

PELTOVILJELYKOE HEVOSEN PURULANTAKOMPOSTIN LANNOITEKÄYTÖSTÄ

Biojäte ja hepolanta -hankkeen raportteja 4/4



MTT Sotkamo
Tiina Karppinen
Elina Virkkunen

MTT Jokioinen
Elina Tampio

Kuvat: Tiina Karppinen,
Mikko Hietaranta

2013-2014

Sisältö

1.	Tiivistelmä.....	3
2.	Johdanto	4
3.	Kokeen toteutus	4
3.1	Koerutuojien perustaminen	4
3.2	Analyysimenetelmät.....	7
3.2.1	Kompostianalyysit	7
3.2.2.	Kompostin kypsyyden ja stabiiliuden arviointi.....	8
3.2.3	Maaperän analysointi.....	15
3.2.4	Kokeen etenemisen havainnointi.....	17
3.2.5	Nurmen laadun analysointi	20
4.	Tulokset	21
4.1	Kompostilannoitteen ominaisuudet.....	21
4.2.	Suojaviljan jyväsato ja havainnot (2013).....	23
4.3.	Nurmen sato ja havainnot (2014).....	26
4.4.	Maaperän ominaisuudet kokeen aikana	30
4.4.1	Maaperän ominaisuudet ennen kylvöä.....	30
4.4.2	Maaperän nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyppipitoisuudet ohrakokeen aikana	30
4.4.3	Maaperän ominaisuudet ohrakokeen aikana sekä ennen ja jälkeen nurmikokeen.....	32
5.	Johtopäätökset	35
6.	Lähteet.....	38
	Liite 1.	40

1. Tiivistelmä

Peltoviljelykokeessa pyrittiin selvittämään hevosenantakompostin hyötykäyttömahdollisuutta lannoitteena. Hevosenantan loppusijoittamisessa ilmenee hankaluuksia erityisesti suurilla ja asutuskeskuksia lähellä sijaitsevilla talleilla.

Kokeessa selvitettiin puupelletillä kuivitetun hevosenantakompostin vaikutusta nurmen ja suojaviljan (ohra) kasvuun. Sekä kemiallisten analyysien että kasvitoksisuusmääritysten perusteella lannoitteena käytetty komposti oli kypsää. Kuiva-ainepitoisuus oli korkea, 30 %, samoin C/N-suhde, 38,5.

Vuonna 2013 Sotkamossa pellolle kylvettiin nurmen siementä, jonka suojaviljana oli ohraa. Lannoitusvaihtoehtoja oli neljä: kompostilannoitus, väkilannoitus, väkilannoituksella täydennetty kompostilannoitus sekä kokonaan lannoittamatta jättäminen. Kustakin lannoitusvaihtoehdosta tehtiin neljä kerrannetta, joten koe koostui 16 koeruudusta. Kokeen etenemistä seurattiin viljan ja nurmen kasvun tarkkailulla sekä maaperämittauksilla. Ohran sato korjattiin syksyllä 2013 ja nurmen kesällä 2014.

Nurmen suojaviljaksi kylvetyn ohran sato oli keskimäärin lähes yhtä hyvä koeruuduilla, joille annettiin väkilannoitus (4700 kg/ha) ja typpilisäyksellä täydennetty kompostilannoitus (5000 kg/ha). Pelkkä kompostilannoitus antoi selvästi heikomman sadon (3200 kg/ha), samoin lannoittamatta jättäminen (1800 kg/ha). Muutkin mittaukset ja havainnot (kasvuston korkeus, lehtivihreä, tähkäkerrosten lukumäärä, tuhannen jyvän paino ja hehtolitraino) tukevat satomäärissä saatuja tuloksia.

Toisena vuonna koetta ei lannoitettu lainkaan. Kompostilannoitus vaikutti nurmen kasvuun vielä seuraavana vuonna. Edellisvuonna kompostilla lannoitettu nurmi kasvoi paremmin (3300 kg ka/ha ja 2900 kg ka/ha) kuin väkilannoitetta saanut (2600 kg ka/ha) tai lannoittamaton koejäsen (2200 kg ka/ha). Kuiva-ainepitoisuus oli vastaavasti alhaisempi kompostilannoitetuilla ruuduilla. D-arvojen välillä ei ollut suuria eroja. Ne vaihtelivat 57,7 %:n ja 58,6 %:n välillä. Rehun olisi voinut korjata hieman aiemmin, sillä sulavuuden kannalta on suositeltavaa korjata rehu ennen kuin sulavuus laskee alle 68 %:n.

Kokonaiskuitupitoisuus (NDF) oli hieman korkeampi (58-60 %) kuin keskimääräisellä säilörehulla.

Valkuaispitoisuus oli alhainen johtuen lannoituksen puutteesta satovuonna. Monien kivennäisaineiden pitoisuudet nurmisadoissa olivat alhaiset.

Maaperänäytteissä kompostilannoitus erottui selvimmän kalium- ja magnesiumpitoisuuksissa, jotka olivat selvästi korkeammalla tasolla ennen ja jälkeen nurmikokeen verrattuna väkilannoitettuun ja lannoittamattomaan maaperään.

2. Johdanto

Hevoselanta sisältää kuiviketta 60 - 80 prosenttia. Mikäli kuivike on puupohjaista, lanta soveltuu huonosti peltolevitykseen, koska se sitoo hajotessaan typpeä (Pesonen, ym. 2008). Tällainen lanta vaatii pitkän kompostoitumisajan ennen pellolle levittämistä. Jos puupohjaisen kuivikkeen osuus on pieni, ja kuivike on pääasiassa turvetta tai olkea, lanta kompostoituu paremmin. Se voidaan myös levittää pellolle sellaisenaan. Hevoselanta on EU:ssa luokiteltu biojätteeksi, joka tulisi hyödyntää ensisijaisesti lannoitteena. Sen sisältämät ravinteet kuuluvat kestävässä tuotannossa takaisin viljelykiertoon.

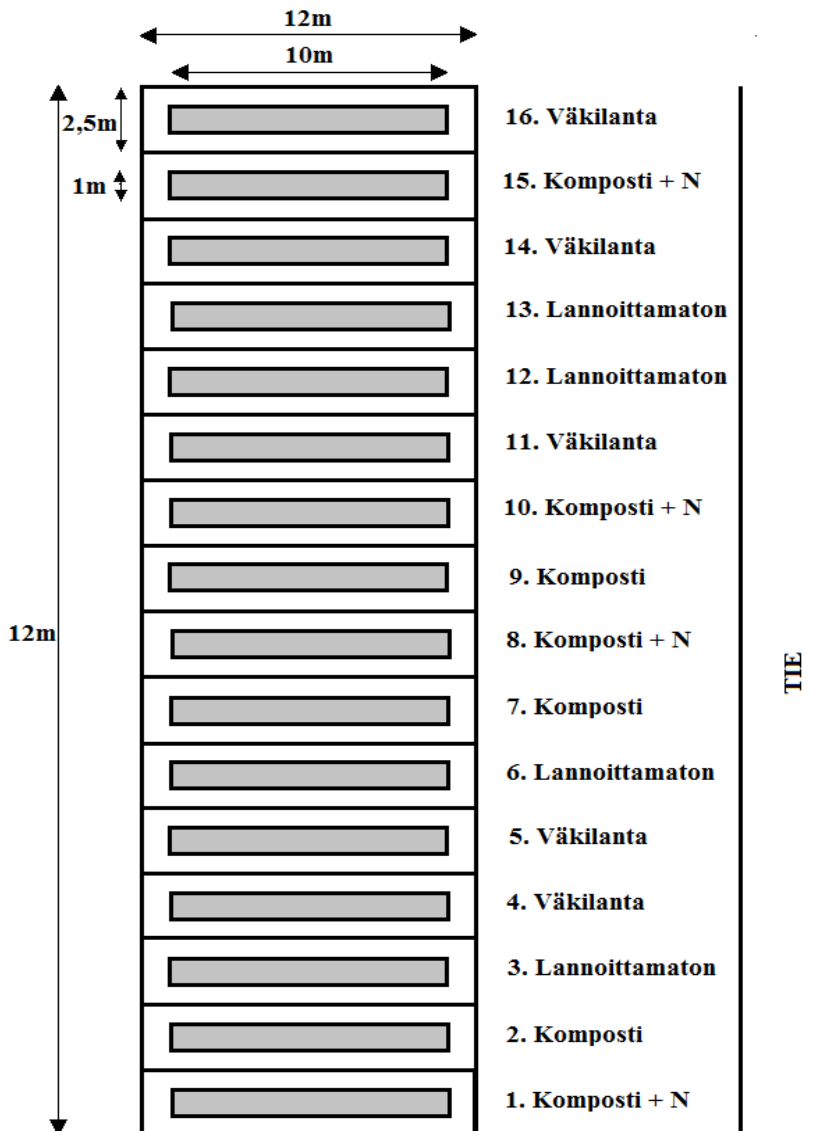
Lanta alkaa kompostoitua jo lantalassa. Sitä voidaan sen jälkeen kompostoida patterissa, rumpukompostorissa tai muovituubissa. Tämän kokeen kompostilannoite oli kompostoitunut vuoden tuubissa. Kompostoinnista on raportoitu tarkemmin Biojäte ja hepolanta – hankkeen raportissa nro 4/4 Hevoselannan tuubikompostointi.

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata kompostin ja väkilannoitteen lannoitusvaikutusta lannoittamattomaan koeruutuun (nurmen perustamisvuonna suojaviljaan) sekä kompostilannoituksen vaikutusta nurmen kasvuun perustamista seuraavana vuonna. Tutkimuksessa seurattiin sadon määrää ja laatua sekä ravinne muutoksia maaperässä. Tutkimuksessa määritettiin myös hevosen purulantakompostin kypsyys ja stabiilisuus vuoden tuubikompostoinnin jälkeen (Karppinen 2013, Karppinen 2014).

3. Kokeen toteutus

3.1 Koeruutujen perustaminen

Peltokoe rakennettiin Metsäpellon alueelle Tervapuroille tien viereen. Koeala ja -ruudut rajattiin maanantaina 3.6.2013. Kunkin ruudun leveys oli 2,5 metriä ja pituus 12 metriä. Sato suunniteltiin korjattavaksi 1 m * 10 m alalta kunkin ruudun keskeltä. Kaikille alueen ulkoreunoille jätettiin suojavöhykkeet. Koeyksilöiden ruudut oli ennalta arvottu. Koealue on kuvattu kuvassa 1.



Kuva 1. Kartta peltoviljelykokeesta.

Pellolle levitetty komposti oli purukuivettua hevosenlantakompostia (tuubikompostista numero neljä). Ainesta oli kompostoitu tuubissa noin vuoden verran. Tuubikomposti avattiin 3.6.2013, ja kompostiaines kuljetettiin pellolle. Pelto käsiteltiin ruuduittain, jolloin neljä ruutua lannoitettiin väkilannoitteella, neljälle levitettiin kompostia, neljälle ruudulle levitettiin kompostia ja sen typpipitoisuutta täydennettiin väkilannoitteella sekä neljää ruutua ei lannoitettu lainkaan.

Kompostin ravinnepitoisuudet määrittivät suurimman mahdollisen pellolle levitettävän kompostimäärän. Pellolle haluttiin lainsäädännön sallima maksimimäärä ravinteita. Kompostista otettiin keväällä 2013 näyte, joka analysoitiin laboratoriossa. Kompostin sisältämistä ravinteista fosforin pitoisuus oli korkein suhteessa

lainsäädön asettamiin raja-arvoihin. Pellolle levitettävä kompostimäärä (kg/ha) laskettiin fosforipitoisuuden mukaan. Typen määrä pellolla jäi siten verrattain alhaiseksi kompostilannoitetuissa ruuduissa.

Tästä syystä kokeeseen suunniteltiin lannoitusvaihtoehto, jossa kompostilannoitusta täydennettiin väkilannalla, jotta lannoitusmäärässä saavutettiin sallitun liukoisen typen yläraja. Pelkän kompostilannoituksen ruudut eivät kuitenkaan saaneet väkilannoitetäydennystä. Kompostiaines punnittiin ja levitettiin ruutujen alueelle lapioin. Kyseistä hevosen purulantakompostia voitiin levittää 60 tonnia hehtaarille, joten ruutukohtaiseksi määräksi tuli 180 kg.



Kuva 2. Jukka Kempainen levittää kompostikekoja tasaisesti koeruudun alueelle.

Väkilannoitteena käytettiin Yara Bela Suomensalpietaria, jota levitettiin 163 kg hehtaaria kohden eli 489 g yhdelle ruudulle. Väkilannoitettujen ruutujen kaliumtaso nostettiin tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi kompostin kaliumpitoisuuden kanssa yhtä suureksi lisäämällä kaliumsuolaa 334 kg hehtaaria kohden eli 1002 g yhdelle ruudulle.



Kuva 3. Jukka Kemppainen levittää väkilannoitetta peltoviljelykokeen väkilannoitekoeruudulle.

3.2 Analyysimenetelmät

3.2.1 Kompostianalyysit

Hevosenantakompostista MTT:n laboratoriossa Jokioisilla analysoitiin kuiva-aine (TS) standardin SFS 3008 mukaisesti. pH ja johtoluku analysoitiin näytteenkäsittelyn (SFS-EN13038, sovellettu) jälkeen Mettler Toledo SevenMulti -mittarilla. Hiili-typpi-suhteen (C/N) laskemiseksi orgaaninen typpi ja kokonaishiili analysoitiin Dumas menetelmällä Leco TruMac CN -laitteella valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kokonaistyyppi ja liukoinen typpi (N_{liuk}) 1:15 vesiin jälkeen analysoitiin Kjeldahl -menetelmällä Foss Kjeltec 2400 Analyzer Unit -laitteella. Kokonaisfosfori (P_{tot}), kokonaiskalium (K_{tot}) sekä 1:5 vesiin jälkeen liukoinen fosfori (P_{liuk}) sekä liukoinen kalium (K_{liuk}) analysoitiin ICP-OES (inductively coupled plasma optical emission spectrometry) menetelmällä. Hivenravinteet kalsium (Ca), boori (B) ja magnesium (Mg) analysoitiin kuningasvesiuuton (SFS-ISO 11466) jälkeen ICP-OES -laitteella valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.2.2. Kompostin kypsyyden ja stabiiliuden arviointi

Kompostista otettiin näyte kompostin pellolle levittämisen yhteydessä 4.6.2013. Kompostiaainesta otettiin satunnaisesti lapioimisen yhteydessä erilliseen saaviin, jossa massa homogenisoitiin lapioin ja talikoin. Tämän jälkeen komposti levitettiin maahan muovin päälle ja sitä jälleen sekoitettiin ja homogenisoitiin käsin. Näytemäärää tuli vielä vähentää, mikä toteutettiin jakamalla tasaisesti ympyrän muotoon muoville levitetty kompostimateriaali sektoreihin ja vähentämällä puolet sektoreista (vastakkaiset sektorit). Tämä toistettiin, ja loput näytteestä jaettiin kuuteen kannelliseen astiaan, joista kaksi pakastettiin, kaksi siirrettiin kylmiöön ja kahta säilytettiin huoneenlämmössä sekä analysoitiin heti.



