



**VAKOLA**

PPA 1  
SF-03400 VIHTI  
FINLAND  
(90) 224 6211

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**  
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 45**

**KIMMO KOIVISTO - ERKKI KEMPPAINEN**

**KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS  
LIETELANNAN LAATUUN JA  
KÄSITELTÄVYYTEEN**

**EFFECT OF COMPOSTING ON SLURRY QUALITY  
AND HANDLING PROPERTIES**

VIHTI 1987

**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 45**

**KIMMO KOIVISTO - ERKKI KEMPPAINEN**

**KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS  
LIETELANNAN LAATUUN JA  
KÄSITELTÄVYYTEEN**

**EFFECT OF COMPOSTING ON SLURRY QUALITY  
AND HANDLING PROPERTIES**

VIHTI 1987

**OSA I**

**LIETELANNAN FYSIKAALISET  
MUUTOKSET JA KOMPOSTOINTILÄMPÖ**

**PHYSICAL CHANGES AND COMPOSTING  
HEAT OF SLURRY**

**Kimmo Koivisto - VAKOLA**

**SISÄLLYSLUETTELO, OSA I**

SIVU

TIIVISTELMÄ	I
SAMMANFATTNING	III
SUMMARY	V
1. KOMPOSTOINTITEKNIikka JA KOEJÄRJESTELYT	1
1.1 Kompostointilaitteisto	1
1.2 Kompostointikokeet ja näytteiden otto	3
2. KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS LANNAN FYSIOLOGISIIN OMINAISUUKSIIN	4
2.1 Yleistä	4
2.2 Lietelannan määrän muutos ja kuiva-aineen hajoaminen	5
2.2.1 Mittausmenetelmä	5
2.2.2 Tulokset	6
2.3 Lietelannan laskeutuminen ja homogeenisuus	9
2.3.1 Mittausmenetelmä	9
2.3.2 Tulokset	10
2.4 Viskositeetin muuttuminen	14
2.4.1 Viskositeetin määrittäminen	14
2.4.2 Tulokset	16
3. KOELAITTEISTO	19
3.1 Kompostorin käyttö	19
3.2 Lämmön kehitys	20
3.3 Kannattavuus	23
4. YHTEENVETO	24
5. KIRJALLISUUS	25
LIITTEET	

## ALKUSANAT

Maatilahallitus rahoitti 1.8.1985-31.12.1986 tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää kompostoinnin vaikutusta lietelannan fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Tutkimus oli jatkoa Kauppa- ja teollisuusministeriön vuosina 1982-1985 rahoittamalle tutkimukselle "Lietelannan kompostointilämmön talteenotto", joka tehtiin Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksen (VAKOLA) toimesta.

Päättynyt tutkimus tehtiin VAKOLAn ja Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTTK) maanviljelyskemian ja -fysiikan laitoksen yhteistyönä. Tutkimusselostus on kaksiosainen jakautuen fysikaaliseen ja tekniseen osaan ja toisaalta kemialliseen osaan. MTTK:n osuutena oli tutkia kompostoinnin aiheuttamia kemiallisia muutoksia lietelannassa ja kompostoinnin vaikutusta lannan lannoitusarvoon, mm. kasvikoikeilla. VAKOLA huolehti kompostoinnin teknisestä osuudesta, näytteiden otosta ja mittauksista. Lisäksi VAKOLAn toimesta selvitettiin kompostoinnin vaikutusta lannan fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten kiintoainepitoisuuteen ja homogeenisuuteen. Viskositeettimääritykset tehtiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen elintarvikelaboratoriossa.

Kompostointikokeet tehtiin Vihdissä aikaisemmin KTM:n varoilla rakennetulla laitteistolla, johon tehtiin eräitä muutoksia ja parannuksia. Kokeiden aikana mitattiin kompostoinnissa kehittyvä lämpö ja sähkön kulutus.

**TIIVISTELMÄ**

Talvella ja keväällä 1986 Vihdissä kompostoitiin sian liete-  
lantaa jatkuvatoimisessa 35 m<sup>3</sup> puisessa kompostisäiliössä.  
Noin kuukauden pituisia kompostikokeita tehtiin yksi termo-  
fiilisella (> 50 °C) ja yksi mesofiilisella (< 40 °C) läm-  
pötila-alueella. Koejaksojen aikana tuoreesta ja kompostoi-  
dusta sian lannasta otettiin yhteensä noin 130 näytettä eri  
tarkoituksiin. Samalla mitattiin talteen saatu kompostilämpö,  
joka hyödynnettiin sikalassa, ja kompostoinnissa kehittynyt  
lämpö.

Näytteiden avulla selviteltiin kompostoinnin vaikutusta sian  
lietelannan ominaisuuksiin.

Kompostoinnissa lannan kuiva-aineesta hajosi 33 % ja 42 %  
keskimääräisten lämpötilojen ollessa 38 °C ja 51 °C ja käsit-  
telyaikojen vastaavasti 13 ja 20 vuorokautta. Kuiva-ainepi-  
toisuuden alenemisen ja kompostoinnin seurauksena lannan  
viskositeetti alenee. Tehtyjen mittausten ja havaintojen  
mukaan kompostointi ohentaa lannan kiintoaineen laskeutumises-  
sa syntyvää pohjakerrosta, joskin mitatuista arvoista on  
vaikea arvioida vaikutuksen käytännön merkitystä. Kompostoin-  
nissa lannan määrä vähenee 10-20 % käsittelylämpötilasta ja  
-ajasta sekä lämmöntalteenottomenetelmästä riippuen. Tehtyjen  
kokeiden ja niistä saatujen tulosten mukaan kompostointi  
vähentää sekoituksen tehontarvetta ja helpottaa säiliöiden  
tyhjentämistä ja lannan levitystä.

Kompostoinnissa syntyvää lämpöä voidaan hyödyntää mm. tuotantotiloissa ja/tai asuinrakennuksen lämmityksessä. Vihdin koelaitteistoa onnistuttiin käyttämään termofiilisella alueella jatkuvatoimisena, vaikka häiriötilanteilta ei välttytty. Talteen saatu lämpömäärä on ollut noin 1 kWh syötettyä kuivaainekiloa kohden. Lämpöä on voitu kuluttaa 3,5-5,4 kertaa kompostointiin käytetyn sähköenergian määrä, jota on kulunut 1,5-2 kW teholla.

Kompostointilaitteistoon kuuluvan ilmastimen huoltaminen on hankalaa, joten teknisesti laitteistoa olisi kehitettävä. Viimeaikaiset öljyn hinnan alennukset ovat huonontaneet kompostoinnin kannattavuutta. Tyydyttävä kannattavuus saavutetaan käytössä olevalla tekniikalla yksikkökoossa, jossa lietelantaa on käytettävissä vähintään 2-2,5 m<sup>3</sup> vuorokaudessa.

**SAMMANFATTNING**

På vintern och våren 1986 utfördes i Vichtis två kontinuerliga komposteringsförsök med svinggödsel i en 35 m<sup>3</sup> behållare av trä. Av försöken, som båda tog cirka en månad, blev det ena genomfört på den termofila (> 50°C) och det andra på den mesofila (< 40°C) temperaturnivån. Under försöksperioderna togs ur det färska gödslet och ur det komposterade gödslet sammanlagt ungefär 130 prov för olika ändamål. Den i komposteringsprocessen utvecklade värmemängden och den på svinggården utnyttjade värmemängden uppmättes.

Med hjälp av prov studerades komposterings inverkan på svinggödselns egenskaper. Vid komposteringsprocessen sönderföll 33 % och 42 % av torrsubstansen vid motsvarande genomsnittstemperaturer 38 °C och 51 °C och behandlingstiderna 13 och 20 dygn. Till följd av komposteringen och minskning av torrsubstanshalten minskar gödselns viskositet.

Enligt utförda mätningar och observationer frambringar komposteringen tunnare bottenlager, som uppstår då torrsubstansen i gödseln sjunker till botten. Det är dock svårt att uppskatta förändringens praktiska betydelse på basen av mätvärdena. Under komposteringen avtar gödselmängden 10-20 % beroende på behandlingstemperaturen och -tiden samt på värmetillvarata-gande system som används.

Resultaten av studierna visar att komposteringen minskar effektbehovet vid omrörning av gödseln. Gödseln blir lättare och bekvämare att hantera vid tömning av behållare och ut-spridning.

Värmen som uppstår vid komposteringsprocessen kan utnyttjas bl.a. till att värma upp gårdsbyggnaden eller produktionsbygg-naden.



Det lyckades att köra studieanläggningen i Vichtis kontinuerligt på termofila temperaturnivån ( $> 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ), fastän några störningar inte kunde undvikas. Den tillvaratagna värmemängden har varit 1 kWh för ett kilo torrsbstans i färsk gödsel. Värme har kunnat användas 3,5-5,4 gånger mera än el har förbrukats för komposteringen. Eleffektbehovet har varierat mellan 1,5-2 kW.

Underhållet av beluftaren, som hör till komposteringsanläggningen är besvärligt. Tekniskt måste utrustningen ännu utvecklas. Oljeprissänkningarna år 1986 har sänkt komposteringens ekonomiska lönsamhet. Rentabel blir den nuvarande tekniken först när den dagliga gödselmängden är minst 2-2,5 m<sup>3</sup>.

## SUMMARY

In Vihti during winter and spring of the year 1986 pig slurry was composted in a wooden continuously operating compost pit 35 m<sup>3</sup> by volume. Composting tests lasting about one month were made, one in thermophilic (> 50°C) and one in mesophilic (< 40°C) range. During the tests more than 130 samples from the fresh and composted slurry were taken for various purposes. At the same time the recovered composting heat, that was utilized in the piggery was recorded and also the total compost heat developed.

By means of the samples the effect of composting on slurry characteristics was analyzed. During composting 33% and 42% of slurry solids were decomposed mean temperatures being 38 °C and 51 °C and composting times 13 and 20 days respectively. Due to the composting and the decreasing of the solids content, the viscosity of the slurry decreases. According to the measurements and observations composting makes the bottom layer, which develops when slurry solids are deposited, thinner, even though it is difficult to evaluate the practical significance of this occurrence. During composting the quantity of the slurry is decreasing 10-20% depending on the composting temperature and time and on the heat recovering system. According to the tests and their results composting decreases the power requirement of the agitation and makes the emptying of the pit and spreading of the slurry easier.

Compost heat can among other things be used on heating of the production buildings and farm houses. It was possible to run the test equipment in Vihti continuously on the thermophilic temperature range, even though the test was not free from disturbances. The recovered energy was about 1 kWh per charged kilogram of total solids.

Heat utilized has been 3,5-5,4 times the amount of electricity used for composting. The power requirement was 1,5-2 kW.

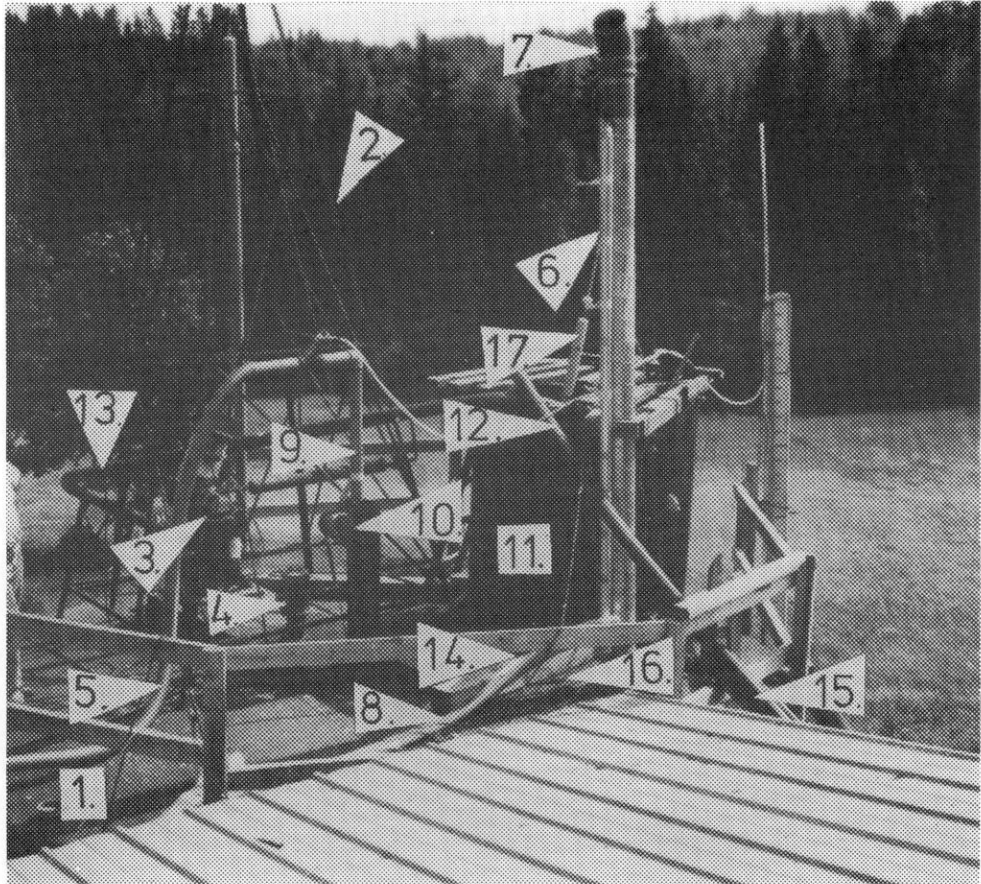
The maintenance of the composting aerator is difficult, and the equipment must be developed further. The recent oil price reductions have covered the profitability of the composting. At least 2-2,5 m<sup>3</sup> slurry per day is needed to guarantee the satisfactory profitability of the equipment size used in the tests.

OSA I

1. KOMPOSTOINTITEKNIikka JA KOEJÄRJESTELYT

1.1 Kompostointilaitteisto

Kompostointikokeet tehtiin 1982-1985 rakennetulla hyötytilavuudeltaan 35 m<sup>3</sup> kompostorilla mv. Mäenpään sikalan lietelannalla Vihdin Olkkalassa, kuva 1.



