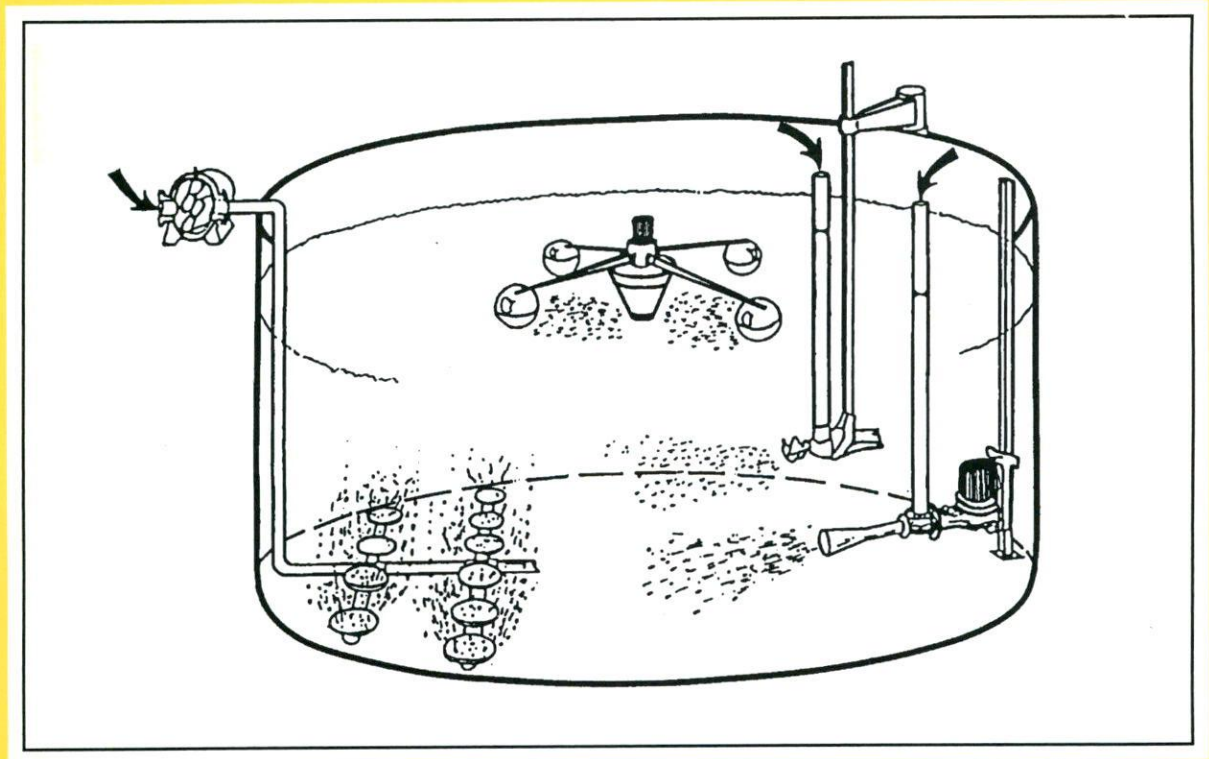


# VAKOLAN tiedote

79/98



Jorma Karhunen Maarit Puumala

## Lietelannan ilmastus

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**  
Agricultural Research Centre of Finland

**VAKOLA**

**Maatalousteknologian tutkimus**

**Osoite**  
Vakolantie 55  
03400 VIHTI

**Puhelin**  
(09) 224 251  
**Telekopio**  
(09) 224 6210

**Agricultural Engineering Research**

**Address**  
Vakolantie 55  
FIN-03400 VIHTI  
FINLAND

**Telephone int.**  
+358 9 224 251  
**Telefax int.**  
+358 9 224 6210

## SISÄLLYSLUETTELO

Alkusanat .....	3
Johdanto .....	3
1 Mitä lannan ilmastuksessa tapahtuu? .....	3
2 Lietelannan ominaisuudet .....	4
3 Syyt lietteen ilmastukseen .....	4
4 Lannan ilmastuslaitteet .....	4
5 Erityyppiset ilmastimet .....	5
6 Kompostoinnissa tarvittava ilmamäärä .....	10
7 Puhallettavan ilman jäähdyttävä vaikutus .....	11
8 Vaahdonsammuttimet .....	11
9 Typpihäviöt .....	11
10 Ilmastuksen kustannukset .....	12
Kirjallisuus .....	14

Liite

## ALKUSANAT

Tämä tiedote perustuu Kaisa Aarnion, Jorma Karhusen ja Kimmo Koiviston vuosina 1982-1985 tekemiin selvityksiin ja nestekompostointikoelaitteistosta saamiin kokemuksiin sekä Jorma Karhusen vuonna 1990 julkaisemaan VAKOLAn tiedotteeseen 47/90 ja vuosina 1992 ja 1996 laatimiin erillisiin selvityksiin. Tiedotteen on koontanut tutkija Maarit Puumala.

## JOHDANTO

Lietelantajärjestelmän on todettu toimivan rakennuksen sisältä säiliöön asti luotettavasti, kunhan vain tietyt perusmitoitukset on tehty oikein. Myös lietteen levitys pellolle nykyaikaisilla, usein muutaman naapurin yhteisesti omistamilla laitteilla on nopeaa ja verraten siistiä työtä. Jos liete levitetään keväällä ja mullataan välittömästi, myös sen sisältämät ravinteet saadaan kasvien hyödyksi. Lietteestä tulee haitta, jos sitä muodostuu käytettävissä olevaan peltoalaan nähden liikaa ja laitteet, kuten säiliöt, sekoittimet ja multaimet, ovat puutteelliset.

Lietteen käyttömahdollisuudet laajenevat, kun sitä voidaan levittää myös kasvustoon ilman, että kasvusto palaa ja peittyy bakteeripitoiseen kuoreen. Muun muassa Saksassa ja Norjassa on ruvettu erottamaan lietelannasta kiinteä osa pois, jolloin nestemäinen osa saadaan levitetyksi kasvustoon niin, että levitystasaisuus on hyvä ja huuhtoutuminen on vähäistä. Lannan separointi on maksanut liikkuvassa separaattorissa 1,60 - 5 mk/m<sup>3</sup> ja kiinteässä separaattorissa 5 - 18 mk/m<sup>3</sup> /5/ /6/. Kustannuksia pienentää edellä mainitusta se, ettei sekoitinta ja lantapumppua tarvita. Separoinnin lisäksi liete on joissakin tapauksissa vielä ilmastettu.

Lietelanta voidaan sopivilla laitteilla ilmastaa ilman separointia. Ilmastimien toimivuutta on kokeiltu muutamien maiden tutkimuslaitoksissa ja pienessä määrin tiloillakin. Lannan vesipitoisuus ja olosuhteet eri tiloilla vaihtelevat paljon, ja muun muassa kuivikkeet ovat tukkineet ilmastimia. Päätelmien ilmastimien keskinäisestä paremmuudesta olisi perustuttava laajoihin kenttäkokeisiin maataloilla ja sitä varten olisi tehtävä yksinkertaiset menetelmät ilmastetun lietteen laadun arviointiin. Kustannuslaskelmia on usein tehty yksittäisten kokeiden perusteella ja kustannukset monessa tapauksessa laskettu hyvin lievälle ilmastukselle.

## 1 MITÄ LANNAN ILMASTUKSESSA TAPAHTUU?

Lietelannan ilmastuksessa pyritään lietelannan ominaisuuksia parantamaan aerobisella käsittelyllä kuivittamatta ja kiinteyttämättä lietettä. Ilmaa lietteeseen johdettaessa saadaan käyntiin hapellinen, lämpöä tuottava hajotustoiminta. Liete siis "kompostoituu" nestemäisessä olomuodossa.