Kuva 4. Mikko Hietaranta ja Tiina Karppinen homogenisoivat ja vähensivät näytettä sekä pakkasivat näytteen astioihin säilytystä ja myöhempää analysointia varten.

Analyysit typpisalkulla

Ensin kompostinäyte homogenisoitiin perusteellisesti, ja siitä määritettiin nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuudet typpisalkulla MTT Sotkamon laboratoriossa. Menetelmäohjeet oli suunniteltu maaperänäytteiden analysoinnille, joten tulosten soveltamiseen kompostiaineistolle tulee suhtautua varauksella. Analyysin toteuttamisessa ilmeni myös ongelmia kompostimateriaalin maaperästä poikkeavien ominaisuuksien ansiosta. Nitraattitypen määrittäminen sujui kuitenkin ongelmitta.

Nitraattitypen määrittämisessä kompostinäytteestä otettiin ruiskulla 40 ml tiiviiksi puristettua näytettä. Näyte homogenisoitiin jälleen, siihen lisättiin 0,5 ml Fennopol-jauhetta ja seos sekoitettiin huolellisesti. Seokseen lisättiin 100 ml uuttoliuosta, kaliumkloridin vesiliuosta. Näyte sekoitettiin jälleen huolella ja jätettiin saostumaan 10-15 minuutiksi. Ensimmäisen saostuksen jälkeen näytettä saostettiin vielä 5-10 minuuttia, minkä jälkeen kirkastuneeseen pintakerrokseen kastettiin nitraattitypen analyysiliuskaa sekunnin ajan. Tulos luettiin värivertailuna minuutin kuluttua. Nitraattitypen osuus oli vertailun mukaan 25-50 mg/l. Nitriittipitoisuuden värivertailu osoitti olevan vaaleampi kuin +, mutta selvästi tummempi kuin -.

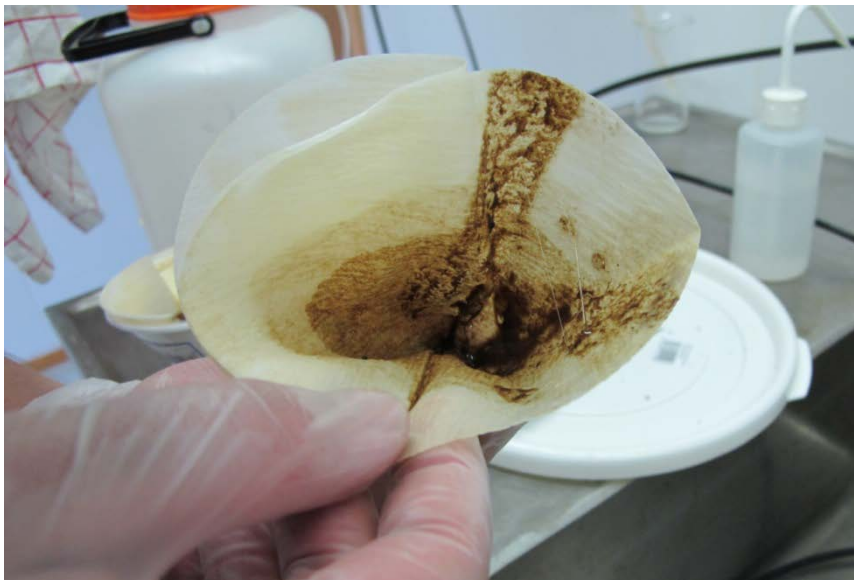


Kuva 5. Nitraattitypen määrittäminen. Mikko Hietaranta homogenisoi näytettä, josta Tiina Karppinen ottaa 40 ml puristeen.



Kuva 6. Fennopol-jauheen ja uuttoliuoksen lisäämisen jälkeen näytettä saostetaan ja kirkastuneeseen pintaosaan kastetaan nitraatin ilmaisindiikka, jonka tulos tarkastellaan värivertailulla.

Ammoniumtyypen määrittämisessä ilmeni ongelmia. Nitraattityypen määrittämisestä edetään ammoniumtyypen määrittämiseen suodattamalla uuttoliuos erilleen kaatamalla kirkastunut osa näytteestä suodatinpaperin läpi. Kompostinäytteen tapauksessa nesteestä ei erottunut selkeästi kirkasta ja saostunutta osaa. Pinnalla oli kuitenkin hieman kirkkaampaa ja ohuempaa nestettä, jota kaadettiin varovasti suodatinpaperille. Neste ei suodattunut lainkaan, joten suodattamista pyrittiin tehostamaan toisin keinoin.



Kuva 7. Suodatinpaperi oli tukkeutunut limoittuneesta kompostinäytteestä ensimmäisellä suodatusyrityksellä.

Suppilossa uudelleen saostuneen näytteen kirkkaampi osa kaadettiin toiseen dekantterilasiin, minkä jälkeen tätä kirkkaampaa nestettä pyrittiin jälleen suodattamaan. Suodattumista ei vielääkään tapahtunut. Suodattumista yritettiin edistää myös imulla, jolloin suodattumista alkoi tapahtua. Suodattunut nestemäärä oli kuitenkin hyvin vähäinen ja menetelmä hankala, joten kokeilusta luovuttiin.



Kuva 8. Näyte A homogenisoitiin tehosekoittimessa ja näyte B käsin. Näyte B saostui ja suodattui paremmin. Kummankin näytteen kirkastunut kerros täytyi pipetoida suodattimeen suodatinpaperin tukkeutumisen estämiseksi.

Seuraavaksi menetelmää testattiin vähentämällä kompostinäytteen määrä puoleen alkuperäisestä eli 20 millilitraan. Uuttoliuosta lisättiin silti alkuperäinen määrä. Menetelmässä epäilyn kohteena oli myös kompostinäytteen riittävä sekoittuminen, minkä vuoksi otettiin kaksi näytettä, joista toinen sekoitettiin tehosekoittimessa uuttoliuoksen ja Fennopol-jauheen kanssa (näyte A) ja toinen käsin typpisalkun ohjeiden mukaisesti (näyte B).

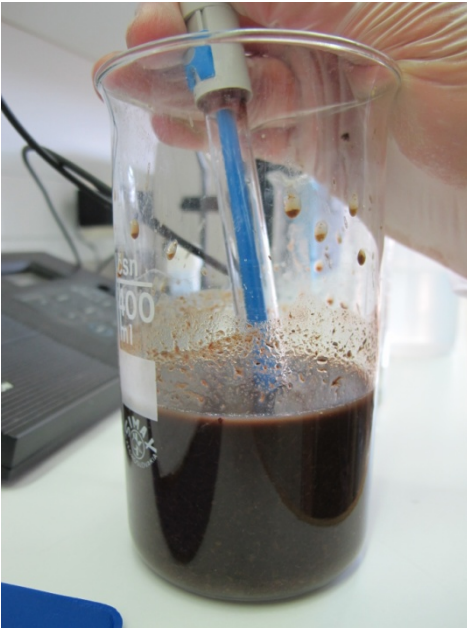
Tehosekoittimessa sekoitettu näyte A saostui huomattavasti huonommin kuin käsin sekoitettu näyte B. Näytteestä B erottui selkeästi kirkkaampi, vajaan 20 millilitran pintakerros. Näytteen A kirkastunut kerros oli äärimmäisen ohut. Kummassakaan tapauksessa kirkastuneen pintakerroksen kaataminen ei vaikuttanut järkevältä, joten kirkastunut osa päädyttiin pipetoimaan pinnalta suodatinpaperille. Tämä vaikutti toimivalta ratkaisulta, sillä suodattuminen saatiin näin vihdoin toimimaan.

Pitkäkestoisen suodattamisen päätteeksi näytteen B suodatinpaperiin tuli reikä, ja suoteeseen pääsi hieman tummempaa nestettä. Molemmista suoteista kuitenkin erotettiin tarvittavat 5 ml nestettä, johon lisättiin 10 tippaa natriumhydroksidia. Reagenssin lisäämisen jälkeen näytteitä heilutettiin ja niihin kastettiin ammoniumtyypen testiliuskat 2 sekunnin ajan. Ylimääräinen neste ravisteltiin pois ja tulos luettiin 10 sekunnin kuluttua värivertailuna.

Kummallekin näytteelle saatiin samat tulokset. Ammoniumionien pitoisuus oli värivertailun mukaan 10 mg/l ja ammoniumtyypen 8 mg/l (keskiarvo 9 mg/l). Kompostinäytettä oli kuitenkin vain 50 % ohjeiden mukaisesta, mikä vaikeuttaa tulosten lukemista.

pH-mittaukset

Ensimmäinen astia oli pari tuntia huoneenlämmössä ennen pH-mittausta Sotkamon MTT:llä. Mittaus toteutettiin Orionin SA720 –pH-mittarilla. Kompostinäytettä mitattiin 50 g dekantteriin, ja siihen lisättiin ensin 50 ml tislattua vettä. Tislattu vesi sekoitettiin kompostiainekseen huolellisesti, mutta näyte oli yhä kiinteähköä, jolloin pH:n mittaaminen ei onnistu. Näytteeseen lisättiin toiset 50 ml tislattua vettä, minkä jälkeen seosta sekoitettiin huolellisesti. Tämän jälkeen pH-mittaukset aloitettiin.



Kuva 9. Tislattulla vedellä laimennetusta kompostinäytteestä määritetään pH:ta anturilla

Tislattua vettä lisättiin mittausten välillä 50 ml. Näin pyrittiin löytämään kompostin pH-mittaukseen soveltuva kompostiaineksen ja tislattun veden suhde, jossa pH ei enää merkitsevissä määrin muuttuisi veden lisäysten välillä. Ensimmäisellä mittauksella tällaista suhdetta ei voitu varmuudella määrittää. Anturi huuhdottiin tislattulla vedellä jokaisen mittauksen välissä ja sen annettiin huuhtoutua KCl:ssa mittausten 3 ja 4 sekä 4 ja 5 välissä.

Taulukko 1. pH-mittausten mittaustulokset 4.6.2013.

Mittaus	Veden määrä [ml]	pH
1	100	8,36
2	150	8,49
3	200	8,57
4	250	8,55
5	300	8,62
6	350	8,71

Kompostimateriaali on kaiken kaikkiaan hyvin heterogeenistä. Kompostia levitettäessä pellolle oli selvästi havaittavissa, että eri ruuduille levitettävän kompostimateriaalin koostumus vaihteli. Kompostia lapioitiin punnittavaksi traktorin kauhasta, jolloin välillä materiaali oli suurimmaksi osaksi tuubin pintaosista ja myöhemmin taas hyvin syvältä kompostin keskiosista. Kompostituubin pintaosien aines oli paljon ilmavampaa, vaaleampaa ja silminnähdn hajonneempaa kuin hyvin tiivis, tumma, kostea ja yhä lannan muodossa oleva pohjaosien aines.

Laboratoriotyöt MTT Sotkamossa suorittivat Mikko Hietaranta ja Tiina Karppinen. Heitä opastivat kemisti/tutkija Pasi Laajala sekä laboranttiopiskelija Marja-Leena Moisanen.

Analyysit Jyväskylän yliopistossa

Erillisestä näytteestä tehtiin myöhemmin Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksella stabiilisuutta ja kypsyyttä mittaavia analyysejä. Analyysejä varten kompostinäytteestä tehtiin kompostivesiliuos (60 g homogenisoitua kompostinäytettä + 300 ml MilliQ-vettä).

Kemiallinen hapenkulutus (COD_{Cr}) määritettiin sekä kokonaisnäytteelle ($TCOD_{Cr}$) että näytteen liukoiselle osalle ($SCOD_{Cr}$) dikromaattimenetelmällä standardin SFS 5504 mukaisesti. Liukoisen osan kemiallisen hapenkulutuksen määrittämistä varten komposti-vesiliuosta sekoitettiin ja sentrifugoitiin (3500 RCF, 4 °C, 15 min), jonka jälkeen erottunut supernatantti suodatettiin imusuodattimella (suodatinpaperi 691). Myös haihtuvien rasvahappojen ja ammonium-typen määrittämistä varten komposti-vesiliuos sentrifugoitiin ja suodatettiin. $TCOD_{Cr}$ -määrittämistä varten näyte keuhutettiin 4 M rikkihapolla (suhteessa 1 ml H_2SO_4 100 ml näytettä kohden) myöhempää analyysiä varten.

Näytteestä määritettiin ammonium-typen pitoisuus Kjeldahl-menetelmällä. Haihtuvia rasvahappoja määritettiin kaasukromatografilla (GC-2010 Plus, Shimadzu), jossa on liekki-ionisaatiidetektor. Kemiallinen hapenkulutus COD määritettiin menetelmällä SFS 5504. Näytteen pH (pHenomenal TM 1000L, VWR International) ja sähkönjohtokyky (Hanna Instruments) määritettiin sekä suodatetusta että suodattamattomasta näytteestä. Kuiva-aine määritettiin kuivaamalla noin 50 g kompostinäytettä 105 °C:ssa 12 h ja orgaaninen aine (volatile solids) hehkuttamalla kuivattua näytettä 550 °C:ssa 8 h.