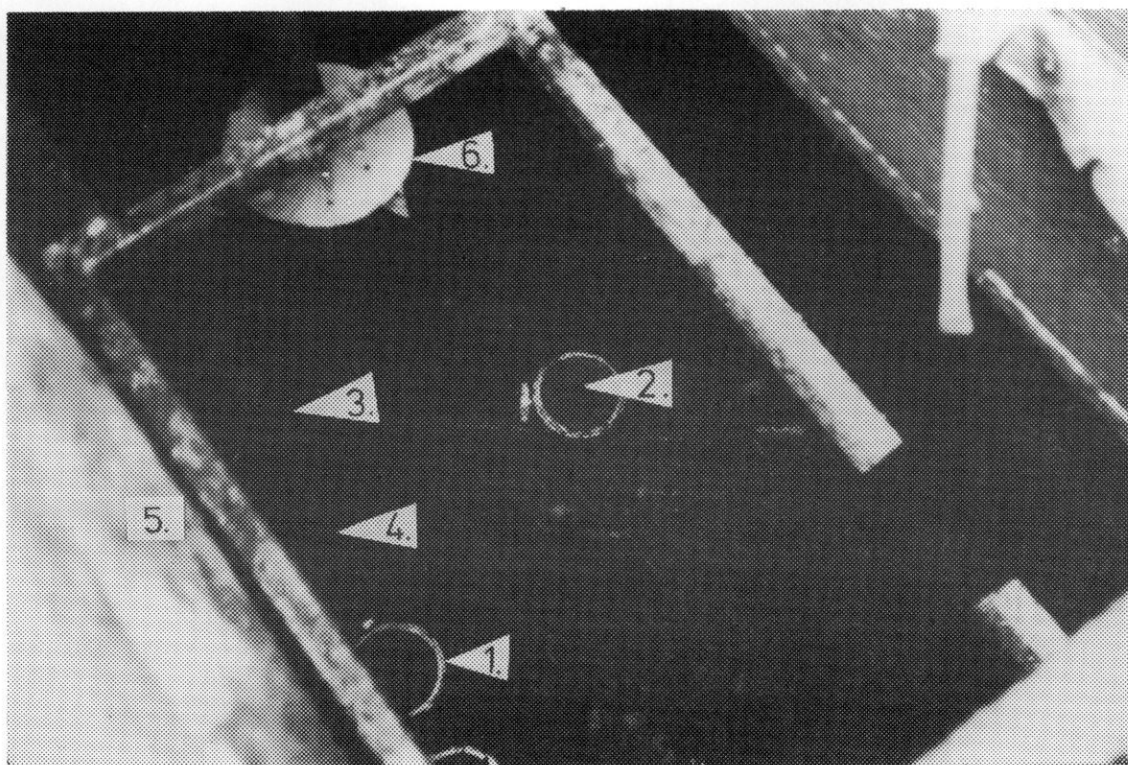
Kuva 1. Vihdin koelaitteisto

1. Kyllästetystä puusta tehty 50m<sup>3</sup> säiliö, 2. Nostoteline, 3. Lietelantapumppu, 4. Vaahdonhävitin, 5. Ilman tuloputki kompressorilta, 6. Poistoilman lämmönvaihdin, 7. Poistoilma-aukko, 8. Kiertovesilinja, 9. Ilmastimen keskusputki, 10. Ilmastimen nostolaite, 11. Näytteenottosäiliö, 12. Täyttölinja, 13. Tyhjennyslinja, 14. Täyttöaukko, 15. Tyhjennysputki, 16. Vastapainemittari, 17. Näytteenotin.

Figure 1. Trial equipment in Vihti

1. 50 m<sup>3</sup> tank, made of impregnated wood, 2. Hoist frame, 3. Slurry pump, 4. Foam destroyer, 5. Air pipe from compressor, 6. Exhaust air heat exchanger, 7. Exhaust air opening, 8. Heating water pump, 9. Central pipe of the aerator, 10. Aerator hoist, 11. Sampling tank, 12. Charge pipe, 13. Emptying pipe, 14. Charge opening, 15. Emptying pipe, 16. Pressure gauge, 17. Sampling device.

Ennen kokeiden aloittamista kompostorin kansi uusittiin huovan rikkoutumisen ja eristeiden kastumisen vuoksi. Kuvan 2 ilmastimet olivat aikaisemmin (KOIVISTO 1986) kiinteästi asennetut, mikä vaikeutti tarkastuksia ja huoltoa. Nyt ilmastinelementit sijoitettiin kuvan 2 mukaisesti säteittäin samasta ilman tuloputkesta lähteviksi, jolloin kaikkia elementtejä voitiin nostaa ja laskea samanaikaisesti. Niiden lukua lisättiin neljällä kahteentoista. Elementit voidaan pyörittää yksi kerrallaan huoltoluukun kohdalle tarkastusta ja huoltoa varten.



**Kuva 2.** Vihdin koelaitteisto huoltoluukusta katsottuna  
1. Ilmastinelementti, 2. Huokoinen levy, 3. Ilman  
jako-osa, 4. Elementin syöttöputki, 5. Huoltotaso,  
6. Vaahdon hävittimen siipi.

**Figure 2.** Trial equipment seen from the maintenance opening.  
1. Aerator element, 2. Porous disk, 3. Air distri-  
bution block, 4. Air pipe to the element, 5. Main-  
tenance rack, 6. Foam destroyer vane.

Poistoilman lämmönvaihdin uusittiin käyttäen raaka-aineena metallia muovin asemesta.

Kompostoriin palannut viileä kiertovesi kulki ensin poistoilman lämmönvaihtimessa olevan putkikierukan läpi jäähdyttäen poistoilmaa ja lämpeni lopullisesti säiliössä seinän vieressä kulkevassa mustassa PEL-putkessa. Muilta osin laitteisto oli aikaisemmin (KOIVISTO 1986) kuvatun mukainen.

## 1.2 Kompostointikokeet ja näytteiden otto

Kompostoria pyrittiin käyttämään jatkuvatoimisena niin, että kaikki syntyvä lietelanta kulkisi kompostorin kautta ja lantaa lisättäisiin kerran vuorokaudessa.

Kompostointikokeita tehtiin yksi mesofiilisella (38 °C) ja yksi termofiilisella lämpötila-alueella (51 °C). Kompostin lämpötilaa voitiin alentaa lämmönkulutusta lisäämällä. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että kiertoveden kulkemaa matkaa pidennettiin ja veden virtausta nopeutettiin, jolloin lämpöhäviöt kasvoivat eristämättömässä siirtoputkistossa.

Näytteiden otto aloitettiin kompostin vakiintumisen jälkeen 2-4 viikkoa koejakson alusta. Kompostin oletettiin olevan jatkuvuustilassa, kun säiliön lämpötila oli vakiintunut halutulle tasolle. Kunkin lisäyksen yhteydessä otettiin tulevasta ja poispumputusta lannasta sekä kompostisäiliöstä kustakin kaksi 3-6 litran näytettä.

Näytteet otettiin aikaisemmin (KOIVISTO 1986) kuvatulla putkimallisella näytteenottimella (kuva 1), joita valmistettiin kolme eri pituista, sisähalkaisijaltaan 68 mm.

Poistuva ja tuleva tuore lanta pumpattiin vuorollaan kompostorin päällä olevaan 2,5 m<sup>3</sup> näytteenottosäiliöön (kuva 1), josta näytteet otettiin välittömästi pumppausten jälkeen. Kompostoria sekoitettiin 20 minuuttia 5,5 kW lietelantapumpulla ennen näytteiden ottamista.

Näytteet kuljetettiin 10 l ämpäreissä, joista varsinainen noin puolen litran näyte erotettiin MTTK:n analyysiä varten. Rinnakkaisnäytteistä määritettiin VAKOLassa heti kuiva-ainepitoisuus. Kaikkien näytteiden massat punnittiin lisäyksen, poiston ja säiliössä olevan ainemäärän laskemiseksi.

Kerätyt näytteet kaadettiin päivittäin omiin 80 l saaveihin laskeutumismäärityksiä ja myöhempää käyttöä varten.

## 2. KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS LANNAN FYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN

### 2.1 Yleistä

Lietelannan fysikaalisia ominaisuuksia ovat mm.

- kuiva-ainepitoisuus
- tiheys
- viskositeetti
- lämpökapasiteetti
- lämmönjohtavuus
- jäätymispiste
- homogenisuus ja laskeutumisominaisuudet

Näistä pyrittiin selvittämään kuiva-ainepitoisuuden, viskositeetin ja laskeutumisominaisuuksien muutosta kompostoinnin seurauksena. Rehun laatu, ruokinta- ja lannan korjuumenetelmä vaikuttavat kuiva-ainepitoisuuteen, jolla on merkitystä lannan kaikille ominaisuuksille. Nyt saadut tulokset ovat yleisesti enintään suuntaa antavia.

Kompostoidun sian lietelannan erottaa helposti tuoreesta kompostoimattomasta lannasta värin ja hajun perusteella. Lannan väri muuttuu kompostoinnissa tumman harmaasta ruskeaksi. Myös haju muuttuu selvästi, joskin on makuasia kummasta hajusta pitää enemmän. Hajutonta lantaa ei koelaitteistolla saatu syntymään. On sanottu kompostoidun lannan hajun muuttuvan "inhimillisempään" suuntaan jalkahikeä muistuttavaksi.

Tutkimuksen aikana tehtiin havaintoja, joiden mukaan lannan jäätyislämpötila nousee kompostoinnin vaikutuksesta. Tämä johtunee termisten ominaisuuksien muuttumisesta ja jäätymissi-  
pistettä alentavien yhdisteiden haihtumisesta. Käytännössä ilmiö lienee merkityksetön. Keväällä lietelannan varastoaltaan jäätynyt pinta sulii koetilalla 2-3 viikkoa normaalia aikaisemmin lämpimän kompostoidun lannan ansiosta.

## 2.2 Lietelannan määrän muutos ja kuiva-aineen hajoaminen

### 2.2.1 Mittausmenetelmä

Lannan määrässä ja kuiva-ainepitoisuudessa tapahtuneet muutokset mitattiin näytteiden avulla. Ilmastuksen seurauksena lietelanta vaahtoa niin, ettei käsittelyn aikana voida erottaa selvää pintaa säiliössä. Mikäli lannan määrä laskettaisiin tilavuuden avulla, jouduttaisiin myös määrittämään lannan tiheys eri lämpötiloissa. Säiliön ainemäärä laskettiin näytteen massan perusteella kertomalla se säiliön poikkipinta-alan ja näytteenottimen poikkipinta-alan suhteella.

Kompostisäiliössä olevan lietelannan määrää ja kuiva-ainepitoisuutta seurattiin kokeen alusta sen loppuun. Kun lisäksi tiedettiin kompostoriin tulevan ja siitä poistuvan lannan määrät ja kuiva-ainepitoisuudet, voitiin määrän muutos ja kuiva-aineen hajoaminen laskea.



## 2.2.2 Koetulokset

Taulukossa 1 on esitetty lannan määrässä ja kuiva-ainepitoisuudessa tapahtuneet muutokset kompostoitessa sian lietelantaa keskimäärin 51 °C ja 38 °C käsittelylämpötiloissa.

**Taulukko 1.** Kompostoinnin vaikutus sian lietelannan määrään ja kuiva-ainepitoisuuteen

Keskimääräinen käsittelylämpötila	°C	51,3	38,0
Kompostorin ainemäärä kokeen alussa,	kg	32900	27100
josta vettä	kg	30440	24910
kuiva-ainetta	kg	2460	2190
kuiva-ainepitoisuus	%	7,47	8,07
Lisätyn tuoreen lannan määrä,	kg/vrk	1610	1980
josta vettä	kg/vrk	1451	1830
kuiva-ainetta	kg/vrk	159	150
kuiva-ainepitoisuus	%	9,90	7,60
Poistetun palaneen lannan määrä,	kg/vrk	1610	1970
josta vettä	kg/vrk	1497	1827
kuiva-ainetta	kg/vrk	113	143
kuiva-ainepitoisuus	%	7,0	7,27
Kompostorin ainemäärä kokeen lopussa,	kg	28900	25300
josta vettä	kg	26820	23540
kuiva-ainetta	kg	2080	1760
kuiva-ainepitoisuus	%	7,18	6,97
Kokeen kesto	vrk	18	10
Kokonaishävikki	kg	4000	1900
osuus syötöstä	kg/vrk	222	190
	%	13,8	9,6
Veden hävikki	kg	2790	1400
osuus syötöstä	kg/vrk	155	140
	%	10,7	7,7
Kuiva-ainehävikki	kg	1210	500
osuus syötöstä	kg/vrk	67,2	50
	%	42,3	33,3

Table 1. The influence of the composting process on the quantity and total solids, TS, content of pig slurry.

Mean composting temperature	°C	51,3	38,0
Material of compost in the beginning of test	kg	32900	27100
of which water	kg	30440	24910
total solids	kg	2460	2190
TS-content	%	7,47	8,07
Added fresh slurry	kg/day	1610	1980
of which water	kg/day	1451	1830
total solids	kg/day	159	150
TS-content	%	9,90	7,60
Taken off composted slurry	kg/day	1610	1970
of which water	kg/day	1497	1827
total solids	kg/day	113	143
TS-content	%	7,0	7,27
Material of compost at the end of the test	kg	28900	25300
of which water	kg	26820	23540
total solids	kg	2080	1760
TS-content	%	7,18	6,97
Test duration	day	18	10
Total material loss	kg	4000	1900
percentage of the supply	kg/day	222	190
	%	13,8	9,6
Loss of water	kg	2790	1400
percentage of the supply	kg/day	155	140
	%	10,7	7,7
Loss of total solids	kg	1210	500
percentage of the supply	kg/day	67,2	50
	%	42,3	33,3

Kompostorin lannan kuiva-ainepitoisuus kokeen alussa ja lopussa on määritetty neljän näytteen perusteella piirtämällä kuiva-ainepitoisuutta osoittava käyrä näytteistä saatujen pisteiden avulla. LIITE 1.

Näytteiden oton välissä säiliötä sekoitettiin hetken. Säiliön näytteet otettiin huoltoluukun kohdalta (2 kpl) ja pois pumpatusta lannasta näytteenottosäiliöstä (2 kpl). Rinnakkaisnäytteiden (4 kpl) suurin ero oli 2,0 %-yksikköä, mikä vastaa noin  $\pm$  15% poikkeamaa näytteiden keskiarvosta.

