

HEVOSENLANNAN TUUBIKOMPOSTOINTI

Biojäte ja hepolanta -hankkeen selvityksiä 3/4

MTT Sotkamo

Henri Karjalainen

Tiina Karppinen

Elina Virkkunen

Jukka Kempainen

MTT Jokioinen

Elina Tampio

MTT Ruukki

Timo Lötjönen

Kuvat: Henri Karjalainen,

Tiina Karppinen, Mikko Hietaranta

2012-2014

Sisältö

1.	Tiivistelmä	4
2.	Johdanto	5
3.	Tuubikompostoinnin aloittaminen	6
4.	Tuubikompostien rakentaminen	8
5.	Koeasetelma ja toteutus	10
6.	Tuubikompostien lämpötilat	13
6.1	Tuubikompostien lämpötilamittaukset Sotkamon MTT:llä	13
6.2	Majasaaren Tuubikompostien lämpötilat	19
7.	Koneellisen ilmastuksen koejärjestely	20
7.1	Ilmastuslaitteisto	21
7.2	Koneellisen ilmastuksen ilmavirtaukset ja sen aiheuttamat ilmiöt	23
8.	Kompostien ominaisuudet	24
8.1	Kompostimateriaalien ominaisuudet ennen kompostointia	24
8.2	Kompostimateriaalien ominaisuudet vuoden kompostoinnin jälkeen	25
8.3	Kompostimateriaalien ominaisuudet kahden vuoden kompostoinnin jälkeen	27
8.4	Muutokset kompostien ominaisuuksissa vuosina 2012-2014	27
8.5	Kuivikkeen vaikutus kompostin ominaisuuksiin	33
9.	Tuubikompostoinnin kustannukset (Timo Lötjönen)	33
10.	Laskennallinen lannoiteseos hevosenlantakompostista, biokaasulaitoksen mädätteestä ja tuhkasta (Jukka Kemppainen)	36
11.	Johtopäätökset	38
	LAITTEISTOT	40

LÄHTEET 41

LIITE 1 Tuhka-analyysi

LIITE 2 Lannan tuubituksen konekustannukset

1. Tiivistelmä

Tutkimuksessa pakattiin koneellisesti tuubeihin erilaisia kuivikelantoja. Kokeilussa oli hevosenlantaa kuivitetuna puupohjaisella kuivikkeella ja olkipelletti- ja turvekuivikkeella sekä hevosen purulannan ja kanalannan seos, hevosen purulannan ja naudan kuivikelannan seos. Yhteen kompostiin lisättiin stabiloitumaan biojätteen biokaasutuksesta saatua käsittelyjäännöstä. Itse kompostien rakentaminen oli nopeaa ja sujuvaa. Työssä käytettiin kahta traktoria, joista toisessa oli etukuormain ja toinen käytti tuubituskonetta. Kompostit tehtiin pellolle, johon ne myös levitettiin kokeen lopuksi.

Rakennusvaiheessa tuubien keskelle syötettiin kaksi salaojaputkea ilman pääsyä helpottamaan. Komposteja ilmastettiin koneellisesti, ja niiden pintaan tehtiin viiltoja. Kompostit eivät ehkä kuitenkaan saaneet tarpeeksi happea, eikä koneellinen ilmastus juuri vaikuttanut kompostoitumiseen. Lisäksi se oli työlästä. Pellon pinta vietti hieman tuubien pituussuunnassa, ja salaojaputkien päistä valui vaahtoa ja nestettä.

Tuubien kompostoitumista seurattiin kahden vuoden ajan. Niiden lämpötiloja seurattiin kesäkausina. Lämpötilat eivät nousseet kovin korkealle, sillä hevosenlanta oli jo alkanut kompostoitua lantalassa. Ainoastaan tuoreesta hevosenlannasta rakennetun kompostituubin lämpötila nousi 55 asteeseen. Hiili/typpi-suhde laski nopeimmin olkipelletti-turve-kuivitetussa hevosenlantakompostissa. Kahden vuoden jälkeen suhde oli laskenut muissakin tuubeissa alle 20:n. Liukoinen typpi väheni, kuten on odotettavissakin. Kompostimassojen tilavuuspainot pienenevät, ja kahden vuoden kompostoinnin jälkeen ne olivat tuubista riippuen 422 g/l – 519 g/l. Puupohjaisella kuivikkeella kuivitetusta hevosenlantakompostista tehtyjen kypsyys- ja stabiilisuusmittausten perusteella kompostointi oli edennyt hyvin. Tällä kompostilla lannoitettiin peltokoetta, ja sen todettiin toimivan hyvin lannoitteena. Kompostin, biojätteestä biokaasutetun jäännöksen ja tuhkan seokselle laskettiin lannoitusosuus ohran ja nurmen viljelyyn. Tuubituksen kustannukset arvioitiin kolmella erilaisella vaihtoehdolla. Kustannuksiin vaikuttaa eniten lannan kuljetus tuubituspaikalle.

Tuubitusta kokeiltiin myös eloperäisillä jätemateriaaleilla, mutta kompostoitumista seurattiin vain vajaat kolme kuukautta. Tuubitus onnistui näilläkin massoilla hyvin. Lämpötila jätetuubeissa nousi korkeammalle kuin lantamassoissa.

2. Johdanto

Hevosenlanta 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.

Lanta alkaa kompostoitua jo lantalassa. Se voidaan sen jälkeen kompostoida patterissa pellolla. Muita vaihtoehtoja kompostointiin ovat rumpukompostori tai lannan pakkaaminen muovituubiin.

Tuubikompostointi on uudehko kompostointimenetelmä, jossa lantaa pakataan pitkään aumamuovi-putkeen erityisellä traktoriin kytkettävällä pakkausvaunulla. Massa pienenee noin kolmanneksen ja muuttuu hygieeniseksi, tasalaatuiseksi sekä hajuttomaksi. Ravinnehävikit jäävät aiemman tiedon perusteella tässä kompostointimenetelmässä pieniksi. Tuubikompostoinnissa ei tarvita eristettyä pohjaa tai valuma-allasta, vaan tasainen alusta riittää. Tuubikompostointi sopii viljelijälle tai koneurakoijalle, joka on valmis investoimaan pakkausvaunuun ja jolla on lannalle levityskohde (Holmen 2010)

Kompostoituminen voidaan jakaa mesofiiliseen, termofiiliseen ja stabiloitumisen vaiheeseen. Mesofiilisessä vaiheessa lämpötila ei vielä kohoaa. Kompostoituminen sitoo happea, helposti hajoavat orgaaniset aineet hajoavat ja pH nousee. Termofiilisessä vaiheessa lämpötila nousee nopeasti, proteiinit hajoavat, pH nousee ja hiilidioksidia ja ammoniakkia vapautuu. Sitten lämpötila laskee, kuituaineet hajoavat ja alkaa kompostin stabiloituminen ja jälkikypsyminen. Stabiili komposti on hajonnut niin pitkälle, että sen hiilidioksidin tuotto ja hapenkulutus ovat vähentyneet huomattavasti (Itävaara ym. 2006)

Kypsä komposti on hyvälaatuista ja käyttökelpoista. Sen sisältämä orgaaninen aines on hajonnut riittävän pitkälle, se ei estä kasvien kasvua eikä haise. Kypsytyden määrittäminen on kuitenkin monimutkaista, sillä monet seikat yhdessä vaikuttavat kompostin laatuun. Kompostointiprosessin välituotteet (esim. haihtuvat rasvahapot) kertovat kompostin kypsytyden puutteista ja voivat aiheuttaa kasvitoksisuutta. Kypsä komposti on stabiili eli sen mikrobiologinen aktiivisuus on pysyvästi laskenut alhaiselle tasolle. (Epstein 1997)

Tutkimuksessa tavoitteena oli eri tavoin kuivitetun hevosenlannan kompostointi muovituubeissa. Vertailun vuoksi kompostoituihin myös lantaseoksia. Tutkimuksessa haluttiin myös tehdä tunnetuksi tuubikompostointimenetelmää ja kokeilla sen toimivuutta. Kompostointi tehtiin MTT Sotkamossa.

3. Tuubikompostoinnin aloittaminen

Tuubikompostien rakentaminen aloitettiin 21.5.2012, eli samana päivänä kun kaikista kompostoitavista jakeista otettiin ensimmäiset näytteet. Ensimmäisenä päivänä täytettiin vain ensimmäinen tuubikomposti, joka sisälsi kananlantaa ja hevosen purulantaa suhteessa 1:2. Toinen ja kolmas tuubi täytettiin seuraavana päivänä 22.5. Tuubin 2 materiaalina oli olkipelletti- ja turvekuivitettu hevosenlanta ja tuubin 3 naudanolannan sekä hevosen purulannan seos. Koska tuubikompostin kompostipussit loppuivat kesken, jouduttiin neljännen tuubin täyttämistä siirtämään aina maanantaihin 28.5. asti. Lantakasat peitettiin muovikalvolla sateiden varalta keskiviikkona 23.5. Viides tuubi päästiin rakentamaan vasta 11.–12.6.2012, sillä tuubiin syötettävää reaktorimädätettä (kuva 2) ei ollut saatavilla aiemmin. Vaikka kompostoitavien jakeiden (kuva 1) ominaisuudet olivatkin hyvin erilaiset (kosteus, huokoisuus, kuitumaisuus), se ei hankaloittanut merkittävästi tuubikompostoiden rakentamista käytetyllä laitteistolla.



1. HEVOSEN PURULANTA



2. OLKIPELLETTI/TURVE HEVOSENLANTA



3. KANANLANTA



4. NAUDANLANTA

Kuva 1. Tuubikomposteihin syötetyt materiaalit



Ongelmia poistoruuvien kanssa



Reaktorimädätteen poistaminen alaventtiilistä



Kuvassa näkyvä traktorin kauha sisälsi n. 180l mädätettä



Näytteenotto reaktorimädätteestä



Tuubin täyttö siten, että mädäte ja hevosen lanta sekoittuivat - täysi kauhallinen hevosen lantaa 90l:aa mädätettä kohti



Palkeenkielet (5cm x 5cm) metrin välein - leikattu 19.6.2012

Kuva 2. Reaktorimädätteen jälkistabiloiminen kompostituubiin nro 5 ja tuubeihin leikatut palkeenkielet

4. Tuubikompostien rakentaminen

Tuubikompostien rakentaminen (kuva 3) aloitettiin vetämällä kompostipussin suusta kaksi salaojaputkea esille noin metrin verran ja pussin suu suljettiin vahvalla nylon-narulla. Kun pussin pää oli tiivis, voitiin aloittaa kompostoitavan materiaalin lisääminen koneeseen, jolloin kone alkoi täyttää tätä 20m mittaista tuubia. Pussin täytetty alkupää taipui sidotun solmun päälle muodostaen tiiviin päädyn, mutta jättäen salaojaputket avoimeksi ilmakiertoa varten. Tämän jälkeen tuubin täyttämistä jatkettiin halutuilla materiaaleilla. Tuubikompostit suljettiin leikkaamalla pussi irti koneesta ja kippaamalla muovipäädyn päälle multamaata siten, että tuubin loppupäästä tuli tiivis ja salaojaputkien päät jäivät avoimiksi ilmakiertoa varten.



1. Koneen sijoittaminen oikeille urille (pussi puuttuu)



2. Salaojaputket ja pussin sulkeminen narulla



3. Pussin alkupää taivuu sidotun solmun päälle, salaojaputkien päät jää esille



4. Tuubikompostin täyttäminen



5. Pussin katkaiseminen



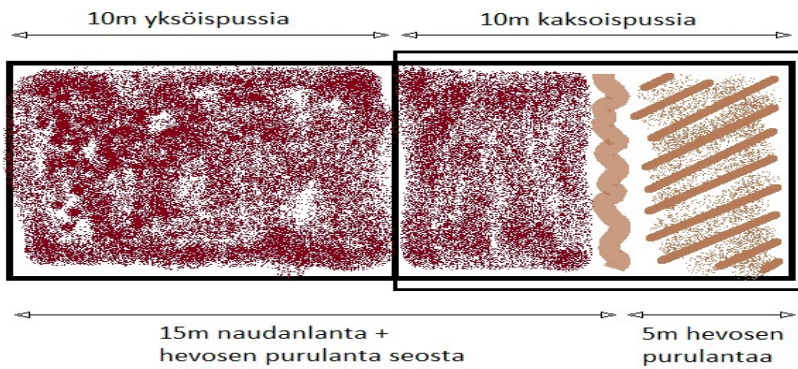
6. Päädyn peittäminen maa-aineksella, salaojaputket jää esille - valmis tuubikomposti

Kuva 3. Tuubikompostin rakentaminen

5. Koeasetelma ja toteutus

Tässä kokeessa kahta tuubia (tuubit 1 ja 3) täytettiin kahden materiaalin seoksilla. Kyseiset materiaalit saatiin sekoitettua keskenään kaatamalla traktorikauhallsittain vuorotellen tai sekoitussuhteen mukaisesti kahta eri materiaalia tuubikoneeseen. Koska tutkimuskäyttöön tarvittavia kompostijakeita oli rajallinen määrä, lisättiin tuubien pätyihin 5 m kaistaleet hevosen purulantaa, jolloin tuubin keskelle jäi 10 m kaistale tutkittavaa näytettä. Hevosen purulannasta tehdyillä päätykaistaleilla haluttiin myös estää tutkittavan kompostimateriaalin mahdollinen päädyistä tapahtuva ylimääräinen ilmastus. Poikkeuksena tästä oli tuubi 4, joka täytettiin kokonaan hevosen purulannalla sekä tuubi 3 jonka yhteydessä jouduttiin tekemään pieniä poikkeuksia.