Idätyskokeet

Lyhyen aikavälin kasvitoksisuuskoekokeita tehtiin vihanneskrassilla (*Lepidium sativum*) ja kiinankaalilla (*Brassica pekinensis*). Kymmenen siementä laitettiin kullekin petrialjalle suodatinpaperin päälle ja maljoja

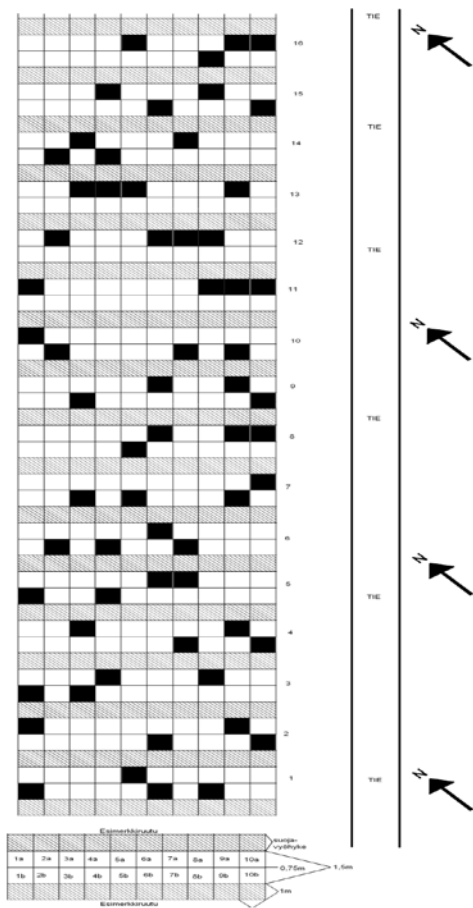
käsiteltiin komposti-vesi -liuoksella, josta oli neljä eri versiota kompostinpitoisuuden mukaan. Viides käsittelyryhmä oli kontrolli, jota kasteltiin pelkällä tislattulla vedellä.

Sekä kemiallisten analyysien että idätyskokeiden tuloksia tarkasteltiin varianssianalyysillä ja monivertailuja tehtiin Tukeyn tai Dunnettin t-testillä.

Tarkemmat selostukset sekä kemiallisista analyyseistä että idätyskokeista on kuvattu Jyväskylän yliopiston tehdyssä kandidaatin työssä (Karppinen 2015).

3.2.3 Maaperän analysointi

Maaperän tyyppipitoisuutta sekä pH:n seuranta varten jokainen koeruutu jaettiin edelleen 20 pienruutuun sadonkorjuualueen osalta, ja jokaisesta ruudusta arvottiin neljä pienruutua, joista kustakin kairattiin kolme maanäytettä maanäytekairalla. Yhden ruudun kairausnäytteistä kaksi otettiin Sotkamossa tehtävää ruutukohtaista maaperän analysointia varten ja kolmas lannoitustyyppikohtaiseksi näytteen osaksi tarkempia laboratoriotutkimuksia varten. Yhteensä viljavuuspalveluun lähetettävä lannoitustyyppikohtainen näyte sisälsi siis jokaisesta neljästä ruudusta erikseen arvottujen neljän pienruudun kairausnäytteen eli koostui yhteensä 16 maakairauksesta.



Kuva 10. Kartta maaperänäytteiden näytteenottopaikoista. Maaperänäytteiden kairauspaikat satunnaistettiin jakamalla kukin ruutu sadonkorjuualueeltaan 20 pienruutuun, joiden leveys oli 0,75m ja pituus 1 m, ja arpomalla ruutu ensin luvuista 1-10 ja sen jälkeen puoli a tai b.



Kuva 11. Tiina Karppinen ottaa maanäytettä pienruudusta.

Maaperän kairausnäytteet otettiin satunnaisista kohdista pienruudun sisällä. Kairaus tehtiin polkaisemalla maaperäkaira maahan, kiertämällä kairaa akselinsa ympäri sen ollessa maassa ja nostamalla kaira sitten suoraan ylös. Kairausnäytteestä tulee lisäksi poistaa jankkokerros, sillä se vääristää tuloksia. Näyte on siis kairattu 20 senttimetrin syvyydestä.

Ruutukohtaiset näytteet (jokaisesta neljästä pienruudusta kaksi kairausnäytettä eli yhteensä kahdeksan kairausnäytettä) sekä viljavuuspalveluun lähetettävät näytteet lannoitustyypeittäin (kaikista neljästä ruudusta otettiin jokaisesta neljästä pienruudusta yksi kairaus) sekoitettiin huolellisesti vadissa ja niistä poistettiin suurimmat roskat. Tämän jälkeen näytteestä lapioitiin satunnaisesti joka puolelta noin kolmen desilitran näyte. Näytteet suljettiin kannellisiin rasioihin, nimettiin ja numeroitiin sekä pakastettiin myöhempää analysointia varten.



Kuva 12. Näytteen pakkaaminen

Ennen ohrakokeen alkua pellolta otettiin yleinen maaperänäyte, josta suoritettiin perusteellinen laboratorioanalyysi kokeen suunnittelemista ja myöhempää vertailua varten. Ruutukohtaisista maaperänäytteistä mitattiin pH (Orion SA720) sekä typpisalkulla nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuudet Sotkamon MTT:llä. Typpi- ja pH-mittaukset toistettiin kuukausittain ohran kasvukauden ajan.

Maaperänäytteitä lähetettiin analysoitaviksi keväällä 2013, syksyllä 2013, keväällä 2014 ja kesällä 2014. Näytteet analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:llä. Johtoluku ja pH analysoitiin 1:2,5 vesiutteesta. Kalsium, kalium, magnesium, rikki sekä natrium analysoitiin happaman ammoniumasetaattiliuosuuton jälkeen ICP:llä. Kupari, mangaani ja sinkki analysoitiin happaman ammoniumasetaatti-EDTA-liuosuuton jälkeen ICP:llä ja fosfori happaman ammoniumasetaattiliuosuuton jälkeen ammoniummolybdaatti -kompleksista spektrofotometrisesti.

3.2.4 Kokeen etenemisen havainnointi

Ohran kasvua seurattiin ruuduittain kasvukauden ajan. Ruuduista mitattiin ohran korkeutta, lehtivihreää sekä myöhemmin kesällä tähkien kerroksia. Kukin mittausta suoritettiin satunnaisesti valitusta kasviyksilöstä kolmesta kohdasta ruudun alueelta: yksi ruudun keskivaiheilta ja kaksi muuta noin metrin etäisyydeltä kummastakin päädyistä. Mittaaja seisoivat mittausten ajan ruutujen välisellä suojavyöhykkeellä kohderuudun eteläpuolella.



Kuva 13. Mittaukset suoritettiin lohkon eteläpuolelta kolmesta kohdasta kustakin ruudusta. Mitattava kasvyksilö valittiin satunnaisesti ottamalla kiinni matalalta varresta.

Edellä mainittujen mittausten lisäksi alueesta otettiin viikoittain valokuvat. Kasvun etenemistä ja ruutujen välisiä eroja arvioitiin myös sanallisesti. Ensimmäisen kerran havainnointi toteutettiin 18.6.2013, kaksi viikkoa kylvämisen jälkeen. Tämän jälkeen aluetta havainnoitiin järjestelmällisesti viikoittain 28.8.2013 saakka.



Kuva 14. Koeruutujen havainnointi.



Kuva 15. Ohran korkeus mitattiin maasta suoritetun ylimmän lehden päähän. Korkeusmittaukset lopetettiin viljan alkaessa kypsyä, jolloin pituuskasvu oli lakannut (vas.). Oikealla tähkäkerrosten laskeminen. Kuvan kasvissa on seitsemän tähkäkerrosta.



Kuva 16. Lehtivihreän mittaaminen Minolta Spad -klorofyllimittarilla.

Ruutujen välisiä eroja orastamisessa ei saatu taltioitua, vaan ensimmäinen havainnointi pellolla toteutettiin 18.6.2013, kaksi viikkoa kylvämisen jälkeen. Tällöin lannoittamattomat ruudut erottuivat selvästi heikkokasvuisempina kuin muut ruudut. Ohran korkeus oli lannoittamattomissa ruuduissa noin kaksi kolmasosaa muiden ruutujen ohran korkeudesta. Muiden ruutujen välillä eroja ei silmämääräisellä arviolla havaittu.



Kuva 17. Vasemmalla lannoittamaton ja oikealla väkilannoitettu peltoruutu 18.6.2013.

3.2.5 Nurmen laadun analysointi

Nurmikokeessa vuonna 2014 viikoittaisia havainnoiteja kasvustosta ei tehty, vaan satomäärä sekä kasvuston pituus analysoitiin nurmen korjuun yhteydessä (kuva 18). Korjatusta nurmesta analysoitiin MTT:n Jokioisten laboratoriossa rehuominaisuudet. Proteiinipitoisuus määritettiin sisäisellä menetelmällä 4.1, joka sisältää typen määrittämisen Kjeldahl-menetelmällä. NDF (neutral detergent fibre) määritettiin sisäisellä menetelmällä 4.16 käyttäen Fibertech System M -laitteistoa. D-arvo analysoitiin NIR-määrittelyllä NIRFlex N500 -analysaattorilla. Kivennäisaineet (Ca, K, Mg, P, Cu, Fe, Mn, Zn) määritettiin märkäpolton jälkeisellä ICP (inductively coupled plasma) ja ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) -mittauksilla.



Kuva 18. Jukka Kempainen korjaa nurmisatoa (vasemmalla) ja tallentaa satotiedot tietokoneelle (oikealla).

4. Tulokset

4.1 Kompostilannoitteen ominaisuudet

Kompostin ravinnesisältö analysoitiin MTT Jokioisten laboratoriossa 3.5.2013 otetusta näytteestä. Ravinteiden lisäksi analysoitiin myös materiaalin kuiva-ainepitoisuus, johtoluku sekä pH (taulukko 2). Kompostimateriaalissa kuiva-ainepitoisuus oli korkea, lähes 30 %, mikä johtuu lannan kuivikemateriaalista. Kuivikkeen käyttö myös lisää lannan ja edelleen kompostin C/N-suhdetta ja laskee kompostin kokonaistyyppipitoisuutta. Kompostin kokonaistyyppipitoisuus oli noin 10 g/kg kuiva-ainetta, ja kokonaiskaliumin määrä oli näytteessä samalla tasolla.

Taulukko 2. Lannoituskokeessa käytetyn kompostin ominaisuudet (MTT Jokioinen).

Analyysi	Yksikkö	Kompostinäyte
ka	%	28,9
pH	-	7,86
Tilavuuspaino	g/l	396,94
Johtoluku	mS/cm	0,721
Ntot	g/kg ka	9,768
Nliuk	g/kg ka	0,589
Ptot	g/kg ka	1,84
Pliuk	g/kg ka	0,88
Ktot	g/kg ka	9,77
Kliuk	g/kg ka	8,78
Ca	g/kg ka	6,2
B	mg/kg ka	20,44
Mg	g/kg ka	3,08
C/N	-	38,6

MTT Sotkamossa kompostinäytteestä analysoitiin myös pH sekä nitraatti- ja ammoniumtyppi ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) kompostimassan levityksen yhteydessä, 4.6.2013, otetusta näytteestä (taulukko 3). Nitraattityppeä havaittiin kompostinäytteessä ammoniumtyppeä enemmän, mikä johtui ammoniumtyypen nitrifikaatiosta kompostoitumisen aikana. Nitraattityppi on kasveille välittömästi käyttökelpoista liukoista typpeä, jonka kasvit ottavat nopeasti maaperästä, kun taas ammoniumtyppi on kasveille hieman hitaammin käytettävissä, mutta myös pysyy maaperässä nitraattityppeä paremmin. Nitraatti- ja ammoniumtyppitulosten suhteen avulla voidaan arvioida myös kompostin kypsyttä kaavan

$$\text{NH}_3\text{-N} / \text{NH}_4\text{-N suhde} = \frac{C_{\text{NO}_3} \times M_{\text{NO}_3}}{C_{\text{NH}_4} \times M_{\text{NH}_4}}$$

avulla, jossa C_{NO_3} -on nitraattityypen pitoisuus (mg/l) ja C_{NH_4} ammoniumtyypen pitoisuus (mg/l). M_{NO_3} on nitraatin moolimassa (62 g/mol) ja M_{NH_4} ammoniumin moolimassa (18 g/mol). Kaavan avulla nitraatti- ja ammoniumtyypen suhteeksi saatiin 0.97. VTT:n Kompostin kypsyystestaus –ohjeen (Itävaara ym. 2006) mukaisesti komposti voidaan luokitella kypsäksi, mikäli suhdeluku on yli 1. Hevosenlantakompostin $\text{NH}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ suhde oli kuitenkin hyvin lähellä arvoa 1, joten voidaan sanoa, että komposti oli kypsää tai lähes kypsää ja näin ollen käyttökelpoista.

Ammoniumtyypen pitoisuus analysoitiin myöhemmin Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksella. Pitoisuus jäi alle määrittämissä suurillakin näytteen pitoisuuksilla, joten se on hyvin pieni. Tämä viittaa kompostin kypsytyteen (Karppinen 2015).

Komposti vaikutti kypsältä useiden määrittämissä perusteella. Kompostin kypsyysmäärittämissä ei löytynyt haihtuvia rasvahappoja (Karppinen 2015). Suodattamattomassa liukoisessa jakeessa pH-arvo oli 8,45 ja sentrifugoidussa ja suodatetussa jakeessa 8,27. Sähkönjohtokyky oli vastaavasti 1,62 mS and 1,65 mS. Hevosenlannan hiili-tyyppisuhde oli kompostoinnin alkaessa 38,65 ja keväällä 2013 38,55. Kompostin kuiva-ainepitoisuus oli 32,16 % ja orgaaninen aine kuiva-ainesta (VS) 56,81 %. Kemiallinen hapen kulutus oli TCOD_{Cr} 22,50 g/l ja SCOD_{Cr} 1,35 g/l.

Kasvitoksisuutta ei itävyysskokeen perusteella ilmennyt. Molempien lajien siementen itävyys oli hyvä ja kompostin lannoittavaa vaikutusta oli havaittavissa. Vihanneskrassin verson pituuksissa oli tilastollisesti merkitsevä ero kontrolliryhmän ja kompostilla käsiteltyjen ryhmien välillä. Kiinankaalilla tulokset eivät olleet yhtä selkeät, mutta myös sillä kontrolliryhmän ja ainakin joidenkin käsiteltyjen ryhmien välillä oli merkitsevä ero. Kontrolliryhmän heikompi kasvu viittaisi siihen, että komposti ei aiheuttanut kasvitoksisuutta. Vihanneskrassin verso/juuri –suhteessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero kontrolliryhmän ja muiden ryhmien välillä (Karppinen 2015). Korkeampi nitraattipitoisuus voi selittää korkeampaa verso/juurisuhdetta (Scheible ym. 1997).