Lanta sisältää runsaasti kasveille ja pieneliöille sopivaa ravintoa, sekä pieneliöitä, jotka voivat käyttää tätä ravintoa hyväkseen. Happea aineenvaihdunnassaan hyväksikäyttävät bakteerit ja sienet alkavat lisääntyä, kun lietteessä on ilmaa. Pieneliöiden toiminnan päätuotteina syntyy hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Lietelanta alkaa lämmentä itsestään, se kompostoituu, tai palaa, kuten aikaisemmin sanottiin. Lietteen ravinteet muuttuvat vaikealiukoisemmiksi, osa tuestä saattaa haihtua pois. Suomessa tehdyssä kokeessa lietelannan tuestä haihtui korkeassa lämpötilassa ilmastettaessa noin 40 % ja ilmastetun lannan lannoitearvo oli pienempi kuin tuoreen lannan /2/. Norjassa tehdyissä kokeissa tuestä on haihtunut keskimäärin 10 - 20 % ja ilmastetun lietteen lannoitearvo on ollut likimain sama kuin tavallisen lietelannan /1/.

## 2 LIETELANNAN OMINAISUUDET

Lietelannassa ei ole luonnostaan happea. Siellä elävätkin vain mätänemis- ja käymisbakteerit, jotka käyttävät aineenvaihdunnassaan hyväkseen lannan sisältämiä hiiliyhdisteitä ja muodostavat esimerkiksi rikkivetyä ja metaania, eli biokaasua. Lietelanta kompostoituu vain, jos sitä ilmastetaan koneellisesti. Happi liukenee lietelantaan sitä helpommin, mitä vähemmän siinä on kiintoainetta. Nykyisiä ilmastimia käytettäessä kiintoainepitoisuuden yläraja on 8 - 10 %, jotta ilmastus onnistuisi.

## 3 SYYT LIETTEEN ILMASTUKSEEN

Lietelannan ilmastuksella eli nestekompostoinnilla on useita eri päämääriä, mm. /16/

- lieventää lietteen epämiellyttävää hajua
- parantaa lietteen käsittelyominaisuuksia
- hygienisoida liete
- tuhota lietteessä olevat rikkakasvien siemenet
- vähentää tuoreen lietteen haitallisia vaikutuksia maan pieneliöille ja kasvien juurille
- parantaa soveltuvuutta nurmiviljelyyn ja
- käyttää hyväksi syntyvä kompostilämpö.

Suomessa lietettä ilmastetaan enimmäkseen siksi, että lanta halutaan tehdä sopivaksi luonnonmukaiseen viljelyyn. Asutustaajamien lähellä päämääränä voi olla myös vähentää hajuhaittoja. Korkeassa lämpötilassa tapahtuvan ilmastuksen aikana ympäristöön saattaa levitä kaasuja. Sen sijaan levityksen aikana ilmastettu liete on hajuttomampaa kuin tuore.

Nurmivaltaisilla tiloilla liete halutaan saattaa hienojakoiseen ja hygieeniseen muotoon, jolloin sen levitys kasvavaan nurmeen on mahdollista. Lietelannassa olevat haitalliset ainekset tuhoutuvat seuraavien ilmastusaikojen jälkeen /2/:

- rikkaruohojen siemenet	3 viikkoa,	30	°C	
	tai 3 - 6 vrk,	40 - 45	"	
- salmonella ym. bakteerit	3 vrk	40	"	(pH yli 8,5)
- madonmunat ym. loiset	2 - 3 kk	8	"	
	6 vrk	30 - 37	"	(naudanlanta)
	3 - 4 vk	35 - 40	"	(sianlanta)
	25 vrk	40 - 45	"	(kaikki)

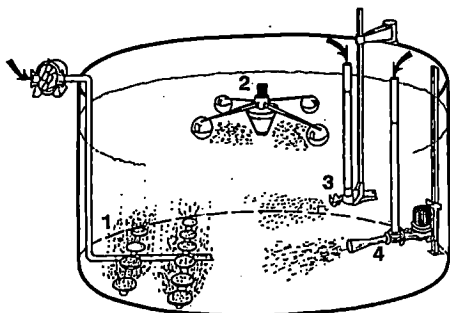
Ilmastuksessa syntyvä lämpö voidaan käyttää hyödyksi eläinsuojan tai asunnon lämmittämisessä. Lannan polttoarvo on keskimäärin 4,4 kWh/kg kuiva-ainetta. Kompostoinnissa siitä vapautuu ehkä 1,9 kWh, ja hyödyksi saadaan nykyisellä tekniikalla noin 1 kWh. Jos lannan kuiva-ainepitoisuus on 8 %, yhdestä kuutiometristä lantaa saadaan hyötylämpöä 80 kWh.

## 4 LANNAN ILMASTUSLAITTEET

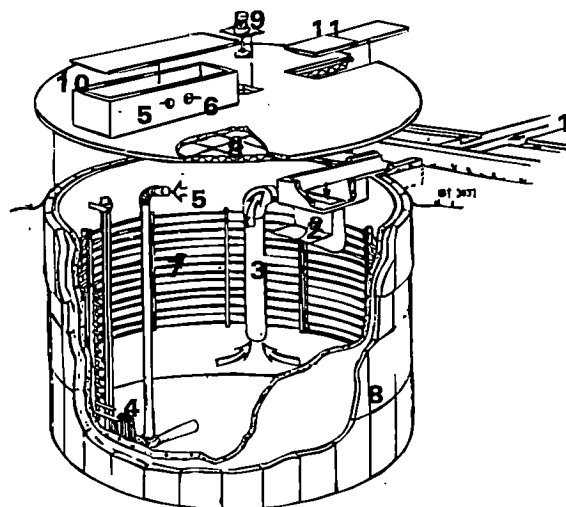
Lietelannan käsittelymenetelmä valitaan halutun lopputuloksen mukaan esimerkiksi taulukon 1 avulla. Koska nestemäinen olomuoto ei mahdollista luonnollista ilmastumista kuten aumakompostoinnissa, johdetaan tarvittava ilma (happi) lietteeseen mekaanisesti erilaisten ilmastimien avulla. Tavallisimmat

laitteet ovat lietepumppuun kiinnitettävä ejektori tai erilaiset potkurisekoittajat, joissa lietevirran muodostamaan alipaineeseen johdetaan ilmaputki (kuva 1).

Säiliön lämmöneristys, lämmönkeräysputkisto ja vaahdonestin ovat tarpeen, jos halutaan ilmastaa korkeassa lämpötilassa, 40 - 50 °C, sekä ottaa syntyvää lämpöä talteen (kuva 2).



**Kuva 1.** Ilmastimet: 1= paineilmailmastin, 2 = roottorityyppinen alipaineilmastin, 3 = potkurisekoittimeen liitetty alipaineilmastin, 4 = lantapumppuun liitetty alipaineilmastin (ejektori) /2/.



**Kuva 2.** Ilmastuksessa syntyvän lämmön talteenotto-laitteet: 1 = lantakoru, 2 = vesilukko, 3 = ylivuotoputki, 4 = ilmastin, 5 = ilmanotto, 6 = ilmanpoisto, 7 = lämmönvaihdin, 8 = säiliön eristys, 9 = vaahdonhävitin, 10 = huoltoluukku, 11 = lantaputken tarkistusluukku /2/.