Kompostisäiliön ainemäärä on laskettu aina suurimman näytteen massan mukaan. Rinnakkaisnäytteiden massojen suurin ero oli 3,1 %, kun suurinta pidetään oikeana.

Kompostorin kuiva-ainepitoisuus voidaan ko. menetelmällä määrittää yhden näytteen perusteella korkeintaan noin 20 % tarkkuudella.

Kompostoitessa 51 °C lämpötilassa viipymäajan ollessa 20 vrk lannan kuiva-aineesta hajosi 42 % ja lannan kokonaismäärä väheni 14 %. Kun tuoreen lannan kuiva-ainepitoisuus oli 10 %, poistuvassa lannassa se oli 7 %. Mikäli poistoilman lämmönvaihdinta ei käytetä, ovat haihtumishäviöt suuremmat ja lannasta häviää noin viidennes ko. olosuhteissa. Tällöin poistuvan lannan kuiva-ainepitoisuus nousee noin 8 %:iin.

Keskimääräisen lämpötilan ollessa 38 °C ja viipymän 13 vuorokautta kuiva-aineesta hajosi kolmannes ja lannan määrä väheni 10 %. Koska kokeissa käytettiin poistoilman lämmönvaihdinta, olivat haihtumishäviöt samaa luokkaa kuin 51 °C lämpötilassa.

Keskimääräinen kuiva-aineen lisäys oli lähes sama molemmissa kokeissa. Matalammassa lämpötilassa tehdyssä kokeessa ilmastuselementtien lukumäärä jouduttiin huollon yhteydessä vähentämään kymmenestä seitsemään. Tällä on ollut merkitystä hapen liukoisuuteen ts. hapen hyväksikäyttöasteeseen.

Matalamman lämpötilan kokeessa tuleva lanta oli huomattavasti ohuempaa kuin 51 °C kokeessa. Lähtötilanteessa kompostorin lanta oli paksua ja palaminen on tapahtunut osaksi säiliössä olevan "polttoainevaraston turvin", mikä näkyy säiliön lannan kuiva-ainepitoisuuden alenemisena. Kompostoidun säiliöstä poistetun lannan kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin ollut 7,27 %, kun syötetyn lannan kuiva-ainepitoisuus oli 7,6 %. Tasapainotilanteessa tuoreen ja kompostoidun lannan kuiva-ainepitoisuuden ero olisi ollut runsaat 2 %-yksikköä.

Tuoreen lannan kuiva-ainepitoisuuksien vaihteluiden takia täydellistä jatkuvuustilaa ei saavutettu eikä käyttö muutenkaan sujunut häiriöittä. Tulokset kuvaavat parhaiten kompostorin kapasiteettia hajottaa kuiva-ainetta tietyllä ilmansyötöllä lisäysmäärän, käsittelyajan ja -lämpötilan vaihdellessa.

## 2.3 Lietelannan laskeutuminen ja homogeenisuus

### 2.3.1 Mittausmenetelmä

Riippuen alkuperästä lietelanta kerrostuu eri tavoin. Sian lietelannan kuiva-aineesta suurin osa laskeutuu suhteellisen nopeasti tiiviiksi voimaiseksi kerrokseksi säiliön pohjalle. Kuivikkeita jää, jos niitä käytetään kerrokseksi pintaan, joka kuivuu tiiviiksi ja korppumaiseksi. Pohjakerroksen sekoittaminen on työlästä tavallisin menetelmin.

Laskeutumista määritettäessä pyrittiin selvittämään syntykö tuoreen lannan ja kompostoidun lannan kesken mitään eroja pohjakerroksen ja pintakerroksen välille ja minkälaisia nämä kerrokset ovat.

Pohjakerroksen arveltiin havaintojen perusteella olevan noin 10-30 % lietepinnan kokonaiskorkeudesta tuoreella lannalla. Kokeilemalla tehtiin pohjakerroksen korkeutta mittaava mittakeppi, jonka alapäässä oli pyöreä halkaisijaltaan 50 mm muovilevy. Kepin massa oli 0,7 g/cm<sup>2</sup> levyä. Mittauksista saadut jakautumat pohja- ja pintakerrokseen ovat näennäisiä,

sillä täysin selvää kerrosrajaa ei voitu todeta. Mittakeppi painui kuitenkin nopeasti tietylle tasolle, minkä jälkeen vajoaminen oli 1-2 mm/minuutissa ja pintakerroksen paksuus voitiin lukea.

Näihin mittauksiin ja aikaisempiin havaintoihin tukeutuen päädyttiin tarkastelemaan alinta neljänneistä ja ylimpiä kolmea neljänneistä pinnan korkeudesta mitattuna.

Laskeutumista tutkittiin 80 l saaveissa, jotka olivat muodoltaan lievästi kartiomaisia. Lietemäärät olivat erisuuruisia ja tulokset on laskettu vastaamaan samoja tilavuuksia.

Kerrosten kuiva-ainepitoisuudet saatiin määrittämällä näytteestä saavin ylemmän osan (3/4) kuiva-ainepitoisuus ja keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus koneellisen sekoituksen jälkeen. Alimman neljänneksen kuiva-ainepitoisuus saatiin tämän jälkeen laskemalla. Kerrosten tiheyksiä ei määritetty, mikä aiheuttaa tuloksiin korkeintaan 0,2 %-yksikön virheen. Näytteiden otosta aiheutuva virhe voi olla luokkaa  $\pm$  1 %-yksikköä. Näytteen luotettavuus huononee, kun lannan kuiva-ainepitoisuus nousee.

### 2.3.2 Tulokset

Tuoreen ja kompostoidun sian lietelannan laskeutumista kuvaavat tulokset on esitetty kuvassa 3.

Vähäisen tarkastelumateriaalin vuoksi ei voida päätellä, että kompostointi vaikuttaisi käytännön kannalta merkittävästi lannan säilymiseen homogeenisempänä. Rinnakkaisnäytteiden tulokset olivat kuitenkin saman suuntaisia ja niiden väliset erot pieniä.

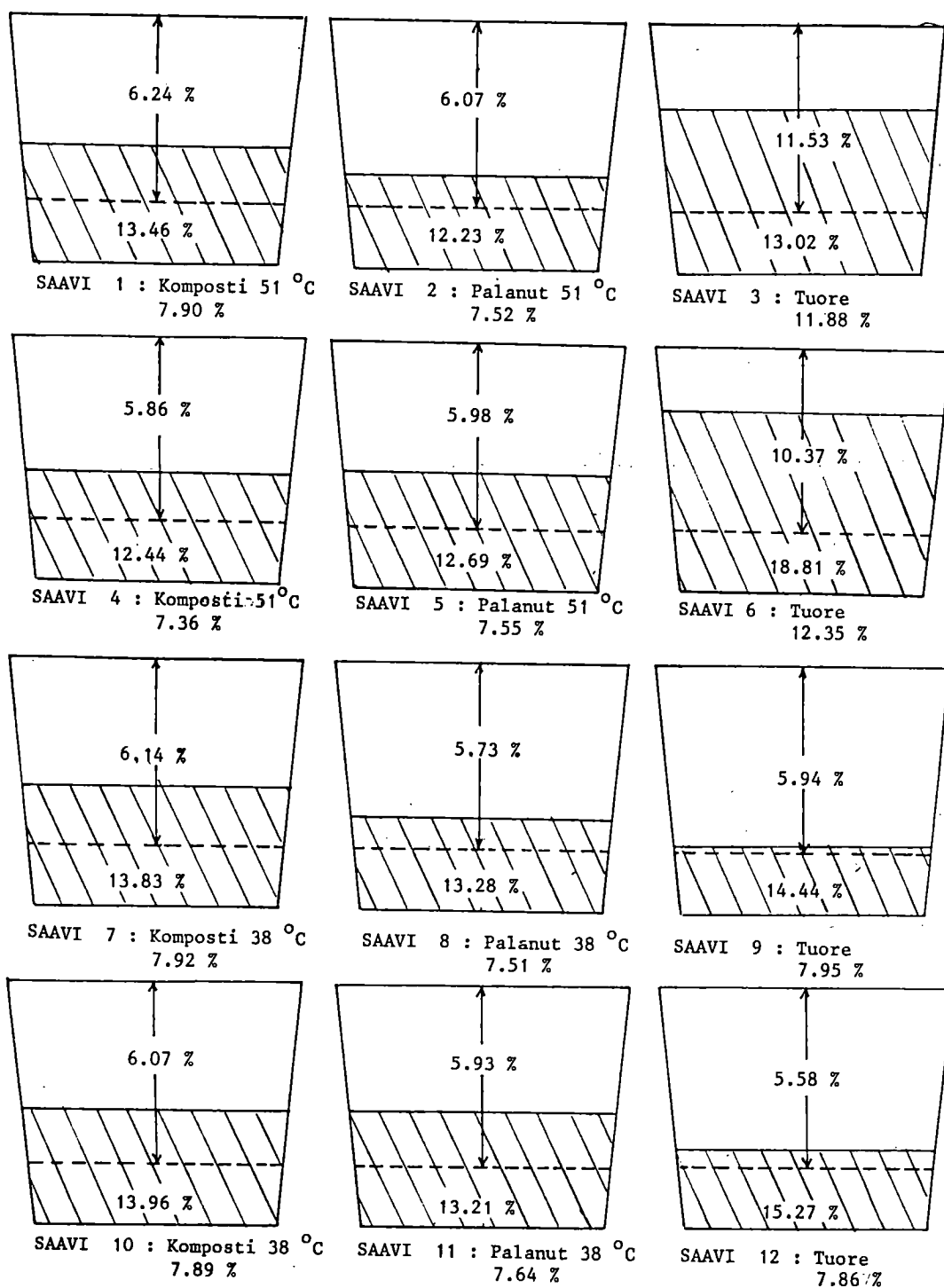
Pohjakerrokseen voimakkaasti vaikuttava tekijä on lannan kuiva-ainepitoisuus. Alimman neljänneksen tiiviys ja kuiva-ainepitoisuus ovat sitä suuremmat mitä paksumpaa lanta alunperin on. Koska kompostointi ohentaa lantaa on tällä sinänsä edullinen vaikutus.

Kuvassa 3 kompostoriin tulevan ja siitä poistuvan lannan laskeutumista esittävät kuvat on asetettu rinnakkain havainnollistamaan molempien koejaksojen tuloksia.

Sen seikan selvittämiseksi, säilyykö kompostoitu lanta homogeenisempänä kuin tuore lanta, kun niiden kuiva-ainepitoisuus on sama, olisi tarvittu enemmän vertailumahdollisuuksia. Nyt vertailukelpoisia ovat saavit 1, 7, 9, 10 ja 12. Näiden perusteella ero on pieni kompostoidun lannan hyväksi. Korkeammassa lämpötilassa käsitelty lanta näyttää laskeutuneen vähemmän kuin matalammassa lämpötilassa kompostoitu, vaikka laskeutumis aika on ollut noin kaksinkertainen.

Selvät erot saatiin mitattaessa tuoreen ja kompostoidun lannan kiintoainekerroksen paksuutta edellä kuvatulla mittakepillä. Tuoreessa lannassa "pohjakerros" oli ohuempi, mutta erottuminen kahteen osaan oli kompostoidussa lannassa selvempi. Tämä todettiin mittaamalla kompostoidun ja tuoreen lannan ylemmän puolikkaan kuiva-ainepitoisuudet, jotka olivat 4,0 % ja 5,0 %.

Yhteenvetona laskeutumiskokeista voidaan päätellä, että kompostointi vaikuttaa sian lietelannan pohjakerroksen säilymiseen sekoituksen ja säiliön tyhjennyksen kannalta parempana kuin tuoreessa lannassa, kompostointiajan ollessa vähintään kaksi viikkoa. Käsittelylämpötilan tulisi olla mahdollisimman korkea.



Kuva 3. Sian lietelannan kerrostuminen saavissa 1-2 kk aikana. Saavit 1-6 (51 °C); laskeutumisaika 2 kk, saavit 7-12 (38 °C); laskeutumisaika 1 kk. Prosenttiluvut ovat alimman neljänneksen ja ylimpien kolmen neljänneksen kuiva-ainepitoisuuksia. Kuvien alla on keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus. Viivoitettu alue kuvaa mitattua "pohjakerrosta". Kompostilanta = säiliöstä otetut näytteet. Palanut lanta = säiliöstä pois pumpatusta lannasta otetut näytteet.