Taulukko 3. MTT Sotkamossa kompostinäytteestä analysoidut nitraatti- ja ammoniumtyppi ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) sekä pH.

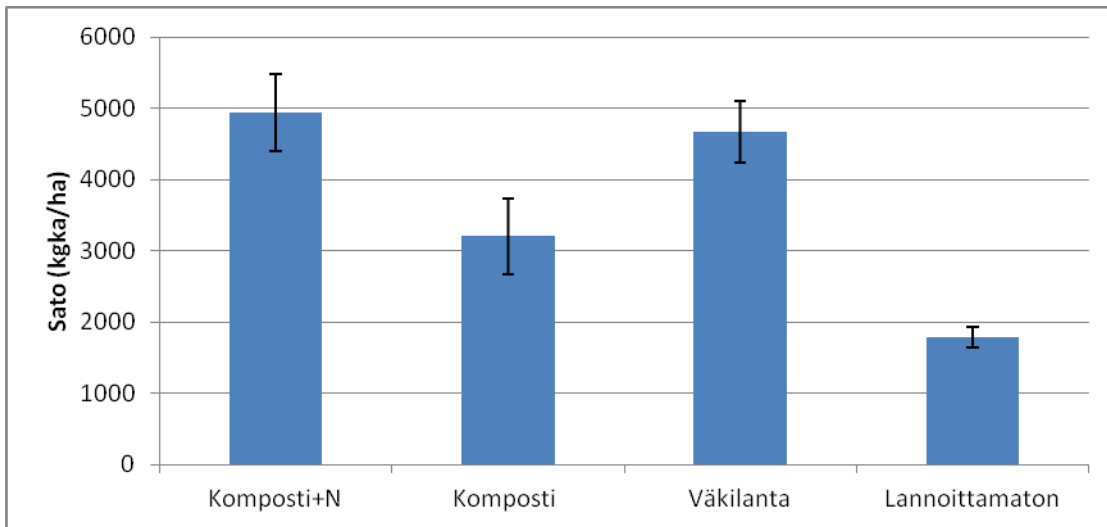
Analyysi	Yksikkö	Kompostinäyte
$\text{NO}_3\text{-N}$	(mg/l)	30
$\text{NH}_4\text{-N}$	(mg/l)	9
pH	-	8.6

Tuubikomposteista toukokuussa 2013 Kasvintuotannon tutkimuksen laboratorion Jokioissa tehdyn analyysin mukaan tuubin 4 pH oli 7,855. Ero tuloksissa voi johtua tuubikompostin sisällön heterogeenisyydestä. Aiempi näyte koottiin useammista näytteenottopaikoista ympäri tuubia, mutta mahdollisesti enemmän tuubikompostin pintaosista. Levityksen yhteydessä otettuun näytteeseen tuli materiaalia myös aivan kompostin syvimmistä osista, jotka erosivat jo silmämääräisesti arvioitunakin paljon pintaosista. Ero voi selittyä myös erilaisella mittaustavalla tai laitteistolla. MTT Sotkamon pH-mittari oli kalibroitu ennen mittauksia. pH-arvo kompostissa oli kuitenkin lannoitusta varten hyvällä tasolla.

Kemiallinen happeen kulutus oli melko alhainen, 22,054 g/l verrattuna aiempiin tutkimuksiin (Kaparaju et al. 2012, Chica et al. 2003). Tosin esimerkiksi Chica et al. 2003 ei pidä COD-arvoja tehokkaina kompostin kypsyyden kuvaajina.

4.2. Suojaviljan jyväsato ja havainnot (2013)

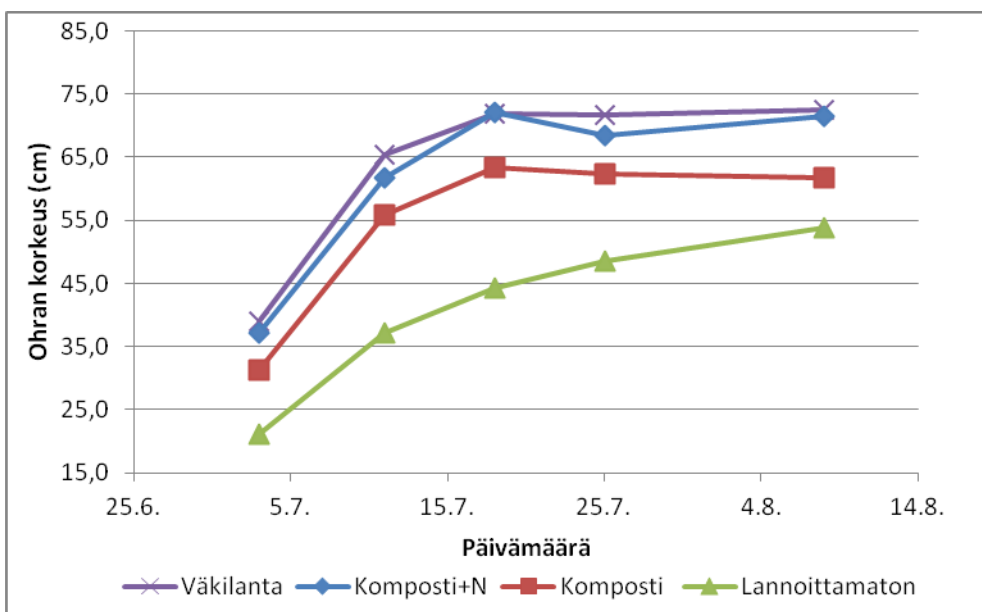
Nurmen suojaviljaksi kylvetyn ohran sadon lisäksi kasvuston pituutta, lehtivihreän määrää ja tähkien lukumäärää seurattiin kasvukauden aikana 3.7.2013-8.8.2013 eri lannoitevaihtoehdoilla. Kasvuston viikoittaista kuvailevaa havainnointia jatkettiin 22.8.2013 asti. Sato korjattiin 29.8.2013. Korkein sato kuiva-ainetta kohden laskettuna saavutettiin tyypillisäyksen saaneella kompostilla, lähes 5000 kg ka/ha (kuva 19). Väkilannoitteella ohran sato jäi hieman, n. 5 %, alhaisemmaksi (4700 kg ka/ha), kun taas pelkällä kompostilla lannoitetun ohran sato oli 3200 kg ka/ha. Kontrollina käytetyllä lannoittamattomilla koeruuduilla ohran sato oli n. 1800 kg ka/ha. Kerranteiden välillä havaittiin jonkin verran vaihtelua, joka oli vähäisintä lannoittamattomilla ruuduilla. Tämä voi johtua lannoitettujen koeruutujen lannoituksen epätasaisuudesta.



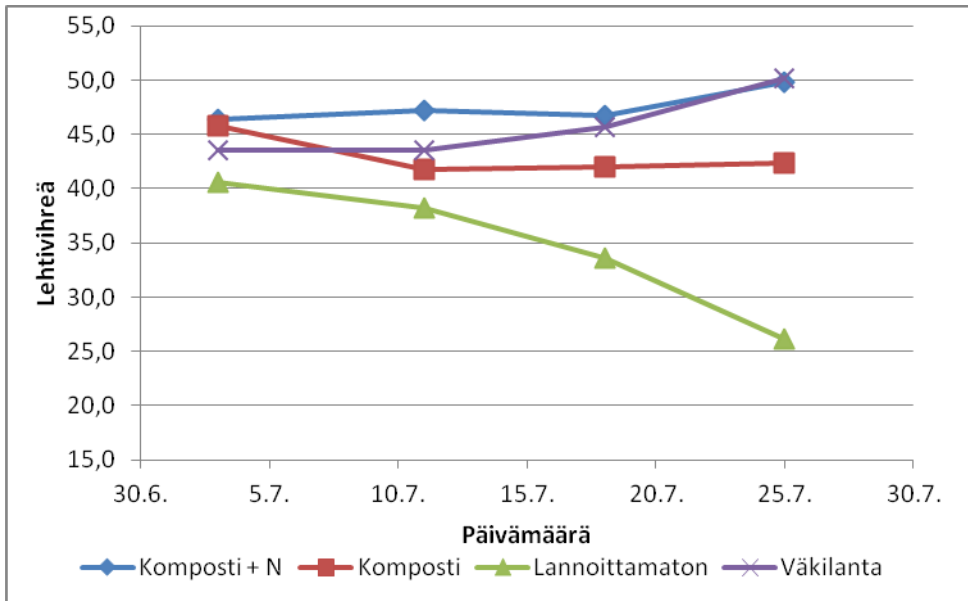
Kuva 19. Ohran satomäärät eri lannoitusvaihtoehtoilla.

Sekä ohran korkeus (kuva 20), lehtivihreän määrä (kuva 21) ja tähkäkerrosten lukumäärä (kuva 22) havaittiin kokeen aikana korkeimmiksi väkilannalla sekä typpilisäyksen saaneella kompostilla.

Ohrakasvuston korkeudessa havaittiin lannoittamattoman sekä parhaiten kasvaneiden, väkilannoitetun ja typpilisäyskompostin, välillä jopa lähes 20 cm:n ero. Lehtivihreän määrässä ensimmäisellä havaintokerralla korkeimman arvon saivat sekä kompostilla että typpilisätyllä kompostilla lannoitetut kasvustot, mutta kokeen edetessä pelkällä kompostilla lannoitetun kasvuston lehtivihreän määrä laski noin 5 SPAD-yksikköä. Lehtivihreän määrä laski myös lannoittamattomissa kasvustoissa, kun taas typpilisäystä saanut komposti sekä väkilannoitteella lannoitetut kasvustot kasvattivat lehtivihreän määrää havaintokauden aikana, jolloin havaintokauden päätteeksi lehtivihreän määrä molemmissa oli n. 50 SPAD-yksikköä.



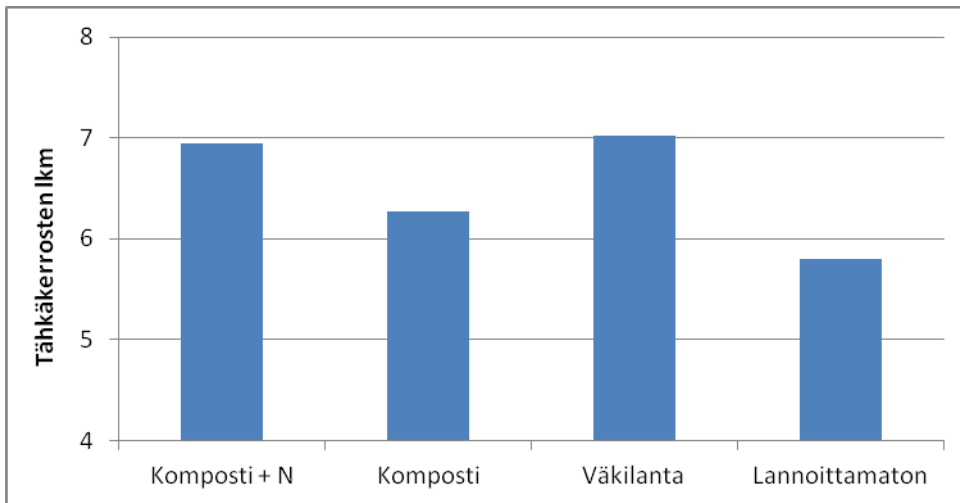
Kuva 20. Ohran korkeuden muutos havaintokertoina. Kerranteiden keskiarvot esitetty.



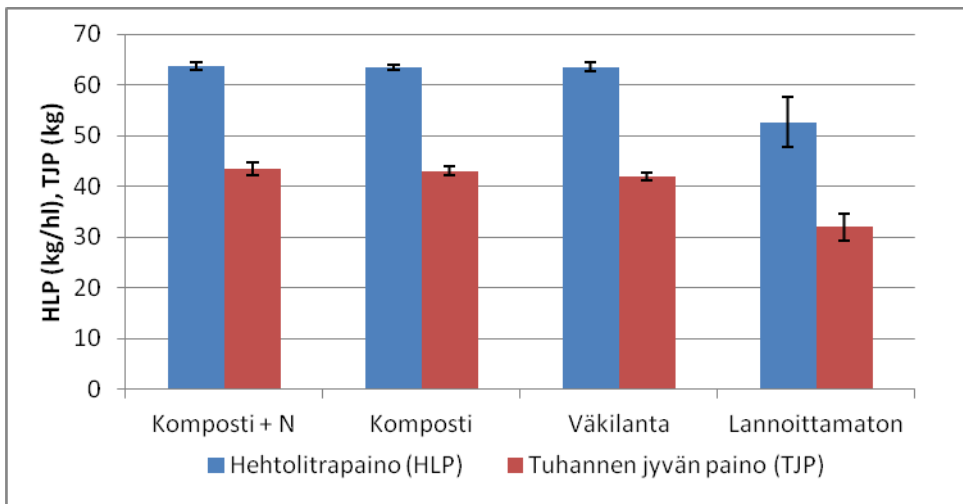
Kuva 21. Lehtivihreän määrän muutos havaintokertoina. Kerranteiden keskiarvot esitetty.

Kasvustosta kerättiin myös sanallisia, kuvailevia havaintoja kasvuston vihreydestä sekä tuuheudesta. Elokuun alkuun asti lannoittamattomat ruudut olivat selkeästi muita heikkokasvuisempia ja kellertäviä, kun taas kompostilla lannoitettujen ruutujen kasvusto oli hieman tuuheampaa ja vihreämpää. Kuitenkin selkeästi parhaimman näköistä kasvustoa havaittiin typpilisätyllä kompostilla lannoitetuilla ruuduilla sekä väkilannalla lannoitetuilla ruuduilla, joissa kasvusto oli tuuheaa, korkeaa ja syvän vihreää. 8.8.2013 jälkeen tähkät alkoivat kypsyä ja muuttuivat komposteilla sekä väkilannalla lannoitetuilla ruuduilla keltaisemmiksi, kun taas lannoittamattomilla ruuduilla kasvusto pysyi vihreämpänä muita pidempään. Tähkät vaikuttivat kuitenkin syvemmän keltaisilta ja kypsemmiltä väkilannalla sekä typpilisätyllä kompostilla lannoitetuilla ruuduilla, kuin pelkällä kompostilla lannoitetuilla ruuduilla.