**Taulukko 1.** Lannan ilmastusmenetelmän valinta tavoitteen mukaan /2/

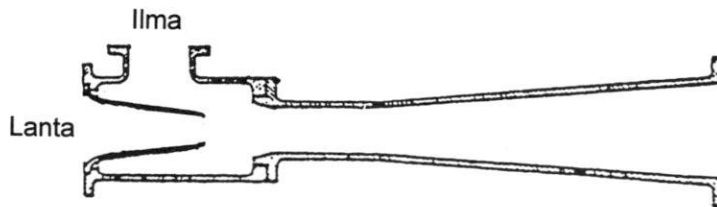
Ilmastusmenetelmä	Kertatäyttö varasto- tai lietesäiliössä 25 - 35 °C		Kertatäyttö pienessä säiliössä 40 - 50 °C	Jatkuvatoiminen pienessä säiliössä 35 - 50 °C	
	Ennen levitystä	Koko ajan	Ennen levitystä Ennen varastointia	Koko ajan	Koko ajan
Milloin käsitellään					
Ilmastusaika	1 - 2 kk	1 - 2 kk	3 - 4 viikkoa	20 - 25 vrk	10 - 20 vrk
Hajun pienentäminen	+	++	+++	+++	++
Sopivuus nurmelle	++	++	+++	+++	++
Rikkaruohojen torjunta	++	++	+++	+++	+++
Hygienisointi	0	0	+++	+++	++
Lämmön talteenotto	0	0	0	+++	+++
Kompostoitumisaste	+	++	+++	+++	++

0 = huono tai ei sovi  
+, ++, +++ = arvostelu, jossa +++ on paras

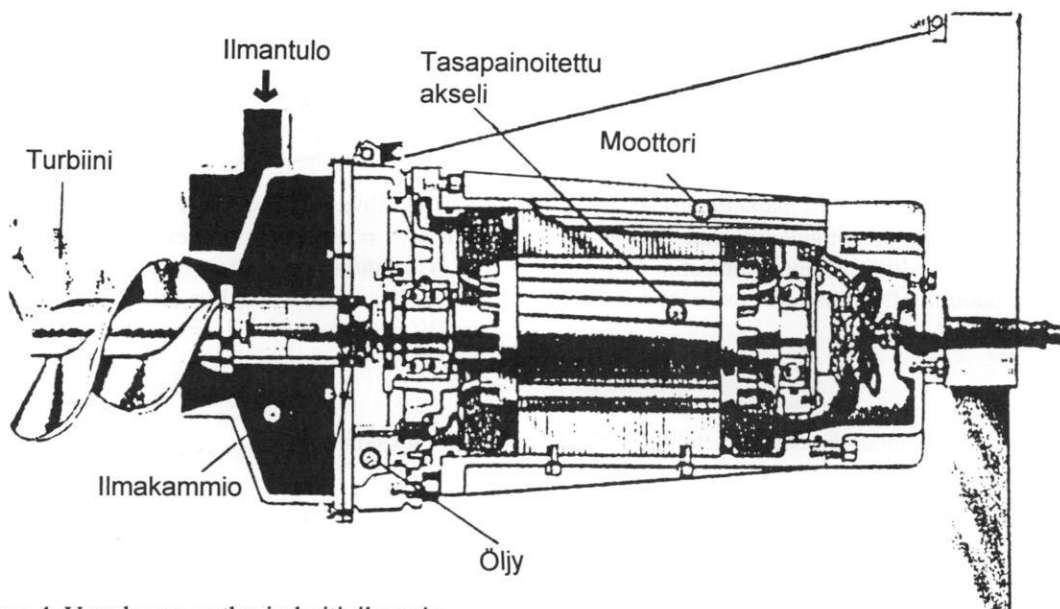
## 5 ERITYYPPISET ILMASTIMET

Alipaineilmastimessa lanta saatetaan virtaamaan ja virtausta kuristetaan, jolloin virtauksen nopeus kiihtyy ja syntyy alipaine, joka imee ilmaa lannan mukaan. Tällaisia alipaineeseen perustuvia ovat ejektori- ja potkurisekoitinilmastimet, kuva 3 ja 4. Niitä käytetään pääasissa varastosäiliöiden ilmastamiseen noin 2 kuukauden ajan ennen lietteen levitystä. Tehontarpeeksi ilmoitetaan 10 - 30 W

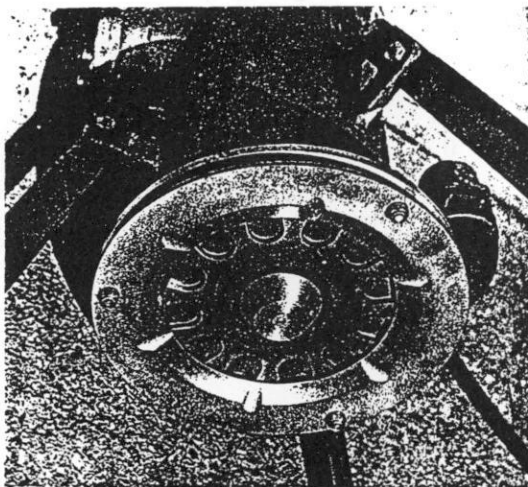
lietelantakuutiota kohden. Moottorien tehoksi tulee siten 3 - 18,5 kW, koska varastosäiliöt ovat isoja. Suomalaisen maatilin sähkölinjat kestävät kuitenkin yleensä enintään 11 kW:n tehon. Ejektori-ilmastimista on kokeiltu esimerkiksi Flygt Norjassa ja potkuri-ilmastimista esimerkiksi Vogelsang Saksassa. Vakolan omatekoinen ejektori tuotti ilmaa 0,3 m<sup>3</sup>/min (20 m<sup>3</sup>/h) ja tehoa kului noin 5 kW; eli tuotto oli noin 4 m<sup>3</sup>/kWh. Hapetuskyky oli Koiviston laskelmien mukaan noin 60 % /3/.



Kuva 3. Lantapumpun sekoitusaukkoon liitettävä ejektori.



Kuva 4. Vogelsang -potkurisekoitinilmastin.



Kuva 5. Biojet -ilmastimen roottori, läpimitaltaan noin 14 cm.

Roottori-ilmastimessa on yleensä läpimitaltaan 10 - 20 cm:n hammastettu levy, jonka pyörimisnopeus on 3000 - 4000 r/min, kuva 5. Levy asennetaan säiliön pohjan lähelle tai kellukkeille lietteen pinnalle. Useat roottori-ilmastimet ovat pienikokoisia ja sopivat jatkuvatoimiseen (kuuma)ilmastukseen pienissä, 10 - 30 m<sup>3</sup> :n säiliöissä. Tehosuositus lietelantakuutiota kohden saattaa olla 100 - 300 W. Moottorien koot ovat 2 - 4 kW. Roottori-ilmastimisista on kokeiltu Aldo ja Kemomatic Norjassa sekä Biojet Norjassa, Itävallassa ja Saksassa. Kuuma-kompostointikokeitten perusteella Aldon hapenliuotuskyky on huono ja se haihduttaa liikaa ammoniakkia; Biojet on parempi, mutta siinäkin on teknisiä puutteita.

Norjassa on kehitetty malli, jonka hapetuskyky on hyvä ja energian kulutus sekä ammoniakkihäviöt ovat pienet, kuva 6 ja taulukko 2 ja 3. Ilmastimessa on 25 cm:n etäisyydelle säiliön pohjasta asennettu 10 cm:n läpimittainen ruostumattomasta teräksestä valmistettu levy, joka pyörii 3000 - 4000 r/min. Ilmastin on mitoitettu pieneen, jatkuvan kompostoinnin säiliöön. Laitteiston hinta eristettyine 10 m<sup>3</sup> :n ilmastussäiliöineen ja ohjauslaitteineen ilman pumppuja ja varastosäiliöitä on noin 100 000 mk /10/. Laitteistolla pyritään lietteen täydelliseen sekoittumiseen ja lähes kaiken lantaan sekoitetun hapen käyttämiseen. Sen vuoksi ilmastimen tehontarve on säiliön kokoon nähden suuri, 140 W/säiliö-m<sup>3</sup>, taulukko 2.

**Taulukko 2.** Eri ilmastimien ominaisarvoja jatkuvatoimisessa (päivittäin lisätään ja poistetaan samansuuruisen määrä = Aldo, Biojet ja Norjalainen malli) sekä jatkuva- tai kertatäyttöisessä (varastosäiliö = Flygt) reaktorissa.