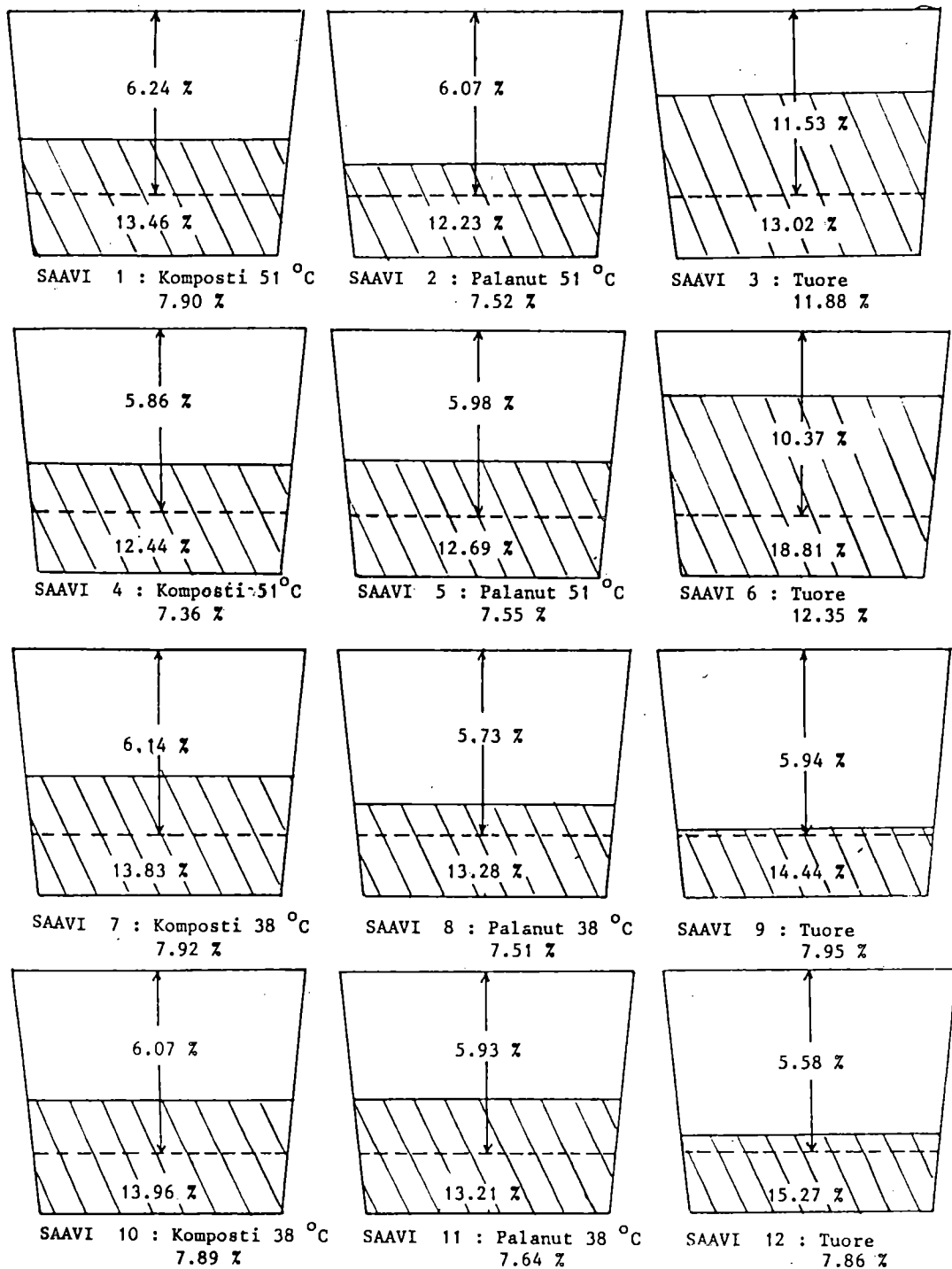


Figure 3. Stratification of pig slurry in buckets during 1-2 months test period. Buckets 1-6 (51 °C): time for stratification 2 months, buckets 7-12 (38 °C): time for stratification 1 month. Percentage values in buckets are total solids contents of bottom (1/4) and top (3/4) layers. Lowest is the mean DM-content of the bucket. Ruled area of the bucket presents the measured "bottom layer". Komposti = sample from the compost tank. Palanut = sample from the slurry leaving the compost tank. Tuore = fresh slurry.



## 2.4 Viskositeetin muuttuminen

### 2.4.1 Viskositeetin määrittäminen

Sian liettelanta on ei-newtoninen, pseudoplastinen aine, jonka virtauskäyttäytymistä kuvaa potenssiyhtälö /Chen 1976b/

$$T = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

jossa  $T$  = leikkausjännitys, Pa

$K$  = konsistenssikerroin,  $\text{Pas}^n$

$\dot{\gamma}$  = leikkausnopeus,  $\text{s}^{-1}$

$n$  = virtauseksponentti ( $n = 0 \dots 1$ )

Yhtälö (1) on voimassa tietyillä leikkausnopeuden alueilla. Viskositeettia määritettäessä tehdään tavallisesti useita määrittäyksiä eri leikkausnopeuden alueilla ja lasketaan kullakin alueella reologiset arvot  $K$  ja  $n$ . Reologisten arvojen ja sekoitussyteemin ominaisuuksien avulla määritetään ns. efektiivinen viskositeetti, joka siis riippuu mm. säiliön ja sekoittajan halkaisijasta ja pyörimisnopeudesta.

$$u_e = K (K_1 N)^{n-1} \quad (2)$$

jossa  $u_e$  = efektiivinen viskositeetti, Pas

$K_1$  = sekoitussysteemin geometriasta ja sekoitintyyppistä riippuva kerroin, dimensioton

$N$  = sekoittajan pyörimisnopeus,  $\text{s}^{-1}$

Efektiivisen viskositeetin avulla voidaan laskea sekoituksen vaatima teho ja tarkastella sekoituksen hvyä.

Tässä tutkimuksessa viskositeetin määrittäykset tuoreelle ja kompostoidulle sian liettelannalle tehtiin VTT:n elintarvikelaboratorion Bohlin rheometer system -laitteistolla. Määrittäminen tehdään automaattisesti leikkausnopeusalueella  $18.6-1500 \text{ s}^{-1}$  tai osalla siitä.

Laitte laskee ja tulostaa kustakin ajosta leikkausjännityksen ja viskositeetin portaittain kasvavalla leikkausnopeudella. Viskositeetit saadaan suoraan ilman käsin tehtävää laskutyötä. Liettelantanäytteiden viskositeettimäärittäykset tehtiin leikkausnopeusalueella  $18,6 - 300 \text{ s}^{-1}$ .

Määrittystä varten näytteistä erotettiin mitoiltaan suuret kiintoaineet seulalla, jonka reikien halkaisija oli noin 7 mm. Alkuperäisnäytteiden ja seulottujen näytteiden kuiva-

Taulukko 2. Viskositeettimäärittäyksessä käytettyjen näyt-  
teiden kuiva-ainepitoisuudet  
Table 2. Total solids content of slurry samples for  
viscosity determining.

Näyte Sample	Näytteen kuiva- ainepitoisuus Total solids of sample %	Seulotun näytteen kuiva-ainepitoisuus Total solids of screened sample %
Kompostoitu laimennettu lanta /51 °C/ Composted and diluted slurry	7,4	6,5
Kompostoitu lanta /51 °C/ Composted slurry	7,5	7,1
Laimennettu tuore lanta Diluted fresh slurry	12,4	7,0
Kompostoitu lanta /38 °C/ Composted slurry	7,5	7,4
Laimentamaton tuore lanta Fresh slurry	8,0	7,6
Kompostoitu lanta /38 °C/ Composted slurry	8,1	8,0
Laimennettu tuore lanta Diluted fresh slurry	12,4	9,8
Laimentamaton tuore lanta Fresh slurry	12,4	11,6

ainepitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Tuoreesta lannasta tehtiin lisäksi kaksi laimennettua näytettä ja kompostoidusta yksi.

Viskositeetin määritykset tehtiin +25 °C lämpötilassa.

#### 2.4.2 Tulokset

Viskositeettimääritysten tulokset on esitetty kuvissa 4 a, b ja c.

Kuvassa 4a on viskositeettikäyrät näytteistä, joiden kuiva-ainepitoisuudet ovat alhaisimmat, kuvassa 4c ne ovat korkeimmat.

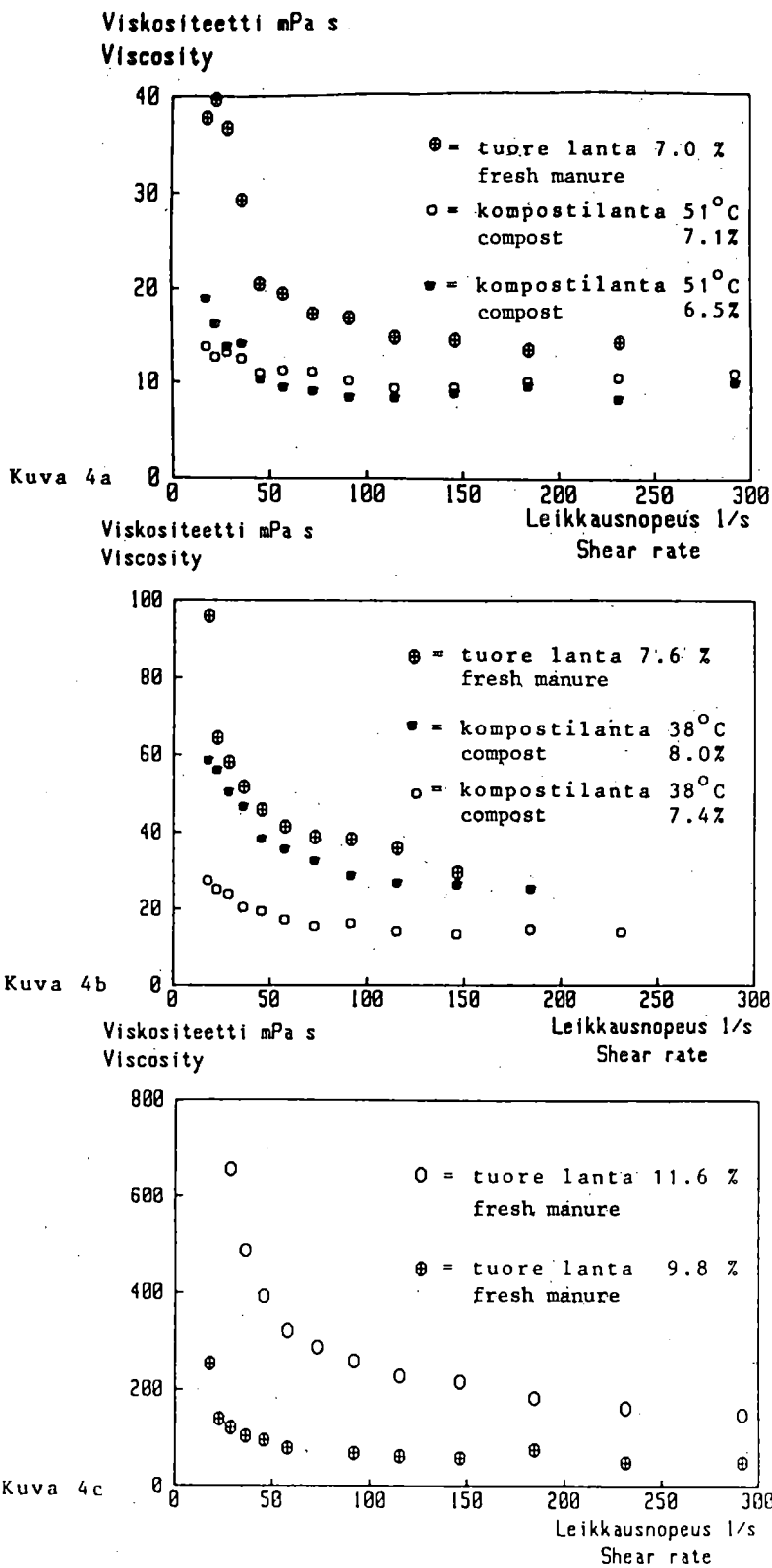
Kuvista havaitaan, että kuiva-ainepitoisuuden nousu suurentaa huomattavasti liotelannan viskositeettia. Kompostointi siis alentaa lannan viskositeettia merkittävästi, koska kuiva-ainepitoisuus alenee käsittelyssä. Tehtyjen määritysten perusteella voidaan myös todeta, että kompostoidun lannan viskositeetti on alempi kuin tuoreen lannan myös silloin, kun niiden kuiva-ainepitoisuudet ovat samat. Tämä nähdään selvästi kuvista 4a ja 4b.

Taulukossa 3 on esitetty tutkittujen lantanäytteiden reologiset arvot määrityksessä käytetyllä leikkausnopeusalueella. Niiden perusteella voidaan todeta, että kompostoitu lanta käyttäytyy enemmän newtonisen nesteen tavoin kuin kompostoitamaton lanta (n arvo lähempänä yhtä).

Taulukko 3. Lantanäytteiden reologiset arvot  
Table 3. Rheological values of slurry

	Kuiva-aine pitoisuus TS %	Leikkaus- nopeus- Shear rate s <sup>-1</sup>	n	K Pa s <sup>n</sup>
Kompostoitu laimennettu lanta /51 °C/ Composted and diluted slurry	6,5	18,6-292	0,75	0,0317
Kompostoitu lanta /51 °C/ Composted slurry	7,1	18,6-292	0,89	0,0180
Laimennettu tuore lanta Diluted fresh slurry	7,0	18,6-232	0,53	0,151
Kompostoitu lanta /38 °C/ Composted slurry	7,4	18,6-232	0,72	0,0588
Tuore lanta /38 °C/ Fresh slurry	7,6	18,6-147	0,53	0,301
Kompostoitu lanta /38 °C/ Composted slurry	8,0	18,6-185	0,60	0,190
Laimennettu tuore lanta Diluted fresh slurry	9,8	18,6-292	0,53	0,626
Tuore lanta Fresh slurry	11,6	36,9-292	0,45	3,22

Viskositeetin alenemisen merkitystä kompostoinnin seurauksena tarkastellaan lähemmin liitteessä 2 lannan sekoitusta käsittelevän mitoitusesimerkin avulla.



Kuva 4.  
Figure 4.

Sian liettelannan viskositeetti eri leikkaunopeuksilla.  
Viscosity of pig slurry at different shear rates.

3. KOELAITTEISTON TOIMINTA  
3.1 Kompostorin käyttö

Koelaitteistona toimineen kompostorin käyttö oli suhteellisen vaivatonta ja vähän työtä aiheuttavaa. Normaalikäytössä riittää päivittäinen tyhjennys ja täyttö, mikä vie aikaa 15-20 minuuttia. Talvella sattui pari jäätymistapausta lietelantalinjassa ja kiertovesipiirissä, jotka osoittivat, että koelaitteisto on vielä arka häiriötilanteille. Huolto- ja käyttökatkosten takia putkistot on eristettävä huolellisesti.

Ilmastimien kompressorissa, lietelantapumpussa ja vaahdonhävittimessä ei enää esiintynyt parannusta vaativia vikoja. Sen sijaan lautasilmastimien huolto on yhä hankalaa. Tutkimuksen aikana voitiin kuitenkin kokeilla ilmastimen tarkistamista ja huoltoa käytön aikana, koska ilmastin tehtiin ylösnostettavaksi. Käytöstä saadut kokemukset osoittivat, että huolto voidaan tehdä kompostorin kannen tasalla. Huoltoa varten huoltoluukusta on tehtävä riittävän väljä, ettei elementtien irrottaminen vaikeudu tilan puutteen takia. Säiliön kannen suunnittelussa on huomioitava huoltotason rakentaminen. Ilmastimien huolto käsittää normaalisti ilmastinlevyjen vaihdon uusiin tai puhdistettuihin. Levyjen irrotus ja paikalleen pano ei ole vaivatonta ja nopeaa ko. olosuhteissa. Kymmenen ilmastinelementin huolto vei koeolosuhteissa 6-8 työtuntia yhdeltä henkilöltä. Lisäksi elementtien mekaanisessa kestävyudessa on puutteita. Vanhojen osien puhdistus ja uusien hankinta on tehtävä hyvissä ajoin ennen huoltoa.