Täytettäessä tuubia numero 3 tapahtui odottamaton vahinko. Kun tuubia oli ennätetty täyttää noin 10 m alusta asti naudanolanta-hevosen purulanta seoksella, muovipussin alin laskos oli ilmeisesti huomaamatta tarttunut kiinni johonkin ja alkoi purkautua päällimmäisen laskoksen kanssa yhtä aikaa, jolloin tuubin viimeiset 10 m vuorautuivat kaksinkertaiseen muovikalvoon: kaksoispussiin (kuvat 4 ja 5). Tuubia numero kolme ei hylätä eikä täytetä uudestaan, vaan huomioimme kaksoispussin kokeessa siten, että voimme ottaa yksöispussin ja kaksoispussin kohdalta omat näytteet ja tarkastella, onko tuplavuorauksella vaikutusta materiaalin kompostoitumiseen. Tuubin kylkeen merkittiin valkoisella teipillä kohta mistä kaksoispussi alkoi (kuva 4).

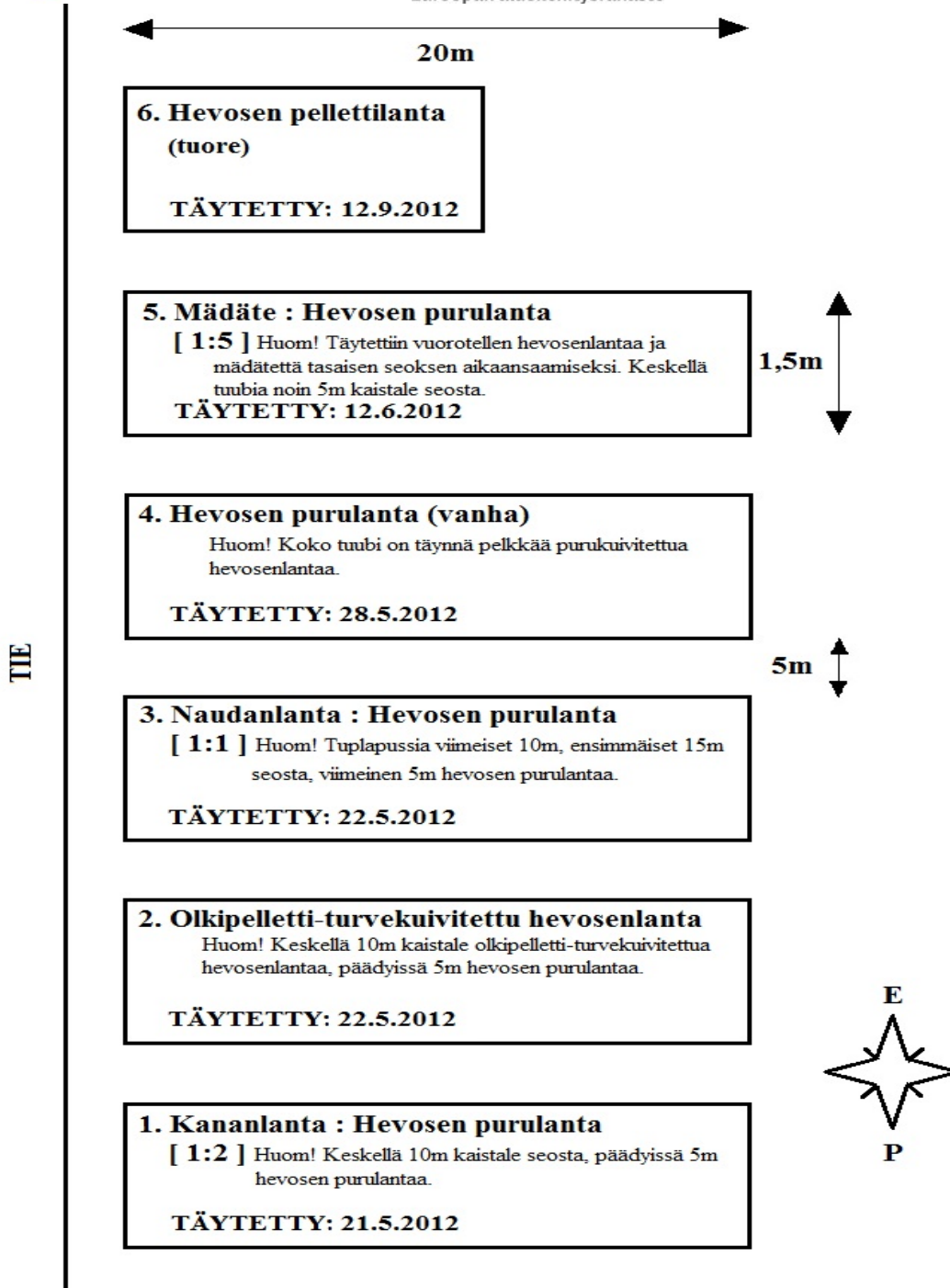


Kuva 4. Kompostituubi 3 päältä katsottuna sekä tuubiin merkitty kaksoispussin raja

Tuubin 4 sisältö oli pelkästään hevosen purulantaa ja se saatiin täytettyä vasta maanantaina 28.5. johtuen pakkauspussin loppumisesta.

Tuubiin 5 sijoitettiin biokaasutetun biojätteen reaktorimädätettä jälkistabiloitumaan hevosenlannan kanssa siten, että jakeet saatiin sekoittumaan keskenään syöttövaiheessa. Yhtä täyttä kauhallista (400-500 l) hevosenlantaa kohti lisättiin puoli kauhallista (n. 90 l) reaktorimädätettä, jolloin todellinen sekoitussuhde jää 1/4 ja 1/5 välille.

Kuudes tuubikomposti perustettiin huomattavasti muita tuubeja myöhemmin, vasta syyskuun 2012 puolivälissä. Muissa tuubikomposteissa kompostoitu purukuivitettu hevosenlanta oli luultavasti jo osittain välivarastossa kompostoitunutta sen saapuessa tutkimusasemalle. Tämän vuoksi koettiin tarpeelliseksi perustaa vielä yksi tuubikomposti, johon hankittiin tuoretta puupellettikuivitettua hevosenlantaa.



Kuva 5. Tuubikompostien täyttöpäivämäärä, sijainti, täytemateriaali ja huomautukset

6. Tuubikompostien lämpötilat

6.1 Tuubikompostien lämpötilamittaukset Sotkamon MTT:llä

Tuubikompostien lämpötiloja seurattiin säännöllisesti perjantaista 25.5.2012 eteenpäin joka tiistai ja perjantai. Tuubeista mitattiin lämpötilat kolmesta eri mittauspisteestä (pohjois- ja eteläpuolelta sekä tuubin päältä) tuubin keskelle merkatus 10 m kaistaleen sisäpuolelta kokeen alkuvaiheessa aina iltapäivällä noin kello 12–14 tuubille epätasaisesti saapuvan auringon lämpösäteilyn vaihtelun minimoimiseksi (kuva 6). Pinta- ja syvälämpötilojen erot huomioitiin mittaamalla lämpötilat sekä 20 cm että 100 cm syvyydeltä (kuva 7) jokaisesta kolmesta mittauspisteestä. Lämpötilan mittauksissa käytettiin J. Huttusen valmistamaa aumalämpötilamittaria Temppi-150 (kuva 9). Tulokset kirjattiin taulukkoon ja siirrettiin sähköiseen muotoon viikottain. Mitatuista lämpötiloista piirrettiin lämpötilakäyrät (kuva 8).



Kuva 6. Lämpötilamittausten kolme eri mittauspistettä



1. Pintalämpötilan mittaaminen 20cm syvyydeltä

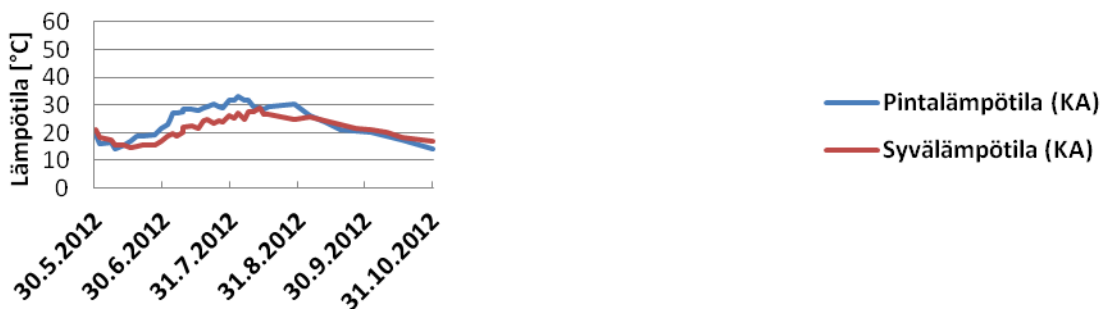


2. Sisälämpötilan mittaaminen 100cm syvyydeltä ja tulosten kirjaaminen taulukkoon

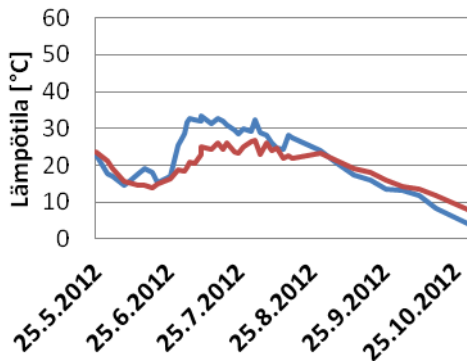
Kuva 7. Lämpötilan mittaaminen eri syvyyksiltä

Tuubikompostien lämpötilat eivät lähteneet ensimmäisen kahden viikon aikana nousemaan odotetulle termofiiliselle tasolle (50-70°C) vaan jäivät reilusti mesofiiliselle tasolle (20-30°C). Syyksi arveltiin hapen puutetta kompostimateriaalissa. Kokeen aikana lämpötilamittauksia tehostettiin leikkaamalla tuubeihin palkeenkielet (19.6.2012) ja ilmastamalla tuubeja koneellisesti (2.7.2012). Palkeenkielien leikkaamisella havaittiin olevan positiivinen vaikutus tuubien lämpötilan nousuun, mutta koneellisella ilmastuksella ei tuntunut olevan kovin suurta merkitystä. Tämä viittaisi siihen, että tuubeihin syötetty hevosenlanta oli jo valmiiksi liian palanutta tai tuubeissa ei ollut riittävästi tukimateriaalia, jotta koneellisesti syötetty ilma olisi jakautunut tasaisesti kompostimateriaalin sisälle.

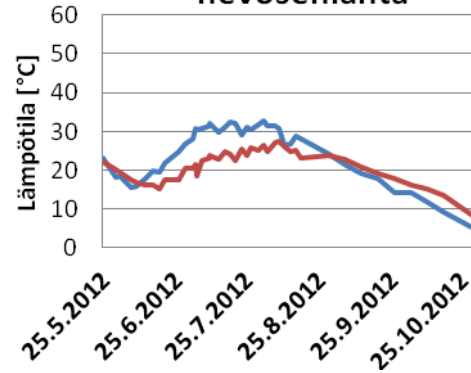
Tuubi 1 - Kanan- ja hevosenlanta



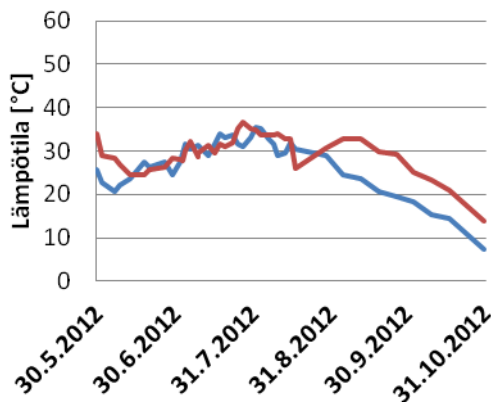
Tuubi 2 - Hevosen olkipelletti + turvelanta



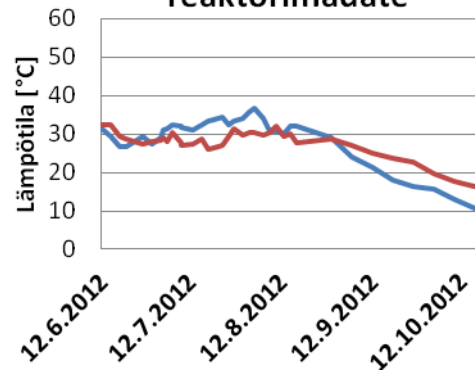
Tuubi 3 - Naudan- ja hevosenlanta



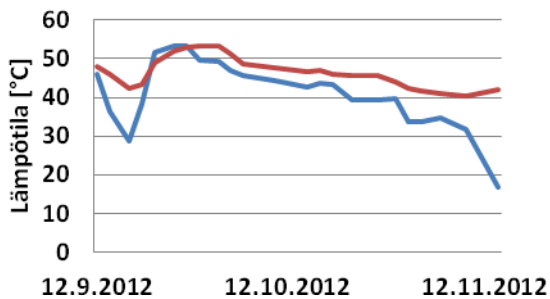
Tuubi 4 - Hevosen purulanta



Tuubi 5 - Hevosen purulanta + reaktorimädäte



Tuubi 6 - Hevosen pellettilanta, tuore



— Pintalämpötila (KA)
 — Syvälämpötila (KA)

Kuva 8. Tuubikompostien lämpötilat ajalta 25.5.-12.11.2012 Sotkamon MTT:llä. Huomioi, että kuudennen tuubikompostin lämpötilatiedot ovat muista poikkeavalta ajanjaksolta.