Ilmastin	Aldo 100	Biojet	Norjalainen malli		Flygt
Nimellis(anto)teho <sup>1)</sup> , kW (Verkosta) ottoteho, kW	4	2,2	-	-	7 - 16
Lantaa, m <sup>3</sup> /vrk	2	2	2	2	-
Viipymä, vrk	5	5	5	5	-
Koekuukausi	touko	huhti	marras	helmi	-
Lietteen lämpötila, °C	45 - 55	50 - 60	45 - 53	43 - 50	≤30
Lämpötilan tasaisuus säiliössä, °C	± 3	± 0	± 0	± 0	-
Ilmavirta, kg/h	35 - 25	10	2,4 - 3,1	3,2 - 4,7	-
Hapetusteho, kg O <sub>2</sub> /h <sup>2)</sup>	1 - 3	0,5 - 1,5	0,5 - 0,6	0,7 - 0,9	-
Hapen hyväksikäyttöaste, %	10 - 50	40 - 70	90 - 100	85 - 95	(88)
Ilmastimen teho W/m <sup>3</sup> säiliötilavuutta	otto 320 anto -	250 -	- 140	- 140	25 - 30
Ilmastusteho, kg O <sub>2</sub> /kWh	0,3 - 0,9	0,4	0,4	0,5 - 0,6	-
Ammoniakkia ilmassa <i>ennen</i> ja <i>jälkeen</i> lannan lisäyksen, ppm	1200 - 1600 200	800 - 1000 180 - 280	100 - 300 100 - 200	200 - 400 100 - 200	- -
Ammoniakkihäviö, g/h	14	2,5	0,3	0,5	-
Lannan kuiva-aine, %	8	9	9	12	-
Lannan pH	-	-	7,9 - 8,1	8,1 - 8,3	-
Liuennot happi lannassa, ppm	-	-	0,5 - 0,8	0,2 - 0,6	-
Lannan laatu	naudan	naudan	naudan	naudan	-
Energian kulutus kWh/kompostoitua lantaa	otto 38 anto -	30 -	- 16	- 16	10 -

1) Ottoteho = nimellisteho/hyötysuhde. Keskinertaisen 1 kW:n moottorin hyötysuhde on 0,73 ja 10 kW:n 0,87.  
2) Pieneliöitten hyväksikäyttämä eli kompostoitumiseen kulunut happi.



**Taulukko 3.** Eri ilmastimien ominaisarvoja jatkuvatoimisessa ilmastuksessa, jolloin päivittäin lisätään ja poistetaan samansuuruisen määrä.

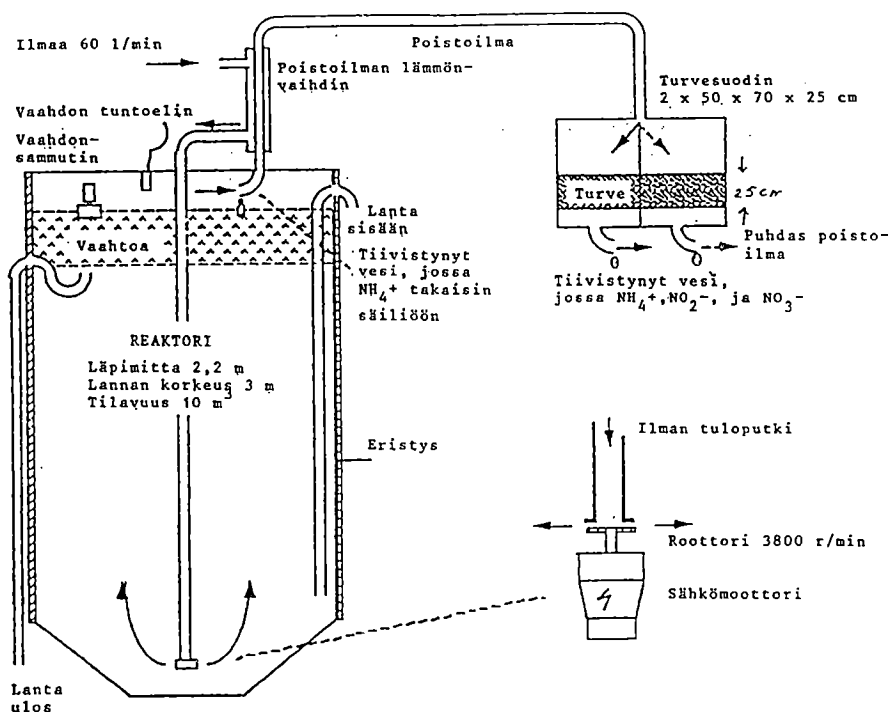
Ilmastin	Aldo 100	Biojet	Norjalainen malli	
			prototyyppi	maatilalla käytössä
Tyyppi	roottori	roottori	roottori	roottori
Nimellis(anto)teho <sup>1)</sup> , kW	4	2,2	-	
(Verkosta) ottoteho, kW				1,3 - 1,7
Lantaa, m <sup>3</sup> /vrk	2	2	2	1 - 2
Viipymä, vrk	5	5	5	5 - 10
Koekuukausi	touko	huhti	marras - helmi	-
Lietteen lämpötila, °C	45 - 55	50 - 60	43 - 53	50 - 60
Lämpötilan tasaisuus säiliössä, °C	± 3	± 0	± 0	-
Ilmavirta, kg/h	35 - 25	10	2,4 - 4,7	3,5
Hapetusteho, kg O <sub>2</sub> /h <sup>2)</sup>	1 - 3	0,5 - 1,5	0,5 - 0,9	-
Hapetuskyky, % (hyväksikäyttöaste)	10 - 50	40 - 70	85 - 100	85
Ilmastimen teho W/m <sup>3</sup> säiliötilavuutta	otto 320 anto -	250 -	- 140	170 -
Ilmastusteho, kg O <sub>2</sub> /kWh	0,3 - 0,9	0,4	0,4 - 0,6	-
Ammoniakkia ilmassa <i>ennen</i> ja <i>jälkeen</i> lannan lisäyksen, ppm	1200 - 1600 200	800 - 1000 180 - 280	100 - 400 100 - 200	- -
Ammoniakkihäviö, g/h	14	2,5	0,3 - 0,5	0 <sup>3)</sup>
Lannan kuiva-aine, %	8	9	9 - 12	4 - 10
Lannan pH	-	-	7,9 - 8,3	-
Liuennot happi lannassa, ppm.	-	-	0,2 - 0,8	< 1 ppm
Lannan laatu	naudan	naudan	naudan	naudan+asutusliete
Energian kulutus kWh/m <sup>3</sup> lantaa	otto 38 anto -	30 -	- 16	20 - 30 -
Lähde	/1/	/1/	/1/	/11/

1) Ottoteho = nimellisteho/hyötysuhde. Keskinertainen 1 kW:n moottorin hyötysuhde on 0,73 ja 10 kW:n 0,87.  
2) Pieneliöitten hyväksikäyttämä eli kompostoitumiseen kulunut happi.  
3) Ilmastetun lietteen happipitoisuus oli pieni, alle 1 ppm. Lisäksi poistoilma suodatettiin lämmönvaihtimessa ja turvesuotimessa, kuva 6.