Toistaiseksi ilmastimia ei ole voitu kokeilla jatkuvassa koko lämmityskauden kestävässä käytössä tutkimustavoitteiden takia. Kuuden kuukauden huoltoväli on siksi vain arvio ja perustuu lyhyempinä käyttöjaksoina saatuihin kokemuksiin ja vastapainemittauksiin kolmen vuoden aikana.

Oman hankaluutensa käytölle aiheutti päivittäisten lantaerien epähomogeenisuus. Lannan kuiva-ainepitoisuus vaihteli suuresti sikalan tilanteesta riippuen. Tähän vaikutti omalta osaltaan tutkimusohjelma ja -aikataulu sekä toisaalta sikojen lukumää-

rän vaihtelu. Pitempiaikaisessa käytössä on ilmeisesti helpompi säädellä päivittäistä lantamäärää ja pitää kompostori jatkuvuustilassa. Syötetyn lannan määrä samoin kuin kompostorista poistetun lannan määrä on pystyttävä arvioimaan tai mittaamaan myös käytännön oloissa.

Termofiilisella alueella tapahtuneessa kokeessa ilmeni lieviä viiveitä ja häiriötilanteita, joiden oletetaan aiheutuneen lannan liian korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta tai liian suuresta kuiva-ainemäärästä, liite 3, lämpötilakäyrät.

Häiriötilanteet eivät johtaneet täydelliseen "sammumiseen", mutta kompostorin lämpötila laski voimakkaasti. Yleensä niistä selvittiin odottamalla tai ottamalla kompostoriin pieni erä "ohutta" lantaa. Häiriötilanteita ilmeni myös aikaisemmin keväällä 1985, kun kompostoria yritettiin käyttää alle kahdeksan vuorokauden viipymällä. Koelaitteiston minimiviipymän tulisi siksi olla kymmenen vuorokautta.

### 3.2 Lämmön kehitys

Molempien koejaksojen aikana mitattu lämmön kehitys, lämmön talteenotto ja sähköenergian kulutus sekä muiden mitattujen suureiden keskimääräiset arvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kompostilämmön mittaustulokset  
Table 4. Results of compost heat measurements

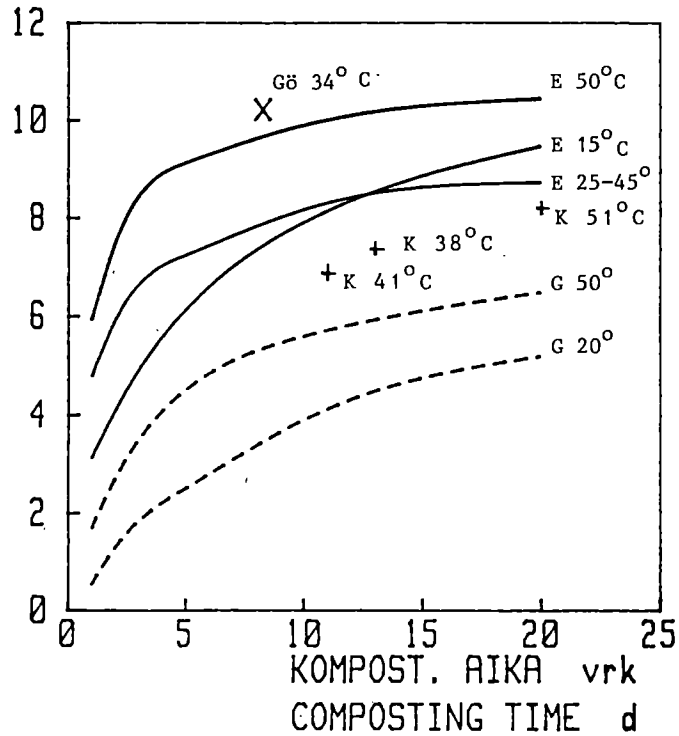
Koe n:o Test nr		1	2
Koeaika Test period		3.3.-21.3	15.4.-25.4
Kokeen pituus Test duration, days	vrk	18	10
Keskimääräiset lämpötilat: Mean temperatures:			
Komposti Compost	°C	51,3	37,9
Ulkoilma Outside	°C	-2,3	+0,9
Tuleva lanta Incoming slurry	°C	13	14
Keskimääräinen viipymä* Mean delay time, days	vrk	20	13
Ilmamäärä Volume flow	m <sup>3</sup> /h	71,4	71,6
Poistoilman hukkalämpö Wasted energy in exhaust air	kWh/vrk kWh/day	171	77
Poistoilman lämmönvaihtimella talteen saatu lämpö Heat recovered with exhaust air heat exchanger	kWh/vrk kWh/day	81	36
Eristyshäviöt Insulation losses	kWh/vrk kWh/day	56	39
Lannan lämpiämiseen kulunut lämpö Energy to warm up slurry	kWh/vrk kWh/day	66	50
Säiliön lämmönvaihtimella talteen saatu lämpö Heat recovered with heat exchanger in tank	kWh/vrk kWh/day	71	138
Kompostilämmön kehittyminen Generation of compost heat	kWh/vrk kWh/kgjka kWh/day kWh/kgTS	364 2,29	307 2,05
Lämmön talteenotto Heat recovery	kWh/vrk kWh/kgjka kWh/day kWh/kgTS	152 0,96	174 1,16

\* kWh/kg syötettyä kuiva-ainetta

\* kWh/kg incoming TS



KOMP.LÄMPÖ MJ/kg ka  
COMP. HEAT MJ/kg TS



Kuva 5. Kompostilämmön kehitys jatkuvatoimisessa kompostissa.  
Figure 5. Generation of compost heat in an continuous feed reactor.

E = /Evans 1982/ sian lietelanta  
pig slurry  
G = /Grant 1974/ naudan lietelanta  
cattle slurry  
Gö = /Göbel 1981/ sian lietelanta  
pig slurry  
K = /Koivisto 1986/ sian lietelanta  
pig slurry

Termofiilisella alueella kokonaislämmön kehitys on ollut kompostoriin syötettyä kuiva-ainekiloa kohden hiukan suurempi. Kun käsittelyajat 20 vrk ja 13,3 vrk otetaan huomioon, voidaan todeta, ettei lämpömäärissä ole oleellista eroa.

Mesofiilisen alueen kokeessa lämpöä on "otettu talteen" enemmän, mikä näkyy myös parempana lämpökertoimena 1. hyötylämmön ja kulutetun sähköenergian suhteena. Poistoilman lämmönvaihtimen osuus lämmön talteenotosta suurenee käsittelylämpötilan noustessa.

Käsittelylämpötilan ollessa termofiilisella alueella, lämpöenergian arvo ja käyttömahdollisuudet kasvavat, mikä täytyy huomioida tuloksia vertailtaessa.

Kompostoria käytettiin noin 60-70 % teholla. Ilmamäärää lisäämällä voidaan syöttöäkin suurentaa (käsittelyaikaa lyhentää), jolloin nettolämpöteho kasvaa, vaikka myös häviöt kasvavat. Sähkönkulutus suurenee tällöin ilmamäärää vastaavasti.

Kuvassa 5 on esitetty vuosina 1985-1986 mitatut kompostilämpömäärät muissa tutkimuksissa saatujen tuloksien kanssa. Esimerkiksi englantilaisen Evansin /Evans, 1982/ tuloksista Vihdissä mitatut arvot ovat noin 80%.

### 3.3 Käytön kannattavuus

Viimeaikaiset öljyn hinnan laskut ovat huonontaneet kompostilämmön hyödyntämisen kannattavuutta. Pelkästään lämmön hyödyntämisenäkökulmaa ajatellen tyydyttävälle kannattavuudelle on edellytyksiä vain suurissa yksiköissä, joissa lietelantaa syntyy yli 2 m<sup>3</sup>/vrk, tällöinkin tietyin varauksin.

#### 4. YHTEENVETO

Kompostointi helpottaa sian lietelannan sekoitusta ja normaalia jatkokäsittelyä alentamalla lannan kuiva-ainepitoisuutta, jolloin viskositeetti alenee ja lannan pohjakerros säilyy sekoituksen ja tyhjennyksen kannalta parempana kuin tuoreessa lannassa. Viskositeetin ja laskeutumisen erot eivät aiheudu pelkästään kuiva-ainepitoisuuden alenemisesta, vaan kompostointi vaikuttaa myös lannan rakenteeseen.

Kompostoitu lanta voidaan sekoittaa pienempitehoisella sekoittimella tai käytännössä saman tehoisella paremmin kuin tuore lanta. Ero laskennallisesti on merkittävä.

Helpotusta jatkokäsittelyssä syntyy myös siitä, että kompostoinnissa lannan määrä vähenee 10-20 %.

Tutkimuksessa käytetyn koelaitteiston tekniikka on korkeintaan tyydyttävää. Suurimpana varjopuolena on suhteellisen tiheä huoltoväli ja työläs huolto. Koelaitteistoa käytettiin 2/3-teholla jatkuvatoimisena keskimäärin yli 50 °C lämpötilassa, jolloin hyötylämpöä saatiin 3,5-kertaisesti kulufettuun sähköenergiaan nähden. Käyttölämpötilan ollessa alle 40 °C lämpökerroin oli 5,3.

Kompostoinnin yleistyminen edellyttää ilmastustekniikan kehitystä. Kustannukset eivät kuitenkaan saisi nousta nykyisestä.

**KIRJALLISUUS**

- Chen, Y.R. and A.G. Hashimoto, 1976b. Pipeline transport of livestock waste slurries. Transactions of the ASAE 19(5):898-902, 906.
- Chen, Y.R., 1981. Impeller Power Consumption in Mixing Livestock Manure Slurries. Transactions of the ASAE.
- Chen, Y.R. Engineering properties of beef cattle manure. ASAE paper n:o 82-4085. 1982.
- Evans, M.R., Svoboda, I.F. Recovery of heat from aerated liquid manure. Seminar on composting organic wastes, Aarhus, 8-9.11.1982, 133-168.
- Grant, F. Liquid aerob composting of cattle wastes and evaluation of byproducts. EPA (Environmental Protection Agency) -66012-74-034. May 1974, 7-10.
- Göbel, W. Wärme aus belufteter Schweinegülle. Landtechnik 7/8, August 1981, 345-349.
- Koivisto, K., Aarnio, K., Karhunen, J. Lietelannan kompostointilämmön talteenotto, VAKOLAn tutkimusselostus nro 41. Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus.

Sekoitustehon laskeminen

Seuraava laskentamenettely on esitetty tutkimusselostuksessa "Impeller power consumption ja mixing livestock manure slurries" /Chen 1981/.

Sekoittimen tehontarve riippuu mm. sekoitettavan aineen ominaisuuksista (viskositeetti ja tiheys), sekoitussysteemin geometriasta (sekoittimen halkaisija/säiliön halkaisija, virtausesteiden käyttö), sekoitintyypistä (turbiini-, potkurisekoitin) ja sekoittimien pyörimisnopeudesta.

Säiliössä, jossa ei ole virtausesteitä (tasainen, lieriömäinen seinä), sekoituksen tehontarvetta voidaan tarkastella dimensiottoman ns. Reynoldsin luvun ( $N_{Re}$ ) avulla.

$$N_{Re} = \frac{\rho D^2 N}{\mu_e} \quad (1)$$

jossa  $\rho$  = nesteen tiheys,  $\text{kg/m}^3$   
 $D$  = sekoittimen halkaisija, m  
 $N$  = sekoittimen pyörimisnopeus,  $\text{s}^{-1}$   
 $\mu_e$  = efektiivinen viskositeetti, Pas

Reynoldsin luku kuvaa sekoituksen hyvyttä; mitä suurempi  $N_{Re}$  sitä parempi sekoitus. Riittävä sekoitus saavutetaan yleensä kun  $N_{Re}$  on suurempi kuin 20 000.

Sekoituksen vaatima teho lasketaan yhtälöstä

$$P = \rho N^3 D^5 N_p \quad (2)$$

jossa  $P$  = teho, W  
 $N_p$  = teholuku, dimensioton

Teholuku ( $N_p$ ) riippuu virtausesteettömässä systeemissä vain Reynoldsin luvusta ja on geometrisesti samankaltaisissa systeemeissä sama tietyllä Reynoldsin luvun arvolla.

Jotta sekoittimen tehontarve voitaisiin etukäteen laskea tietyssä yksittäistapauksessa, on tunnettava geometrisesti samankaltaisen sekoitussysteemin teholuku Reynoldsin luvun vaihdellessa.

Artikkelissa (Chen 1981) on määritetty erityyppisille sekoittimille ja sekoittimen halkaisija-säiliön halkaisija -suhteille teholuvut, joita tässä esitetyissä esimerkeissä on käytetty hyväksi. Artikkelissa on tutkittu naudan lietelannan sekoi- tusta, joten sian lietelannalle on tässä käytetty aikaisemmin VTT:n elintarvikelaboratoriossa tehtyjen viskositeettimääri- tysten perusteella laskettuja reologisia arvoja.

Menetelmä P:n määrittämiseksi on seuraava:

1. Sekoittimen pyörimisnopeuden ja lietelannan reolo- gisten arvojen avulla lasketaan efektiivinen visko- siteetti ( $\mu_e$ ) aikaisemmin esitetyn yhtälön (3) avulla.

$$\mu_e = K (K_1 N)^{n-1} \quad (3)$$

Keskimääräisen leikkausnopeuden on todettu olevan suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen ja kerroin  $K_1$  on kullekin sekoitintyypille ja sekoittimensäi- liön läpimitan suhteelle ominainen vakio.

2. Lasketaan  $N_{Re}$  käyttäen yhtälöä (1) ja etsitään tätä vastaava teholuku.
3. Lasketaan netto tehonkulutus käyttäen yhtälöä (2).