Ohran tähkäkerrosten lukumäärää arvioitaessa väkilannalla sekä typpilisätyllä kompostilla lannoitettujen kasvustojen osalta saatiin lähes sama tulos, keskimäärin noin 7 tähkää. Pelkällä kompostilla lannoitettujen kasvustojen tähkäkerrosten määrä oli keskimäärin noin 6 samoin kuin lannoittamattomilla kasvustoilla (kuva 22). Kuvassa 23 on esitetty ohran hehtolitraino sekä tuhannen jyvän paino. Painot olivat hyvin lähellä toisiaan lannoitusta saaneilla kasvustoilla (komposti+N, komposti ja väkilanta), kun taas lannoittamattomalla ohralla jyvien painot olivat n. 20-25 % lannoitettuja alhaisempia.



Kuva 22. Ohran tähkäkerrosten lukumäärä havaintokertojen sekä kerranteiden keskiarvona.



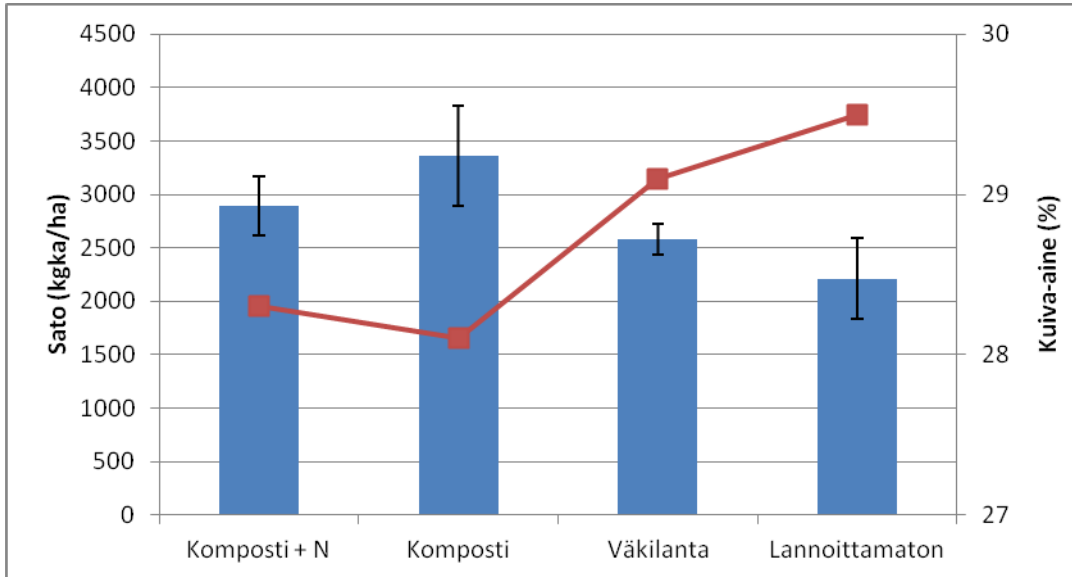
Kuva 23. Ohran hehtolitraino sekä tuhannen jyvän paino.

Kokonaisuudessaan nurmen suojaviljana käytettävän ohran osalta voidaan todeta, että sekä typpilisätyllä kompostilla sekä väkilannoitteella päästiin hyvin samanlaisiin tuloksiin. Tämä johtuu lannoitteiden liukoisesta typestä, joka on kasveille käyttökelpoisinta, ja jota molemmissa lannoitteissa oli saman verran. Pelkkä komposti tuotti satoa ja oli muissakin havaintoparametreissa hieman heikompi lannoite, koska siitä puuttui lähes kokonaan liukoinen typpi ja myös kokonaistyyppipitoisuus oli alhainen ja C/N -suhde korkea. Pelkällä kompostilla sato sekä havaintosuureet olivat kuitenkin kontrollia (lannoittamaton) paremmat.

4.3. Nurmen sato ja havainnot (2014)

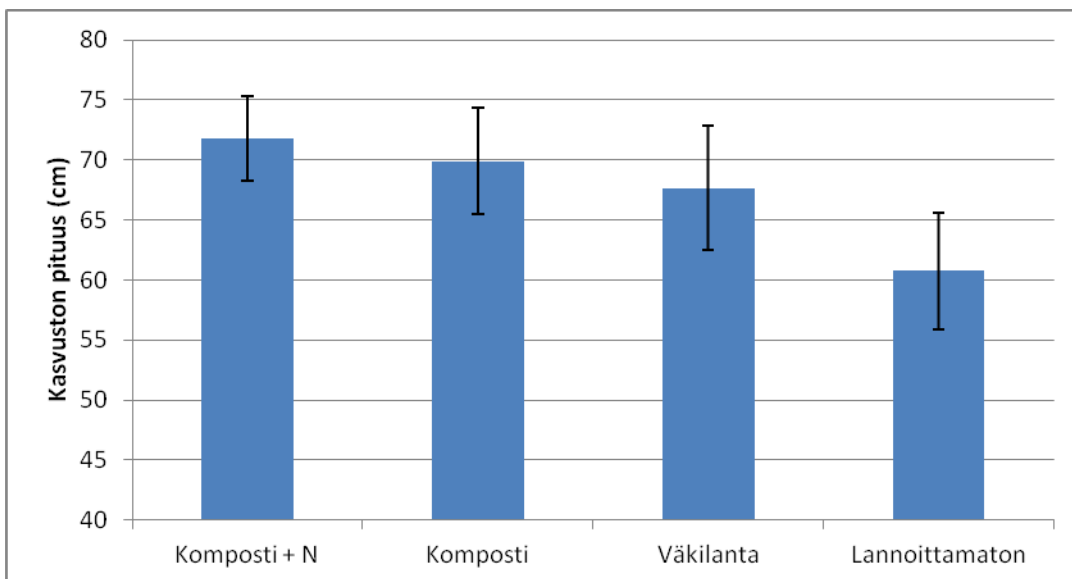
Nurmi korjattiin 25.6.2014. Kuiva-ainepitoisuus eri lannoitusvaihtoehdoilla lannoitetuilla nurminäytteissä vaihteli 28 %:n ja 29,5 %:n välillä ollen korkeimmillaan väkilannalla lannoitetuissa sekä lannoittamattomissa näytteissä, ja matalin kompostilannoitetuissa näytteissä (kuva 24). Sato kuiva-ainetta kohden laskettuna (kg

ka/ha) taas oli korkein kompostilannoitetulla nurmella (3300 kg ka/ha, kuva 24). Sekä typpilisätyllä kompostilla että väkilannalla nurmen sato oli kompostilannoitusta n. 20 % alhaisempi (2900 kg ka/ha typpilisätytty komposti, 2600 kg ka/ha väkilanta). Lannoittamattoman nurmen sato oli 2200 kg ka/ha. Kerranteiden välillä havaittiin jonkin verran hajontaa, joka oli vähäisintä väkilannoitetuilla nurmilla.



Kuva 24. Nurmen sato eri lannoitusvaihtoehtojalla kerranteiden keskiarvona.

Nurmikasvuston pituus mitattiin niiton yhteydessä kesällä 2014 (kuva 25). Sekä kompostilla että typpilisätyllä kompostilla että väkilannalla lannoitetuilla nurmilla kasvuston pituus oli noin 70 cm, kun taas lannoittamattomalla nurmella kasvuston pituus oli noin 10 cm alhaisempi.

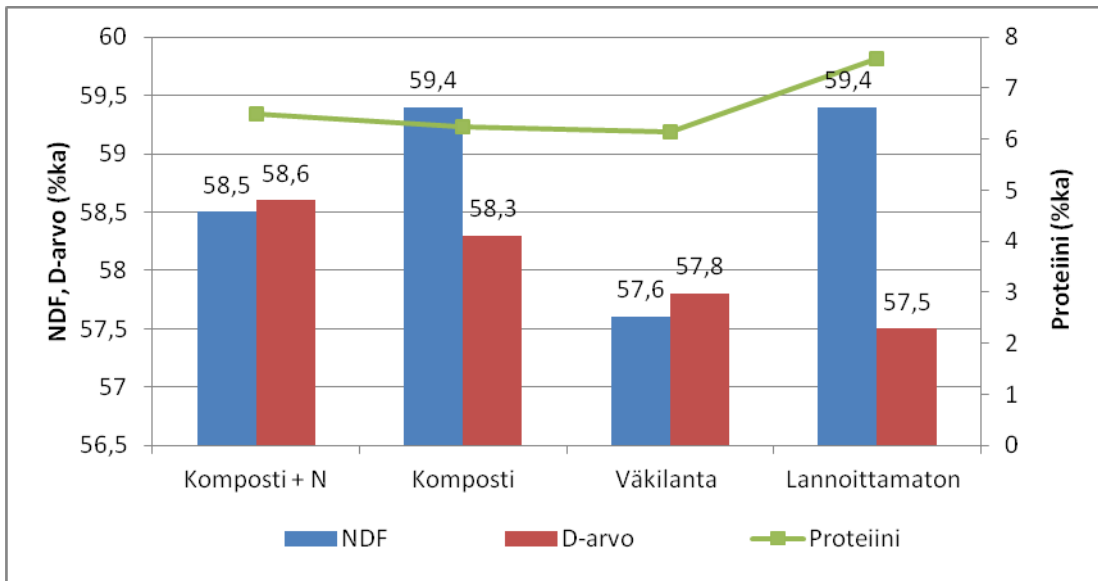


Kuva 25. Nurmikasvuston pituus eri lannoitusvaihtoehtojalla kerranteiden keskiarvona.

Nurmen rehuominaisuudet; proteiinipitoisuus, NDF-kuidun määrä, D-arvo sekä kivennäisaineiden pitoisuudet analysoitiin eri lannoitusvaihtoehdoilla lannoitetuista nurmista korjuun jälkeen (kuvat 26 ja 27). NDF-kuitu eli kokonaiskuitupitoisuus eri lannoitusvaihtoehtojen nurmissa vaihteli 58 ja 60 % ka välillä ollen korkein kompostilannoitetussa nurmessa sekä lannoittamattomassa nurmessa. Alhaisin kokonaiskuitupitoisuus havaittiin väkilannalla lannoitetussa nurmessa. Kokonaiskuitupitoisuuteen nurmessa vaikuttaa sekä kasvilaji, mutta myös korjuuaika. Mitä vanhempana kasvi korjataan, sitä enemmän kuituja sen soluseinissä on, eli NDF on myös korkeampi. Tyypillisesti säilörehuksi korjattavissa nurmissa NDF on noin 54-58 %, mikä on tutkittuja nurminäytteitä hieman alempi pitoisuus.

D-arvo tarkoittaa rehun sulavan orgaanisen aineksen määrän. Tutkittavissa nurmissa D-arvo vaihteli melko vähän ollen korkeimmillaan tyypilisätyllä kompostilla (58,6 % ka) sekä kompostilla (58,3 % ka) lannoitetuissa nurmissa ja alhaisin väkilannalla (57,8 %ka) lannoitetussa ja lannoittamattomassa nurmessa (57,5 % ka, kuva 26). D-arvoon vaikuttaa nurmen korjuuaika, kasvilaji sekä sääolosuhteet ja säilörehuksi tarkoitetun nurmen D-arvosuositus on 68-70 %. Alkukesällä ensimmäisen sadon nurmessa D-arvo laskee n. 0,5 yksikköä päivässä, jolloin korjuuajan optimointi D-arvon suhteen on tärkeää rehuksi tarkoitettujen nurmien osalta. Koska sekä NDF että D-arvo ovat riippuvaisia nurmen korjuuajasta, voidaan tuloksista päätellä, että tutkitut nurmet korjattiin hieman liian myöhään parasta rehukäyttöä ajatellen.

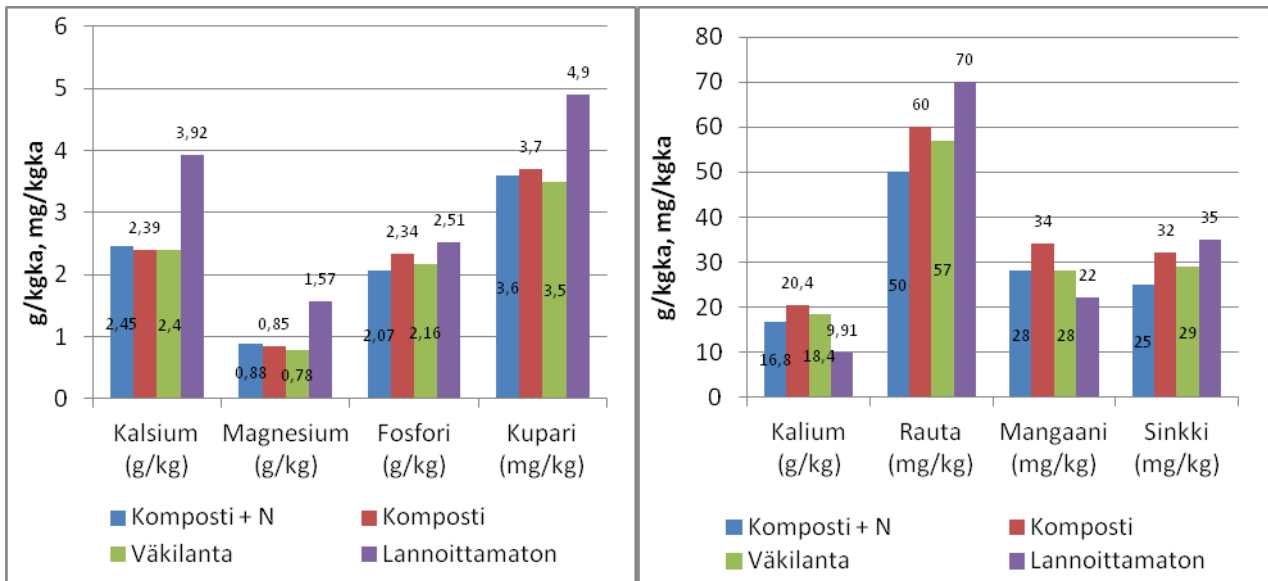
Myös nurmien proteiinipitoisuuksissa havaittiin vaihteluja (kuva 26). Korkein proteiinipitoisuus havaittiin lannoittamattomalla nurmella (7,6 % ka), kun taas muilla lannoitusvaihtoehdoilla proteiinipitoisuus oli 15-20 % alhaisempi (6,1-6,5 % ka). Nurmen proteiinipitoisuuteen vaikuttaa korjuuasteen ja kasvilajin lisäksi myös typpilannoitus sekä satotaso. Proteiinipitoisuus säilörehunurmissa on yleensä olla tasolla 13-17 % ka, mutta pitoisuus laskee kasvukauden edetessä, jolloin myös lannoituskokeen proteiinitulokset tukevat myöhäisen korjuun vaikutusta. Koska typpilannoitus myös vaikuttaa kasvin proteiinipitoisuuteen, olisi tyypilisätyllä kompostilla sekä väkilannalla lannoitetuissa nurmissa sekä myös kompostilla lannoitetussa nurmessa pitänyt olla havaittavissa hieman lannoittamatonta suurempi pitoisuus, eikä päinvastoin. Mahdollisena selityksenä lannoittamattoman poikkeukselliseen korkeaan proteiinipitoisuuteen saattaa olla esimerkiksi näytteenotto ja siitä aiheutuva hajonta.



