.com

Lisätiedot Kunkin näytteen A ja B osanäytteet on yhdistetty ja sekoitettu. Yhdistetyistä näytteistä on tehty analyysit.

Jakelu ilpo.polonen@hamk.fi

Laskutus Hämeen ammattikorkeakoulu Oy, Ostolaskut, PL 231, 13101 Hämeenlinna

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu lausunnossa verrattaessa tuloksia laatuvaatimuksiin.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.