Ylipaineilmastimessa ilma tuotetaan kompressorilla ja puhalletaan lantaan pienireikäisistä suuttimista. Näitä ilmastimia käytetään esimerkiksi yhdyskuntajätevesien puhdistamisessa. Nämä ilmastimet toimivat lietalannassa huomattavasti paremmin kuin laivoissa jätevesissä. Vakolassa kokeiltiin paineilmastusta matalapaineisella (0,5 bar) Roots-kompressorilla myös putkiin poratuista 3 mm:n rei'istä. Reiät olivat liian suuret; liete kompostoitui niin vähän, että vain haju pieneni. Nokia-jätevesi-ilmastimien hapetuskyky oli parempi, mutta sekin vain 17 - 22 %, koska ilmastinlautasten päälle kertyi aikaa myöten lannan kuiva-ainetta keoksi, jossa hienot ilmakehät yhtyivät isommiksi. /2/,/3/. Tehontarve lietalannan jatkuvatoimisessa (kuuma)kompostoinnissa Nokian ilmastimilla oli noin 50 W lantakuutiota kohden, taulukko 4.

**Taulukko 4.** Nokia-paineilmastimien arvoja jatkuvatoimisessa reaktorissa ja Flygt-ejektoria arvioidut arvot kertatäyttöisessä reaktorissa.

Ilmastin	Nokia	Nokia	Nokia	Flygt
Nimellis(anto)teho, kW	-	-	-	7 - 16
(Verkosta)ottoteho, kW	1,81	1,34	2,0	-
Tyyppi	paineilma			ejektoria
Lantaa, m <sup>3</sup> /vrk	1,6	2	2,43	-
Viipymä	20	13	11	-
Koekuukausi	maaliskuu	huhti	tammikuu-toukokuu	-
Lietteen lämpötila, °C	51,3	38	30 - 50	enint. 30
Lämpötilan tasaisuus säiliössä, °C	-	-	-	-
Ilmavirta, kg/h	93	93	117 - 137	-
Hapetusteho, kg O <sub>2</sub> /h	3,83	3,25	-	-
Hapen hyväksikäyttöaste, %	20	17	22	(88)
Ilmastimen teho W/m <sup>3</sup> säiliötilavuutta	otto - anto	29 - -	44 - -	- 25 - 30
Ilmastusteho, kg O <sub>2</sub> /kWh	2,1	2,43	-	-
Ammoniakkia ilmassa <i>ennen</i> ja <i>jälkeen</i> lannan lisäyksen, ppm	-	-	-	-
Ammoniakkihäviö, g/h	-	-	-	-
Lannan kuiva-aine, %	9,9	7,6	9,0	-
Lannan pH			7,9 - 8,3	-
Liuennut happi lannassa, ppm			0,1 - 0,2	-
Lannan laatu	sian	sian	sian	-
Energian kulutus kWh/m <sup>3</sup> lantaa	otto - anto	27 - -	16 - -	20 - -
Lähde	/2/	/2/	/3/	/4/



Kuva 6. Levymäinen ilmastin ja ammoniakkiloukkuina toimivat lämmönvaihdin ja turvesuodatin /10/.

Saksassa lehmän lietalantaa on ilmastettu letkuilmastimella, johon ilma otettiin tavallisesta maatilakorjaamon paineilmakompressorista. Lantasaäiliön ( $\varnothing 11 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 380 \text{ m}^3$ ) pohjalle asennettiin rakennusvaiheessa paineilmaletkua 2,6 m säiliön pinta-alan neliometriä kohden. Toisessa ratkaisumallissa jo käytössä olevaan säiliöön ( $\varnothing 8 \text{ m} \times 3,4 \text{ m} = 170 \text{ m}^3$ ) asennettiin 3,5 m:n pituisten rautatankojen päälle työnnettyjä muoviletkuelementtejä  $1,25 \text{ m/m}^2$ . Letkun halkaisija oli 12 mm ja paineluokka 10 bar. Siihen oli pistelty reikiä 10 cm:n välein siten, että reiät umpeutuivat kompressorin pysähtyessä. Kompressorit tuotti 200 - 250 l/min/4 bar. Kellokytkin käytti kompressoria 6 x 15 min päivittäin, koska nykyaikaiset kevytmetallikompressorit eivät kestä sulamatta jatkuvaa käyntiä. Lantaan ei muodostunut kuorikerrosta, hajua vähentyi, eikä heinämaalle levitetty liete polttanut kasvustoa.

## 6 KOMPOSTOINNINISSA TARVITTAVA ILMAMÄÄRÄ

Kompostoitumiseen tarvittava ilmamäärä voidaan arvioida mittaamalla lannan biologinen ( $BOD_7$ , BHK<sub>7</sub>) tai kemiallinen (COD, KHK) hapenkulutusarvo. Myös ilmastimen kyky sekoittaa happea lietteeseen voidaan selvittää hapenkulutusarvojen tai lämmön tuoton perusteella. Ilmastimen tuotto voidaan mitata esimerkiksi kuumalanka-anemometrillä imuputken suulta.

Ilmamäärä voidaan laskea lietalannan polttoarvosta kompostoinnissa vapautuvan lämpömäärän perusteella, kun tiedetään, että palaminen tuottaa lämpöä  $14,2 \pm 0,8 \text{ MJ}$  yhtä painokiloa kohden. Polttoarvo voidaan laskea, jos tunnetaan kompostoitavan aineen kemiallinen koostumus. Sian lannan polttoarvo on noin  $19 \text{ MJ/kg}$  kuiva-ainetta ja lehmän lannan noin  $15,4 \text{ MJ/kg}$  ka. Kompostoinnin aikana lanta ei ehdi palaa kokonaan, vaan lämmöstä vapautuu 30 - 45 %. Sianlannan kompostilämpö on noin  $8,3 \text{ MJ/kg}$  ka ( $2,3 \text{ kWh/kg}$  ka) ja lehmän lannan on  $7,3 \text{ MJ/kg}$  ka.

Esimerkkinä ilmastus varastosäiliössä:

Lietesäiliö $\varnothing 12 \text{ m} \times 3 \text{ m}$	= $340 \text{ m}^3$ lantaa,
josta kuiva-ainetta 8 % (lehmänlanta)	= $27\,200 \text{ kg}$ ,
jonka kompostilämpö on $7,3 \text{ MJ/kg} \times 27\,200$	= $198\,560 \text{ MWs}$ ,
eli lämpöteho $198\,560 / (2 \times 30 \times 24 \times 3600)$	= $38,3 \text{ kW}$ ,
kun ilmastusaika on 2 kuukautta.	
Palamiseen tarvitaan happea $38,3 \text{ kW} / 14,2 \text{ MWs/kg}$	= $9,7 \text{ kg}$ tunnissa,
eli ilmaa $9,7 / 0,23$	= $42,1 \text{ kg}$ tunnissa
eli kuutiometreinä $42,1 / 1,3$	= $32,4 \text{ m}^3$ tunnissa = $540 \text{ litraa/min}$

Tarvittava ilmamäärää lisää ilmastimen epätäydellinen kyky sekoittaa ja liuottaa happea. Ejektorii-ilmastimen hapetuskyvyn voidaan arvioida olevan 60 %, jolloin tuotetun ilmamäärän on oltava  $540 / 0,6 = 900 \text{ litraa/min}$ . Jos ilmastus on vain puolet ajasta käynnissä, pitenee ilmastusaika edelleen kaksinkertaiseksi eli neljään kuukauteen.