Kuva 26. Nurmen koostumus eri lannoitevaihtoehdoilla lannoituksen jälkeen.

Nurmen kivennäispitoisuudet havaittiin melko tasaisiksi eri lannoitevaihtoehdoissa (komposti, komposti + N ja väkilanta) etenkin kalsiumin, magnesiumin, raudan ja kuparin osalta, jolloin lannoittamattomalla nurmella pitoisuus osoittautui aina selvästi korkeammaksi (kuva 27). Päinvastoin taas havaittiin mangaanin ja kaliumin pitoisuuksien osalta, jotka olivat lannoittamattomassa nurmessa selvästi alhaisempia verrattuna eri lannoitevaihtoehdoilla lannoitettuihin nurmiin. Sinkin ja fosforin osalta merkittävää eroa eri lannoitustapojen välillä ei havaittu.

Tutkittujen nurmien kivennäispitoisuudet olivat useimmiten selvästi alle rehunurmille asetettujen tavoitteiden (MTT). Ainoastaan fosforin osalta sekä kompostilannoitetulla että lannoittamattomalla nurmella pitoisuus oli lähellä rehunurmien tavoitearvoa 2,5-3,7 g/kg ka. Sinkin osalta taas kompostilla sekä väkilannalla lannoitetun nurmen että lannoittamattoman nurmen kivennäisarvot olivat asetetun tavoitearvon (28-35 mg/kg ka) sisällä. Lannoittamaton nurmi oli myös kalsiumin sekä magnesiumin osalta lähellä tavoitearvoa, mutta eri vaihtoehdoilla lannoitetut nurmet jäivät alle tavoitteista. Magnesiumin, fosforin, raudan ja sinkin osalta korjuuaika vaikuttaa kivennäisten pitoisuuteen. Myös maaperän ominaisuuksilla sekä pH:lla on merkitystä kivennäisainesten pitoisuudessa kasveissa, ja esimerkiksi maaperän pH:n ollessa yli 7 sinkki sitoutuu maaperän partikkeleihin eikä siirry kasveihin. Tässä tutkimuksessa maaperän pH oli alle 7 (kuva 30), mikä mahdollisti runsaan sinkin siirtymisen kasveihin. Kokonaisuudessaan nurmen kivennäispitoisuuksissa ei kuitenkaan havaittu selvää yhteyttä kompostilannoitukseen, vaan tulokset vaihtelivat eri kivennäisainesten kesken.



Kuva 27. Nurmen kivennäisainepitoisuudet korjuun jälkeen eri lannoitusvaihtoehdoissa kuiva-ainekiloa kohden määritettynä.

4.4. Maaperän ominaisuudet kokeen aikana

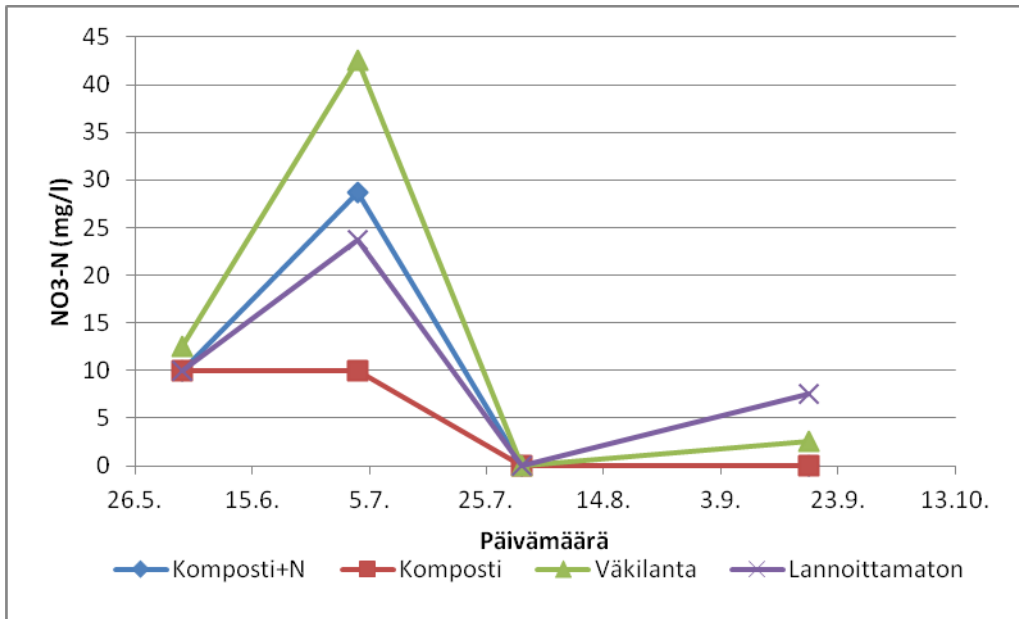
4.4.1 Maaperän ominaisuudet ennen kylvää

Keväällä 2013 lähetettiin maaperänäytteet analysoitaviksi ulkopuoliseen laboratorioon (Viljavuuspalvelu Oy), mistä tulokset on esitetty kuvassa 29 ja liitteessä 1 (näyte 13.5.2013). Maaperän hivenainepitoisuuksista etenkin kaliumin taso oli huono ja natriumin huononlainen, kun taas sinkin, kuparin ja fosforin osalta tilanne oli hyvä. Heikko kaliumin ja hyvä fosforin taso maaperässä tukee hevoslantakompostin käyttöä maanparannuksesta, koska kompostissa etenkin kaliumin pitoisuus oli korkea ja fosforin melko alhainen (taulukko 2). Maaperä koelohkoilla oli karkeaa hietaa (KHT) ja multavuus luokkaa multava (m).

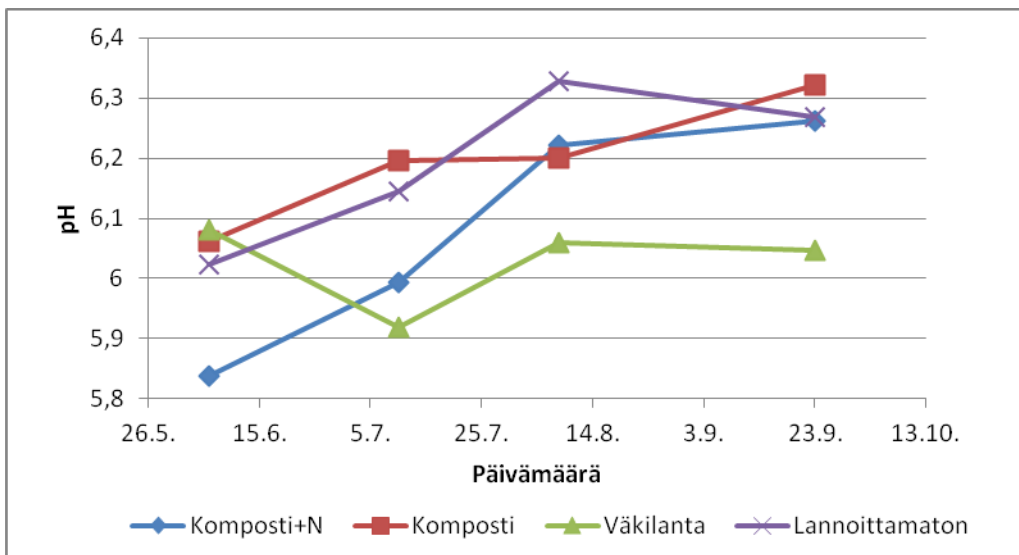
4.4.2 Maaperän nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet ohrakokeen aikana

Nitraatti-, nitriitti sekä ammoniumtyypen muutoksia maaperässä seurattiin suojaviljakokeen (ohra) aikana. Ammoniumtyyppiä ja nitriittityyppiä ei määryksissä havaittu lainkaan, mikä saattoi johtua epätarkasta analyysimenetelmästä (värimuutosmenetelmä) ja/tai analysoitavien yhdisteiden erittäin alhaisista pitoisuuksista näytteissä. Nitraattityyppiä sen sijaan näytteissä havaittiin ja sen muutoksia seurattiin 13.6.-18.9.2013 noin kuukauden välein (kuva 28). Ensimmäinen nitraattityypianalyysi tehtiin päivää ennen kompostin ja muiden lannoitteiden levitystä, eli se kuvaa kokeen lähtötilannetta, jolloin nitraattityyppiä oli maaperässä noin 10 mg/l. Noin kuukausi koelannoitteiden lisäyksen jälkeen NO₃-pitoisuudet olivat nousseet selvästi kaikissa muissa koeruuduissa paitsi kompostilannoitetta saaneissa ruuduissa. Korkeimmillaan NO₃-pitoisuus oli väkilannoitetuissa koeruuduissa, keskimäärin 43 mg/l. Heinäkuussa

nitraattityypipitoisuudet laskivat kaikissa koeruuduissa nolnaan, mutta nousivat taas syyskuussa hieman sekä lannoittamattomassa että väkilannoitetuissa ruuduissa.



Kuva 28. Maaperän nitraattitypen (NO₃-N, mg/l) pitoisuuden muutokset ohrakokeen aikana kerranteiden keskiarvoina.



Kuva 29. Maaperän pH:n muutokset ohrakokeen aikana kerranteiden keskiarvoina.

Maaperän pH:n muutoksia seurattiin 6.6.-23.9.2013 välisenä aikana (kuva 29). Maaperän alkuperäinen pH oli Viljavuuspalvelun analyysien mukaan 6,3 (Liite 1). Typpilisätyllä kompostilla lannoitus selvästi alensi maaperän pH-arvoa kokeen alussa, mutta syksyllä maaperän pH oli noussut arvoon n. 6,3, samoin kuin myös kompostilla lannoitetussa maaperässä että lannoittamattomassa maaperässä. Väkilannalla lannoitetun maaperän pH kasvukauden aikana laski noin 0,2 yksikköä tasaantuen syksyllä arvoon 6,05.

Muutokset maaperän pH:ssa liittyvät kasvien ravinteiden ottoon. Esimerkiksi kasvien käyttäessä maaperän nitraattityppeä maan pH nousee, kun taas ammoniumtypen käytössä pH laskee, mikä johtuu yhdisteiden varauksesta, joka nitraattitypellä on negatiivinen ja ammoniumtypellä positiivinen

4.4.3 Maaperän ominaisuudet ohrakokeen aikana sekä ennen ja jälkeen nurmikokeen

Maaperästä tehtiin viljavuustutkimus ohrakokeen edetessä neljä kertaa ja tuloksia verrattiin maaperän tilaan ennen koetta (13.5.2013). Viljavuustutkimusta varten näytteet otettiin myös ennen nurmikoetta (8.5.2014) ja nurmikokeen jälkeen (25.6.2014). Tulokset viljavuustutkimuksista on esitetty sekä kuvassa 30 että liitteessä 1. Maaperän johtoluku kuvaa maaperän vesiliukoisten suolojen pitoisuutta ja oli kaikissa näytteissä alle 2,5, mikä on normaalilla tasolla. Heinäkuun alussa otetussa näytteessä johtoluku oli kaikissa näytteissä muita näytteenottokertoja korkeampi, mikä johtuu ohran kasvuun liittyvästä suolojen liukoistumisesta ja edelleen niiden käytöstä kasvukauden aikana. Vuonna 2014 johtokyky oli edellisesti vuodesta laskenut ja laski edelleen nurmen kasvukauden aikana. Viljavuustutkimuksen pH-arvot ohrakokeen (2013) aikana olivat hieman erilaisia kuin mitä MTT:llä mitatut tulokset, mikä todennäköisesti johtuu näytteen säilytysaikojen eroista ja eri näytteenottoajankohdista.

Viljavuustutkimuksen ravinteista kalsiumin (Ca) pitoisuuksissa ei tapahtunut ohrakokeen aikana merkittäviä muutoksia, mutta kalsiumin viljavuusluokka nousi välttävää tyydyttävään lannoituksen jälkeen. Fosforin (P) viljavuusluokka laski korkeasta hyvään lannoituksen ja ohran kylvön seurauksena, mutta nousi vielä syksyllä korkealle tasolle kompostilannoitetussa maaperässä. Kompostilla lannoitetussa maassa fosforin pitoisuus oli kasvukauden aikana hieman muita korkeammalla, mutta tasaantui syksyllä kuitenkin samalle tasolle kuin muilla koeruuduilla. Kaiken kaikkiaan erot fosforin ja kalsiumin pitoisuuksissa maaperässä olivat verrattain pieniä eri lannoitustekniikoilla myös vuoden 2014 nurmikokeessa.