Lämpötilat eivät kehittyneet täysin kompostointiprosessille tyypillisesti kompostoinnin edetessä.

Kompostoinnin alkaessa prosessi on lag-vaiheessa, jolloin lämpötila ei vielä juurikaan nouse. Kaikissa kompostituubeissa on ilmennyt lämpötilan notkahdus kompostoinnin ensimmäisen kuukauden aikana. Yleensä kompostien lämpötila nousee voimakkaasti suhteellisen pian kompostoinnin aloittamisen jälkeen. Mikro-organismit kasvavat ja lisääntyvät voimakkaasti, kun tarjolla on runsaasti helposti hyödynnettävissä olevaa ravintoa. Näin ollen myös kompostoituminen on kiivasta ja vapautuu runsaasti lämpöä.

Kokeen tuubikomposteissa lämpötilojen nousu oli varsin maltillista. Voimakkain lämpötilojen nousu ja korkeimmat lämpötilat saavutettiin kuudennessa tuubissa, jossa kompostoitiin pelletti kuivittettua hevoselantaa. Lanta oli selvästi tuoreempaa kuin muissa tuubikomposteissa käytetty hevoselanta. Vanhempi purukuivittettu lanta oli luultavasti jo osittain kompostoitunut, eikä lämpötila noussut muissa tuubikomposteissa.

Kaikissa lämpötilakäyrissä ilmenee hidas lämpötilojen lasku. Samanlainen lämpötilojen kehitys on tyypillistä kompostin loppukypsytysvaiheelle, mutta lämpötilojen lasku voi selittyä yhtä lailla syksyä kohti viilenevillä säillä. Kompostoitavan aineen koostumuksella on kuitenkin suuri vaikutus kompostoinnin onnistumiseen, sillä vasta syyskuussa perustettu kuudes kompostituubi kohosi kaikista korkeimpiin lämpötiloihin viilenevistä säistä huolimatta.

Kompostilämpötiloja seurattiin tuubikompostien perustamisesta aina lokakuun 2012 loppupuolelle saakka. Kuudennen eli uusimman kompostituubin lämpötiloja seurattiin marraskuulle saakka. Tällöin erityisesti pintalämpötilat alkoivat laskea voimakkaasti. Kokonaisuudessaan tuubikompostien lämpötilat jäivät varsin alhaisiksi.

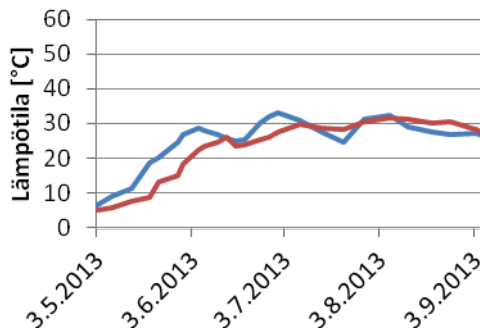


Kuva 9. Tuubikompostien lämpötilat mitattiin aumalämpötilamittari Temppi-150:llä 20 ja 100 senttimetrin syvyydestä.

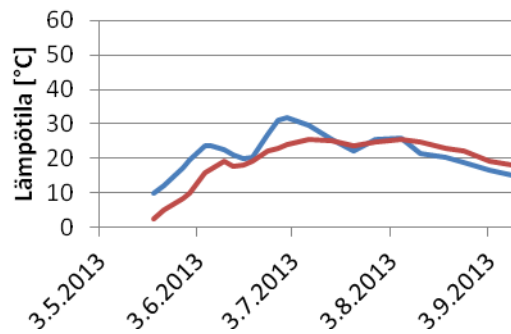
Kompostilämpötiloja seurattiin jälleen seuraavana kesänä toukokuun 2013 alusta alkaen.

Lämpötilamittausten alussa kompostien lämpötilat seurasivat ulkoilman lämpötilaa nousten keskikesällä lähelle 30 astetta. Yli 30 asteen lämpötila kompostin sisäosissa saavutettiin ainoastaan hevosenlantakomposteilla, ja kuten kesällä 2012, myös kesällä 2013 voimakkain lämpötilojen nousu ja korkeimmat lämpötilat saavutettiin kuudennessa tuubissa, jossa kompostoitii pellettikuivittua hevosenlantaa. Tuloksista voidaankin todeta, että hevosenlantakomposti tuubissa 6 oli vielä kesällä 2013 mikrobitoiminnaltaan aktiivista, eikä komposti ollut vielä kypsää. Loppukesää kohden kompostien lämpötilat laskivat kaikissa komposteissa todennäköisesti sääolojen ja ilman viilentymisen vaikutuksesta. Pelkän lämpötilan avulla kompostin kypsytyden arvioiminen oli kuitenkin vaikeaa, koska missään kompostissa lämpötila ei noussut vuosina 2012-2013 kovinkaan korkealle. Kahden kesän aikana mitatuista kompostin lämpötiloista voidaan kuitenkin todeta, että kompostoituminen etenee kesän lämpimänä aikana hyvin, mutta talveksi kompostien lämpötila laskee, eikä eristämättömissä tuubikomposteissa todennäköisesti tapahdu kompostoitumista talven aikana.

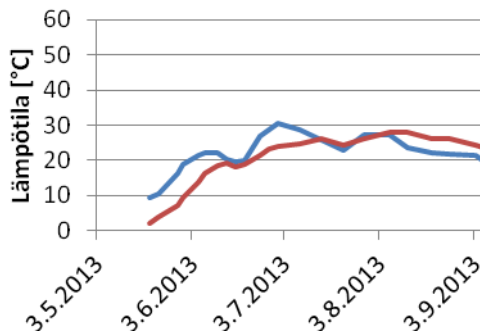
Tuubi 1 - Kanan- ja hevoselanta



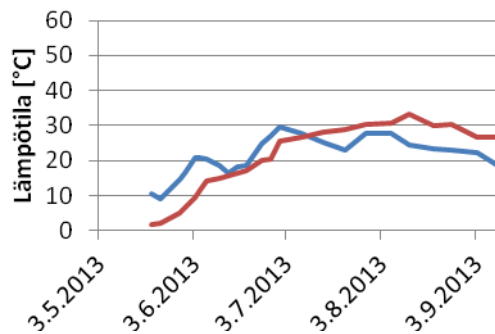
Tuubi 2 - Hevosen olkipelletti-turvelanta



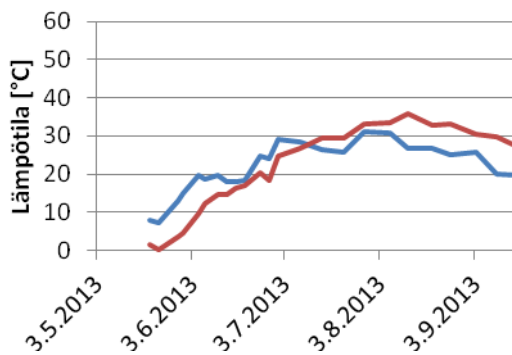
Tuubi 3 - Naudan- ja hevoselanta



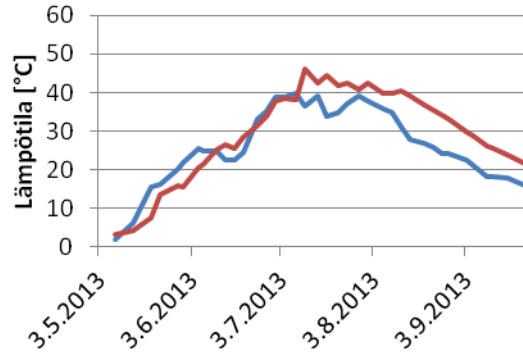
Tuubi 4 - Hevosen purulanta



Tuubi 5 - Hevosen purulanta + reaktorimädäte



Tuubi 6 - Hevosen pellettilanta, tuore

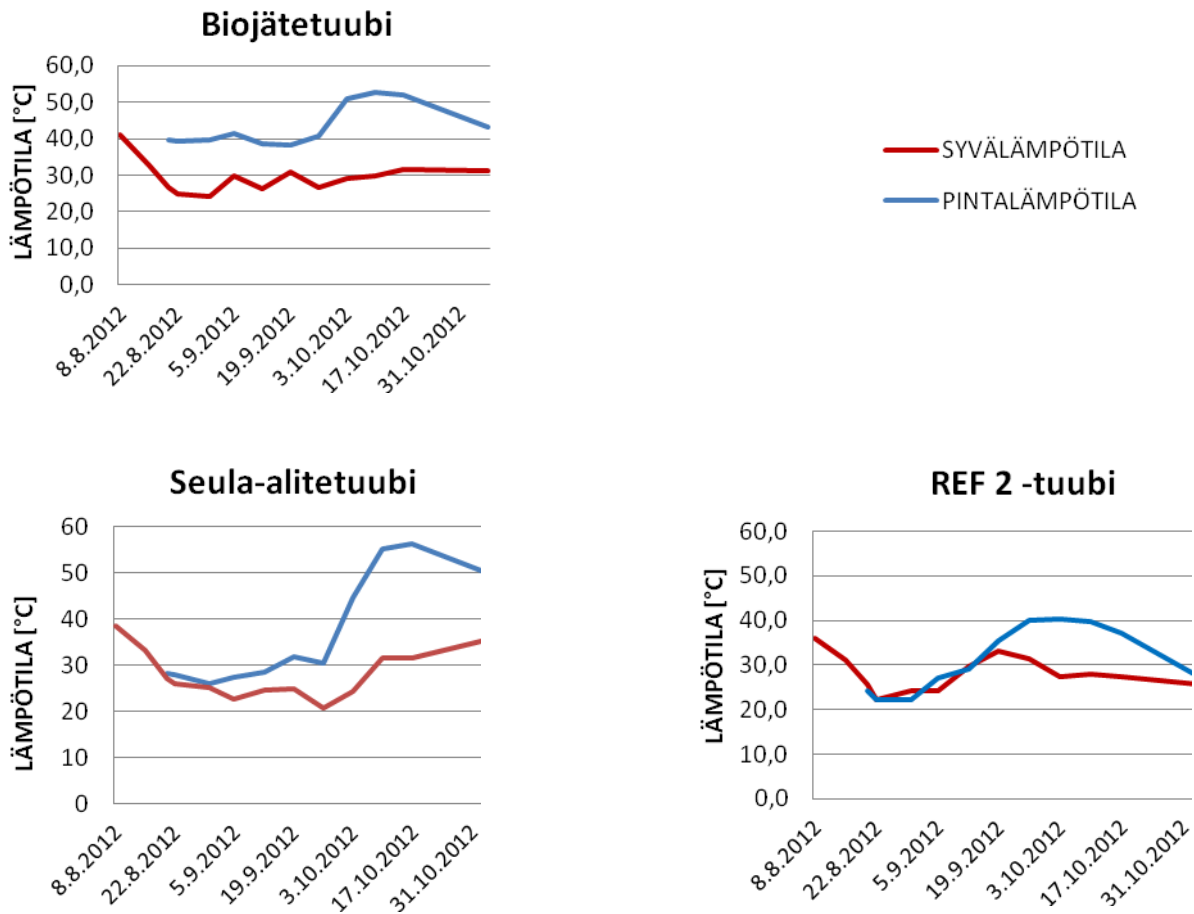


— Pintalämpötila (KA) — Syvälämpötila (KA)

Kuva 10. Tuubikompostien lämpötilat ajalta 3.5.-3.9.2013 Sotkamon MTT:llä.

6.2 Majasaaren Tuubikompostien lämpötilat

Kainuun jätehuollon kuntayhtymän Majasaaren jätekeskuksessa Kajaanissa kokeiltiin tuubikompostointi samanaikaisesti Sotkamon MTT:n kokeen kanssa. Kolme tuubikompostia rakennettiin Majasaaren 1.8.2012. Jokainen tuubi täytettiin eri jättejakeella: yksi biojätteellä, toinen sekajätteestä seulotulla seulaalitteella ja kolmas kierrätyspolttoaineella (REF) eli jätteestä jalostetulla polttoon soveltuvalla aineksella.