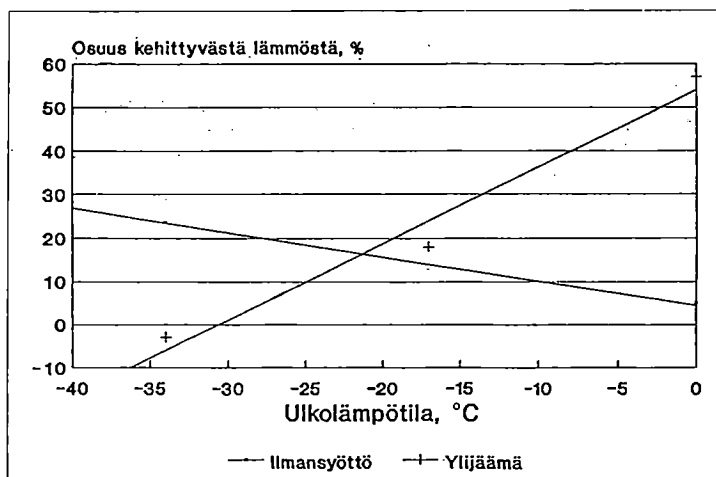
Toinen tapa on laskea ilmamäärä aineen hapettamisen perusteella:

Lähde	Hapettamiseen tarvittava ilmamäärä $\text{m}^3 / \text{kg}$			
	BVS	VS	TS	
PAATERO 80 /13/	1,8 - 7,2			
PAATERO 84 /14/	1,8 - 5,2			(jätevesiliete)
KOIVISTO/HAUG /3/,/12/	5,1 - 5,4			(org.aine)
PERSON /15/	6,07	3,45	3,09	(lehmän lanta+olki)
TS	= kuiva-aine			
VS	= orgaaninen (hiilipitoinen) aine = $0,86 \times \text{TS}$ (lehmän lanta)			
BVS	= kompostoinnissa palava osuus orgaanisesta aineesta = $0,55 \times \text{VS}$ (lehmän lanta).			

Edellisen laskuesimerkin lantamäärillä  $TS = 27\,200\text{ kg}$ , joten  $BVS = 12\,865,6\text{ kg}$ . PAATEROn mukaan tarvittava ilmamäärä on keskimäärin  $3,5\text{ m}^3/\text{kg BVS}$ , eli  $12\,865,6 \times 3500 / (2 \times 30 \times 24 \times 60) = 522\text{ l/min}$ , ja ilmastimelta (60 % hapetuskyky)  $869\text{ l/min}$ .

## 7 PUHALLETTAVAN ILMAN JÄÄHDYTTÄVÄ VAIKUTUS

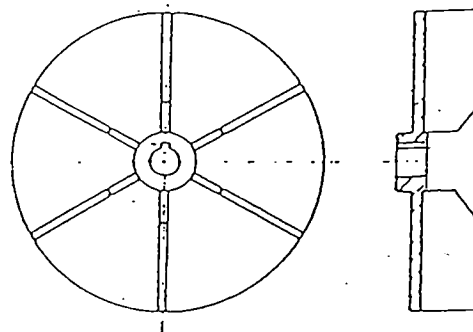
Ilman jäädyttävä vaikutus on talvellakin vain noin 10 - 12 % kehittyvästä lämmöstä, jos kompostin lämpötila on  $+20\text{ }^\circ\text{C}$  ja ilmastimen tuottaman hapen liukeneminen on esimerkiksi 38 %, kuva 7. Säiliön eristyshäviötkin huomioonottaen lämpötila ei laske vielä  $30\text{ }^\circ\text{C}$ :n pakkasella, sitä leudommalla säällä lämpötila nousee.



Kuva 7. Puhallettavan ilman jäädyttävä vaikutus.

## 8 VAAHDONSAMMUTTIMIT

Ammoniakkihäviöiden pienentämiseksi on suotavaa, että ilmastettavan säiliön pintaan muodostuu  $0,3 - 0,5\text{ m}$ :n paksuinen vaahtokerros. Kuumakompostoinnissa vaahtonmuodostus on suurempaa kuin matalissa lämpötiloissa ja sen takia tarvitaan vaahtotilaa noin metri pienessäkin säiliössä. Koneellisen vaahtonsammuttimen siipi kehoitetaan asentamaan vähintään  $0,5\text{ m}$  lantapinnan yläpuolelle. Vaahtonsammuttimen voi rakentaa itse. Vakolan käyttämä, Jaakko-esipuhdistimen pölynpoistopuhaltimesta otettu vaahtonsammuttimen siipi oli läpimitaltaan noin  $20\text{ cm}$  ja pyörimisnopeus noin  $900\text{ r/min}$ , kuva 8. Keskimääräinen tehonkulutus oli  $600\text{ W}$ , mutta moottori oli kuormitushuippujen takia  $1,5\text{ kW}$  kokoinen.



Kuva 8. Vaahtonsammuttimen siipi.

Vaahton muodostusta voidaan estää myös erilaisilla lisäaineilla. Esimerkiksi Norjassa on käytetty vaahtonestoon joissain tapauksissa dieselöljyä ( $5 - 10\text{ l/m}^3$  lantaa  $1 - 2$  kertaa ilmastuksen aikana).

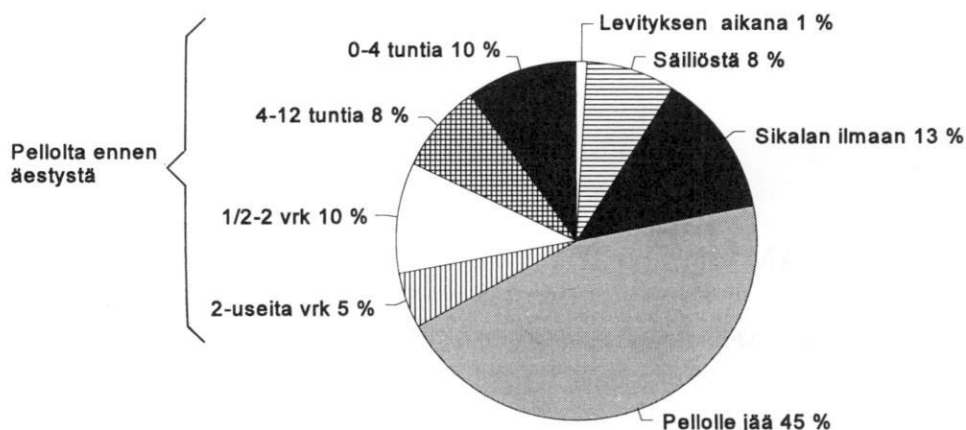
## 9 TYPPIHÄVIÖT

Kompostoinnissa typpihäviöt ovat pienet, jos kompostissa on riittävästi hiiltä. Lietekomposteissa hiiltä on vähän. Sian lietelannan hiili/typpi-suhde (C/N) on  $6:1$ , kun se typpiravinteiden talteenoton kannalta pitäisi olla  $30 - 40:1$ . Lietelannan kuumakompostoinnissa,  $40 - 50\text{ }^\circ\text{C}$ , typpeä haihtuu  $15 - 40\%$  /6/, /2/. Typpi saadaan talteen, kun poistoilma suodatetaan, kuva 6. Varastosäiliössä alle  $30\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa häviö on ollut  $10 - 20\%$  /4/ ja lantakellarissa  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa lehmien lannan typpi

on säilynyt (kompostoitaessa lannan määrä väheni, mutta sen typpipitoisuus suureni) /11/. Lietelannan ilmastuksessa ilmaylimäärän olisi oltava pieni ja liuenneen hapen määrä joko välillä 0,01 - 0,1 % tai yli 10 % kyllästyspitoisuudesta (esimerkiksi 40 °C:n lämpötilassa kyllästyspitoisuus on 7,5 mg/l). Ohjearvo on 3 - 6 mg/l yhdyskuntajäteveden ilmastamisessa 15 °C:n lämpötilassa. Lämpötilan pitäisi olla matala, joko psykoofiilisten (15 - 20 °C) tai mesofiilisten pieneliöitten (25 - 40 °C) alueella /7/. Normaalissa lietalannan käsittelyssä osa tuestä haihtuu eläinsuojan ilmaan, osa lietesäiliöstä ja osa peltolevityksessä.