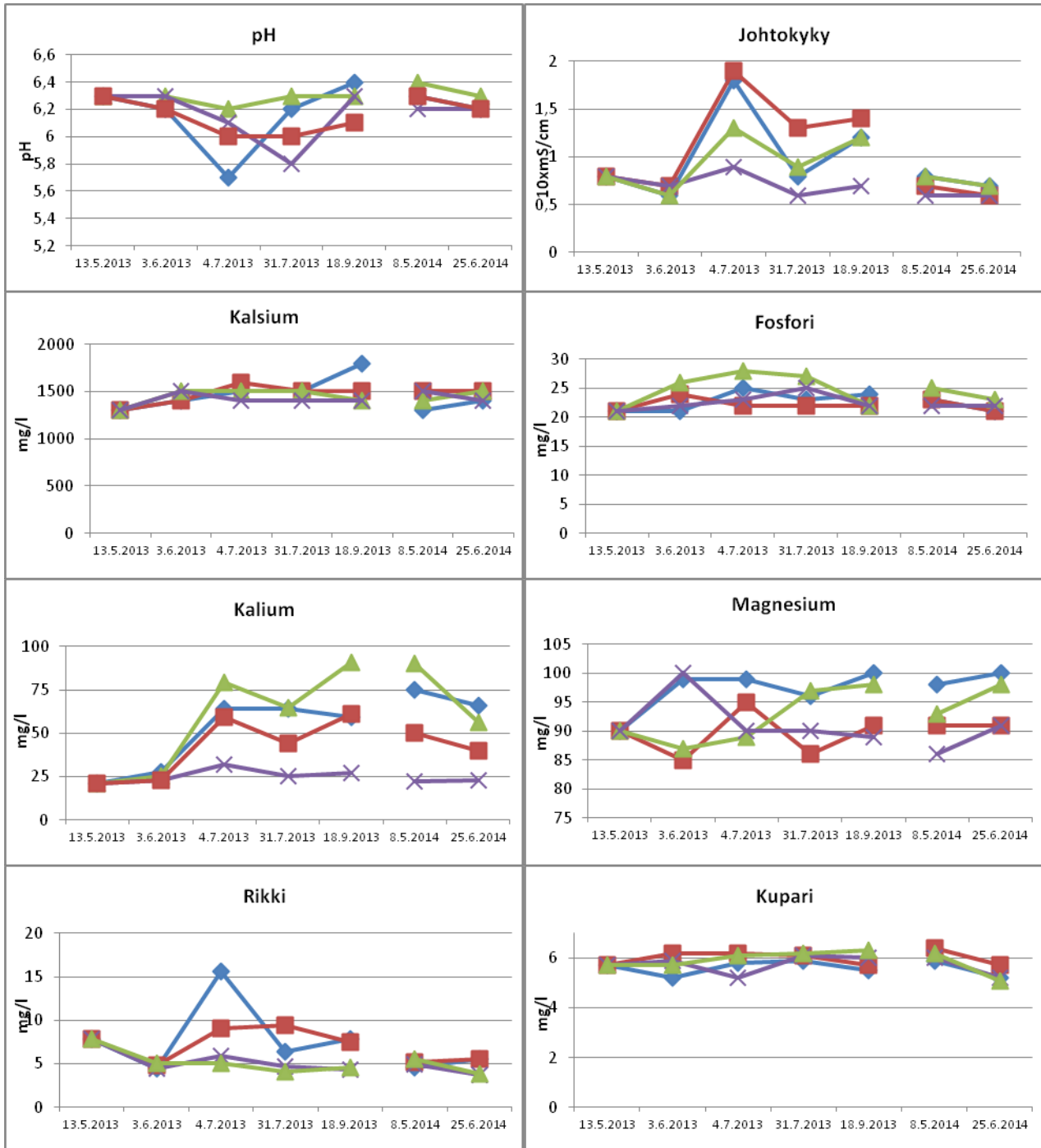
Kaliumin (K) taso maaperässä ennen koetta oli huono, mutta nousi tasolle huononlainen sekä typpilisätyllä kompostilla että väkilannoitteella lannoitetussa maaperässä. Pelkän kompostilannoitteen koejäsenellä kaliumin viljavuusluokka nousi välttäväksi loppusyksyllä. Lannoittamaton maaperä erottui selvästi muista ollen noin 30-60 mg/l alemmalla tasolla. Vuoden 2014 nurmikokeen alussa kaliumpitoisuudet olivat vuoden 2013 loppuun verrattuna hieman alemmalla tasolla kaikissa muissa paitsi typpilisätyn kompostin maaperässä, jossa pitoisuus oli vuoden 2013 lopputilannetta korkeampi, mikä myös nosti viljavuusluokkaa hieman. Nurmen korjuun jälkeen kaliumpitoisuudet kuitenkin taas laskivat. Magnesiumpitoisuuksien (Mg) osalta eri lannoitusvaihtoehtojen välillä oli eroja ohran kasvukauden aikana. Syksyllä pitoisuudet maassa olivat kompostilla sekä typpilisätyllä kompostilla hieman muita korkeammalla, mutta viljavuusluokka kaikissa näytteissä pysyi välttävänä. Vuoden 2014 nurmikoe alkoi hieman alentuneilla

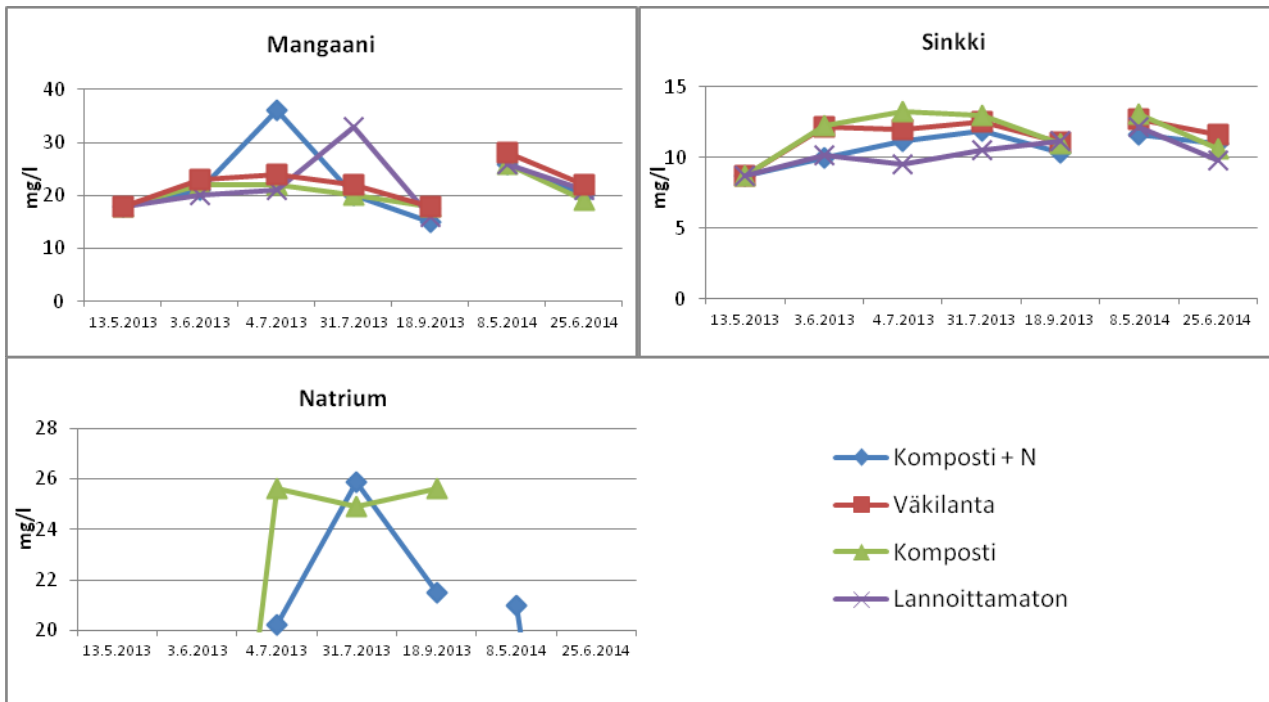
magnesiumpitoisuuksilla, mitkä kuitenkin nurmen korjuun jälkeen olivat taas palanneet lähelle vuoden 2013 lopun tasoa.

Rikin (S) ja kuparin (Cu) osalta pitoisuuden maaperässä olivat suhteellisen tasaisia, tosin rikin osalta heinäkuun typpilisätyn kompostilannoitteen näytteessä havaittiin pitoisuuden nousu, joka kuitenkin kasvukauden aikana tasaantui. Rikin viljavuusluokka syksyllä oli huononlainen lannoittamattomalla sekä kompostilannoitetuissa näytteissä ja välttävä väkilantaa sekä typpilisättyä kompostia saaneissa maaperänäytteissä. Kuparin viljavuusluokka oli kaikissa näytteissä hyvä. Vuoden 2014 kokeessa rikin pitoisuudet olivat samalla tasolla tai hieman alhaisemmat kuin vuonna 2013. Kuparin osalta taas vuoden 2014 lähtöpitoisuus oli vuotta 2013 korkeampi, mutta laski nurmen kasvun myötä lähelle vuoden 2013 lopun tasoa.

Rikin tapaan myös mangaanin (Mn) osalta havaittiin muita selvästi korkeampi pitoisuus heinäkuun typpilisätyn kompostilannoituksen näytteessä. Muutoin mangaanipitoisuus maaperässä oli näytteiden välillä tasaista ja viljavuusluokaltaan tyydyttävää. Vuoden 2014 kokeen alussa mangaanin viljavuusluokka oli noussut tyydyttävälle tasolla, ja pitoisuudet olivat selkeästi vuoden 2013 kokeen loppua korkeammalla tasolla. Nurmen kasvukauden myötä maaperän mangaani kuitenkin kului ja pitoisuus sekä viljavuusluokka laskivat, mutta jäivät kuitenkin hieman vuoden 2013 loppua korkeammalle tasolle. Sinkin (Zn) osalta maaperän pitoisuudet olivat myös verrattain tasaisia, lannoittamattomassa näytteessä kuitenkin muita hieman alhaisempia. Sinkin viljavuusluokka oli kokeen ajan hyvä. Vuoden 2014 kokeen alussa myös sinkin pitoisuus oli hieman vuoden ohrakokeen loppua korkeammalla tasolla. Natriumin (Na) osalta viljavuusluokka oli ennen koetta huononlainen, pitoisuuden ollessa alle määritysrajan 20 mg/l. Sekä kompostilla että typpilisätyllä kompostilla lannoitetussa maaperässä havaittiin kuitenkin natriumpitoisuuden nousua kokeen aikana, mikä ei kuitenkaan vaikuttanut viljavuusluokkaan.

Kompostilannoituksen vaikutus maaperään ensimmäisen vuoden ohrakokeen aikana ei vielä näkynyt kovinkaan selvästi maaperän hivenainetuloissa. Kuitenkin kompostin korkea kaliumpitoisuus lisäsi maaperän pitoisuuksia kompostilannoitetuilla koeruuduilla tasolta 20 mg/l tasolle 90 mg/l. Myös magnesiumin ja natriumin pitoisuuksissa maaperässä oli havaittavissa nousua lannoituksen jälkeen ohran kasvukauden aikana. Ennen vuoden 2014 nurmikokeen alkua otetuissa maaperänäytteissä kompostilannoitus erottui selvimmin kalium- ja magnesiumpitoisuuksissa, jotka olivat selvästi korkeammalla tasolla ennen koetta ja kokeen jälkeen verrattuna väkilannoitettuun ja lannoittamattomaan maaperään.





Kuva 30. Maaperän viljavuustutkimuksen tulokset ohra- ja nurmikokeista.

5. Johtopäätökset

Tutkimuksessa selvitettiin hevosenlantakompostin hyötykäyttömahdollisuutta lannoitteena nurmelle sekä nurmen suojaviljana käytetylle ohralle. Pellolle kylvettiin nurmen siementä, jonka suojaviljana oli ohraa. Lannoitusvaihtoehtoja oli neljä: kompostilannoitus, väkilannoitus, väkilannoituksella täydennetty kompostilannoitus sekä kokonaan lannoittamatta jättäminen. Kustakin lannoitusvaihtoehdosta tehtiin neljä kerrannetta, joten koe koostui 16 koeruudusta.

Koska hevosenlannan typpipitoisuus on hyvin alhainen, sen lannoitusvaikutus on myös hyvin pieni. Tämä havaittiin myös hevosenlantakompostissa, missä kokonaistyppipitoisuus kuiva-ainekiloa kohden oli 9,8 g/kg ja tuorepainossa 2,8 g/kg. Ammonium-typen pitoisuus jäi Jyväskylän yliopistossa tehdyissä mittauksissa alle määritysrajan. Tässä on ristiriita typpisalkulla saatuihin tuloksiin. Typpisalkku ei tämän mukaan sovellu erityisen hyvin kompostimateriaalille, mutta nitraatti-typen määrittämisessä se vaikuttaa käyttökelpoiselta menetelmältä viljelijänkin käytettäväksi.

Kompostoituminen sitoo happea, helposti hajoavat orgaaniset aineet hajoavat ja pH nousee. Stabiili komposti on hajonnut niin pitkälle, että sen hiilidioksidin tuotto ja hapenkulutus ovat vähentyneet huomattavasti (Itävaara ym. 2006). Stabiilisuuden taso kuvaa kompostin sisältämän orgaanisen aineksen

biologista hajotusnopeutta. Kompostin kypsyyden käsite on laaja-alaisempi. Kapeimmillaan se voidaan käsittää kompostoitumisprosessin kasvitoksisten välituotteiden hajoamistasona. Kypsä komposti on hyvälaatuista ja käyttökelpoista. Sen sisältämä orgaaninen aines on hajonnut riittävän pitkälle, se ei estä kasvien kasvua eikä haise. Kypsyyden määrittäminen on kuitenkin monimutkaista, sillä monet seikat yhdessä vaikuttavat kompostin laatuun.

Kompostointiprosessin välituotteet (esim. haihtuvat rasvahapot) kertovat kompostin kypsyyden puutteista ja voivat aiheuttaa kasvitoksisuutta. Yleisesti hiili-typpisuhteen ollessa alle 20 puhutaan verrattain kypsästä kompostista (Desalegn ym. 2008, Epstein 1997). Kypsässä kompostissa helppoliukoisen ammoniumtyypen pitoisuus on pieni (Bernal ym. 1998). Sen sijaan siinä on hivenaineita sekä hitaammin vapautuvaa typpeä, jotka säilyvät maaperässä ja vapautuivat kasvien käyttöön myös seuraavana vuonna. Komposti parantaa lisäksi maan rakennetta.