Kuva 11. Majasaaren tuubikompostien lämpötilat vuodelta 2012.

Majasaaren kompostituubien lämpötilat nousivat keskimäärin korkeammalle kuin Sotkamon kompostien lämpötilat. Sotkamon tuubikompostien syötteenä käytetty hevosenlanta oli jo osittain hajonnutta tuubikompostoinnin alkaessa. Kierrätyspolttoaineella täytetyn tuubikompostin lämpötilat jäivät Majasaarissa alhaisimmiksi.

Kierrätyspolttoainekompostin lämpötilat olivat samaa luokkaa Sotkamon tuubikompostien lämpötilojen kanssa. Sotkamossa tuoreen, pellettikuivitetun hevosenlantakompostin lämpötilat nousivat kuitenkin selvästi kierrätyspolttoainekompostia korkeampiin lukemiin.

7. Koneellisen ilmastuksen koejärjestely

Tuubikompostien ilmastus suoritettiin alkuvaiheessa joka maanantai, tiistai ja keskiviikko kahdessa 30 min vaiheessa/tuubi siten, että aamupäivän ilmastus tapahtuisi välillä 08:30–10:30 ja iltapäivän ilmastus 13:00–16:00. Puhallin peitettiin aamupäivän ilmastuksen jälkeen pressulla sateiden varalle ja otettiin käyttöön jälleen illalla. Ennen koneellisen ilmanvaihdon aloitusta lämpötiloja seurattiin jatkuvasti tiistaisin ja perjantaisin. Koneellisen ilmanvaihdon alettua lämpötilat tarkastettiin aluksi maanantaisin, tiistaisin, keskiviikkoisin ja perjantaisin. Uuden puhaltimen (Ventur GMT) saavuttua 16.7.2012 lämpötilojen mittaamista jatkettiin maanantaisin, keskiviikkoisin ja perjantaisin. Mukana on muutamia lämpötilamittauksia ennen aamuilmastusta, joilla pyrittiin selvittämään olisiko koneellisella ilmastoinnilla tuubeja viilentävä vaikutus. Eero Piiraisen mukaan (Ekokymppi) kompostimateriaalin koneellinen ilmastus ei viilennä ratkaisevasti kompostimateriaalia. Lausunnon seurauksena tuubikompostien lämpötilat mitattiin aina ennen aamuilmastusta työn joustavuuden vuoksi.

Ilmastusvuorot MA, TI, KE 2.7. – 10.7.2012

Tuubi 1: 08:30 ja 13:30
Tuubi 2: 09:00 ja 14:00
Tuubi 3: 09:30 ja 14:30
Tuubi 4: 10:00 ja 15:00
Tuubi 5: 10:30 ja 15:30

Ilmastusvuorot MA, KE, PE 16.7. – 15.8.2012

Tuubi 1: 08:30 ja 13:30
Tuubi 2: 09:00 ja 14:00
Tuubi 3: 09:30 ja 14:30
Tuubi 4: 10:00 ja 15:00
Tuubi 5: 10:30 ja 15:30

Ennen koneellista ilmastusta tuubikompostien salaojaputkien päitä lyhennettiin ja vuorattiin ilmastointiteipillä, jotta mahdollisimman vähän ilmaa karkaisi tuubikompostin ulkopuolelle. Poikkeuksellisesti maanantaina 2.7.2012 ja tiistaina 10.7.2012 ilmastettiin vain kerran kello 12-17 välisenä aikana johtuen tavaroiden hankinnoista ja ilmastuslaitteistojen rakentamisesta. Tuubien ilmastuksessa huomattiin heti ensimmäisellä (2.7.2012) kerralla, että salaojaputken toisesta päästä ei ilma virrannut ollenkaan. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että alipaineistajan (Pullman Ermator A600) kyky paineistaa ilmaa (Δp_{\max} [Pa]) ei riittänyt työntämään ilmaa kompostimassan läpi tai mahdollisesti tukkeutuneiden salaojaputkien läpi (kuva 12). Osa ilmasta kulkeutui ilmastuksen yhteydessä suoraan ulos palkeenkielien kautta ja salaojaputkien tyivistä, jotka oli mahdotonta saada teipattua umpeen.



Kuva 12. Tuubikompostien koneellinen ilmastus Pullman Ermator A600 puhaltimella

7.1 Ilmastuslaitteisto

Kokeessa käytettiin lukuisia ilmastuslaitteita (taulukot 1 ja 2). Koneellisen ilmastuksen ensimmäisen viikon ajan käytettiin alipaineistajaa Pullman Ermator A600, joka todettiin tehottomaksi tähän käyttötarkoitukseen. Kyseinen alipaineistaja oli vuokralla paikallisesta rautakaupasta (KRP Hallimyymä Oy) ja sitä käytettiin maanantaista keskiviikkoon koska laitteen vuokraus tuli näin halvimmaksi. Laitte palautettiin torstaina 5.7.2012 takaisin KRP:lle ja tilalle tilattiin Master BL 6800 puhallin.

Taulukko 1. Puhaltimien tekniset parametrit

Puhallin	Teho [W]	Ilmamäärä [m ³ /h]	Maksimi paineentuotto [Pa]
Pullman Ermator A600	270	550	< 500
Master BL 6800	720	2200	500
Ventur GMT-130E	750	1500	2100
Ventur ZWP 1600T	750	1600	2000

Taulukko 2. Tuubikompostien koneellinen ilmastus 2.7. – 15.8.2012

Päivämäärä	Viikonpäivä	Aamuilmastus 8-12	Iltailmastus 13-17	Ilmastuslaite
2.7.2012	Ma	-	x	Pullman Ermator A600
3.7.2012	Ti	x	x	Pullman Ermator A600
4.7.2012	Ke	x	x	Pullman Ermator A600
9.7.2012	Ma	x	x	Pullman Ermator A600
10.7.2012	Ti	-	x	Master BL 6800
16.7.2012	Ma	x	x	Ventur GMT
18.7.2012	Ke	x	x	Ventur GMT
20.7.2012	Pe	x	x	Ventur GMT
23.7.2012	Ma	x	x	Ventur GMT
25.7.2012	Ke	x	x	Ventur GMT
27.7.2012	Pe	x	x	Ventur GMT
30.7.2012	Ma	x	x	Ventur GMT
1.8.2012	Ke	x	x	Ventur GMT
3.8.2012	Pe	x	x	Ventur GMT
6.8.2012	Ma	x	x	Ventur GMT
8.8.2012	Ke	x	x	GMT
10.8.2012	Pe	x	x	Ventur GMT
13.8.2012	Ma	x	x	Ventur GMT
15.8.2012	Ke	x	x	Ventur GMT

Uuden Master BL 6800 oli tarkoitus saapua KRP:lle maanantaina 9.7.2012, mutta kuljetusongelmien vuoksi laite saapui vasta maanantai-iltana KRP:lle. KRP antoi Pullman Ermator A600 ilmastuslaitteen veloituksetta käyttöön maanantain 9.7.2012 ilmastuksia varten. Tiistaina noudettu Master BL 6800 oli toki tehokas, mutta Ville Tomperin (Ventur Finland AB) ja Markus Eerolan yhteinen näkemys kompostimateriaalin ilmastukseen tarvittavasta alipainepumpusta johti Master BL 6800 palauttamiseen takaisin KRP:lle ensimmäisen Ventur käyttökerran jälkeen. Pääsyyinä vaihtamiseen oli Masterin puhaltimen heikko kyky paineistaa ja puskea ilmaa kompostimateriaalin läpi, mikä johtui puhaltimen vääränmallisesta propellista. Laitteen palauttamisen takia keskiviikkona 11.7.2012 tuubikomposteja ei ilmastettu laisinkaan.

Markus Eerolalta lainaan saatu (13.7.2012) Venturin GMT-mallin siirrettävä poistopuhallin oli toiminut Markuksen tuubikompostien ilmastuksessa erittäin hyvin ja tuubikompostien lämpötilat olivat lähteneet nousemaan aina termofiiliselle tasolle (50-70°C) jo muutamien ilmastusten jälkeen. Paineentuottokyvyn ero Masterin ja Venturin GMT-mallin välillä on noin 4-kertainen (taulukko 1). Linaan saatua GMT-mallin puhallinta päästiin testaamaan viikon 29 maanantaista lähtien. Uuden puhaltimen mahdollista ostoa varten tiedusteltiin myös GMT-mallin vastaavaa puhallinta Ventur Oy:ltä. Ville Tomperi teki tarjouksen Venturin

ZWP 1600T-mallin puhaltimesta 11.7.2012, joka olisi tehoiltaan hyvin samankaltainen kuin GMT-130E ja maksaisi 550€ + ALV = 675,5€. Uutta laitetta ei hankkeessa tarvinnut ostaa, sillä Markus Eerola lainasi Ventur GMT-puhaltimen kokeen ajaksi tutkimuskäyttöön.

7.2 Koneellisen ilmastuksen ilmavirtaukset ja sen aiheuttamat ilmiöt

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 pumpaamalla ilmaa kompostiin. Epsteinin (1997) mukaan kompostimateriaalista riippuen optimaalinen kosteuspitoisuus on noin 53-65 prosenttia.

Tässä tutkimuksessa Venturin GMT-mallin puhallinta käytettiin ensimmäisen kerran 16.7.2012 ja ilmastuksen aikana salaojaputkien toisesta päästä huomattiin kevyt ilmavirta. Havainnosta voitiin päätellä, että puhallin jakoi puskea ilmaa tuubikompostin koko pituudelle. Salaojaputkien toisetkin päät vuorattiin ilmastointiteipillä ja ilmastuksen 20.7.2012 yhteydessä testattiin Anemometer-mittarilla (PROVA AVM-07), kuinka paljon ilmaa putkien päistä ja palkeenkielistä tuli ulos. Virtausnopeudet putken päistä kirjattiin ylös 10 min välein puhalluksen alusta lähtien. Virtausnopeudet kirjattiin ylös myös tuubin 3 palkeenkielistä. Tuubista poistuva ilmamäärä laskettiin salaojaputken päistä ja palkeenkielistä tulevan ilmamäärän sekä salaojaputkien tyvestä vapautuvan ilmamäärän summana. Ilmanvirtauksen tulokset kullekin tuubille ovat taulukossa 3.

Tuubin 1 päätypuolen vasemmanpuolisen salaojaputken suulle ja putken sisäpinnoille kertyi runsaasti valkoista vaahtoa 18.7.2012 tehdyn ilmastuksen yhteydessä. Jatkossa myös muiden tuubien, paitsi 4 tuubin, salaojaputken päistä tuli runsaasti tummanruskeaa ja vaahtoavaa nestettä. Tämä viittaisi siihen, että tuubien sisällä ei ollut tarpeeksi hapeta ylläpitämään kompostiprosessia, sillä vaahtoaminen on yleistä anaerobisessa prosessissa (Virta A. 2011). Koska orgaanisen aineksen hajoaminen anaerobisessa prosessissa on endoterminen prosessi (ei tuota lämpöä), tukevat tuubikompostista mitatut matalat lämpötilat (kuva 8) hypoteesia siitä, että kompostoitumisen sijasta tuubeissa oli käynnissä mätänemisprosessi.

Taulukko 3. Tuubikompostien ilmavirtaukset koneellisen ilmastuksen aikana 20.7.2012

Tulokset	Ilmamäärä sisään [m ³ /h]	Ilmamäärä ulos [m ³ /h]	Erotus [m ³ /h]	Hyötysuhde [%]
Tuubi 1	943,3	219,8	723,5	76,7
Tuubi 2	943,3	346,7	596,6	63,2
Tuubi 3	943,3	331,3	612,1	64,9
Tuubi 4	943,3	196,9	746,4	79,1
Tuubi 5	943,3	233,1	710,2	75,3

8. Kompostien ominaisuudet

8.1 Kompostimateriaalien ominaisuudet ennen kompostointia

Jokaisesta kompostointimateriaalista lähetettiin näyte MTT Jokioisten laboratorioon analysoitavaksi ennen kompostoinnin aloittamista kesällä 2012. Tuloksista kävi ilmi erityisesti liukoisen typen alhainen pitoisuus hevoselannassa. Tuoreemmassa hevosen pellettilannassa (tuubi 6) liukoisen typen pitoisuus oli kuitenkin vanhempaan purulantaan verrattuna huomattavasti korkeampi. Myös kokonaistypen pitoisuus oli hevoselannassa alhainen. Kuivike näytti vaikuttavan ravinnepitoisuuksiin, sillä olki-turvekuivitetussa hevoselannassa kokonaistyyppipitoisuus oli korkeampi kuin tuoreessa pellettikuivitetussa lannassa. Pellettilannassa sen sijaan oli enemmän liukoista typpeä. Purukuivitetussa ja valmiiksi osittain kompostoituneessa hevoselannassa oli vähiten typpeä. Taulukossa 4 on esitetty laboratorioanalyysien keskeisimmät tulokset.