Oikein suoritettussa ilmastuksessa typen häviöt ovat noin 10 %. Typen häviöiden arvo on noin 1,30 - 3,5 mk/m<sup>3</sup> riippuen siitä, mistä eläinlajeista liete on peräisin. Pienessä eräilmastimessa typen tappioita voidaan pienentää lämmönvaihtimella, jossa säiliön poistoilmalla lämmitetään sisään tulevaa ilmaa. Samalla haihtunut kosteus ja ammoniakki tiivistyvät, ja ne voidaan palauttaa ilmastussäiliöön. Typen tappiot pienenevät tällöin noin puoleen. Loppuosa haihtuvasta tuestä on mahdollista saada talteen biosuodattimella./10/, /21/, /23/

Ilmastettavan lietteen päällä voidaan käyttää esimerkiksi kelluvaa kevytsora- tai turvekatetta, jolloin typen tappiot jäävät sekä ilmastuksen että sen jälkeisen varastoinnin aikana pieniksi./24/



Kuva 9. Typen haihtuminen ilmastamattomasta lietalannasta eri käsittelyvaiheissa.

## 10 ILMASTUKSEN KUSTANNUKSET

Ilmastettavan lietteen kuiva-ainepitoisuus voi olla korkeintaan 8 - 9 %, jotta ilmastamisella saadaan aikaan toivottu lopputulos. Ilmastuksen tehontarve lisääntyy voimakkaasti kuiva-ainepitoisuuden noustessa yli 6 %:n ja aiheutuvat kustannukset kasvavat oleellisesti kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa. Ilmastuskustannusten kasvu voi olla suurempi kuin suuren kuiva-ainepitoisuuden mukanaan tuomat alhaisemmat varastointikustannukset./24/

Eräilmastuksessa sähköä kuluu noin 10 kWh ilmastettavaa separoimatonta liete-m<sup>3</sup> kohti. Ilmastuksesta aiheutuvat muuttuvat kustannukset ovat siten noin 4 mk/m<sup>3</sup>/25/. Laitteista aiheutuvat kiinteät kustannukset ovat alimmillaan noin 2 000 markkaa vuodessa, jos niiden hinnaksi oletetaan 15 000 markkaa, kestoajaksi 10 vuotta ja koroksi 6 %. Tämän kokoisella laitteistolla voi lietteen ilmastaa noin 500 m<sup>3</sup>:n lietalantalassa./22/ Kiinteät kustannukset ovat siten noin 4 mk/m<sup>3</sup>, jos ilmastuslaitte hankitaan yhdelle tilalle. Ilmastuslaitteista aiheutuvat kiinteät kustannukset riippuvat paljon käytetystä tekniikasta ja ilmastettavan lietteen määrästä. On arvioitu, että eräilmastuksen kokonaiskustannukset varastosäiliössä tehtynä olisivat 4 - 12 mk/m<sup>3</sup> ja erillisessä säiliössä tehtynä 16 - 24 mk/m<sup>3</sup> /21/.

Lietelannan ilmastus kestää noin kaksi kuukautta. Tehokkaassa yhteiskäytössä laitteella voisi ilmastaa noin 3000 m<sup>3</sup> lietettä vuodessa. Separoimattoman lietteen ilmastuksesta aiheutuvat muuttuvatkin kustannukset ovat selvästi suuremmat kuin järkevästi suoritettujen lietteen separoinnin kokonaiskustannukset /24/.

Vakolan kokeen perusteella laskettiin, että ilmastus paineilmailmastimilla maksaa itse kulunsa, jos suurin osa kompostilämmöstä voidaan käyttää hyödyksi ja laitos on tarpeeksi iso; lantaa pitää tulla 2 - 2,5 m<sup>3</sup> vuorokaudessa eli karjaa pitää olla vähintään 40 nautayksikköä tai 450 lihasikaa.

Maatalousrakenteiden ja -koneiden laskennalliset kustannukset ovat muun muassa koron pientymisen myötä pienentyneet. Rakenteiden laskennalliset vuotuiset kustannukset olivat 11,5 % hankintahinnasta vuonna 1992, ja 8 % vuonna 1995 /17/, /18/. Lannankäsittelykoneille vastaavasti 14 - 22 % vuonna 1992, ja vuonna 1995 noin 13 %. Kustannuksista esimerkkinä kahden reaktorin tunnuslukuja. Lietteen ilmastuksen kustannuksia laskettaessa pitäisi ensin määrittää haluttu kompostoitumisaste.

		KOIVISTO ym. /2/	SKJELHAUGEN /1/ BREKKE /20/
Hankintakustannus	mk	33 065	138 500
Nettoutilavuus	m <sup>3</sup>	9,4	11,5
Lantaa	m <sup>3</sup> /vrk	1,5	1,5
	m <sup>3</sup> /vuosi	400	400
Asennettu teho	W/m <sup>3</sup> säilötä	157	150
Kustannukset	mk/käsitelty lantakuutio		
Säiliö	(8 %)	2,7	20,0
Ilmastin	(13 %)	6,3	12,5
Sähkö	18 kWh/m <sup>3</sup>	8,1	8,1
Kustannukset yhteensä	mk/m <sup>3</sup> lantaa	17,1	40,6

Vasta tämän jälkeen erilaisten laitteistojen ilmastuskustannuksia voidaan luotettavasti verrata keskenään. Kompostoinnissa tapahtuvan lannan kemiallisen hapenkulutuksen (COD) muutoksen määrittäminen kaliumdikromaattilla saattaisi olla sekä kustannusten että ajan käytön kannalta edullinen kompostoitumisasteen määrittämis menetelmä. Vakolan alustavien kokeiden mukaan samasta säiliöstä kähtenä päivänä otettujen kuormien COD-arvojen hajonta oli pieni, 6,5 %, samoin kokonaistypen, 4,5 %, kun taas NH<sub>4</sub>-N:n ja PO<sub>4</sub>-P:n hajonnat olivat suuret, 19 % ja 25 %./26/

## KIRJALLISUUS

1. SKJELHAUGEN, O. J. 1991. Liquid composting unit. ITF-trykk 16/91. Ås-HLH.
2. KOIVISTO, K. & KEMPPAINEN, E. 1987. Kompostoinnin vaikutus lietalannan laatuun ja käsiteltävyyteen. Vakolan tutkimusselostus 45/87. Vihti.
3. KOIVISTO, K., AARNIO, K. & KARHUNEN, J. 1986. Lietelannan kompostointilämmön talteenotto. Vakolan tutkimusselostus 41/86. Vihti.
4. SKJELHAUGEN, O. J. & GJERVAN, J.O. 1988. Våtkompostering. Statens fagtjenste for lantbruket. Småskrift 3/88. Mysen.
5. JAKOB, H. 1988. Güllebelüftung mit perforierten Spezialschlauch. dlz 11/88: 1620-1621.
6. OECHSNER, H. 1989. Auszug von: Aerob-thermophile Behandlung von Flüssigmist. Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik.
7. EVANS, M.R. & SVOBODA, I.F. 1982. Recovery of heat from aerated liquid manure. Seminaariesitelmä, Aarhus.
8. MÄÄTTÄ, R., PULKKANEN, P. & LATOLA, P. 1983. Teollisuusjätevesien aerobinen ja anaerobinen suodatus I-II. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostusosasto, Ympäristötekniikan laboratorio. Espoo.
9. WEMMELUND, N. & BERTHELSEN, L. 1977. Udnyttelse af komposteringsvarme fra stalgødning. Jordbrugsteknisk Institut. Den kgl. Veterinaer og landbohøjskole. Meddelelse 28. 146 p.
10. SKJELHAUGEN, O.J. 1992. Samkompostering av septikslam og husdyrgjødsel. Foredrag NJF-TEKNIK-92, seminarium 212, Finland 2.-3. november.
11. SKJELHAUGEN, O.J. Våtkompostering i kjeller under åpent etasjeskille. Norsk Landbruk 9/90; 29 - 31.
12. HAUG, R.T. 1980. Compost Engineering. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbor.
13. PAATERO, J. 1980. Biologinen jätteenkäsittely. Maanrakennus ja kuljetus 5:174-184.
14. PAATERO, J., LEHTOKARI, M. & KEMPPAINEN, E. 1984. Kompostointi. s. -149.
15. PERSON, H.L. & SHAYA, W.H. 1994. Composting Process Design Computer Model. ASAE Paper N:o 93-4030.
16. BESSON, J.M., LEHMANN, V., SODER, M., DEGALLIER, J. & RAVENEL, L. 1987. Utilization of stored, aerated or anaerobically digested dairy cattle and pig slurries on sown grassland. In: Meer v.d., H.G. et al. (toim.). Animal manure on grassland: fertilizer or waste? s. 279-281.
17. KERÄNEN, J. 1992. Laske edullisin vaihtoehto LANTA-ohjelmalla. Käytännön Maamies 9; 58 -59.