Tässä tutkimuksessa alhainen ammonium-pitoisuus, nitraatti- ja ammonium-tyypen suhde ja haihtuvien rasvahappojen puuttuminen viittaavat kypsään kompostiin. Mikäli kompostoitumien keskeytyy esimerkiksi hapettomuuden, liiallisen kosteuden tai pH-muutosten vuoksi, voi kompostissa ilmetä kasvitoksisuutta aiheuttavia yhdisteitä (Epstein 1997, Barberis & Nappi 1996). Tällöin komposti ei ole kypsää ja sen käyttö kasvualustana heikentää kasvien kasvua (Epstein 1997). Kasvitoksisuutta ei tässä tutkimuksessa ilmennyt.

Alhainen typpipitoisuus yhdessä lannan kuivikkeena käytetyn puupurun kanssa nostaa kompostin hiili-typpi-suhteen melko korkeaksi (38,6), mikä vähentää kompostin soveltuvuutta lannoitteeksi. Aiempien hevosenlannan yhteiskompostointia tarkastelleiden tutkimusten mukaan hevosenlannan lähtökohtaisesti korkean C/N-suhteen vuoksi edellä mainittua arvoa ei välttämättä ole mahdollista saavuttaa, vaikka komposti olisikin kypsää (Benito ym. 2009, Desalegn ym. 2008 ja Ramirez-Perez ym. 2007). Mikrobeille saatavilla olevan hiilen ja typen pitoisuudet sekä hiili-typpisuhte ovat Epsteinin (1997) mukaan kompostoinnin oleellisia parametreja. Ne vaikuttavat niin kompostointiprosessin etenemiseen kuin sen lopputuotteisiin. Mikrobien kasvun kannalta optimaalinen hiili-typpisuhte on noin 25-30:1. Viljelykäytössä sen sijaan optimaalinen hiilityppisuhte on alle 20, jolloin typpi vapautuu kasvien käyttöön nopeasti (Bridgeland ym. 1987).

Desalegn ym. (2008) tutkimuksen mukaan hevosenlannan hiili-typpisuhte voi olla jopa yli 50:1 kuivikkeena käytetyn puuaineksen vuoksi. Benito ym. (2009) mukaan hiili-typpisuhteen käyttäminen hevosenlannasta sisältävän kompostin arvioinnissa ei ole täysin luotettavaa hevosenlannan korkean kuivikepitoisuuden ja siten korkean hiili-typpisuhteen vuoksi. Korkea C/N- suhde kuitenkin tukee kompostimateriaalin käyttöä maanparannusaineena, jolloin ravinteiden lisäyksen sijaan kompostimateriaali parantaa mm. maaperän rakennetta, mikrobiologista toimintaa, vedenpidätyskykyä, kationinvaihtokapasiteettiä ja hiilitasetta.

Biosolids Composting (1995) –kirjan mukaan pienen mittakaavan kompostoinnissa, kuten kotikompostoinnissa, kompostoitavan materiaalin huokoisuus yleensä riittää ilmastamaan kompostin. Suuremmissa yksiköissä komposti vaatii tehokkaampaa ilmastusta. Ilmastus voidaan toteuttaa esimerkiksi aumakomposteja kääntämällä tai pumppaamalla ilmaa kompostiin. Epsteinin (1997) mukaan kompostimateriaalista riippuen optimaalinen kosteuspitoisuus on noin 53-65 prosenttia. Kompostin kosteuspitoisuus yleensä laskee prosessin edetessä, mikäli ilmastus on tehokasta. Kosteuden puute ei rajoita mikrobiologista hajotusta mikäli kosteuspitoisuus pysyy noin 45-55 prosentissa. Tässä kosteus oli 67,84 %.

Kompostoinnin kannalta optimaalista happamuutta on vaikeaa määrittää yksikäsitteisesti, sillä kompostissa toimii suuri määrä eri lajien hajottajaeliöitä, joilla on erilaiset optimi-pH:t (Epstein 1997). Yleisesti mikrobiaktiivisuus vähenee, kun pH on alle 6 (Hänninen ym. 1987). Valmiin kompostin pH voi vaihdella kompostoitavasta materiaalista riippuen välillä pH 5-9 (Anon. 1995). Puupurukuivitetun hevosenlannan kompostin pH on noin 7,6 (Zubillaga & Lavado 2006). Tässä tutkimuksessa pH vaihteli eri mittauksissa 7,86 – 8,6.

Nurmen suojaviljaksi kylvetyn ohran kasvatuskokeessa korkein sato, ohran tähkäkerrosten ja lehtivihreän määrä sekä kasvuston pituus olivat korkeimmat typpilisätyllä kompostilla sekä väkilannoiteteella lannoitetuilla koeruuduilla. Pelkällä kompostilla lannoitettujen ruutujen sato jäi n. 35 % alhaisemmaksi, mikä johtui kompostin alhaisesta kokonais- ja liukoisen typen määrästä, joka on kasvien kasvun kannalta tärkein ravinne.

Ohran kasvukauden aikana tarkastellut maaperän hivenainepitoisuudet myös tukevat kompostin maanparannuskykyä. Vaikka erot hivenainepitoisuuksissa eri lannoitusvaihtoehtojen välillä olivat verrattain pieniä, havaittiin etenkin kaliumin sekä magnesiumin ja natriumin pitoisuuksien nousua maaperässä kompostilannoituksen jälkeen.

Nurmikokeessa edellisvuonna annetun kompostilannoituksen havaittiin tuottavan merkittävästi suurimman sadon vielä lannoitusta seuraavana vuonna. Se oli 20 % korkeampi kuin typpilisätyllä kompostilla lannoitetun ja 25 % korkeampi kuin väkilannoitetun nurmen sato. Typpilisätyllä kompostilla sekä pelkällä kompostilla lannoitetut nurmet olivat myös kasvustoltaan korkeimmat ja omasivat tutkituista nurmista parhaan D-arvon. Maaperässä edellisenä vuonna havaitut kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet pysyivät myös seuraavana vuotena nurmen kasvukaudella korkeammalla tasolla verrattuna lannoittamattomaan ja väkilannoitettuun.

Kokonaisuudessaan nurmen suojaviljana käytettävän ohran sadossa päästiin sekä typpilisätyllä kompostilla että väkilannoiteteella hyvin samanlaisiin tuloksiin. Tämä johtuu lannoitteiden liukoisesta tyypestä, joka on

kasveille käyttökelpoisinta, ja jota molemmissa lannoitteissa oli saman verran. Pelkkä komposti tuotti satoa vähemmän ja oli muissakin havaintoparametreissa hieman heikompi lannoite, koska siitä puuttui lähes kokonaan liukoinen typpi ja myös kokonaistyyppipitoisuus oli alhainen ja C/N -suhde korkea. Pelkällä kompostilla ohran sato sekä havaintosuureet olivat kuitenkin kontrollia (lannoittamaton) paremmat. Tämä johtuu kompostin sisältämistä muista ravinteista sekä sen vaikutusta maaperän ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi maaperän huokoisuuteen, vedenpidättymiskykyyn sekä hajottajamikrobien määrään.

Ohrakoetta seuraavana vuonna tehdyssä nurmikokeessa komposti osoittautui sadon, kasvuston pituuden sekä nurmen D-arvon perusteella parhaaksi lannoitteeksi yhdessä typpilisätyn kompostin kanssa. Näin ollen kompostin lannoitus- ja maanparannusvaikutus kestää myös seuraavaan vuoteen tuottaen paremman sadon kuin lannoittamaton ja väkilannoitettu koeruutu. Väkilannan sisältämä liukoinen typpi on kasveille käyttökelpoista ensimmäisen vuoden aikana jolloin se käytetäänkin tehokkaasti hyväksi, mutta liukoisen typen vaikutus ei riitä tuottamaan hyvää satoa myös seuraavana vuonna. Komposti taas sisältää myös hivenaineita sekä hitaammin vapautuvaa tyyppiä, jotka säilyivät maaperässä ja vapautuivat kasvien käyttöön myös seuraavana vuonna. Komposti sellaisenaan soveltuukin lannoitteen sijasta paremmin maanparannusmateriaaliksi, jollaisena sille on tyyppinimi MMM:n lannoitevalmisteasetuksessa.

6. Lähteet

- Anon. 1995. Biosolids Composting. Water Environment Federation – Preserving & Enhancing the Global Water Environment.
- Anon. 2014. Rehutilukukot, kivennäisaineet. Luke.
https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/rehu_mtt.REHU_MTT_KIVENNAISAINI_PACK.report?p_kieli=1
- Barberis, R. & Nappi, P. 1996: The Science of Composting. –Blackie Academic & Professional. 672 s.
- Benito, M., Masaquer, A., Aoliner, A., Hontoria, C. & Almorox, J. 2009: Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters. –Bioresource Technology: 100, 1, 497-500.
- Bernal, M. P., Paredez, C., Sánchez-Monedero, M. A. & Cegarra, J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. Bioresource Technology 63, 91-99.
- Bridlestone A.J., Gray K.R. & Day C.A. 1987. Composting and straw decomposition. Environmental Biotechnology. C.S. Forster and D.A.J. Wase (Eds.), Ellis Horwood 135-175.
- Desalegn, G., Binner, E. & Lechner, P. 2008: Humification and degradability evaluation during composting of horse manure and biowaste. –Compost Sci.Util.: 16, 2, 90-98.
- Epstein, E. 1997: The Science of Composting. –Technomic Publishing Company.
- Hänninen, K., Harju, K., Paajanen, K., Pietikäinen, S., Lahtinen, P., Jyränkö, P. & Mälkönen, P. 1987: Kompostien humustutkimus I – Kompostointiparametrit. –Joensuun yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan raporttisarja.
- Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A., Venelampi, O. & Vuorinen, A. 2006. Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet. VTT Tiedotteita 2351. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf>

- Kaparaju, P., Rintala, J. & Oikari, A. 2012: Agricultural potential of anaerobically digested industrial orange waste with and without aerobic post-treatment. –Environmental Technology: 1-10.
- Karppinen, T. 2013. Hevoslantakompostin kypsyyden arvioiminen. Jyväskylän yliopisto. Ympäristötieteen kandidaattiseminaari YMPA905 9.12.2013.
- Karppinen, T. 2015. Short-term phytotoxicity assays to evaluate maturity and stability of a horse manure tube compost. Jyväskylän yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Luonnontieteiden kandidaatin tutkielma. (julkaisematon)
- Pesonen I., Virtanen H. & Jansson H. 2008. Hyvinvoiva, turvallinen ja ympäristöystävällinen talli- opas vastuulliseen tallitoimintaan. MTT. Agropolis Oy. Forssa. Saatavissa:
<http://www.hippos.fi/files/1373/talliopas08.pdf>
- Ramirez-Perez, J.C., Strom, P.F. & Krogmann, U. 2007: Horse manure and cranberry fruit composting kinetics and measures of stability. –Compost Sci.Util.: 15, 3, 200-214.
- Scheible, W-R., Gonzáles-Fontes, A, Lauerer, M., Müller-Rober, B., Caboche, M. & Stitta. M. 1997. Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. The Plant Cell, Vol. 9, 783-798, 1997.
- Zubillaga, M.S. & Lavado, R.S. 2006: Phytotoxicity of biosolids compost at different degrees of maturity compared to biosolids and animal manures. –Compost Sci.Util.: 14, 4, 267-270.

Liite 1. Maaperän viljavuusanalyysien tulokset 2013-2014. Näyte ennen ohrakoetta otettiin 13.5.2013 ja seuraavat neljä näytettä kokeen aikana.

Nurmikokeen osalta näytteet otettiin kasvukauden alussa (8.5.2014) sekä niiton jälkeen (25.6.2014).

	Analyysi	Johtoluku	pH	Kalsium	Fosfori	Kalium	Magnesium	Rikki	Kupari	Mangaani	Sinkki	Natrium	Huono
	Yksikkö	10xmS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Huononlainen
13.5.2013	Lähtötilanne	0.8	6.3	1300	21	21	90	7.9	5.7	18	8.69	<20	Välttävä
3.6.2013	Komposti + N	0.6	6.2	1400	21	28	99	4.4	5.2	21	10	<20	Tyydyttävä
	Väkilanta	0.7	6.2	1400	24	23	85	4.8	6.2	23	12.2	<20	Hyvä
	Komposti	0.6	6.3	1500	26	25	87	5.1	5.7	22	12.3	<20	Korkea
	Lannoittamaton	0.7	6.3	1500	22	23	100	4.5	5.9	20	10.2	<20	Korkea
4.7.2013	Komposti + N	1.8	5.7	1500	25	64	99	15.6	5.8	36	11.2	20.2	
	Väkilanta	1.9	6	1600	22	59	95	9.1	6.2	24	12	<20	
	Komposti	1.3	6.2	1500	28	79	89	5	6.1	22	13.3	25.6	
	Lannoittamaton	0.9	6.1	1400	23	32	90	5.9	5.2	21	9.53	<20	
31.7.2013	Komposti + N	0.8	6.2	1500	23	64	96	6.4	5.9	20	11.9	25.9	
	Väkilanta	1.3	6	1500	22	44	86	9.4	6.1	22	12.5	<20	
	Komposti	0.9	6.3	1500	27	65	97	4.1	6.2	20	13	24.9	

	Lannoittamaton	0.6	5.8	1400	25	25	90	4.7	6.1	33	10.5	<20
18.9.2013	Komposti + N	1.2	6.4	1800	24	59	100	7.9	5.5	15	10.3	21.5
	Väkilanta	1.4	6.1	1500	22	61	91	7.5	5.7	18	11.1	<20
	Komposti	1.2	6.3	1400	29	91	98	4.6	6.3	18	11	25.6
	Lannoittamaton	0.7	6.3	1400	22	27	89	4.3	6	16	11.2	<20
8.5.2014	Komposti + N	0.8	6.3	1300	23	75	98	4.6	5.9	26	11.6	21
	Väkilanta	0.7	6.3	1500	23	50	91	5.2	6.4	28	12.7	<20
	Komposti	0.8	6.4	1400	25	90	93	5.6	6.2	26	13.1	<20
	Lannoittamaton	0.6	6.2	1500	22	22	86	4.9	6	26	12.2	<20
25.6.2014	Komposti + N	0.7	6.2	1400	21	66	100	5.6	5.2	20	11	<20
	Väkilanta	0.6	6.2	1500	21	40	91	5.5	5.7	22	11.6	<20
	Komposti	0.7	6.3	1500	23	56	98	3.9	5.1	19	10.6	<20
	Lannoittamaton	0.6	6.2	1400	22	23	91	3.7	5.2	21	9.81	<20