Taulukko 4. Kompostimateriaalien ja -materiaaliyhdistelmien ominaisuudet ennen kompostointia kesällä 2012.

Kompos- toitava materiaali	ka %	pH	Tilavuus- paino g/l	Johto- luku mS/cm	N _{tot}	N _{liuk}	P _{tot}	P _{liuk}	K _{tot}	K _{liuk}	Ca	B	Mg	C/N
					g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	mg/kg ka	g/kg ka	
Kananlanta	30,9	8,27	853	14,25	61,3	49,89	16,2	2,2	21,5	22,9	88	60	6,1	6,1
Hevosen purulanta+ kananlanta	30,5	8,46	494	4,225	30,1	18,76	9,01	2	13,9	17,7	42	37	4,3	14
Hevosen olki- turvelanta	25,1	7,73	444	0,831	15,2	2,91	2,45	0,8	10,3	11,2	7,6	35	2,7	21
Naudan kuivike- lanta	18,9	6,97	585	1,415	25	6,29	3,47	2,5	11,7	12	7,5	44	3,9	19
Hevosen purulanta+ naudan- lanta	22	6,69	419	0,9085	19,3	3,87	3,12	1,7	10,7	11,5	6,9	17	3,4	24
Hevosen purulanta (vanha)	27	7,31	416	1,175	11,3	1,85	3,14	1,2	12,6	12,2	6	25	2,8	39
Hevosen pelletti- lanta (tuore)	33,9	7,7	295,6	1,098	13,8	4,04	2,6	1,2	13,7	11,8	6,4	50	3,6	32

8.2 Kompostimateriaalien ominaisuudet vuoden kompostoinnin jälkeen

Kompostiaineksen ominaisuuksia selvitettiin noin vuoden kompostoinnin jälkeen keväällä 2013. Jokaisesta tuubikompostista otettiin näyte 3.5.2013 laboratorioanalysejä varten.

Kompostimateriaalia otettiin jokaisesta tuubikompostista vähintään viisi litraa neljästä näytteenotto paikasta eri puolilta kompostituubia.

Saadusta 20 litran näytteestä erotettiin kaksi yhden litran

rinnakkaisnäytettä, joista toinen lähetettiin MTT:n laboratorioon

Jokioisiin analysoitavaksi ja toinen jätettiin Sotkamon MTT:lle omia

analysejä varten.

Kuva 13. Marja-Liisa Moisanen kairaa näytettä kompostituubin kylkeen tehdystä reiästä 3.5.2013.



Taulukko 5. Kompostimateriaalien ominaisuudet noin vuoden kompostoinnin jälkeen keväällä 2013.

Komposti- materiaali	ka %	pH	Tilav.	Johto-	N _{tot}	N _{liuk}	P _{tot}	P _{liuk}	K _{tot}	K _{liuk}	Ca	B	Mg	C/N
			paino	luku	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	g/kg
			g/l	mS/ cm	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	mg/kg ka	g/kg ka	ilma- kuiva
Hevosen purulanta- kananlantaseos	29,5	8,67	466,32	1,9905	23,19	7,424	8,75	1,54	14,4	12,7	37,9	15,19	5,22	22,6
Hevosen olki- turvelanta	28,7	7,9	463,89	0,7985	17,74	1,359	3,14	0,87	11,9	8,79	13,1	22,97	4,25	15,5
Hevosen purulanta- naudan- lantaseos	20,8	7,11	500,52	0,891	17,39	1,729	2,45	1,76	9,37	10	10,1	21,42	4,18	22,6
Hevosen purulanta (vanha)	28,9	7,86	396,94	0,721	9,768	0,589	1,84	0,88	9,77	8,78	6,2	20,44	3,08	38,6
Mädäte- hevosen purulanta- seos	29,5	7,7	449,41	0,786	11,86	0,847	2,07	0,7	11,7	9,06	7,86	19,17	3,12	24,1
Hevosen pellettilanta (tuore)	31,8	8,52	454,94	0,85	11,21	1,511	1,79	0,86	11,8	10,2	5,64	18,67	2,87	29,2

Näytteenotto oli toukokuun alussa haasteellista, sillä kompostit olivat vielä laajalti jäässä pintakerrosta lukuun ottamatta. Näytteet onnistuttiin kuitenkin kairaamaan myös metrin syvyydestä kompostin sisäosista.

Tuubista numero neljä tehtiin myös kompostin kypsyys- ja stabiilisuusmääritykset. Niiden mukaan komposti oli kypsää jo vuoden kompostoinnin jälkeen (Karppinen 2015). Kompostissa ei ollut haihtuvia rasvahappoja ja sen NH₄-N –pitoisuus oli alhainen. Hiili-typpe –suhde oli vielä korkeahko varsinkin hevosen purulantaseoksessa, mutta se aleni kompostin kypsyttyä vielä toisen vuoden.

Määritelmät on kuvattu tarkemmin Biojäte ja hepolanta -hankkeen raportissa nro 4/4 Peltoviljelykoe hevosen purulantakompostin lannoitekäytöstä sekä kandidaattiseminaarissa (Karppinen 2013) ja kandidaatin työssä (Karppinen 2015).

8.3 Kompostimateriaalien ominaisuudet kahden vuoden kompostoinnin jälkeen

Komposteista otettiin näytteet myös kahden vuoden kuluttua kokeen aloittamisesta 11.8.2014. Tulokset kompostianalyseistä 2014 on esitetty taulukossa 6. Kahden vuoden kompostointi on tuubikompostointia harjoittavan maatalousyrittäjä Markus Eerolan mukaan sopiva aika hevosenlannalle, minkä jälkeen kompostia on vielä mahdollisuus jälkikypsyttää ennen levitystä pellolle (Eerola 2013). Tuubikompostointi myös antaa pelivaraa kompostin levittämisen ajoittamiselle, koska kompostoitua massaa voidaan varastoida tuubissa useita vuosia ja levittää peltoon silloin kun se viljelykiertoon sopii.

Taulukko 6. Kompostimateriaalien ominaisuudet noin kahden vuoden kompostoinnin jälkeen elokuussa 2014.

Kompostimateriaali	ka %	pH	Tilav. paino	sähkönjohtokyky	N _{tot}	N _{liuk}	P _{tot}	P _{liuk}	K _{tot}	K _{liuk}	Ca	B	Mg	C/N Leco
			g/l	mS/ cm	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	mg/kg ka	g/kg ka	ilma-kuiva
Hevosen purulanta-kananlantaseos	30.61	8.24	457.1	1.98	18.51	5.42	10.14	2.494	21.71	15.86	45.47	18.6	5.94	17.6
Hevosen olkiturvelanta	29.14	8.02	518.8	1.15	17.22	3.06	3.99	0.894	15.06	9.62	12.02	23.7	4.43	14.27
Hevosen purulanta-naudanlantaseos	23.99	6.92	514.3	0.9	17.91	3.13	4.10	1.538	14.80	8.79	10.55	18.7	5.65	21.23
Hevosen purulanta	33.65	8.44	404.6	0.75	10.59	2.03	3.20	0.730	13.40	6.61	7.32	17.0	3.78	31.11
Mädäthevosen purulantaseos	31.59	8.29	422.1	75	13.00	2.91	3.68	0.651	15.17	7.45	11.73	17.3	3.43	24.79
Tuore hevosen pellettilanta	35.11	8.71	517.3	1.08	13.39	3.49	3.72	0.898	18.50	9.85	8.15	20.5	4.51	20.23

8.4 Muutokset kompostien ominaisuuksissa vuosina 2012-2014

Kompostien ominaisuuksien muutoksia tarkasteltiin vuosina 2012-2014. Ominaisuuksista tarkempaan vertailuun valittiin TS (=ka), pH, tilavuuspaino, C/N-suhde (kuva 14) sekä typpi- (kuva 15), fosfori- (kuva 16) ja kaliumpitoisuudet (kuva 17), jotka kuvaavat sekä kompostin kehittymistä ja kypsymistä sekä sen maanparannusvaikutusta.

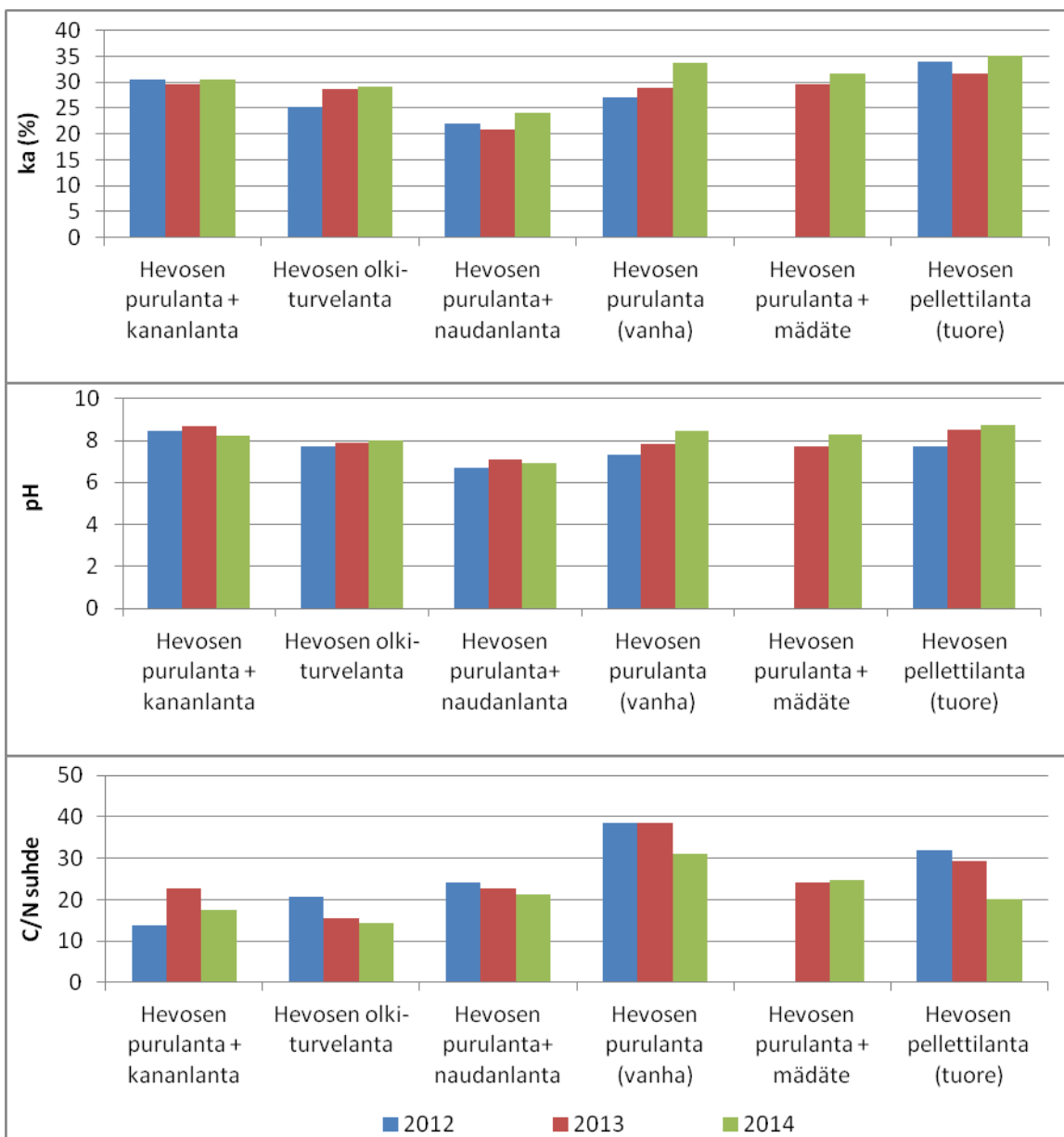
Kompostoitavan massan kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat 22 %:n ja 35 %:n välillä ja kahden vuoden kompostoinnin aikana ka-pitoisuuksissa havaittiin nousua. ka-pitoisuuden nousu johtuu kosteuden sekä muiden yhdisteiden haihtumisesta kompostoinnin aikana. Myös tilavuuspaino nousee kompostoinnin edetessä ja massan painuessa kasaan. Tämä oli havaittavissa useimmissa tuubeissa, mutta hevosenlanta-kananlantakompostissa, hevosenlantakompostissa (vanha) sekä mädätettä sisältävissä komposteissa tulos oli päinvastainen. Tämä saattaa selittyä epähomogeenisella kompostimassalla. Näytteet pyrittiin ottamaan huolellisesti, mutta on mahdollista, että kahta materiaalia sisältävästä tuubista ei saada täysin edustavaa ja sekoitussuhdetta vastaavaa näytettä.