### Esimerkki

Oletetaan säiliön tilavuudeksi  $100 \text{ m}^3$  ja halkaisijaksi  $5,3 \text{ m}$ . Sekoittimena käytetään 3-lapaista potkurimallista sekoi- tinta. Valitaan sekoittimen ja säiliön halkaisijan suhteeksi  $0,20$ , jolloin potkurin halkaisijaksi saadaan  $1,06 \text{ m}$  ja  $K_1$ :n arvo on  $6,2$ .

Sekoitettavana lietteenä on sian lietelanta, jonka kuiva-ainepitoisuus on 10 % ja tiheys  $1035 \text{ kg/m}^3$ . Tällaisen kompostoitamattoman sian lietelannan reologiset arvot ovat sivulla 15 olevan taulukon 3 mukaan :  $n = 0,53$  ja  $K = 0,626 \text{ Pas}^n$  (leikkausnopeusalue  $18,6-292 \text{ s}^{-1}$ ).

Jotta sekoitus olisi riittävä, täytyy  $N_{Re}$  olla yli 20 000. Kokeilemalla eri pyörimisnopeuksilla (N) havaitaan, että kun  $N = 2,8 \text{ r/s}$ ,  $N_{Re} > 20\ 000$ .

Efektiivinen viskositeetti ( $N = 2,8 \text{ s}^{-1}$ )

$$\begin{aligned} \mu_e &= 0,626 (6,2 \quad 2,8 \text{ s}^{-1})^{0,53-1} \\ &= 0,164 \text{ Pas} \end{aligned}$$

$$N_{Re} = 1035 \quad 1,06^2 \quad 2,8 \quad 19\ 855 \\ 0,164$$

$N_{Re}$  vastaava teholuku  $N_p \quad 4,0$

Tehontarpeeksi moottorin 75 % hyötysuhteella saadaan

$$P = 1035 \quad 2,8^3 \quad 1,06^5 \quad 0,40 \quad 16,2 \text{ kW} \\ 0,75$$

Säiliössä olevan lietelannan riittävään sekoitukseen jatkuvuustilassa kuluu tehoa noin 16 kW.

Mikäli sekoitettavana on kompostoitua lietelantaa, jonka kuiva-ainepitoisuus on esimerkiksi 8,0 % ja tiheys  $1030 \text{ kg/m}^3$  saadaan sille taulukosta 3 seuraavat reologiset arvot:  $n = 0,60$  ja  $K = 0,190 \text{ Pas}^n$ .

Kun sekoittimen pyörimisnopeus  $N = 1,5 \text{ s}^{-1}$  saadaan

$$\mu_e = 0,190 (6,2 \quad 1,6)^{0,6-1} = 0,076 \text{ Pas}$$

ja

$$N_{Re} = 1030 \quad 1,06^2 \quad 1,6 \quad 24\ 400 \\ 0,076$$

$N_{Re}$  vastaava teholuku  $N_p \approx 4,0$

Tehontarpeeksi saadaan

$$P = \frac{1030 \cdot 1,6^3 \cdot 1,06^5 \cdot 0,4}{0,75} = 3,0 \text{ kW}$$

Lietelannan laskeutumisen ja kerrostumisen takia tarvittavien sekoitustehojen ero kompostoitua tai kompostoimatonta lantaa sekoitettaessa lienee käytännössä pienempi. Laskennallisesti kompostoidun lannan sekoittuminen jatkuvuustilassa vaatii merkittävästi vähemmän tehoa.



## **OSA II**

# **KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS SIAN LIETELANNAN LANNOITUSARVOON**

**EFFECT OF COMPOSTING ON THE FERTILIZER  
VALUE OF SWINE SLURRY**

**Erkki Kemppainen - MTTK**

SISÄLLYSLUETTELO, OSA II

SIVU

TIIVISTELMÄ

I

SAMMANFATTNING

II

SUMMARY

III

Johdanto

1

Aineisto ja menetelmät

1

Tulokset

4

Tulosten tarkastelu

13

Kirjallisuusluettelo

17

Liitteet

19

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa analysoitiin VAKOLAN kompostointikokeista saatuja sianlietelantanäytteitä sekä tehtiin astiakokeita kompostoimattoman, 38 °C:ssa kompostoidun ja 51 °C:ssa kompostoidun lietelannan lannoitusarvon selvittämiseksi. Koekasvi oli italianraiheinä.

Taselaskelmien perusteella lietelannan kokonaistypen häviö oli 21 % ja ammoniumtypen häviö 29 %, kun liete kompostoitettiin 38 °C:n lämpötilassa. Kun liete kompostoitettiin 51 °C:ssa, olivat häviöt vastaavasti 36 % ja 49 %. Vertailtaessa kompostisäiliöön lisättyä ja siitä poistettua lietelantaa todettiin, että kompostoimaton liete sisälsi tilavuusyksikköä kohden selvästi enemmän typpeä kuin kompostoidut lannat. Sen sijaan lietelannan fosfori- ja kaliumpitoisuus kohosi hieman kompostoinnin aikana. Lietelannat eivät sisältäneet nitraattityppeä.

Astiakokeissa tuore liete osoittautui selvästi paremmaksi lannoitteeksi kuin kompostoidut lietelannat. Kompostoidut lietteet eivät juurikaan eronneet toisistaan. Kompostoimattoman ja kompostoitujen lietteiden typen näennäinen hyväksikäyttö osoittautui suunnilleen yhtä suureksi. Kompostointi ei vähentänyt lietelannan heinäkasvustoa tahraavaa vaikutusta.

## SAMMANFATTNING

Svinflytgödsel från komposteringsförsök i Vichtis analyserades, och två kärlförsök med italienskt rajgräs utfördes för att jämföra gödslingsinverkan av okomposterade och komposterade (38 °C eller 51 °C) flytgödselprov.

Under komposteringen vid 38 °C förlorades 21 % av flytgödselns totalkväve och 29 % av dess ammoniumkväve. Under komposteringen vid 51 °C förlorades 36 % av flytgödselns totalkväve och 49 % av dess ammoniumkväve. De komposterade flytgödselproven innehöll betydande mindre kväve men lite mera fosfor och kalium än de okomposterade proven.

I kärlförsöken visade sig den okomposterade flytgödseln vara ett klart bättre gödslingsmedel i jämförelse med de komposterade flytgödselproven. De två komposterade flytgödselproven var nästan likvärdiga. Totalkvävetets skenbara utnyttjande var nästan detsamma för alla flytgödselproven. Komposteringen hade ingen betydande inverkan på flytgödselns vegetationssmutsande egenskap.

## SUMMARY

Swine slurry samples from the composting experiment at Vihti were analyzed, and two pot experiments with Italian ryegrass were carried out to examine the fertilizer value of uncomposted and composted (38 °C or 51 °C) slurries.

During composting at 38 °C, 21 % of the total nitrogen and 29 % of the ammonia nitrogen in slurry were lost. During composting at 51 °C, 36 % of the total nitrogen and 49 % of the ammonium nitrogen were lost, respectively. Composted slurries contained significantly less nitrogen but slightly more phosphorus and potassium compared to uncomposted slurries.

In pot experiments, the fertilizer value of uncomposted slurry was much higher than that of composted slurries. No major differences were found between the two composted slurries. The apparent recovery of total nitrogen was about the same for all the slurries examined. Composting did not reduce the staining of grass caused by slurry.

## Johdanto

Kiinnostus karjanlannan kompostointiin perustuu energian talteenoton lisäksi lannan määrän vähenemiseen kompostoinnissa ja sen muuttumiseen käsiteltävyydeltään ja ympäristövaikutuksiltaan hapettamatonta lantaa paremmaksi. Kompostointi vähentää lannan hajua ja hapenkulutusvaikutusta. Lisäksi se aiheuttaa suurta typenhäviötä, ja tätä kompostoinnin ominaisuutta onkin tietoisesti käytetty hyväksi silloin, kun lantaa muodostuu käytettävään peltoalaan nähden liikaa. Pyrittäessä karjanlannan ravinteiden tehokkaaseen hyväksikäyttöön on kompostoinnin aiheuttamaa typenhäviötä kuitenkin pidettävä pahana haittana.

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten energian talteenottamiseksi tehty jatkuvatoiminen kompostointi maatalakäyttöön soveltuvalla laitteella vaikuttaa sian lietelannan lannoitustarvoon.

## Aineisto ja menetelmät

Kompostointikokeiden aikana otettiin kunkin lietelisyksen ja -poiston yhteydessä näytteet kompostoriin lisätystä tuoreesta lannasta, siitä poistetusta palaneesta lannasta ja suoraan kompostisäiliöstä. Suoraan kompostisäiliöstä otetun näytteen avulla haluttiin lähinnä selvittää, edustiko poistettu lanta

koko kompostorin sisältöä. Kaikista näytteistä määritettiin pH sekä kuiva-aineen, kokonaistypen, ammoniumtypen, fosforin ja kaliumin pitoisuus. Ammoniumtypellä tarkoitetaan tässä raportissa ammoniakki- ja ammoniumtypen yhteismäärää. Nitraattityppi määritettiin vain osasta näytteitä. Määritykset tehtiin MTTK:ssa vakiintuneiden lanta-analyysimenetelmien mukaan (KEMPPAINEN 1984). Määritysten perusteella laskettiin kompostoinnin aikana tapahtuneet ravinnehäviöt.

Astiakokeissa tutkittiin tuoreen ja kompostoitujen lietteiden arvoa raiheinän lannoitteena. Kokeet tehtiin 6 litran vetoisissa muoviastioissa, joihin punnittiin aitosavea 5 kg/astia. Kokeissa käytetyt lannat oli saatu keräämällä yhteen kustakin lannasta kompostoriin lisäyksen ja siitä poiston yhteydessä otetut n. 5 litran suuruiset näytteet, kukin lantalaji omaan 80 litran saaviinsa. Lantoja varastoitiin avonaisissa saaveissa noin neljän kuukauden ajan ennen niiden käyttöä astiakokeissa. Tällä järjestelyllä pyrittiin selvittämään, vaikutti kompostointi lietteen varastointiaikaiseen typpihäviöön. Varastointikokeiden typpimäärityksistä ei kuitenkaan ole keranteita. Kompostoitamaton sian lietelanta sisälsi varastoinnin jälkeen kokonaistyppeä 6,69 g/l ja ammoniumtyppeä 4,40 g/l, 38 °C:ssa kompostoitu liete sisälsi kokonaistyppeä 4,64 g/l ja ammoniumtyppeä 2,80 g/l, ja 51 °C:ssa kompostoitu liete sisälsi kokonaistyppeä 4,59 g/l ja ammoniumtyppeä 2,65 g/l. Lietteet eivät sisältäneet nitraattityppeä. Lietelantojen

ohella kokeissa olivat verranteina lannoittamaton sekä 750 mg ja 1500 mg väkilannoitetyyppeä (ammoniumnitraattina) saaneet koejäsenet. Kaikki koejäsenet saivat väkilannoitefosforia, -kaliumia ja -magnesiumia kokeen perustamisen yhteydessä ja toisen niiton jälkeen (400 mg P, 1000 mg K ja 200 mg Mg astiaa kohden).

Astiakoe 1:ssä olivat koetekijöinä lietelaji (tuore, kompostoitu 38 °C:ssa ja kompostoitu 51 °C:ssa), lietemäärä (1 dl, 2 dl tai 3 dl/astia) ja lietteen levitystapa (sekoitus koko maamäärään tai levitys maan pintaan). Lietteiden lisäämisen jälkeen astioita pidettiin huoneenlämmössä (noin 20 °C) yhden vuorokauden ajan. Tämän jälkeen niihin lisättiin vielä ohut kerros aitosavea, jonka pinnalle raiheinä kylvettiin. Näin siemenet eivät joutuneet suoraan kosketukseen lietelannan kanssa. Astioita kasteltiin runsaasti deionisoidulla vedellä koko koekauden ajan. Kokeesta leikattiin heinä kolme kertaa, ja satojen typpipitoisuus analysoitiin Kjeldahl-menetelmällä. Kuiva-ainesadosta ja sen typpipitoisuudesta laskettiin raiheinän typenotto (mg/astia). Typen näennäinen hyväksikäyttö saatiin vähentämällä kunkin koejäsenen typenotosta lannoittamattoman koejäsenen typenotto ja laskemalla tämän erotuksen osuus astiaan lietelannassa tai väkilannoitteesta annetusta typpimäärästä.



Astiakoe 2:ssa olivat koetekijöinä lietelaji (tuore, kompostoitu 38 °C:ssa ja kompostoitu 51 °C:ssa) sekä lietemäärä (1 dl, 2 dl tai 3 dl/astia). Liete ja verrannetyppilannoite levitettiin raiheinän pintaan kaksi päivää ensimmäisen niiton jälkeen. Raiheinä oli kylvetty noin kuusi viikkoa aikaisemmin, ja sille oli kylvön yhteydessä annettu peruslannoitteeksi 300 mg N, 400 mg P, 1000 mg K ja 200 mg Mg astiaa kohden. Astioita kasteltiin runsaasti deionisoidulla vedellä koko koekauden ajan. Kokeesta leikattiin heinä kolme kertaa liete-lannoituksen jälkeen, ja satojen typpipitoisuus analysoitiin Kjeldahl-menetelmällä. Kuiva-ainesadosta ja sen typpipitoisuudesta laskettiin raiheinän typenotto ja lietelannan sekä väkilannoitteen typen näennäinen hyväksikäyttö. Koekauden aikana pyrittiin silmämääräisesti arvioimaan, kuinka paljon liete tahrasi heinäkasvustoa eri koejäsenissä.

Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SAS-ohjelmistolla (ANON. 1985). Erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin Tukey'n testillä 5 %:n riskillä, ja tämä pienin merkitsevä ero ilmaistaan taulukoissa otsikolla HSD (P = 0,05).

### Tulokset

Lannan ravinnepitoisuus: Kompostointi alensi lannan pH:ta, mutta erot lantojen välillä olivat kuitenkin hyvin pieniä (taulukko 1). Kompostointi 38 °C:ssa pienensi merkitsevästi

Taulukko 1. Kompostisäiliöön lisätyn tuoreen lietteen, siltä poistetun palaneen lietteen ja suoraan kompostisäiliöstä otetun lietenäytteen kemialliset ominaisuudet. Näytteiden lukumäärä 10 kpl/liete.