18. JÄRVENPÄÄ, M. 1995. Maatalouskoneiden kustannuslaskenta ja konetöiden hinnoittelu. Teho 2;19-23.
19. VANHALA, A. & JÄRVENPÄÄ, M. 1992. Maatalouskoneiden vuokrasuositukset 1992. Teho 4.
20. BREKKE, E. 1994: Blir miljøentreprenør hvis samfunnet vil. Norsk Landbruk 21; 14-18.
21. LEINONEN, P. 1993. Lietelannan ilmastus ja käyttö nurmien lannoitteena. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 472:1-70.
22. PENTTILÄ, A. 1993. Ontto potkuri. Koneviesti 13:8-9.
23. TORIKKA, E. 1991. Biosuodattimen käyttö ympäristötekniikassa. Esitutkimus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Poltto- ja lämpötekniikan laboratorio 1:1-20. Jyväskylä.
24. KAPUINEN, P. 1994. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen VAKOLAn tutkimusselostus 68/94. Vihti.
25. -"- & GJERVAN, J.O. 1987. Feltundersøkelse av våtkompostering i hoved- og tilleggsagre. Norges lantbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknikk. IBT-rapport 247:1-39. Summary: Field investigations of liquid composting in main and additional storages.
26. KARHUNEN, J. 1995. Kompostointikokeita. 2. kansallinen kompostointiseminaari 28.-29.9.1995. Tiivistelmät. Joensuun yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan raporttisarja n:o 34 s. 37-39. Joensuu.



## Liite

Suomessa vuonna 1996 kaupan olleita lietelannan ilmastimia.

ABS-Agro	Uppopumppu + ejektori, 7,5 - 18,5 kW, 43 300 - 61 000 mk, nostoteline + talja, termostaatti, sähkökeskus. Allas 500 - 1 100 m <sup>3</sup> . ABS-Pumput Oy.
A-ilmastin	Paineilmakompressori 1,1 kW + 50 m letkua = 14 190 mk, 2,2 kW + 100 m = 20 470 mk. A-Sukellus Oy.
Aire-O <sub>2</sub>	Roottori, 1,5 ja 2,2 kW noin 20 000 mk. Claritek Oy Porvoo.
Echberg	Roottori. Suomen Karjatilatarvike Oy, Iittala.
Eisele	Uppopumppu + ejektori, 7,5 kW, 34 000 mk, nostoteline + talja, kellokytkin + termostaatti, 6 m lantaletkua. Konepaja Kääriäinen KY, K-Maatalous.
Flygt	Uppopumppu + ejektori, 7,5 kW, 27 900 + 10 000 - 5 000 mk, täydell. nostoteline, aika- ja lämpökytkin. Allas ø 12 m. Alfa-Laval Agri.
Fuchs	Spiraali, 1,1...22 kW, 12 kokoa. Upotussyvyys 0,35...0,8 m, ilmaa 25...400 m <sup>3</sup> /h. Vaahtoveitsi. Myös roottori-ilmastin. Tamflow Oy.
Haukka	Roottori, 4 kW/900 r/min, 14 400 mk, taukorele + termostaatti. Haukka-Steel Oy.
HP	Roottori, 2,2 kW, 13 000 mk alkaen, kellokytkin, allas saa olla 400...450 m <sup>3</sup> Vaahto-leikkuri 0,37 kW. HESVER Oy, Joroinen.
LANNAX	Potkuri, 2,2 ja 4 kW, säiliö alle 300 ja 300 - 600 m <sup>3</sup> . LANNAX Oy.
LJM	Uppopumppu + ejektori, 5,5 - 15 kW, 48 540 - 62 010 mk täydellisenä. System Lahti.
OLA	Roottori (≈ potkurisekoitin) paino 45 kg. OLA-TUOTE T:mi.
Pameco	Lantapumppu + ejektori, 11 kW, 23 500 mk, ohjauskeskus, allas 1 000 m <sup>3</sup> Pakolan Konepaja.
PM	Potkuri, 4 ja 5,5 kW, 10 800 - 11 800 mk, kellokytkin. Palolan Metall Oy.
Rako	Potkuri, 5,5 kW, 16 850 mk, kellokytkin. Allas 600 m <sup>3</sup> . Rako-koneet Oy, Rantsila.
Reini	Potkurisekoitin-ilmastin, 7,5 kW, 12 000 mk, kellokytkin ja termostaatti. Allas 1 000 m <sup>3</sup> . Mäki-Reini Ky.

Reck Potkurisekoitin-ilmastin, 7,5 - 11,5 kW, 27 000...28 500 mk. Veljekset Matintalo, K-maatalous, Agroma, Juko.

Super-Lotina Lantapumppu + ejektori, 4 - 15 kW, 10 260 - 21 400 + 4 150 mk. Allas 200 - 600 m<sup>3</sup>. Traktorikäyttöinen 33 kW, 25 865 + 4 150 mk. Allas 800 - 1 000 m<sup>3</sup>. Mamec Oy, Pellonpaja Oy.

VEPI Roottori, 4 - 8 kW, 18 900 - 35 900 mk, termostaattiohjaus.

WTV-II Lannan hajoitin. 5 800 mk. Allas 1 000 m<sup>3</sup>. DELTA-R.W. Oy, Hollola.

YL Roots/Holmes paineilmakompressori + YL-kumi-ilmastimet. Y-laite Oy, Lahti.

Jätevesi-ilmastimet - Alfa-Laval Oy  
- Nopon Oy  
- Stamex Oy

Kompressorit - HV-Turbo Suomi Ab  
- Nodule Oy

Ilmastuslaitteet - Haato Stainless Oy  
- Raisio Engineering  
- Stamex Oy  
- Vesi-Eko Oy

## VAKOLAn tutkimuseloituksia

47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhituksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen 1989.
55. Ei julkaisua.
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Järeän sahatavaran käyttö rakennuksissa, rakennejärjestelmät ja liitokset. 1997.
72. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa.
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen.
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.
75. Konetöiden turvallisuuden ja tehokkuuden parantaminen. 1996.
76. Laboratorioiden työn ja työympäristön kehittäminen. 1996.
77. Pienmoottoreiden päästöt. 1997

## VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo.
- 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko.
- 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parrenerottimet.
- 4/1996 Perustamistapojen hintavertailu.
- 5/1997 Havaintoja kylmäpihattojen lannankäsittelystä.
- 6/1997 Kalustohallista toimiva sikala

## VAKOLAn tiedotteita

- 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
- 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
- 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 Käyttökokemuksia jyräkylvöannoittimista
- 67S/94 Brukserefarenheter av vätkombisåmaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapiattiloiden käyttöominaisuudet
- 72/96 EPS-rakeet ja EPS-rouhe sikalan lietesäiliön katteena
- 73/96 Kevytsaviharkkojen kuivuminen ja lujuus
- 74/97 Rikkakasvien torjunta viljoista riviväliharauksella
- 75/97 Öljypellavan leikkuupuinti
- 76/97 Tilasäiliöopas
- 77/98 Yrttikuivurin suunnittelu ja käyttö
- 78/98 Väkilannoitteen sijoituslaitteet nurmiviljelyssä
- 79/98 Lietelannan ilmastus