Kaikissa tutkituissa komposteissa pH-arvo oli kompostoinnin alussa neutraalilla tasolla (7-8) ja ainoastaan hevosen purulannan ja naudanalannan seoksessa pH oli kokeen alussa muista hieman alhaisempi (6,7). Kompostoitumisen aikana pH saattaa hieman laskea prosessin alkuvaiheessa, mutta tasaantuu yleensä takaisin neutraalille tasolle, kuten havaittiin myös tutkituissa komposteissa. Kaikissa komposteissa pH nousi kahden vuoden kompostoinnin aikana (0,2-1 yksikköä), lukuun ottamatta hevosen- ja kananlannan seosta, jossa pH laski hieman (0,2 yksikköä).

Laboratoriotulosten mukaan hevosen purulantakompostin hiilityppisuhde oli noin 38 ja hevosen puupellettilantakompostin noin 30. Muiden lantojen ja mädätteen lisäämisen purulantakompostiin laski C/N-suhteen alle 25:een (kuva 14). Olkikuivitetulla hevosenlannalla C/N-suhde taas oli muita alhaisempi, noin 15. Mikäli kompostoinnissa pyritään maksimoimaan jätteen määrällinen häviäminen, paras hiili-typpisuhde on noin 25–30. Viljelykäytössä sen sijaan optimaalinen hiilityppisuhde on alle 20, jolloin typpi vapautuu kasvien käyttöön nopeasti (Bridglestone ym. 1987). Näin ollen pelkän hevosenlannan kompostit eivät ole hiili-typpisuhteeltaan optimaalisia lannoitekäyttöön. Myös kuivikelaatu vaikuttaa lannan hiili-typpisuhteeseen ja muihin ominaisuuksiin voimakkaasti. Desalegn ym. (2008) tutkimuksen mukaan hevosenlannan hiili-typpisuhde voi olla yli 50:1 kuivikkeena käytetyn puuaineksen vuoksi. Toisen tutkimuksen mukaan eri kuivikelaaduista turpeella ja oljella C/N-suhde on alle 100, mutta purulla jopa 600 (Airaksinen 2006). Benito ym. (2009) mukaan hiili-typpisuhteen käyttäminen hevosenlantaa sisältävän kompostin arvioinnissa ei ole täysin luotettavaa hevosenlannan korkean kuivikepitoisuuden ja siten korkean hiili-typpisuhteen vuoksi.

Kompostoinnin alkutilanteen C/N-suhteen ja lopputilanteen C/N-suhteen välisellä suhteella voidaan myös arvioida kompostin kypsyyttä. Yleisesti alku- ja lopputilanteen välinen suhde on noin 0,6, jolloin komposti voidaan arvioida kypsäksi (Tontti & Mäkelä-Kurto 1999). Tutkituilla komposteilla $C/N_{\text{loppu}} / C/N_{\text{alku}}$ -suhde

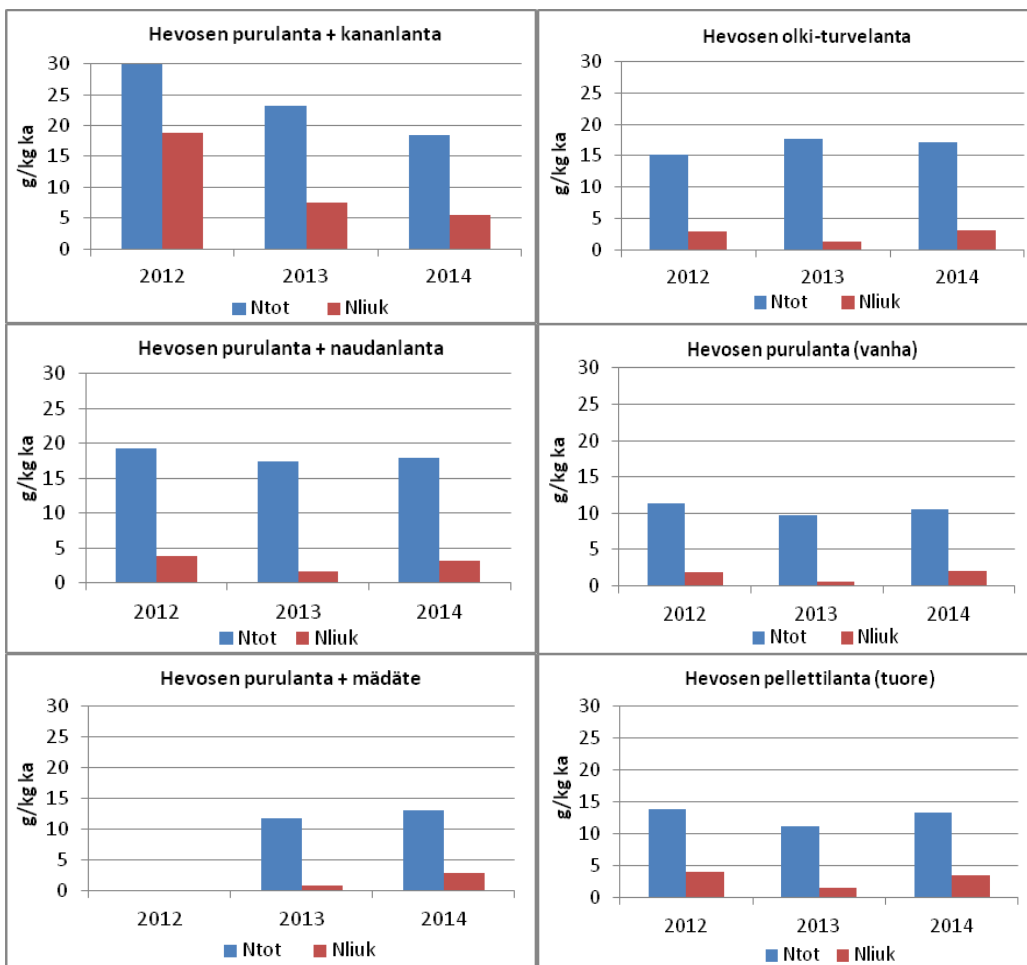
vaihteli arvojen 0,6 ja 1,3 välillä. Sekä olkikuivitetulla lannalla että pellettilannalla suhdeluku oli lähellä arvoa 0,6, eli nämä kompostit voitiin arvioida kypsiksi. Vanhalla hevosen purulannalla sekä purulannan ja naudanalannan seoksella suhdeluku oli noin 0,8, eli melko lähellä kypsän kompostin arvoa. Purulannan ja kananlannan seoksella suhdeluku oli hyvin korkea (1,3) mikä indikoi sitä, ettei komposti ollut vielä kahden vuoden kompostoinnin jälkeenkään kypsää. Toisaalta kahden vuoden tarkastelun aikana C/N-suhteen havaittiin nousevan kananlantakompostissa, kun se muissa komposteissa joko laski tai pysyi samana. Kananlannan korkea typpipitoisuus todennäköisesti vaikutti kompostin C/N-suhteeseen ja typpipitoisuuden muutoksiin kompostoinnin aikana.



Kuva 14. Kuiva-ainemäärän (ka), tilavuuspainon, pH:n ja hiili/typpi -suhteen (C/N) muutokset vuosina 2012-2014 tutkituissa komposteissa.

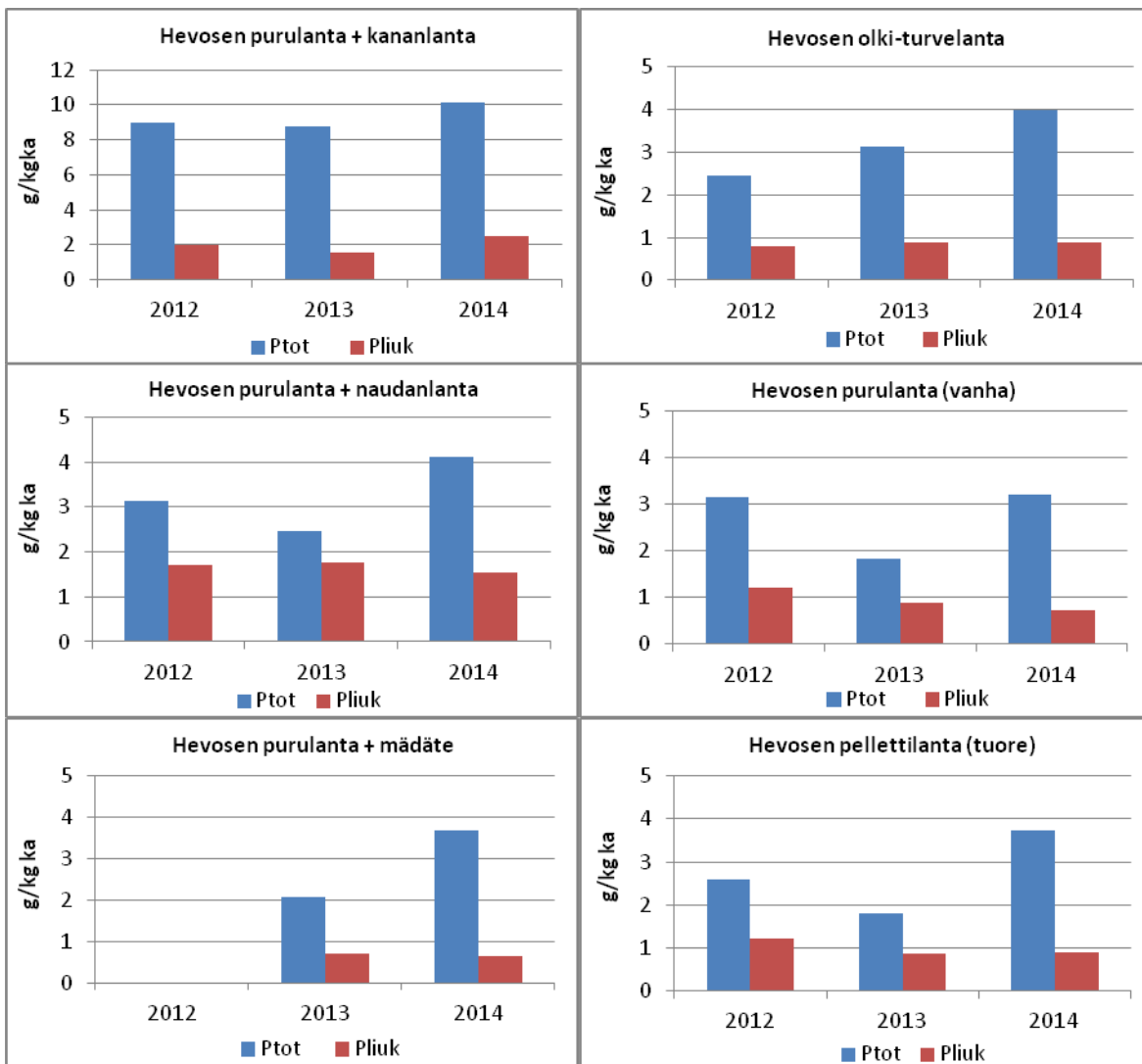
Typipitoisuutta sekä liukoisen typen osuutta vertailtiin eri komposteissa kahden vuoden kompostoitumisen aikana (kuva 15). Typen osuus hevosenlannassa oli alhainen, noin 10 g/kg ka purulannassa, ja noin 13 g/kg ka tuoreessa pellettikuivitetussa lannassa.

Liukoisen typen osuus lantakomposteissa oli noin 3 g/kg ka. Poikkeuksena kuitenkin kananlantaa sisältävässä kompostissa havaittiin hyvinkin korkeita typipitoisuuksia, noin 30 g/kg ka kompostikokeen alussa. Tämä johtuu kananlannalle tyypillisestä hyvin korkeasta typipitoisuudesta. Myös naudanlannan lisäys hevosenlannan joukkoon nosti hieman kompostin typipitoisuutta. Kahden vuoden kompostoinnin aikana typpimäärät komposteissa pysyivät suhteellisen tasaisina. Ainoastaan kananlantaa sisältävässä kompostissa havaittiin merkittävä typipitoisuuden vähenemä, mikä todennäköisesti johtuu voimakkaasta nitrifikaatiosta ja typpiyhdisteiden haihtumisesta. Koska liukoisen typen osuus komposteissa on hyvin vähäinen, ei komposteilla ole merkittävää lannoitusvaikutusta. Kasveilla lannoitteen käyttökelpoisen typen täytyy olla liukoisessa muodossa, jotta se on mahdollisimman nopeasti käytössä kasvuun.



Kuva 15. Kokonais- (Ntot) ja liukoisen typen (Nliuk) muutokset vuosina 2012-2014 tutkituissa komposteissa.

Kompostien kokonais- ja liukoisen fosforin (kuva 16) sekä kaliumin (kuva 17) pitoisuuksia tarkasteltiin myös kahden vuoden kompostoinnin aikana. Kaikissa komposteissa havaittiin sekä fosfori- että kaliumpitoisuuksien nousu, mikä johtuu kompostoitavan materiaalin hajoamisesta kompostoinnin aikana ja massan vähentymisestä. Liukoisten ravinteiden osalta liukoisen fosforin osalta ei havaittu selkeitä muutoksia kompostoinnin aikana, kun taas liukoisen kaliumin pitoisuuksien havaittiin eri komposteissa hieman laskevan.