Table 1. Chemical properties of uncomposted and composted slurries. Number of samples was 10 per slurry.

Lannan ominaisuus Property	38 °C				51 °C			
	tuore liete uncom- posted	palanut liete com- posted <sup>1)</sup>	kompostorin näyte composted <sup>2)</sup>	HSD (P = 0,05)	tuore liete uncom- posted	palanut liete com- posted <sup>1)</sup>	kompostorin näyte composted <sup>2)</sup>	HSD (P = 0,05)
	pH	9,30	9,28	9,26	0,04	9,23	9,09	9,08
Kuiva-aine, % Dry matter, %	7,4	7,5	7,6	1,1	9,0	6,8	6,5	1,8
Kokonais, mg/g tuorepainossa Total, mg/g per fresh weight	6,7	5,9	6,0	0,2	6,8	5,0	5,2	0,5
Nammonium, mg/g tuorepainossa Nammonium, mg/g per fresh weight	4,9	3,6	3,7	0,1	4,9	3,2	3,3	0,5
P, mg/g tuorepainossa P, mg/g per fresh weight	2,2	2,3	2,7	0,3	2,8	2,4	2,4	0,6
K, mg/g tuorepainossa K, mg/g per fresh weight	2,8	2,9	2,9	0,1	2,6	2,7	2,8	0,2
Kokonais, mg/g kuiva-aineessa Total, mg/g per dry matter	93	80	79	10	83	75	80	24
Nammonium, mg/g kuiva-aineessa Nammonium, mg/g per dry matter	68	49	49	8	60	47	51	20
P, mg/g kuiva-aineessa P, mg/g per dry matter	29	31	35	2	32	35	36	2
K, mg/g kuiva-aineessa K, mg/g per dry matter	38	39	38	4	32	41	43	10
Namm./Nkok., % Namm./Ntotal, %	73	62	61	2	72	63	64	5

<sup>1)</sup> Samples from the removed slurry

<sup>2)</sup> Samples from the slurry in the composting tank

kokonaistypen ja ammoniumtypen pitoisuutta sekä tuorepainoa että kuiva-ainetta kohden ja ammoniumtypen osuutta kokonaistypestä. Toisaalta se kohotti lannan fosfori- ja kaliumpitoisuutta, etenkin verrattaessa tuoretta lantaa suoraan kompostisäiliöstä otettuun lantanäytteeseen. Kompostointi 51 °C:ssa pienensi merkitsevästi kuiva-ainepitoisuutta sekä kokonaistypen ja ammoniumtypen pitoisuutta tuorepainoa kohden, mutta kuiva-ainetta kohden laskettujen typpipitoisuuksien erot eivät olleet merkitseviä. Se pienensi myös ammoniumtypen osuutta kokonaistypestä, mutta kohotti kaliumin pitoisuutta tuorepainoa kohden sekä fosforin ja kaliumin pitoisuutta kuiva-aineessa. Erot poistetun palaneen lannan ja suoraan kompostorista otetun lantanäytteen välillä olivat yleensä melko pieniä hajontaan nähden. Ainoa huomattava ero oli 38 °C:ssa kompostoidun lietteen fosforipitoisuudessa, joka oli kompostisäiliön näytteessä merkitsevästi suurempi kuin poistetussa palaneessa lannassa. Ravinnehäviötä laskettaessa käytettiinkin tässä kohdassa kompostisäiliön lietteen fosforianalyysitulosta. Lietelannat eivät sisältäneet nitraattityppeä.

Ravinnehäviöt kompostoinnin aikana: Kun otettiin huomioon kompostisäiliössä alunperin ollut liete, siihen koeaikana lisätty ja siitä poistettu liete sekä säiliöön kokeen lopussa jäänyt liete, kokonaistypen häviön osuus lisätyn lietteen sisältämästä typpimäärästä oli 38 °C kompostoinnissa 21 % ja 51 °C:n kompostoinnissa 36 % (taulukko 2). Ammoniumtypen mää-

Taulukko 2. Lietteiden typpitas.  
Table 2. Nitrogen balance of the slurries.

	Kompostorissa kokeen alussa, kg In the tank at the be- ginning, kg	Lisätty kokeen aikana, kg/d Added in slurry, kg/d	Kompostorissa kokeen lopus- sa, kg In the tank at the end, kg	Poistettu kokeen aikana, kg/d Removed, kg/d	Määrän muutos kokeen aikana, kg Change during the test, kg		Hävikin osuus syö- töstä, % Loss, % of added nit- rogen
					kg/d	kg/d	
<b>38 °C (koeaika 10 d)</b> <b>38 °C (experimental time 10 d)</b>							
Nkokonais Ntotal	164	13,3	153	11,6	-28	-2,8	21
Naammonium Nammonium	103	9,7	96	7,1	-33	-3,3	34
Norgaaninen Norganic	61	3,6	57	4,5	+ 5	+0,5	
<b>51 °C (koeaika 18 d)</b> <b>51 °C (experimental time 18 d)</b>							
Nkokonais Ntotal	172	11,1	155	8,1	-72	-4,0	36
Naammonium Nammonium	121	8,0	92	5,2	-79	-4,4	55
Norgaaninen Norganic	51	3,1	63	2,9	+ 8	+0,4	

rä väheni vastaavasti 34 % ja 55 %. Orgaanisen typen määrä kasvoi hieman, ja voidaan laskea, että 15 % (kompostointi 38 °C:ssa) ja 10 % (kompostointi 51 °C:ssa) hävinneestä ammoniumtyppimäärästä muuttui orgaaniseen muotoon. Kun tämä otetaan huomioon, ammoniumtypen todellinen häviö oli 38 °C:n kompostoinnissa 29 % ja 51 °C kompostoinnissa 49 %. Myös pientä näennäistä fosforihäviötä tapahtui: kompostista poistetun ja siihen kokeen lopussa jääneen lannan fosforisisältö ei vastannut kompostisäiliöön lisätyn ja siinä alunperin olleen lannan fosforisisältöä. Sen sijaan lannan kaliumsisällössä ei tapahtunut muutoksia kokeen aikana.

Lietteiden varastointi neljän kuukauden ajan kompostoinnin jälkeen ei vaikuttanut tuoreen lietteen kokonaistyyppipitoisuuteen, mutta sen ammoniumtyppipitoisuus laski varastoinnin aikana 4,9 mg/g:sta 4,4 mg/g:an. 38 °C:ssa kompostoidun lietteen kokonaistyyppipitoisuus laski varastoinnin aikana 5,9 mg/g:sta 4,6 mg/g:an ja sen ammoniumtyppipitoisuus 3,6 mg/g:sta 2,8 mg/g:an. Vastaavasti 51 °C:ssa kompostoidun lietteen kokonaistyyppipitoisuus laski 5,0 mg/g:sta 4,6 mg/g:aan ja ammoniumtyppipitoisuus 3,2 mg/g:sta 2,7 mg/g:aan. Kompostoitujen lietteiden tyyppipitoisuudet pienenevät varastoinnin aikana prosentuaalisesti selvästi enemmän kuin kompostoitamattoman lietteen tyyppipitoisuudet.

Astiakoe 1: Tuore liete osoittautui kompostoitujia lietteitä tehokkaammaksi sekä raiheinän kuiva-ainesadon että sen typen-

oton suhteen (taulukko 3). Ainoa merkitsevä ero kompostoitujen lietteiden välillä oli kolmen raiheinäsadon yhteenlasketussa typenotossa, joka oli 38 °C:ssa kompostoidulla lietteellä suurempi kuin 51 °C:ssa kompostoidulla lietteellä. Kasvava lietemäärä kohotti yleensä raiheinän satoa ja typenottoa, joskin sen vaikutus typenottoon riippui merkitsevästi lietelajista. Kasvava lietemäärä vaikutti ensimmäisen sadon ja kolmen sadon yhteenlaskettuun typenottoon selvemmin kompostoiduilla lietteillä kuin tuoreella lietteellä (liite 1). Lietemäärän vaikutus toisen ja kolmannen sadon typenottoon oli puolestaan tuoreella lietteellä suurempi kuin kompostoiduilla lietteillä.

Pintalevitys osoittautui sekä raiheinän sadon että sen typenoton suhteen paremmaksi levitystavaksi kuin lietteen sekoittaminen koemaahan. Pintalevityksen etu maahan sekoitukseen verrattuna oli yleensä pieni pienimmällä lietemäärällä mutta suuremmilla lietemäärillä hyvin selvä (liite 1). Tämä yhdysvaikutus osoittautui merkitseväksi ensimmäisessä raiheinäsadossa ja ensimmäisen sadon sekä kolmen sadon yhteenlasketussa typenotossa.

Tuoreen lietteen kokonaistypen näennäinen hyväksikäyttö oli keskimäärin 41 %, 38 °C:ssa kompostoidun lietteen kokonaistypen hyväksikäyttö 43 % ja 51 °C:ssa kompostoidun lietteen kokonaistypen hyväksikäyttö 40 %. Väkilannoitetyypen näennäis-

Taulukko 3. Raiheinän kuiva-ainesadot ja typenotot astiakoe 1:ssä, jossa lannoitukset tehtiin ennen raiheinän kylvöä.  
 Table 3. Dry matter yields and nitrogen uptakes of rye-grass in the first pot experiment. Slurries were applied before sowing the grass.

Koetekijä Experimental factor	Kuiva-ainesato, g/astia Dry matter yield, g/pot				Typenotto, mg/astia Nitrogen uptake, mg/pot			
	1. niitto 1. cut	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	Yhteensä Altogether	1. niitto 1. cut	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	Yhteensä Altogether
<b>Lietelaji:</b> Type of slurry								
-kompostoitamaton - uncomposted	7,4	4,9	4,0	16,2	376	176	99	650
- kompostoitu 38 °C - composted 38 °C	7,9	3,6	3,1	14,6	367	86	64	517
- kompostoitu 51 °C - composted 51 °C	7,7	3,2	3,1	13,9	352	72	63	486
HSD (P = 0,05)	0,9	0,6	0,4	1,2	40	26	12	23
<b>Lietemäärä:</b> Rate of slurry:								
- 1 dl/astia - 1 dl/pot	6,1	2,2	2,6	10,8	250	51	53	353
- 2 dl/astia - 2 dl/pot	8,0	4,0	3,5	15,5	386	113	73	572
- 3 dl/astia - 3 dl/pot	8,8	5,5	4,2	18,5	459	169	100	728
HSD (P = 0,05)	0,9	0,6	0,4	1,2	40	26	12	23
<b>Levitystapa:</b> Method of application:								
- pintalevitys - surface application	8,3	4,0	3,3	15,6	385	107	72	563
- sekoitus maahan - mixed into soil	6,9	3,8	3,5	14,2	345	115	78	539
HSD (P = 0,05)	0,6	0,4	0,3	0,8	27	18	8	15
<b>F-arvot:</b> F-values:								
- laji * määrä - type * rate	1,0	1,2	2,1	0,9	2,8*	6,5***	5,5***	5,3**
- laji * tapa - type * method	0,1	0,1	1,2	0,1	0,2	0,6	1,2	0,7
- määrä * tapa - rate * method	3,7*	0,0	0,4	1,9	3,6*	0,6	0,2	7,5**
- laji * määrä * tapa - type * rate * method	0,3	0,4	0,2	0,0	0,4	0,8	0,2	0,1

nen hyväksikäyttö oli keskimäärin 70 %, joten 57-61 % liete-  
lannan kokonaistypestä oli väkilannoitetypen veroista.

Astiakoe 2: Kokeen aikaisessa silmämääräisessä tarkastelussa  
eri lietteiden ei havaittu tahraavan kasvustoa eri tavoin.  
Kaikki lietteet tarttuivat melko voimakkaasti heinän pintaan.  
Tuore liete tuotti merkitsevästi suurempia kuiva-ainesatoja  
kuin kompostoidut lietteet (taulukko 4). Kasvava lietemäärä  
kohotti aina satoa lietelajista riippumatta. Raiheinän typen-  
oton suhteen tulos oli lähes sama, mutta lietemäärän vaiku-  
tus neljännen niiton ja niittojen yhteenlaskettuun typenot-  
toon riippui lietelajista. Lietemäärä vaikutti neljännen sa-  
don typenottoon selvästi enemmän tuoreella lietteellä kuin  
kompostoiduilla lietteillä (liite 2). Niittojen yhteenlasket-  
tu typenotto puolestaan riippui lietemäärästä selvemmin tuo-  
reella ja 38 °C:ssa kompostoidulla lietteellä kuin 50 °C:ssa  
kompostoidulla lietteellä.

Tuoreen lietelannan kokonaistypen näennäinen hyväksikäyttö  
oli keskimäärin 32 %, 38 °C:ssa kompostoidun lietteen koko-  
naistypen hyväksikäyttö 34 % ja 51 °C:ssa kompostoidun liet-  
teen kokonaistypen hyväksikäyttö 34 %. Väkilannoitetypen  
näennäinen hyväksikäyttö oli keskimäärin 79 %, joten 41-43 %  
lietelannan kokonaistypestä oli väkilannoitetypen veroista.



Taulukko 4. Raiheinän kuiva-ainesadot ja typenotot astiakoe 2:ssä, jossa lannoitukset tehtiin ensimmäisen niiton jälkeen.  
 Table 4. Dry matter yields and nitrogen uptakes of ryegrass in the second pot experiment. Slurries were applied after the first cut.