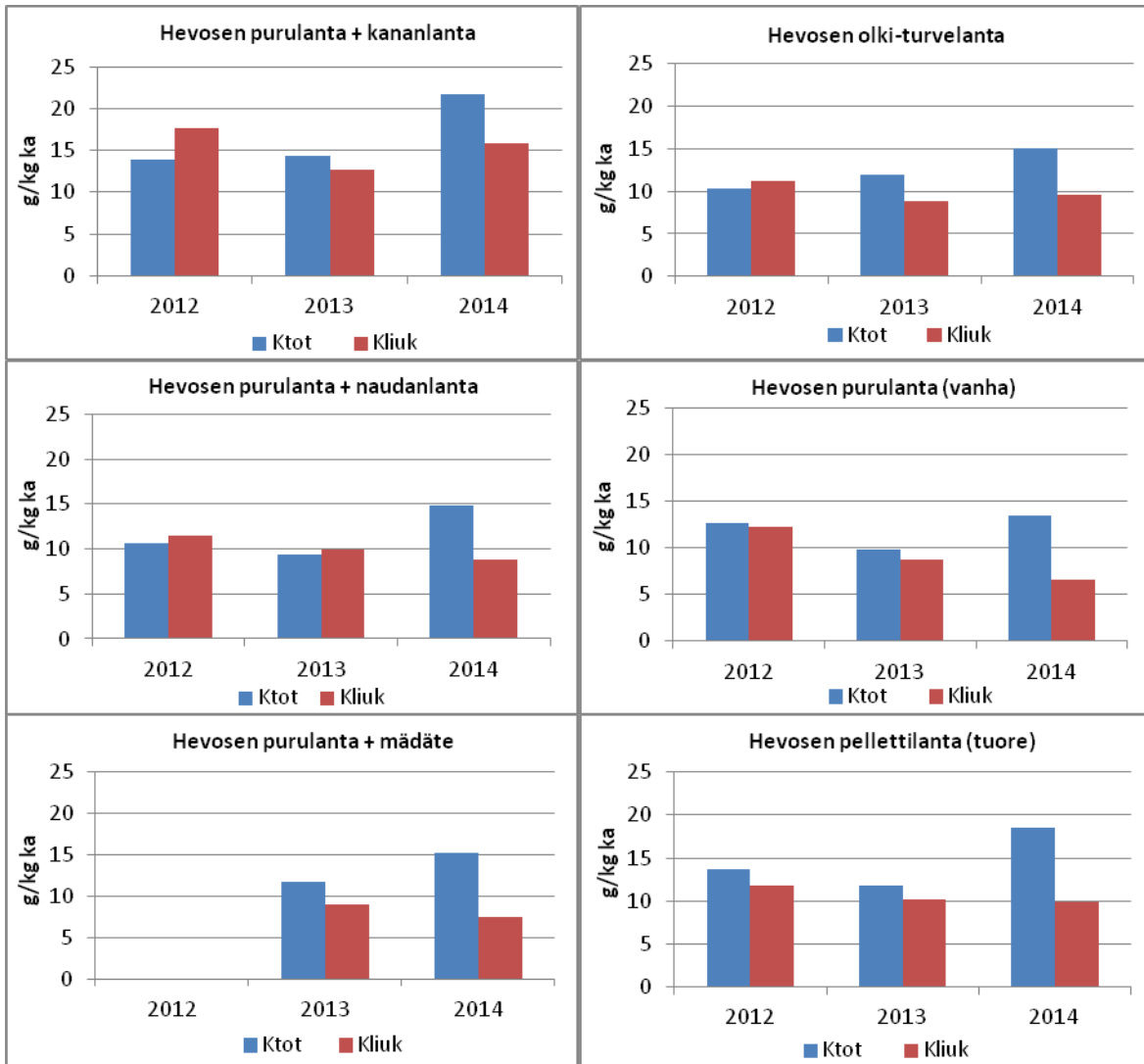


Kuva 16. Kokonais- (Ptot) ja liukoisen fosforin (Pliuk) muutokset vuosina 2012-2014 tutkituissa komposteissa. Huom. erilainen asteikko hevosen purulanta + kananlanta -kuvassa.

Kuten tyypeä, myös fosforia ja kaliumia havaittiin suurimmat pitoisuudet kananlantaa sisältävässä kompostissa. Naudanlanta lisäsi jonkin verran hevosenlantakompostin fosforipitoisuutta, mutta kaliumin määrään sillä ei ollut muihin hevosenlantakomposteihin verrattuna suurta merkitystä. Liukoisen kaliumin

osuus kokonaiskaliumista oli kaikissa komposteissa korkea, koska kalium esiintyy yleisesti liukoisessa muodossa.

Alhaisista typpipitoisuuksista johtuen hevosenlantakomposteilla ei ole merkittävää lannoitusvaikutusta kasveille, mutta kompostien sisältämät muut ravinteet yhdessä hiilen kanssa lisäävät kompostien käyttökelpoisuutta maanparannusaineina, joiden vaikutukset ulottuvat usein myös kompostin lisäämistä seuraavaan vuoteen johtuen ravinteiden hitaasta ja tasaisesta vapautumisesta kasvien käyttöön.



Kuva 17. Kokonais- (Ktot) ja liukoisen kaliumin (Kliuk) muutokset vuosina 2012-2014 tutkituissa komposteissa.

8.5 Kuivikkeen vaikutus kompostin ominaisuuksiin

Puupohjaiset kuivikkeet, kuten puru ja puupelletti, sisältävät runsaasti hiiltä ja hyvin niukasti typpeä. Näin ollen puupohjainen kuivike nostaa lantakompostin hiili-typpeäsuhdetta, mikä voi hankaloittaa kompostimateriaalin lannoitekäyttöä. Laboratoriotulosten mukaan olki-turvekuivitetun hevosenlannan hiili-typpeäsuhte oli kahden vuoden kompostoinnin jälkeen noin 15 ja purukuivitetun hevosenlannan 38 (Taulukko 7, kuva 14). Lantajakeet ovat peräisin eri lähteistä, joten muiden muassa mahdollisesti eripituiset varastointiajat voivat aiheuttaa tuloksiin virhettä. Ero jakeiden hiili-typpeäsuhteissa on kuitenkin merkittävä, jolloin kuivikevalinta vaikuttaa voimakkaasti kompostin käyttöön. Taulukossa 7 on esitetty kirjallisuuden perusteella erilaisia hiili-typpeäsuhteita eri kuivikemateriaaleille. Matalin C/N-suhte saavutetaan turve- ja olkipohjaisilla kuivikkeilla, kuten myös tässä selvityksessä havaittiin, kun taas puupohjaiset materiaalit, kuten sahajauho ja puru, omaavat erittäin korkeat C/N-suhteet, jotka nostavat myös kuivitetun lannan hiili-typpeäsuhdetta.

Taulukko 7. Kuivikemateriaalien hiili-typpeäsuhteet (Airaksinen 2006)

Materiaali	C/N-suhte
Olki	80
Turve	50-91
Sahajauho	442
Puru	600

9. Tuubikompostoinnin kustannukset (Timo Lötjönen)

Tuubikompostoinnin kustannukset laskettiin kahdelle vaihtoehdolle kuormaustavan mukaan. Laskennan apuna käytettiin TTS-Kone-ohjelmaa. Kone- ja laitekustannukset ovat liitteessä 2.

Vaihtoehdossa 1 lanta kuormataan etukuormaimella asiakkaan betonipohjaisesta lantalasta. Kuormaus ja siirtoajo tehdään samalla traktorilla.

Kuorman koko	15 m ³
Keskimääräinen ajonopeus	35 km/h
Täyttöön kuluu	15 min
Tyhjennykseen menee	5 min
Kuormaus/kuljetusyhdistelmän kustannus	57 e/h

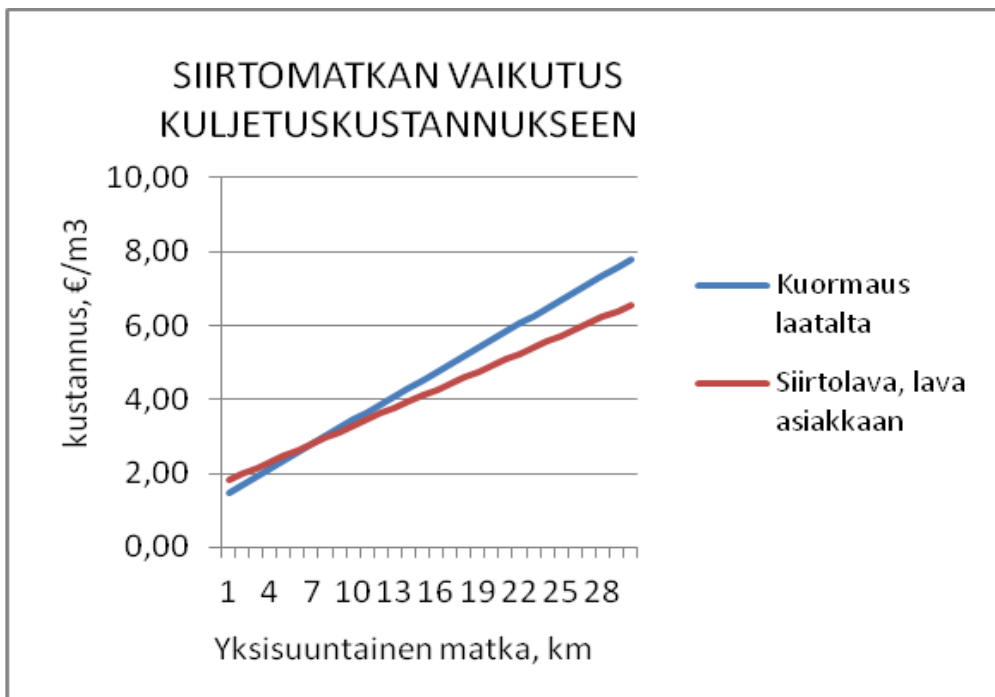
(TTS tiedote 645/2013)

Vaihtoehdossa 2 jokaisen asiakkaan luona on siirtolava, joka käydään hakemassa sen täytyttyä. Siirtolavat omistaa urakoitsija ja kolmannessa vaihtoehdossa asiakas.

Kuorman koko	20 m ³
Keskimääräinen ajonopeus	35 km/h
Lavan maahanlaskuun kuluu	18 min
Lavan päällelaittoon kuluu	18 min
Kuormaus/kuljetusyhdistelmän kustannus	57 e/h

(TTS tiedote 645/2013)

Siirtolavan lisäkustannus 8,33 e/m³



Kuva 18. Matkan vaikutus lannan kuljetuskustannukseen, kun lanta kuormataan laatalta tai kun käytetään asiakkaan omistamia siirtolavoja.

Vaihtoehdossa 1 lanta kuormataan etukuormaimella asiakkaan laatalta kippivaunuun. Kuormaus ja kuljetus hoidetaan samalla traktorilla ennen tuubitustyövaihetta. Tuubitukseen tarvitaan kaksi traktoria kuskeineen, joista toinen käyttää Biopacker-tuubituslaitetta ja toinen kuormaa lantaa etukuormaimella. Tuubituksen yhteydessä tuubin sisälle laitetaan yksi salaojaputki ilmastusta varten. Sähköpuhaltimia ei käytetä, vaan ilmastus hoituu luonnonvoimaisesti. Kompostoinnin jälkeen tuubit puretaan seuraavana keväänä etukuormaimella tai kaivinkoneella suoraan lannanlevitysvaunuun.

Vaihtoehdossa 2 ja 3 asiakas varastoi lannan siirtolavalle, joka voi olla kompostointiyrittäjän (ve 2) tai asiakkaan (ve 3) omaisuutta. Näin asiakas välttyy lantalainvestoinnilta. Kun eläimiä on vain muutamia, betonilantalan ja teräksisen siirtolavan vuotuiskustannukset ovat likimain yhtäsuuret. Siirtolavan täytyttyä, kompostointiyrittäjä käy hakemassa siirtolavan ja tyhjentää sen tuubituspaikan viereen tai talvella betonilaatalle. Muut työvaiheet sujuvat kuten vaihtoehdossa 1.

Kuljetusmatka (yhteen suuntaan) 10 km.

Taulukko 8. Eri tuubitusvaihtoehtojen kustannukset

	Vaihtoehto 1)	Vaihtoehto 2)	Vaihtoehto 3)
Kuljetuskustannus (sis. 1 traktori + perävaunu kuskeineen)	3,44	12,46	4,12 e/m ³
Tuubituksen työkustannus (sis. 2 traktoria kuskeineen)	1,53	1,53	1,53 e/m ³
Tuubin hankintakustannus (pituus 60 m)			
203 m ³ / tuubi 340 e/kpl	1,67	1,67	1,67 e/m ³
Salaojaputkien kustannus (1 kpl x 50 mm)			
62 m 0,95 e/m	0,29	0,29	0,29 e/m ³
Tuubin purku kaivinkoneella	0,50	0,50	0,50 e/m ³
Yhteensä:	7,43	16,45	8,12 e/m³

Tämän laskelman mukaan kustannukset ovat lantakuutiota kohti pienimmät, jos lanta kuormataan asiakkaan luona laatalta. Kalleinta on käyttää urakoitsijan omistamia lavoja. Kuljetuskustannus on suurin kustannuserä, joten hinta nousee nopeasti matkan pidentyessä. Urakoitsija siirtää hinnan talliyrittäjältä perittävään kustannukseen ja talliyrittäjä tuotteen, esimerkiksi karsinapaikan hintaan. Talliyrittäjän kannalta ratkaisuun vaikuttaa vaihtoehtoisen lannankäsittelyn mahdollisuus ja hinta. Eteläsuomalainen kompostiurakointia tekevä maatalousyrittäjä (käytössä omat siirtolavat) arvioi kustannukseksi 10 km hakumatkalta 12-15 e/m³ (Eerola 2013).

10. Laskennallinen lannoiteseos hevosenlantakompostista, biokaasulaitoksen mädätteestä ja tuhkasta (Jukka Kempainen)

Hevosen purulantakompostin (vuoden kompostoitunut), biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen (raaka-aineena biojäte) ja havupuun tuhkan seoksesta laskettiin kuvitteellinen lannoiteseos ohran ja nurmen lannoitteeksi. Komposti ja käsittelyjäännös saatiin tässä hankkeessa ja tuhka haettiin Kuhmo Oy:ltä. Tuhka analysoitiin Viljavuuspalvelussa (liite 1). Lannoitus suunnitelmalla laskettiin VISU-ohjelmalla.

Taulukot 9 ja 10. Hevosen purulantakompostin (vuoden kompostoitunut), biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen (raaka-aineena biojäte) ja havupuun tuhkan ravinnearvot kuiva-aineessa ja tuorepainossa.

Ravinteet kuiva-aineessa

Raaka-aine	Kuiva-aine %	Tilavuuspaino kg/m ³	g/kg ka								mg/kg ka					
			N-kok.	N-liuk.	P-kok.	P-liuk.	K-kok.	K-liuk.	Mg	Ca	Na	B	Cu	Mn	Cd	Hg
Hevosen purulanta	28,9	397	9,8	0,6	1,8	0,9	9,8	8,8	3,1	6,2		20,4				
Biojätteen käsittelyjäännös	13,1	1073	56,1	33,2	7,2	1,4	29,6	30,2	5,0	15,0		57,0				
Arinatuhka	95,5	790	0,0	0,0	4,0	2,0	18,0		12,0	82,0		110,0	37,0		1,9	0,06

Ravinteet tuorepainossa

Raaka-aine	Kuiva-aine %	Tilavuuspaino kg/m ³	g/kg tuorepainossa								mg/kg ka tuorepainossa					
			N-kok.	N-liuk.	P-kok.	P-liuk.	K-kok.	K-liuk.	Mg	Ca	Na	B	Cu	Mn	Cd	Hg
Hevosen purulanta	28,9	397	2,8	0,2	0,5	0,3	2,8	2,5	0,9	1,8	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Biojätteen käsittelyjäännös	13,1	1073	7,3	4,3	0,9	0,2	3,9	4,0	0,7	2,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Arinatuhka	95,5	790	0,0	0,0	3,8	1,9	17,2	17,2	11,5	78,3	0,0	105,1	35,3	0,0	1,8	0,1
Suomen salpietari			270	270	0	0	10	10	10			0,2				

Lannoitus laskettiin esimerkkinä ohralle ja säilörehunurmelle. Maalajina on multava hieno hieta (HHt)-lohko jonka viljavuusluvut ovat:

pH	6,7
Ca	1500
P	7,8
K	120
Mg	130

Taulukot 11 ja 12. VISU-ohjelmalla lasketut lannoitussuositukset ohralle ja säilörehunurmen ensimmäiselle sadolle (toinen sato lannoitetaan väkilannoitteella).

Lannoitus ohralle

Tarve kg/ha	N	P	K	kg/levitysmäärä							g/levitysmäärä							
	80	22	41	Aine	Kuiva-aine %	Tilavuuspaino kg/m ³	Määrä kg	Levitysmäärä m ³	N	P	K	Mg	Ca	N_kok	B	Cd	Hg	kg ka/levitysmäärä
Hevosen purulanta	28,9	397	14000	35,3	2	6	36	13	25	40	83	0	0	4046				
Biojätteen käsittelyjäänös	13,1	1073	12000	11,2	52	10	47	8	24	88	90	0	0	1572				
Arinatuhka	95,5	790	2000	2,5	0	6	34	23	157	0	210	4	0	1910				
Suomen salpietari			95		26	0	1	1										
Seoksen ravinteet			28100	49,0	80	22	118	44	205	128	382	4	0	7528				
Seoksen raskasmetallipitoisuudet mg/kg ka												0,48	0,02					

Lannoitus säilörehunurmelle

Tarve kg/ha	N	P	K
	200	24	72

Aine	Kuiva- aine %	Tilavuus paino kg/m ³	Määrä kg	Levitys määrä m ³	kg/levitysmäärä						g/levitysmäärä			kg ka/ levitys määrä
					N	P	K	M g	Ca	N_ kok	B	Cd	Hg	
Hevoson purulanta	28,9	397	10000	25,2	2	5	25	9	18	28	59	0	0	2890
Biojätteen käsittelyjäännös	13,1	1073	16000	14,9	70	13	63	10	31	118	119	0	0	2096
Arinatuhka	95,5	790	2000	2,5	0	6	34	23	157	0	210	4	0	1910
Suomen salpietari			105		28	0	1	1						
Seoksen ravinteet			28100	42,6	100	24	124	43	206	146	389	4	0	6896

0,53 0,02

Säilörehunurmen toinen sato lannoitetaan väkilannoitteella.

Laskelmassa fosforin hyötysuhteeksi on laskettu 85 % ympäristötukiehtojen mukaan. Kokonaistyyppimäärä ei saa ylittää eloperäisen lannoitteen osalta 170 kg/ha/kalenterivuosi.

Lannoitevalmisteen raaka-aineena käytettävän tuhkan kadmiumin raja-arvo on 1,5 mg/kg ka.

Tuhkalannoite sellaisenaan käytettäessä soveltuu peltokäyttöön, jos sen Cd-pitoisuus on enintään 2,5 g/kg ka ja metsälannoitteeksi, jos sen Cd-pitoisuus on enintään 25 g/kg ka. Cd-kuormitus saa olla maataloudessa enintään 7,5 g/ha viiden vuoden ajanjaksolla.

Eloperäisen lannoitteen levitysmäärän tulisi olla vähintään 30 m³/ha, jotta levityksestä tuli tasainen normaalilla kalustolla.

11. Johtopäätökset

Tutkimuksella haluttiin saada tietoa erityisesti puuperäisen kompostin maatumisesta tuubissa sekä tuubikompostointimenetelmän käyttökelpoisuudesta esimerkiksi maatilalla. Kompostikoetta jatkettiin kahden vuoden ajan ja kompostien ominaisuudet analysoitiin säännöllisesti. Vaikka kompostien lämpötilat

eivät kohonneet kovin korkeiksi, kompostoituminen eteni kokeen aikana hyvin. Tästä olivat merkinä C/N-suhteen pieneneminen, tilavuuspainon aleneminen ja kypsyystestien tulokset.

MTT Sotkamonon tutkimusasemalla tehtiin kompostointikokeita hevosenlannasta myös vuonna 2001 (Sihto 2001). Lantojen kuivikemateriaaleina olivat tuolloin turve, kutterinpuru, sahanjauho, kutterinpuruturve ja sahanjauhoturve. Kompostit tehtiin peittämättömiin kasoihin ja niitä käännettiin kahdesti kompostointiaikana. Kompostit olivat perustettaessa kuivempia (TS% 32–43) kuin tämän tutkimuksen kompostit. Kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet sekä pH olivat samalla tasolla tämän tutkimuksen materiaalien kanssa lukuun ottamatta kananlantasekoitteista kompostia, jonka typpipitoisuus oli muita suurempi. Sihdon (2001) kokeissa yhden kesän kompostoinnin jälkeen C/N-suhteet olivat korkeampia kuin tässä tutkimuksessa, sahanjauhokompostissa 57,3 ja sahanjauho-turvekompostissa 58,7. Lämpötilat nousivat Sihdon tutkimuksessa tämän tutkimuksen tuubikomposteja korkeammiksi, turvekompostia lukuun ottamatta 60 °C:een.

Yhdestä kompostista tehtiin kypsyys-, stabiilisuus- ja kasvitoksisuusmittaukset. Niiden perusteella puupohjaisella kuivikkeella kuivitettu hevosenlantakomposti oli kypsää jo vuoden kompostoinnin jälkeen (Karppinen 2013).

Hevosenlantakomposti sisältää suhteellisen vähän kasveille käyttökelpoista typpeä, jolloin sen lannoitevaikutus on vähäinen. Kuitenkin muiden ravinteiden sekä ominaisuuksiensa osalta hevosenlantakompostilla on maanparannusominaisuuksia; kompostista ravinteet vapautuvat maaperään hitaasti ja eloperäinen aines parantaa maan mururakennetta, vedenpidätyskykyä ja mikrobitoimintaa.

Kompostia varten ei tarvita tiivistä alustaa tai valuma-altaita, mutta pellon pinnan on oltava tasainen, sillä viettävällä pellolla ilmastusputkien päistä valuu nestettä. Itse tuubin rakentaminen käy pakkauskoneella nopeasti. Yrittäjä voi esimerkiksi hakea lannan siirtolavoilla talleilta, ja tuubittaa isomman erän kerralla. Menetelmänä tuubikompostointi sopii maatilan yhteyteen, jossa komposti voidaan perustaa samalle pellolle, johon se levitetään lannoitteeksi. Tuubikompostointi antaa myös pelivaraa kompostin levittämiseen. Tuubit voivat olla paikallaan useita vuosia ja ne voidaan levittää silloin kuin se viljelyskiertoon sopii.

Menetelmän miinuksia ovat likaantuneet muovijätteet, jotka on toimitettava kierrätykseen. Salaojaputket hankaloittavat myös tuubien purkua. Kustannusten seuraaminen kannattaa tehdä huolella, jotta vastaanotettava lanta osataan hinnoitella oikein.

LAITTEISTO

Alipaineistaja: Pullman Ermator A600.

<http://www.imu-tec.fi/vmchk/alipaineistajat-ja-ilmanpuhdistajat/226-a600-ilmanpuhdistin> (16.7.2012)

Puhallin: Master BL 6800

<http://www.mcsgl.com/ventilator-master-bl-6800,148.html> (16.7.2012)

Puhallin: Ventur GMT-130E

<http://www.sahkonumerot.fi/8505156/> (Huom. Katso esite PDF-tiedosto) - (16.7.2012)

Puhallin: Ventur ZWP 1600T

<http://www.ventur.fi/fi/products/product/545> (16.7.2012)

LÄHTEET

- Airaksinen, S. 2006. Bedding and Manure Management in Horse Stables - Its Effect on Stable Air Quality, Paddock Hygiene and the Compostability and Utilization of Manure, 2006. Väitöskirja. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 190.
- Anon. 1995. Biosolids Composting. Water Environment Federation – Preserving & Enhancing the Global Water Environment.
- Benito, M., Masaquer, A., Moliner, A., Hontoria, C. & Almorox, J. 2009: Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters. Bioresour.Technol. 100, 497-500
- Bridgestone 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.
- Eerola, M. 2013. Suullinen tiedonanto 15.12.2013.
- Epstein, E. 1997: The Science of Composting. –Technomic Publishing Company.
- 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.
- Hollmen, M. 2010. Hevostoiminnan ympäristökysymyksiä Satakunnassa ja Varsinais-Suomessa. Teho - hankkeen julkaisuja 2/2010. Varsinais-Suomen ELY-keskus. 31 s. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE62E05D9-5D3C-4D67-A6AA-8AAE20F8A135%7D/54728>
- Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A. Venelampi, O. & Vuorinen, A. 2006. Kompostin kypsyydestit. Menetelmäohjeet. VTT tiedotteita 2351. Espoo.
- Karppinen, T. 2013. Hevosenlantakompostin 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>
- Sihto, U. 2001. Hevostallien erilaiset kuivikeratkaisut, lannan hyötykäyttö ja kompostointi. Tutkimusraportti joulukuu 2001. Kainuun maaseutukeskus. 36 s.
- Tontti, T. & Mäkelä-Kurtto, R. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 64. Jokioinen.
- Virta A. 2011: Biokaasutuotannon prosessit ja biokaasun tuotanto. Opinnäytetyö Turun AMK. Saatavissa: http://susbio.turkuamk.fi/wp-content/uploads/2012/05/Virta_Aleksi.pdf