Koetekiä Experimental factor	Kuiva-ainesato, g/astia Dry matter yield, g/pot				Typenotto, mg/astia Nitrogen uptake, mg/pot			
	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	4. niitto 4. cut	Yhteensä Altogether	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	4. niitto 4. cut	Yhteensä Altogether
Lietelaji: Type of slurry:								
- kompostoitamaton - uncomposted	9,2	6,6	6,4	22,3	313	104	93	510
- kompostoitu 38 °C - composted 38 °C	9,4	4,9	4,9	19,2	259	74	64	397
- kompostoitu 51 °C - composted 51 °C	8,1	4,8	4,7	17,7	248	77	63	388
HSD (P = 0,05)	1,6	0,5	0,5	1,5	23	9	8	24
Lietemäärä: Rate of slurry								
- 1 dl/astia - 1 dl/pot	6,5	3,9	3,8	14,3	152	61	52	265
- 2 dl/astia - 2 dl/pot	9,3	5,7	5,5	20,5	274	88	73	435
- 3 dl/astia - 3 dl/pot	11,0	6,8	6,7	24,4	394	107	94	595
HSD (P = 0,05)	1,6	0,5	0,5	1,5	23	9	8	24
F-arvo: F-value:								
- yhdysvaikutus - interaction	1,0	2,3	2,1	1,0	2,6	2,5	3,5*	6,1**

### Tulosten tarkastelu

Kompostoinnin vaikutus lannan kemiallisiin ominaisuuksiin oli odotusten mukainen. Se pienensi lannan typpipitoisuutta, kun ammoniakkia haihtui ilmastuksen ja kohoavan lämpötilan takia. Näin kompostointi samalla pienensi lietelannan typen kemiallista liukoisuutta. Tulos vastaa hyvin kirjallisuustietoja (STEVENS ja CORNFORTH 1974, LOYNACHAN ym. 1976, BESNARD 1979, GARRAWAY 1982, PAATERO ym. 1974, RINNE ja SIPPOLA 1984). Toisaalta kompostointi kohotti lannan fosfori- ja kaliumpitoisuutta, kun lannasta hävisi vettä ja kuiva-ainetta. Kompostoinnin lietelannan pH:ta alentava vaikutus johtuneee osittain lannan hajoamisessa muodostuneista orgaanisista hapoista ja hiilidioksidista ja osittain emäksisen ammoniakin pitoisuuden pienenemisestä. Tuoreen lannan pH oli kirjallisuustietoihin nähden yllättävän korkea, mikä ilmeisesti johtui lannan suuresta ammoniumtyppipitoisuudesta.

Lietteet eivät sisältäneet mittavia määriä nitraattityppeä. Tulos on odotuksen mukainen, sillä nitraatteja muodostuu lannan kompostoinnissa yleensä vasta, kun ammoniumtypen pitoisuus laskee hyvin pieneksi (LOYNACHAN ym. 1976, BESNARD 1979). Hapen kulumisen eloperäisen aineen hajoamiseen ja suuri ammoniumtyppipitoisuus estävät nitrifikaation. Lisäksi nitrifikaatiota ei juuri tapahdu yli 40 °C:n lämpötilassa. Nitraattien muodostumiseen liittyy ammoniumtypen pitoisuuden laskun ohella myös lannan pH:n aleneminen lähes neutraaliin,

ja se on tyypillisesti kompostin kypsymisvaiheen tapahtuma (LOYNACHAN ym. 1976, PAATERO ym. 1984). Tätä vaihetta ei nyt tehdyissä kompostointikokeissa saavutettu.

Ammoniumtyppi ja kalium ovat lietelannassa melko tasaisesti jakautuneina, riippumatta kiintoaineen kerrostumisesta säiliön pohjalle tai lannan pintaan. Tämän vuoksi niistä saadaan aina luotettavia tuloksia. Sen sijaan fosfori on suurimmaksi osaksi ja kokonaistyyppi osittain (sian lietteessä 30-40 %) lannan kiintoaineessa, ja siten niiden pitoisuudet riippuvat näytteen edustavuudesta kiintoaineen suhteen. Lietteessä kompostoinnin aikana tapahtuneita typen määrän muutoksia tarkasteltaessa voidaan siten olettaa, että muutokset ammoniumtypen kokonaismäärässä ovat todellisia, sillä näennäinen kaliumhäviö oli molemmissa kompostoinneissa lähes olematon. Sen sijaan kokonaistypen häviöstä saadut luvut saattavat olla hieman liian suuria, sillä pientä näennäistä fosforihäviötäkin tapahtui kompostoinnin aikana. Kokonaistypen häviön virhe saattaa olla arviolta 3-4 %-yksikköä.

Kun lietteitä varastoitiin 80 litran saaveissa neljän kuukauden ajan kompostoinnin jälkeen, kompostoitujen lietteiden tyypipitoisuus laski selvästi enemmän kuin tuoreen lietteen. Kompostointi näytti siten suurentavan lietteen varastointiaikaista typpihäviötä. Tämä oli odotettuakin, sillä kompostoitujen lietteiden korkea lämpötila kiihdyttää ammoniakkin haih-

tumista vielä varastoinnin aikanakin. Tuloksiin on kuitenkin suhtauduttava varauksella, sillä typpimääritykset tehtiin vain yhdestä varastosaavista lantalajia kohden.

Astiakokeissa tuore lietelanta oli tilavuusyksikköä kohden selvästi tehokkaampaa kuin kompostoidut lietelannat. Tuoreen lietteen paremmuus selittyy sen kompostoituja lietteitä suuremmalla typpipitoisuudella. Tilastollisessa tarkastelussa havaittu lietelajin ja -määrän välinen yhdysvaikutus osoittaa vain eri lietelajien vaikutuksen jakautuvan eri sadoille eritavalla, mikä taas johtuu eroista lietteiden ravinnepitoisuudessa. Ensimmäisessä astiakokeessa todettu lietemäärän ja levitystavan välinen yhdysvaikutus osoittaa puolestaan sen, että suurella lietemäärällä on haitallinen vaikutus kasveihin etenkin silloin, kun liete sekoitetaan maahan. Tämä johtuu lietelannan hajoamisen aiheuttamista myrkyllisistä yhdisteistä sekä hapen puutteesta maassa.

Kokonaistypen näennäinen hyväksikäyttö oli lähes sama kaikilla lietteillä. Tämä on odottamaton tulos, sillä ammoniumtypen osuus kokonaistypestä oli kompostoiduissa lietteissä selvästi pienempi kuin tuoreessa lietteessä. Tulos saattaa selittyä sillä, että kompostoinnissa orgaaniseen muotoon muuttunut ammoniumtyppi vapautui nopeasti kasvien käyttöön maassa. Myös alunperin lannan kiintoaineeseen sitoutunutta typpeä saattoi muuttua helpommin vapautuvaan muotoon kompostoinnin aikana. Tämä orgaaninen, helposti vapautuva typen muoto saattaisi

olla esimerkiksi hajottajabakteerien aminohapot. Kompostoidun lietelannan yhteydessä voitaisiinkin puhua typen biologisesta liukoisuudesta, joka on suurempi kuin sen kemiallinen liukoisuus. Vastaavan eron typen kemiallisen ja biologisen liukoisuuden välillä havaitsi JENSEN (1954) tutkiessaan virtsan ja säilörehun puristenesteen seoksia. Seosten typen käyttökelpoisuus oli nitrifikaatiotestillä mitattuna paljon suurempi kuin niiden typen liukoisuus kemiallisessa analyysissä (JENSEN 1954). Palamattomassa lietelannassa typen kemiallinen liukoisuus kuitenkin vastaa melko hyvin sen biologista vaikutusta.

Kompostoinnin on joissakin tutkimuksissa havaittu vähentävän lietelannan nurmea tahraavaa vaikutusta. Näin se saattaisi olla edullinen sekä kasvien kasvun että rehun hygieenisyyden kannalta. Tässä tutkimuksessa eri lietteiden tahraavuudessa ei kuitenkaan todettu selviä eroja. Tulos saattaa johtua siitä, että lietteet eivät hajonneet kompostoinnissa kovinkaan pitkälle.

KIRJALLISUUSLUETTELO:

- ANON. 1985. SAS User's Guide: Statistics, Version 5  
Edition. 956 p. Cary, North Carolina.
- BESNARD, C. 1979. Balance and evolution of nitrogen compounds during the treatment of slurry. Effluents from Livestock. p. 496-505. Barking, Essex.
- GARRAWAY, J.L. 1982. Investigations on the aerobic treatment of pig slurry. Agric. Wastes 4: 131-142.
- JENSEN, H.L. 1954. Om bortskaffelse og anvendelse af ensilagesaft. Tidsskr. Planteavl 54: 68-98.
- KEMPPAINEN, E. 1984. Karjanlannan ravinnepitoisuus ja syönten vaihteluun. SITRA. Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 11: 1-80.
- LOYNACHAN, T.E., BARTHOLOMEW, W.V. & WOLLUM, A.G. 1976. Nitrogen formations in aerated swine manure slurries. J. Environ. Qual. 5: 293-297.
- PAATERO, J., LEHTOKARI, M. & KEMPPAINEN, E. 1984. Kompostointi. 269 p. Porvoo.

RINNE, S-L. & SIPPOLA, J. 1984. Maatalouden jätteet kom-  
postin raaka-aineina. Koetoim. ja Käyt. 41: 42-43.

STEVENS, R.J. & CORNFORTH, I.S. 1974. The effect of  
aeration on the gases produced by slurry during  
storage. J. Sci. Fd Agric. 1249-1261.

Liite 1. Astiakoel 1:n sadot ja typenotot koejäsenittäin.  
 App. 1. Yields and nitrogen uptakes of ryegrass in the first pot experiment.

Lietelaji Type of slurry	Lietemäärä Rate of slurry dl/pot	Levitystapa Method of application	Kuiva-ainesato, g/astia Dry matter yield, g/pot			Typpotto, mg/astia Nitrogen uptake, mg/pot			Yhteensä Altogether	
			1. niitto 1. cut	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	1. niitto 1. cut	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut		
Kompostoitamaton Uncomposted	1	pinta surface	6,4	2,9	2,6	11,8	281	70	57	408
"	1	sekoitus mixed	6,0	2,7	3,1	11,8	295	74	66	434
"	2	pinta surface	9,0	5,3	4,0	18,3	456	159	87	703
"	2	sekoitus mixed	6,8	5,5	4,6	16,8	374	221	101	697
"	3	pinta surface	8,6	6,9	4,8	20,2	461	266	129	856
"	3	sekoitus mixed	7,4	6,2	4,9	18,5	388	264	152	803
Kompostoituu 38 °C Composted 38 °C	1	pinta surface	6,0	2,2	2,5	10,7	239	46	50	334
"	1	sekoitus mixed	5,9	1,8	2,6	10,3	238	39	51	328
"	2	pinta surface	9,1	3,6	3,2	15,8	394	80	59	532
"	2	sekoitus mixed	7,2	3,4	3,0	13,8	359	83	65	507
"	3	pinta surface	10,7	5,1	3,8	19,6	534	120	78	731
"	3	sekoitus mixed	8,2	5,6	3,7	17,5	441	148	79	668
Kompostoituu 51 °C Composted 51 °C	1	pinta surface	6,1	1,8	2,2	10,1	220	41	46	307
"	1	sekoitus mixed	6,0	1,6	2,3	9,9	227	34	47	309
"	2	pinta surface	8,9	3,3	2,9	15,1	372	71	62	504
"	2	sekoitus mixed	7,0	3,0	3,2	13,1	362	67	61	490
"	3	pinta surface	10,0	4,8	4,0	18,8	506	108	79	693
"	3	sekoitus mixed	8,0	4,6	4,0	16,6	424	109	83	616
Lannoittamaton Unfertilized			3,0	0,7	1,4	5,0	79	15	29	124
750 mg N/astia 750 mg N/pot			7,9	6,0	2,4	16,3	427	161	45	633
1500 mg N/astia 1500 mg N/pot			8,4	11,7	6,3	26,4	459	566	167	1192



Liite 2. Astiakoe 2:n sadot ja typenotot koejäsenittäin.

App. 2. Yields and nitrogen uptakes of rye-grass in the second pot experiment.

Lietelaji Type of slurry	Lietemäärä dl/astia Rate of slurry dl/pot	Kuiva-ainesato, g/astia Dry matter yield, g/pot				Typenotto, mg/astia Nitrogen uptake, mg/pot			
		2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	4. niitto 4. cut	Yhteensä Altogether	2. niitto 2. cut	3. niitto 3. cut	4. niitto 4. cut	Yhteensä Altogether
Kompostoitamaton Uncomposted	1	6,8	4,8	4,6	16,2	169	75	63	308
"	2	10,3	6,7	6,5	23,4	324	104	95	523
"	3	10,6	8,4	8,2	27,2	446	133	121	700
Kompostoitu 38 °C Composted 38 °C	1	6,5	3,5	3,5	13,5	140	51	47	239
"	2	9,8	5,0	5,1	19,9	260	75	62	397
"	3	12,1	6,2	6,1	24,3	378	95	82	555
Kompostoitu 51 °C Composted 51 °C	1	6,3	3,4	3,5	13,2	145	57	47	249
"	2	7,9	5,4	4,9	18,1	238	84	62	384
"	3	10,2	5,7	5,9	21,8	360	91	80	531
Lannoittamaton Unfertilized		1,7	0,8	2,1	4,6	37	16	32	84
750 mg N/astia 750 mg N/pot		16,3	6,3	3,1	25,7	612	90	39	740
1500 mg N/astia 1500 mg N/pot		15,1	18,3	7,4	40,8	706	372	79	1156

## VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No  | Nimi  |
|-----|---|
| 35. | Turtiainen, K., Pienpuuhakkurit. 1983.  |
| 36. | Karhunen, J., Mykkänen, U., Nieminen, L., Wikstèn, R., Saloniemi, H., Lämmönvaihtimet eläinsuojien ilmastoinnissa. 1983.                  |
| 37. | Ahokas, J., Keränen, O., Parmala, S-P., Häkäkaasulaitteisto maatalouden polttomoottorikäytössä. 1984.                                     |
| 38. | Haber, P., Traktorin turvakaari. 1984.  |
| 39. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. 1984.   |
| 40. | Horvath, A., Ståhlberg, P., Wilèn C., Oljen pelletointi ja pellettien käyttö polttoaineena. 1985.   |
| 41. | Aarnio, K., Karhunen, J., Koivisto, K., Lietelannan kompostointilämmön talteenotto. 1986.   |
| 42. | Ahokas, J., Luomi, V., Palva, T., Parmala, S-P., Schäfer, W., Kasviöljyt dieselmoottorin polttoaineena. 1986.                             |
| 43. | Ahokas, J., Mikkola, H., Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja. 1986.  |
| 44. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986.  |
| 45. | Kempainen, E., Koivisto, K., Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsiteltävyyteen. 1987.  |
| 46. | Sarin, H., Castrèn, H., Pyykkönen, M., Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987. |

